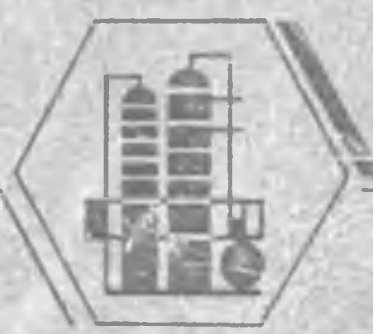
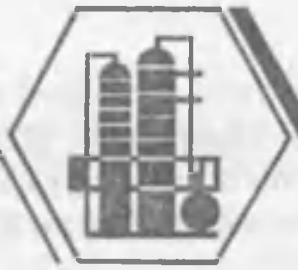


Oliy o'quv
yurtlari uchun

N.R. YUSUPBEKOV, H.S. NURMUHAMEDOV, S.G. ZOKIROV

KIMYOVIY TEXNOLOGIYA ASOSIY JARAYON VA QURILMALARI



Oliy o‘quv
yurtlari
uchun

N.R. YUSUPBEKOV, H.S. NURMUHAMEDOV, S.G. ZOKIROV

KIMYOVIY TEXNOLOGIYA ASOSIY JARAYON VA QURILMALARI

O‘zR FA akademigi N.R. Yusupbekov tahriri ostida
(qayta ishlangan va to‘ldirilgan ikkinchi nashr)

O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi tomonidan oliy o‘quv yurtlari uchun darslik sifatida tavsiya etilgan

TOSHKENT – 2015

UO'K: 664.002/66.0 (075)
KBK 35ya722
Yu-91

Yu-91 **N.R. Yusupbekov, H.S. Nurmuhamedov, S.G. Zokirov. Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalari. – T.: «Fan va texnologiya», 2015, 848 bet.**

ISBN 978–9943–991–02–6

Darslikda kimyoviy texnologiya asosiy jarayonlari, ularning nazariyasi, tipik qurilmalar konstruksiyalari va ishlash prinsiplari hamda ularni hisoblash uslublari bayon etilgan.

Ushbu darslik «Kimyoviy texnologiya», «Biotexnologiya», «Oziq-ovqat texnologiyasi», «Texnologik mashinalar va jihozlar», «Kasbiy ta'lim», «Ekologiya va atrof-muhit muhofazasi», «Hayotiy faoliyat xavfsizligi», «Metrologiya, standartlashtirish va mahsulot sifati menejmenti» kimyo va neft-gaz kimyosi hamda yuqorida qayd etilgan mutaxassisliklar mashinasozligi guruhiga kiruvchi yo'nalishlarda ta'lim oluvchi bakalavr va magistrantlarga darslik sifatida tavsiya etiladi. Bundan tashqari, undan kimyo va boshqa sanoatlarning injener-texnik xodimlari, doktorantlari ham qo'llanma sifatida foydalanishlari mumkin.

UO'K: 664.002/66.0 (075)
KBK 35ya722

Taqrizchilar: Abu Rayhon Beruniy nomidagi ToshDTU ning «Sanoat issiqlik energetikasi» kafedrasi;
O'zR FA akademigi – **B.M. BEGLOV**;
t.f.d., professor – **M.M. YUSIPOV**.

ISBN 978–9943–991–02–6

73518

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2015.

MUNDARIJA

	KIRISH	9
1.	«Jarayon va qurilmalar» fanining mazmuni va mohiyati	12
2.	«Jarayon va qurilmalar» fanining kelib chiqishi va rivojlanishi	13
3.	Asosiy texnologik jarayonlar klassifikatsiyasi	14
	1-bob. UMUMIY QISM	
1.1	Xomashyo, material va mahsulotlarning asosiy xossalari	17
1.2	O'xshashlik nazariyasi asoslari	27
1.3	Jarayon va qurilmalarni hisoblash va tahlilining asosiy prinsiplari	34
	2-bob. GIDRAVLIKA ASOSLARI	
	GIDROSTATIKA	
2.1	Umumiy tushunchalar	38
2.2	Eylerning muvozanat differensial tenglamasi	38
2.3	Gidrostatikaning asosiy tenglamasi	40
2.4	Gidrostatikaning asosiy tenglamasini amaliyotda qo'llash	41
	GIDRODINAMIKA	
2.5	Suyuqlik harakatining asosiy xarakteristikalari	43
2.6	Oqimning uzluksizlik tenglamasi	45
2.7	Suyuqlik harakatining Eyler differensial tenglamasi	47
2.8	Haqiqiy suyuqlik oqimi uchun Bernulli tenglamasi	48
2.9	Suyuqlik harakatining Navye-Stoks differensial tenglamasi	50
2.10	Bernulli tenglamasining amaliy qo'llanilishi	52
2.11	Suyuqlik harakati rejimlari	53
2.12	Laminar harakat qonunlari	55
2.13	Turbulent harakat rejimi	57
2.14	Qovushqoq suyuqlik harakatining kriterial tenglamalari	59
2.15	Truba quvurlaridagi gidravlik qarshilik	60
2.15.1	Nonyuton suyuqliklar harakati	65
2.16	Truba quvurlari diametrini hisoblash	69
2.17	Nasadka va teshiklar orqali suyuqlik oqib chiqishi	71
2.18	Qattiq jismlarning suyuqlikda harakati	75
	NASOSLAR	
2.19	Umumiy tushunchalar	78
2.20	Nasoslar klassifikatsiyasi	78
2.21	Nasoslarning asosiy parametrlari	79
2.22	Markazdan qochma nasoslar	82
2.23	Porshenli nasoslar	88
2.23.1	Porshenli nasos unumdorligini rostlash	93
2.24	Nasoslarning maxsus turlari	93
2.25	Nasoslarni qo'llash sohalari, afzallik va kamchiliklari	99
	KOMPRESSORLAR	
2.26	Asosiy tushunchalar	102
2.27	Gazlarni siqish jarayonining termodinamik asoslari	102
2.28	Porshenli kompressorlar	106
2.29	Rotorli kompressorlar	110
2.30	Markazdan qochma tipdagi kompressorlar	111
2.31	O'qli va vintli kompressorlar	113
2.32	Vakuum-nasoslar	114
2.33	Kompressorlarni taqqoslash va tanlash	116

3-bob. GIDROMEXANIK JARAYONLAR

3.1 Turli jinsli sistemalar klassifikatsiyasi 118
3.2 Ajratish usullari 119
3.3 Ajratish jarayonining moddiy balansi 119

TINDIRISH VA CHO'KTIRISH

3.4. Og'irlik kuchi ta'sirida cho'ktirish 120
3.5. Siqiq cho'kish tezligi 123
3.6. Suspenziya konsentratsiyasi va zarrachalar shaklining cho'kish tezligiga ta'siri 124
3.7. Markazdan qochma kuch ta'sirida cho'ktirish 125
3.8. Tindirish va cho'ktirish qurilmalari 126
3.8.1. Cho'ktirish qurilmalarini hisoblash..... 132

FILTRLASH

3.9. Umumiy tushunchalar 140
3.10. Filtrlash turlari 141
3.11. Filtrlash jarayonining nazariy asoslari 141
3.12. Filtrlar 144
3.13. Filtrlash jarayonini intensivlash 150
3.14. Filtrlarni hisoblash 151
3.14.1. Vakuum-filtrlarni hisoblash 152

GAZLARNI TOZALASH

3.15. Umumiy tushunchalar 160
3.16. Og'irlik kuchi ta'sirida gazlarni tozalash 161
3.17. Inersion va markazdan qochma kuchlar ta'sirida gazlarni tozalash..... 162
3.18. Gazlarni g'ovakli to'siqlarda tozalash 164
3.19. Gazlarni suyuqlik bilan yuvib tozalash 167
3.20. Elektr maydon ta'sirida gazlarni tozalash 170
3.21. Gazlarni tozalash jarayonini intensivlash 174
3.21.1. Siklon, skrubber va elektrfiltrlarni hisoblash 176

QO'ZG'ALMAS VA MAVHUM QAYNASH QATLAMLARI GIDRODINAMIKASI

3.22. Umumiy tushunchalar..... 183
3.23. Qo'zg'almas donador va g'ovak qatlamlar orqali suyuqlik harakati .. 183
3.24. Mavhum qaynash jarayoni asoslari va gidrodinamikasi 187
3.25. Oqimchali mavhum qaynash 196
3.26. Mavhum qaynash qatlamli qurilmalar 198

ARALASHTIRISH

3.27. Umumiy tushunchalar 201
3.28. Suyuqlikni aralashtirish usullari 201
3.29. Plastmassalarni aralashtirish 205
3.30. Sochiluvchan materiallarni aralashtirish 206
3.31. Aralashtirgichlarni hisoblash 208

TESKARI OSMOS VA ULTRAFILTRLASH

3.32. Umumiy tushunchalar 218
3.33. Teskari osmos va ultrafiltrlash jarayonlarning fizik-kimyoviy asoslari 220
3.34. Diffuzion-membranali jarayonlar..... 222
3.35. Membranalarni tozalash usullari 224
3.36. Membranali qurilmalar tuzilishi va ishlash prinsipi 225
3.37. Membranali jarayon va qurilmalarni hisoblash..... 230

4-bob. ISSIQLIK ALMASHINISH JARAYONLARI

ISSIQLIK O'TKAZISH

4.1. Umumiy tushunchalar ... 248
4.1.1. Issiqlik balansi ... 250
4.1.2. Temperatura maydoni va gradiyenti ... 250
4.2. Issiqlik o'tkazuvchanlik ... 251
4.2.1. Issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi ... 252
4.2.2. Tekis devorning issiqlik o'tkazuvchanligi ... 254
4.2.3. Silindrik devorning issiqlik o'tkazuvchanligi ... 256
4.2.4. Sharsimon devorning issiqlik o'tkazuvchanligi ... 257
4.2.5. Murakkab shaklli jismlar issiqlik o'tkazuvchanligi ... 258
4.3. Issiqlik nurlanishi ... 260
4.4. Konvektiv issiqlik almashinish ... 263
4.4.1. Nyuton qonuni ... 264
4.4.2. Konvektiv issiqlik almashinishning differensial tenglamasi (Furye-Kirxgof tenglamasi) ... 265
4.4.3. Konvektiv issiqlik almashinishning o'xshashlik kriteriy va tenglamalari. ... 267
4.4.4. Erkin konveksiya davrida issiqlik berish ... 269
4.4.5. Majburiy konveksiya davrida issiqlik berish ... 270
4.4.6. Issiqlik eltkichning agregat holati o'zgarishida issiqlik berish ... 271
4.4.7. Issiqlik berish koeffitsiyentlarining son qiymatlari. ... 275
4.5. Issiqlik o'tkazish ... 276
4.6. Issiqlik almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuch ... 279

ISITISH, BUG'LANISH, SOVITISH VA KONDENSATSIYALASH

4.7. Umumiy tushunchalar ... 284
4.7.1. Bug' bilan isitish ... 284
4.7.2. Issiq suv bilan isitish ... 285
4.7.3. Yuqori temperaturali organik suyuqlik va ularning bug'lari bilan isitish ... 285
4.7.4. To'yingan suv bug'i bilan isitish ... 286
4.7.5. Tutun gazlari bilan isitish ... 287
4.7.6. Elektr toki bilan isitish ... 287
4.8. Kondensatsiyalash ... 288
4.8.1. Bug'larni kondensatsiyalanishda issiqlik tarqalishi ... 289
4.8.2. Suyuqliklar qaynash jarayonida issiqlik tarqalishi ... 293
4.9. Atrof muhit temperaturasigacha sovitish ... 296
4.10. Atrof muhit temperaturasidan past temperaturagacha sovitish. ... 297
4.11. Issiqlik almashinish qurilmalari ... 299
4.11.1. Sirtiy issiqlik almashinish qurilmalari ... 299
4.11.2. Regenerativ issiqlik almashinish qurilmalari ... 314
4.11.3. Aralashish issiqlik almashinish qurilmalari ... 315
4.11.4. Termosifon va issiqlik trubalari ... 317
4.12. Issiqlik almashinish qurilmalarini tanlash ... 319
4.13. Issiqlik almashinish jarayonlarini intensivlash ... 321

BUG'LATISH

4.14. Umumiy tushunchalar ... 331
4.15. Bug'latishning nazariy asoslari. ... 332
4.16. Bug'latish usullari ... 334
4.16.1. Oddiy bug'latishning moddiy balansi ... 336
4.16.2. Oddiy bug'latishning issiqlik balansi ... 336
4.16.3. Isitish yuzasi ... 337
4.17. Bug'latkichlar tuzilishi va ishlash prinsiplari ... 342
4.17.1. Isituvchi bug'ni tejash usullari ... 350
4.18. Perspektiv issiqlik almashinish qurilmalari ... 351
4.19. Qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasini hisoblash ... 354

4.20. Havo bilan sovutiladigan qurilmasini hisoblash 365
4.21. Issiqlik injektorli bug'latish qurilmasini hisoblash 371

5-bob. MASSA ALMASHINISH JARAYONLARI

MASSA ALMASHINISH ASOSLARI

5.1. Umumiy tushunchalar 376
5.2. Massa o'tkazish kinetikasi 377
5.3. Massa almashinish jarayonining moddiy balansi 379
5.4. Massa o'tkazishning asosiy qonunlari 380
5.5. Qattiq jism ishtirokida massa almashinish 384
5.6. Konvektiv diffuziyaning differensial tenglamasi 388
5.6.1. Massa almashinish jarayoni mexanizmi 391
5.6.2. Massa o'tkazish va berish koeffitsiyentlari o'rtasidagi bog'liqlik. ... 392
5.6.3. Massa almashinish jarayonlarining modellari 393
5.6.4. Massa almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuch. 395
5.7. Massa almashinish qurilmalarining asosiy o'lchamlarini hisoblash 399

ABSORBSIYA

5.8. Umumiy tushunchalar 404
5.9. Absorbsiya jarayonining fizik asoslari 404
5.10. Absorbsiyaning moddiy balansi va kinetik qonuniyatlari. 406
5.11. Absorbsiya jarayonini olib borish usullari. 409
5.12. Absorberlar konstruksiyalari 410
5.12.1. Absorbsion qurilmalar gidravlik qarshiligi 436
5.13. Absorberlarni hisoblash. 440

HAYDASH VA REKTIFIKATSIYA

5.14. Umumiy tushunchalar 463
5.15. Haydash va rektifikatsiya jarayonlarining nazariy asoslari 463
5.16. Oddiy haydash 467
5.17. Rektifikatsiya 470
5.17.1. Rektifikatsiya jarayonining moddiy va issiqlik balanslari 471
5.17.2. Uzluksiz ishlaydigan rektifikatsion kolonnaning issiqlik balansi. 473
5.17.3. Haqiqiy flegma soni. 475
5.17.4. Rektifikatsion kolonna ishchi balandligi va tarelkalar sonini hisoblash 475
5.18. Rektifikatsiya jarayonini tashkil etish usullari. 476
5.19. Rektifikatsion kolonnalarni hisoblash. 478

«SUYUQLIK–SUYUQLIK» SISTEMASIDA EKSTRAKSIYALASH

5.20. Umumiy tushunchalar 494
5.21. «Suyuqlik - suyuqlik» sistemasining muvozanati. 495
5.22. Ekstraksiya jarayonida massa o'tkazish 497
5.23. Ekstraksiya jarayonini tashkil etish usullari 498
5.24. Ekstraktorlar konstruksiyalari. 502
5.25. Ekstraktorlarni hisoblash 508

«QATTIQ JISM – SUYUQLIK» SISTEMASIDA EKSTRAKSIYALASH

5.26. Umumiy tushunchalar 518
5.27. Eritish jarayoni statikasi va kinetikasi 518
5.28. Ishqorlab ajratish ekstraktorlarining konstruksiyalari 521
5.29. Eritkichlarni hisoblash 525

ADSORBSIYA

5.30. Umumiy tushunchalar 529
5.31. Adsorbentlar turlari va xarakteristikalari 530

5.32. Adsorbsiya jarayoni muvozanati 532
5.33. Adsorbsiya statikasi va kinetikasi 533
5.34. Adsorbsiya jarayonini tashkil etish usullari 536
5.35. Desorbsiya 536
5.36. Adsorberlar konstruksiyalari 537
5.37. Adsorberlarni hisoblash 544
5.38. Ion almashinish jarayonlari va qurilmalari 555

QURITISH
5.39. Umumiy tushunchalar 561
5.40. Ramzinning nam havo I-x diagrammasi 562
5.41. Quritish jarayoni statikasi 566
5.42. Material bilan namlikning bog'lanish usullari 567
5.43. Quritish jarayoni kinetikasi 569
5.44. Quritkichning moddiy va issiqlik balanslari 576
5.45. Quritish jarayonini tashkil etish usullari 582
5.46. Quritkichlar konstruksiyalari 583
5.47. Quritkichlarni hisoblash 595

KRISTALLANISH
5.48. Umumiy tushunchalar 608
5.49. Kristallanish statikasi va kinetikasi 608
5.50. Kristallanish usullari 611
5.51. Kristallizatorlar konstruksiyalari 612
5.52. Kristallizatorlarni hisoblash 617

6-bob. BIOKIMYOVIY JARAYONLAR
6.1. Umumiy tushunchalar 620
6.2. Fermentatsiya jarayoni kinetikasi 623
6.3. Fermentatsiya jarayonida massa almashinish 625
6.4. Fermentatorlar konstruksiyalari 626
6.5. Mikrobiologik sintez asosida mahsulot ishlab chiqarishning umumlashgan texnologik sxemasi 628
6.6. Fermentatsiya jarayonining tavsiflari va texnologik sxemalari 629

7-bob. MEXANIK JARAYONLAR
QATTIQ MATERIALLARNI MAYDALASH VA KLASSIFIKATSIYALASH
7.1. Umumiy tushunchalar 635
7.2. Sochiluvchan materiallar mexanikasining asoslari 636
7.3. Maydalash usullari 638
7.4. Maydalagichlar konstruksiyalari 640
7.5. Donador, sochiluvchan materiallarni klassifikatsiyalash 650
7.6. Qattiq materiallarni maydalashning maxsus usullari 654
7.7. Maydalagichlarni hisoblash 655

8-bob. GRANULLASH VA PRESSLASH
8.1. Umumiy tushunchalar 665
8.2. Suvsizlantirish va briketlash 665
8.3. Shakllantirish 666
8.4. Mahsulotlarni presslash uskunalari 667
8.5. Granullash usullari va granulyator konstruksiyalari 671
8.6. Sochiluvchan materialni granullashga moyilligini baholash 678
8.7. Granulyatorlarni hisoblash 680

9-bob. KIMYOVIY JARAYONLAR
9.1. Umumiy tushunchalar 694
9.2. Kimyoviy aylanishlar davridagi muvozanat 694

9.3. Kimyoviy jarayonlar kinetikasi 698
9.4. Kimyoviy jarayonlar moddiy va issiqlik balanslari 704
9.5. Kimyoviy jarayonlar prinsipial sxemalari 706
9.6. Reaktorlar konstruksiyalari 707
9.7. Reaktorlarning aralashtirish va issiqlik almashinish moslamalari 709
9.8. Reaktorlarni hisoblash 711

10-bob. SOVITISH JARAYONLARI

10.1. Umumiy tushunchalar 729
10.2. Sovuqlik olishning termodinamik asoslari 729
10.3. Sun'iy sovitish usullari 731
10.4. Past temperatura olish usullari 735
10.5. Kompressor bug' sovitish mashinalari 736
10.6. Ikki va uch bosqichli sovitish mashinalari 739
10.7. Sovuqlik eltkichlar 740
10.8. Kaskadli sikl 742
10.9. Kompressor qurilmalarining jihozlari 742
10.10. Absorbsion sovitish mashinalari 743
10.11. Suv-bug' injektor sovitish mashinalari 744
10.12. O'ta past temperaturali sovuqlik olish 745
10.13. Gazni drossellash sikllari 746
10.14. Bir karra drossellanishli va ammiakli sovitish sikli 747
10.15. Ikki karra drossellanishli va gazning bosim ostidagi aylanishli sikli 748
10.16. Drossellanish va gazni detanderda kengayishiga asoslangan sikllar 749
10.17. Past bosim sikli (Kapitsa sikli) 751
10.18. Chuqur sovitish sikllarini solishtirish 752
10.19. Perspektiv sovitish usullari 753
10.20. Sovitish jarayoni va mashinalarini hisoblash. 758

11-bob. KIMYO SANOATINING ENERGOTEXNOLOGIYA ASOSLARI

11.1. Umumiy tushunchalar 766
11.2. Energokimyo-texnologik sistemalarni (EKTS) termodinamik tahlil qilish usullari 766
11.3. Eksergiya turlari 771
11.4. Eksergetik holat diagrammalari 774
11.5. Eksergetik yo'qotilish turlari. 775
11.6. EKTS va elementlarining eksergetik balansi va foydali ish koeffitsiyenti. 777
11.7. Eksergetik unumdorlik va quvvat 779
11.8. Termodinamik sistemalar energetik va eksergetik xarakteristikalari o'rtasidagi bog'liqlik 780
11.9. EKTS umumiy ko'rsatkich va elementlarning xarakteristikalari orasidagi bog'liqlik. 782
11.10. Kimyoviy texnologiya jarayonlarining eksergetik tahlili 783
11.11. EKTS tahlili va termodinamik optimallash. 787
11.12. **Jarayon va qurilmalar eksergiyasini hisoblash** 788

ILOVALAR 794
I1. Fizik kattaliklar o'lchov birliklari sistemasi 795
I2. Asosiy konstruksion materiallar va ularning xossalari 797
GLOSSARIY A dan YA gacha 807
TEXNIK ATAMALAR va IBORALAR 826
ADABIYOTLAR 841

KIRISH

O‘zbekiston mustaqil milliy demokratik davlat sifatida rivojlanish yo‘lida muhim qadamlaridan biri «**Ta’lim to‘g‘risida**» gi yangi Qonun hamda «**Kadrlar tayyorlash Milliy dasturi**» ning qabul qilinishi katta ahamiyatga ega. Vatanimiz xalq xo‘jaligi uchun malakali mutaxassislar tayyorlashda «Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalari» fanining alohida o‘rni bor.

Bu fan talabalarga ixtisoslik fanlarini chuqur o‘zlashtirishga, qay yo‘l bilan ishlab chiqarish intensivligini oshirish va texnologik qurilmalardan unumli foydalanish mumkinligini o‘rgatadi.

Darslikda keltirilgan jarayonlar nazariy asoslari, ularni hisoblash usullari va samarador qurilmalar bilan jihozlash prinsiplari ushbu fan asosini tashkil etadi.

Ushbu darslik zamonaviy texnika va uning rivojlanish istiqbollarini hisobga olgan holda malakali mutaxassislarni sifatli tayyorlashda uzluksiz mukammallashtirishga xizmat qiladi.

Oxirgi o‘n yil ichida kimyo, neft va gazni qayta ishlash, oziq-ovqat hamda boshqa sanoatlarda keskin o‘zgarishlar ro‘y berib, yangi texnologiyalar amalda qo‘llanib, rivojlanish boshlandi. Bunday o‘zgarishlar jarayon va qurilmalar fanini yanada yuqori darajaga ko‘tarilishiga sababchi bo‘ldi. Ushbu fanning bunday yuqori saviyaga ko‘tarilishiga hisoblash texnikasining gurkirab rivojlanishi ham o‘z hissasini qo‘shdi, chunki u jarayon va qurilmalarni o‘rganish, modellashtirish va hisoblash ishlarini misli ko‘rilmagan imkoniyatlarini yaratdi.

Zamonaviy kimyo, neft va neft-gazni qayta ishlash korxonalari mamlakatimiz iqtisodiyoti uchun zarur bo‘lgan xilma-xil mahsulotlarni olish uchun mo‘ljallangan murakkab texnologik qurilma, mashina va uskunalar majmuasini aks ettiradi. Bu texnologik uskunalar konstruksiyasi va qo‘llanishi bo‘yicha turlicha bo‘lgan mashina, qurilma va transport, shuningdek, avtomatik rostlash, nazorat qilish vositalarini o‘z ichiga oladi va bularning hammasi umumlashgan holda ***uskunalar*** deb ataladi.

Tavsiya etilayotgan darslik fanning tasdiqlangan dasturiga binoan tuzilgan bo‘lib. talabalarning fizika, kimyo, matematika, termodinamika, chizma geometriya, materiallar qarshiligi, mexanizm va mashinalar nazariyasi, texnik chizmachilik, issiqlik va sovitish texnikasi hamda boshqa fanlardan olgan bilimlarini hisobga olgan.

«Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalar» fani talabalarga ixtisoslik fanlarini chuqur o‘zlashtirishga, qanday yo‘l bilan ishlab chiqarish intensivligini oshirish va texnologik qurilmalardan unumli foydalanish mumkinligini o‘rgatadi.

Darslikda keltirilgan turli jarayonlarning nazariy asoslari, ularni hisoblash usullari va samarador qurilmalar bilan jihozlash uslublari ushbu fan negizini tashkil etadi.

Oxirgi o‘n yil ichida Vatanimizda bir necha yirik korxonalar: Sho‘rtan gaz-kimyo majmuasi, Qo‘ng‘irot soda zavodi, Dehqonobod kaliyli o‘g‘itlar zavodlari ishga tushirildi va uzluksiz ravishda mahsulot chiqarib kelmoqda. Undan tashqari, mamlakatimizning Qoraqalpog‘iston hududida dunyodagi eng yirik loyihalardan biri

amalga oshirilmoqda, ya'ni «Ustyurt gaz-kimyo majmuasi» qurilmoqda va ilk bor mahsulot chiqarishi 2016-yilga rejalashtirilgan.

Neft-gaz va kimyo sanoatida keskin o'zgarishlar ro'y berib, yangi texnologiyalar amalda qo'llanib, rivojlanish jadal sur'atlarda bormoqda va mamlakatimiz iqtisodiyatining o'sish ko'rsatkichlarini yuqori bo'lishini ta'minlamoqda.

Har bir jarayonni o'rganishda uning statikasi va kinetikasiga. ya'ni o'rganilayotgan sistemaning muvozanat nisbatlari va jarayon mexanizmiga alohida e'tibor berish zarur.

Tavsiya etilayotgan darslik fanning tasdiqlangan dasturiga binoan tuzilgan bo'lib, talabalarning fizika, kimyo, matematika, termodinamika, issiqlik va sovitish texnikasi va boshqa fanlardan olgan bilimlarini hisobga olgan.

Darslikning kirish qismida «Jarayon va qurilmalar» fanining mazmuni, kelib chiqishi va jarayonlar klassifikatsiyalari berilgan.

1-bobda gaz, suyuqlik, xomashyo va mahsulotlarning asosiy fizik-mexanik va issiqlik-diffuzion xossalari, o'xshashlik nazariyasi asoslari, o'xshashlik teoremalari va shartlari, o'lchov birliklar tahlil usuli hamda jarayon va qurilmalar tahlilining asosiy prinsiplari, mashina va qurilmalarga qo'yiladigan talablar keltirilgan.

2-bob gidravlika asoslari, ya'ni suyuqliklar gidrostatika va gidrodinamikasi, suyuqlik harakatining asosiy xarakteristikalari, truba quvurlaridagi gidravlik qarshilik, ularning optimal diametrini aniqlash, qattiq jismlarning suyuqlikdagi harakati, nasos va kompressor mashinalarining tuzilishi, ishlash prinsipi va ularni tanlashga bag'ishlangan.

Keyingi 3-bobda gidromexanik jarayonlar, ya'ni turli jinsli gazsimon va suyuqlik aralashmalarini ajratishga bag'ishlangan. Bunda tindirish va cho'ktirish, filtrlash, gazlarni tozalash, mavhum qaynash qatlami gidrodinamikasi, aralashtirish, teskari osmos va ultrafiltrlash kabi jarayonlar o'rganiladi. Har bir bo'lim oxirida ushbu jarayonni intensivlash yoki qurilmani hisoblash uslubi keltirilgan.

4-bob butunlay issiqlik almashinish jarayonlar nazariyasi, uni tashkil etish usullari va qurilmalariga bag'ishlangan. Undan tashqari, ushbu bobda isitish, sovitish, bug'latish va kondensatsiyalash jarayonlari, issiqlik eltkichlar turlari va ushbu jarayonlarning asosiy teorema va qonuniyatlari hamda eritmalarni bug'latish usullari va qurilmalari ko'rib chiqilgan. Shu bilan birga, bu bobda issiqlik almashinish jarayonlarini intensivlash usullari, moslamalari va perspektiv issiqlik almashinish qurilmalari keltirilgan. Ushbu bobning yakunida turli issiqlik almashinish qurilmalarini hisoblash ketma-ketligi berilgan.

Massa almashinish jarayon va qurilmalari 5-bobda bayon etilgan. Unda jarayonning nazariy asoslari bilan birga, absorbsiya, haydash va rektifikatsiya, ekstraksiya, adsorbsiya, quritish, kristallanish kabi jarayonlar va ularni qurilmalar bilan jihozlash tizimlari ko'rsatilgan.

6-bobda biokimyoviy jarayonlarda massa almashinish nazariyasi va uni o'tkazish uchun qurilmalar konstruksiyalari, tuzilishi va ishlash prinsiplari hamda jarayonning umumlashgan texnologik sxemalari keltirilgan.

7,8-boblar mexanik jarayonlarga bag'ishlangan. Ularda qattiq jismlarni maydalash usullari, jarayonlarning nazariy asoslari, klassifikatsiyalash, granullash va presslash hamda bu jarayonlarga tegishli qurilmalar konstruksiyalari va ularni hisoblash uslublari berilgan.

Kimyoviy jarayonlar 9-bobda bayon etilgan bo'lib, unda jarayon muvozanati, kinetikasi, tashkil etish usullari va reaktorlar konstruksiyalari hamda reaktorlarning

aralashtirish, issiqlik almashinish moslamalari va bu turdagi qurilmalarning hisoblash ketma-ketliklari keltirilgan.

10-bobda sun'iy sovuqlik olish, ya'ni o'rta va o'ta past temperaturalar olish usullari va qurilmalari bayon etilgan.

11-bobda kimyo sanoatining energotexnologiya asoslari, eksergiya, kimyoviy texnologiya jarayonlarining eksergetik tahlili va termodinamik optimallash hamda qurilmalar eksergiyasining hisobi keltirilgan. Jumladan, kitobning ilova qismida fizik kattaliklar o'lcham birliklari sistemasi, asosiy konstruksion materiallar va ularni tanlash uchun jadvallar berilgan.

Har bob unga tegishli qurilmalarni hisoblash bilan yakunlanadi.

Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalarining nazariyasi, hisoblash empirik tenglamalari, qurilmalar konstruksiyalari va detallari to'g'risidagi to'liq ma'lumotlar quyidagi darsliklar va o'quv qo'llanmalarda batafsil keltirilgan:

1. Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov H.S. va boshqalar. «Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarning jarayonlari va qurilmalari fanidan hisoblar va misollar». – Toshkent, Nisim, 1999. – 351 b.

2. Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov H.S., Zokirov S.G'. va boshqalar. «Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarining asosiy jarayon va qurilmalarini hisoblash va loyihalash». – Toshkent, Jahon, 2000. – 266 b.

3. Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov H.S., Zokirov S.G'. Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalari. – T.: «Sharq», 2003. – 644 b.

4. Nurmuhamedov H.S., Abdullayev A.Sh., Nig'madjonov S.K. va boshqalar. Neft va kimyo sanoati mashina va qurilmalarini hisoblash va loyihalash. – T.: Fan va texnologiyalar, 2008. – 351 b.

5. Nurmuhamedov H.S., Zokirov S.G'., Babayev Z.K. va boshqalar. Gidravlika, gidromashina va gidroyuritmalar. – T.: Fan va texnologiyalar, 2012. – 302 b.

6. Nurmuhamedov H.S., Zokirov S.G'., Abdullayev A.Sh., Nig'madjonov S.K. va boshqalar. Neft va kimyo mashinasozligi texnologiyasi. – T.: Fan va texnologiyalar, 2013. –218 b.

7. Nurmuhamedov H.S., Babayev Z.K., Matchonov Sh.K., Karimov K.F., Abdullayeva S.Sh. va boshqalar. Neft-gaz va kimyo sanoati qurilmalarini ta'mirlash va montaj. – T.: Fan va texnologiyalar, 2014. –236 b.

Yuqorida qayd etilgan 1, 2 va 4 kitoblar ushbu darslikning amaliy qismi deb hisoblasa bo'ladi.

Ushbu darslik ToshkTI «Kimyoviy texnologiya jarayon va qurilmalari» kafedrasi professor-o'qituvchilarining ko'p yillik tajribasiga tayanib yozilgan. Kitobning kirish, 1,3,5,6-boblari va glossariy O'zR FA akad. Yusupbekov N.R., 4,5,7,8,9-boblari va darslikning yakunidagi tayanch so'z va iboralar prof. Nurmuhamedov H.S. va 4,10,11-boblari esa - prof. Zokirov S.G'. lar tomonidan yozilgan.

Darslikning sifatini yaxshilash uchun qaratilgan taklif va tanqidiy fikr-mulohazalar mamnunlik bilan qabul qilinadi.

1. «Jarayon va qurilmalar» fanining mazmuni va mohiyati

«Jarayon va qurilmalar» bakalavrlarni tayyorlashda umummuhandislik fani bo'lib, «Kimyoviy texnologiya», «Texnologik mashina va jihozlar» va ko'pgina boshqa ta'lim yo'nalishlaridagi maxsus fanlarni o'rganishga o'tishda eng muhim vazifani bajaruvchi fandir.

Hozirgi kun fanining aniqlovchi va tavsiflovchi belgilaridan biri bu sanoat va texnikaning fan bilan uzviy bog'liqligining chuqurlashishi va kengayishidir. Dunyoning ko'pchilik taniqli olimlari fan va uning amaliyotda qo'llanishi bir butun va uzviy bog'liq ekanligini ta'kidlashgan.

«Jarayonlar va qurilmalar» fani haqidagi zamonaviy ta'lim kimyo, fizika, matematika, mexanika, issiqlik va sovuqlik texnikasi, elektrotexnika, kimyoviy kibernetika, materialshunoslik, sanoat iqtisodiyoti va boshqa sohalar fundamental fanlarining asosiy qonunlariga tayanadi. Lekin jarayonlar va qurilmalar to'g'risidagi ta'lim fan sifatida aniq, alohida kurs bo'lib, o'zining tajriba, hisoblash uslublari hamda nazariy qonuniyatlari bilan ajralib turadi.

Kimyo, oziq-ovqat, neft va neft mahsulotlarini qayta ishlash, farmasevtika va xalq xo'jaligi sanoatlarining boshqa tarmoqlari uchun umumiy bo'lgan jarayonlar va qurilmalar **asosiy jarayonlar va qurilmalar** deb ataladi.

Istalgan kimyoviy yoki boshqa texnologik jarayon, uning turli uslublarda o'tkazilishidan qat'i nazar, o'zaro bir-biriga bog'liq tipik texnologik bosqichlar majmuasidan iborat.

«Jarayon va qurilmalar» kursida asosiy jarayonlarning nazariyasi, ushbu jarayonlarni amalga oshiradigan mashina va qurilmalarning tuzilish prinsiplari va ularni hisoblash uslublari o'rganiladi.

Ma'lumki, kimyo, oziq-ovqat va boshqa sanoat texnologiyalari murakkab va ko'pincha bir necha jarayonlardan tashkil topgan bo'ladi.

Ushbu darslikda asosiy jarayonlar asoslari keltirilgan bo'lib, ularni o'rganish uchun bir xil kinetik qonuniyatlar qo'llanilgan.

Zamonaviy sanoat ishlab chiqarish jarayonlarini loyihalashda «Jarayon va qurilmalar» fanining ahamiyati katta. Bu fan asosida turli xil jarayonlarning hisoblash va tahlil qilish, ularning optimal parametrlarini aniqlash, zarur qurilmalarni hisoblash va loyihalash mumkin. Undan tashqari, ushbu kursda laboratoriya sharoitidagi ilmiy izlanish va tajribalar qilingan jarayon va qurilmalardan sanoat jarayon va qurilmalariga **masshtab** usulida o'tish qonuniyatlari ham o'rganiladi. Bu qonuniyatlarni bilish, ko'p tonnalik sanoat jarayon va qurilmalarini loyihalashga yordam beradi va zarur.

Laboratoriya sharoiti va kichik sistemalarda olingan tajribaviy natijalardan sanoat va katta kimyoviy texnologik sistemalarda foydalanish qonuniyatlari **modellashtirish** deb yuritiladi.

Modellashtirish «jarayon va qurilmalar» fanining muhim vazifalaridan biri va ajralmas qismi deb hisoblanadi. «Kimyoviy texnologiya va biotexnologiya», «Oziq-ovqat mahsulotlari texnologiyasi», «Don va don mahsulotlarini qayta ishlash texnologiyasi», «Neft va neft mahsulotlarini qayta ishlash texnologiyasi», «Atrof-muhit muhofazasi», «Kasbiy ta'lim» yo'nalishlaridagi bakalavrlar keng muhandislik dunyoqarashga ega mutaxassislar bo'lishi kerak.

Undan tashqari, ular jarayonlarni texnologik qurilmalar bilan jihozlashning ilmiy prinsiplarini tushunishi, qurilmalarni texnik-iqtisodiy xarakteristikalarini tahlil

qilish, baholash va eng optimal qurilmani tanlash, jarayonlar samaradorligini va tejamkorligini oshirish omillarini aniqlash, energiya sarfini va mahsulot tannarxini kamaytirish yo'llarini bilishlari kerak.
Undan tashqari, bakalavrlar sanoat samaradorligini oshirish uchun ilmiy tadqiqot usullarini mukammal bilishlari zarur.

2. «Jarayon va qurilmalar» fanining kelib chiqishi va rivojlanishi

«Jarayon va qurilmalar» fanining kelib chiqishi kimyo sanoatining rivojlanishi bilan bog'liq bo'lib, XVIII asr oxiri va XIX asrning boshlariga to'g'ri keladi va juda qisqa vaqt ichida ko'pchilik mamlakatlar xalq xo'jaligining muhim tarmoqlaridan biriga aylandi. Kimyo sanoatining rivojlanishi bilan turli sanoatdagi jarayonlarni umumlashtiruvchi, mashina va qurilmalarning hisobini ratsional hal etuvchi fanga ehtiyoj kuchaydi.

Ushbu fanni kelib chiqishida Rossiya, AQSH olim va muhandislarining hissalari katta. Birinchi bo'lib, 1828-yilda kimyo sanoatining turli sohalarida qo'llaniladigan asosiy jarayon va qurilmalarning umumiy qatori to'g'risidagi g'oyani prof. F.A.Denisov bildirdi. So'ng esa, D.I.Mendeleyev kimyoviy texnologiya asosiy jarayonlarining klassifikatsiyasini tuzib chiqdi. XIX asrning oxirida Sankt-Peterburg texnologiya institutining professori A.K.Krupskiy «Asosiy jarayonlar va qurilmalarni hisoblash va loyihalash» fani bo'yicha ma'ruza o'qiy boshladi.

Undan keyin, Moskva oliy texnika universiteti (MVTU) da prof.I.A.Tishenko ushbu fan bo'yicha ma'ruza o'qiydi. Shuning uchun, professorlar A.K.Krupskiy va I.A Tishchenkolar «Jarayonlar va qurilmalar» fanining asoschilari hisoblanadi.

1923-yili AQSH olimlari Uoker, Lyuis va Mak-Adamslarning «Jarayon va qurilmalarning prinsiplari» nomli kitobi chop etiladi.

«Jarayon va qurilmalar» to'g'risidagi fanning ayrim bo'limlarini ishlab chiqishda prof.I.A.Tishenko (bug'latish qurilmalarini hisoblash nazariyasi), prof.D.P.Konovalov (suyuq aralashmalarni haydashning nazariy asoslari), prof.L.F.Fokin va prof.K.F Pavlov (original va chuqur mazmunli monografiyalari) katta hissa qo'shishdi. 1935-yilda prof.A.G. Kasatkin tomonidan «Kimyoviy texnologiyaning asosiy jarayonlari va qurilmalari» darsligining chop etilishi, uni fan sifatida tan olinishida va rivojlanishida muhim ahamiyatga ega bo'ldi.

Prof.D.P.Konovalov kimyoviy texnologiya fanining asosiy vazifasini quyidagicha «Kimyoviy texnologiyaning eng asosiy vazifasi shundaki, u jarayonlar o'tishi uchun eng qulay shart-sharoitlarni topish va ularga mos sanoat asboblari va mexanik uskunalarni loyihalashtirish» - deb belgilagan.

Rossiyada jarayon va qurilmalar fani D.I.Mendeleyev nomli kimyo-texnologiya institutida alohida rivoj topdi. Bu institutdagi ilmiy maktablarga A.G. Kasatkin, V.V.Kafarovlar rahbarlik qilishgan; MIXMda - A.N. Planovskiy; M.V.Lomonosov nomli MITXTda - N.I. Gelperin.

Ilmiy maktablar Lensovet nomli LTI da (P.G.Romankov), KTIPP da (V.N.Stabnikov, V.M.Lisyanskiy) ham tashkil etilgan.

«Jarayon va qurilmalar» fani O'zbekistonda o'tgan asrda ilk bor rivoj topa boshladi. 1950–60-yillarda Abu Rayhon Beruniy nomidagi Toshkent politexnika instituti (ToshPI) ning kimyo-texnologiya fakultetida «jarayonlar va qurilmalar» faniga alohida e'tibor berildi.

ToshPIning yetuk olimlari M.I.Niyozov, N.U.Rizayev, I.P.Levsh, O.B.Yerofeyeva va X.T.Toshpo'latovlar fanning turli bo'limlari bo'yicha ilmiy maktablar tashkil etishdi. O'tgan asrning 70–80-yillarida shu darslik mualliflari N.R.Yusupbekov, S.G'.Zokirov hamda Sh.M.G'ulomov, O.K.Ubaydullayev, V.I.Levsh va boshqalar jarayon va qurilmalar fani bo'yicha yangi yo'nalishlarga ilmiy rahbarlik qilishdi, katta yutuqlarga erishishdi, o'z ilmiy maktablarini tashkil etishdi va shu kungacha faol ishlab kelishmoqda.

80–90-yillarda M.M.Yusupov (ion almashinish jarayonining nazariy asoslari), Sh.N.Nuritdinov (qattiq faza ishtirokidagi massa almashinish jarayonlarini modellash), H.S.Nurmuhamedov (oqimchali mavhum qaynash qatlamida quritish va tezkor usulda granullash), U.V.Mannanov (murakkab reaksion-rektifikatsion jarayonlarida issiqlik.va massa almashinish) lar doktorlik dissertatsiyalarini yoqlashdi va shu kungacha o'z izlanishlari bilan jarayon va qurilmalar fanining rivojlanishiga o'z hissalarini qo'shishmoqda.

3. Asosiy texnologik jarayonlar klassifikatsiyasi

Jarayon va qurilmalar fanining rivojlanishi texnologik jarayonlarning ilmiy asoslangan klassifikatsiyasi va tushunchalar sistemasini yaratish imkonini berdi. Shuning uchun sanoat jarayoni, texnologiya va texnologik qurilma, mashina kabi asosiy tushunchalarni ko'rib chiqamiz.

Sanoat jarayoni* – ma'lum natijaga erishish uchun amalga oshiriladigan ketma-ket harakatlarning majmuasi va yig'indisi.

Texnologiya – bu xomashyodan avvaldan belgilangan xossalarga ega mahsulot olish maqsadida o'tkaziladigan bir qator usullardir. Texnologiyaning fan sifatidagi maqsadi eng samarador va tejamkor texnologik jarayonlarni aniqlash va amaliyotda qo'llash uchun fizik, kimyoviy, mexanik va boshqa qonuniyatlarini o'rganishdir.

Texnologik qurilma – texnologik jarayonlarni o'tkazish uchun mo'ljallangan **qurilma****, **uskuna** yoki **moslama** *yoki* **jihoz**.

Mashina – energiya yoki materialni o'zgartirish uchun mexanik harakat qiladigan **uskuna** yoki **moslama.**

Kimyo va boshqa texnologiyalarni ko'p qirrali, turli asosiy jarayonlarning o'tish qonuniyatlariga qarab asosan 6 guruhga ajratsa bo'ladi: 1) ***gidromexanik*** jarayonlar; 2) ***issiqlik almashinish*** jarayonlar; 3) ***massa almashinish*** jarayonlar; 4) ***mexanik*** jarayonlar; 5) ***kimyoviy va biokimyoviy*** jarayonlar; 6) ***sovitish*** jarayonlar.

GIDROMEXANIK JARAYONLAR – bu shunday jarayonlarki, ularning tezligi mexanika va gidrodinamika qonunlari bilan belgilanadi.

Ularga truba va qurilmalarda gaz va suyuqliklarni uzatish, suyuqliklarni aralashtirish, emulsiya va suspenziyalarni cho'ktirish, filtrlash, sentrifugalash kabi usullarida ajratish, teskari osmos va ultra-filtrlash, donador, sochiluvchan materiallarni mavhum qaynashi kabi jarayonlar kiradi.

Har bir sanoatda qaysi jarayon bo'lishidan qat'i nazar, uning tezligini oshirishga harakat qilinadi, chunki jarayon tezligini ko'payishi qurilmaning ish unumdorligini o'sishiga olib keladi. Gidromexanik, issiqlik va massa almashish

---

* processus (lotincha) – **harakat**

** apparatus (lotincha) – **qurilma**

hamda kimyoviy jarayonlarning kinetik qonuniyatlari quyidagi umumiy qonun ko'rinishida ifodalanishi mumkin: **jarayonning tezligi harakatlantiruvchi kuchga to'g'ri va qarshilikka teskari proporsional.**

Agar qarshilikka teskari kattalikni tezlik koeffitsiyenti deb belgilasak, gidromexanik jarayonlar uchun kinetik tenglama ushbu ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta P}{R_1} = K_1 \cdot \Delta P$$

bu yerda, V – oqib o'tadigan suyuqlik miqdori; F – ko'ndalang kesim yuzasi; τ – vaqt; K_1 – jarayon tezlik koeffitsiyenti; ΔP – jarayonni harakatga keltiruvchi kuch (bosimlar farqi); R_1 – gidravlik qarshilik.

ISSIQLIK ALMASHINISH JARAYONLARI – bu shunday jarayonlarki, ularda temperaturasi yuqori jism (yoki muhit) dan temperaturasi past jismga (yoki muhitga) issiqlik o'tadi. Ularga isitish, pasterizatsiya, sterilizatsiya, sovitish, bug'latish, kondensatsiyalash va boshqalar kiradi. Issiqlik almashinish jarayonlarining tezligi issiqlik o'tkazish qonunlari bilan aniqlanadi va quyidagi kinetik tenglama orqali ifodalanadi:

$$\frac{dQ}{Fd\tau} = \frac{\Delta t}{R_2} = K_2 \cdot \Delta t$$

bu yerda, Q – o'tkazilgan issiqlik miqdori; F – issiqlik almashinish yuzasi; K_2 – issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti; R_2 – termik qarshilik; Δt – o'rtacha temperaturalar farqi.

MASSA ALMASHINISH YOKI DIFFUZION JARAYONLAR – bu shunday jarayonlarki, bunda konsentratsiyasi yuqori fazadan konsentratsiyasi past fazaga turli agregat holatlarda massa o'tadi. Bu jarayonlarga absorbsiya va desorbsiya, haydash va rektifikatsiya, adsorbsiya, ekstraksiyalash, erish, kristallanish, namlash, quritish, ion almashinish va boshqalar kiradi.

Massa almashinish jarayonlarning tezligi massa o'tkazish qonunlari bilan aniqlanadi va quyidagi kinetik tenglama orqali topiladi:

$$\frac{dM}{F \cdot d\tau} = \frac{\Delta C}{R_3} = K_3 \cdot \Delta C$$

bu yerda, M – o'tkazilgan massa miqdori; ΔC – jarayonni harakatga keltiruvchi kuch, o'rtacha konsentratsiyalar farqi; K_3 – massa o'tkazish koeffitsiyenti; R_3 – diffuzion qarshilik.

MEXANIK JARAYONLAR – bu shunday jarayonlarki, ularda qattiq jismlarning faqat mexanik o'zaro ta'sirida o'tadi. Ularga qattiq, sochiluvchan materiallarni maydalash, klassifikatsiyalash (sinflash), presslash, granullash va boshqalar kiradi.

KIMYOVIY VA BIOKIMYOVIY JARAYONLAR – bu shunday jarayonlarki, ularda moddalarning kimyoviy tarkibi va xossalari o'zgarishi bilan xarakterlanadi. Ushbu jarayonlarning tezligi kimyoviy kinetika qonunlari bilan aniqlanadi va quyidagi tenglama yordamida ifodalanadi:

$$\frac{dM}{Vd\tau} = K_4 \cdot f(c)$$

bu yerda, M – kimyoviy jarayon paytida o'tgan massa miqdori; V – reaktor (qurilma) hajmi; K_t – kimyoviy jarayon tezligi koeffitsiyenti; $f(c)$ – jarayonni harakatga keltiruvchi kuch bo'lib, reaksiyada ishtirok etuvchi moddalar konsentratsiyalarining funksiyasidir.

Shunday qilib, yuqorida ko'rib chiqilgan hamma kinetik tenglamalar quyidagi umumiy ko'rinishga keltirilishi mumkin:

$$I = l\,x$$

bu yerda, I – jarayonni o'tish tezligi; x – jarayonni harakatga keltiruvchi kuch, turli kattaliklar farqi (bosim, temperatura, konsentratsiya); l – o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, biror jarayon uchun skalyar kattalik bo'lib, qarshilikka teskari kattalik.

Turli jarayonlarning tezlik koeffitsiyentlari asosan material oqimlarining harakat tezligiga bog'liq. Shuning uchun, hamma kinetik qonuniyatlar material oqimlarining harakat qonunlariga asoslanadi.

Kinetik tenglamalar tahlili jarayonni intensivlashning umumiy prinsiplarini aniqlash imkonini beradi. *Jarayon tezligini oshirish uchun harakatga keltiruvchi kuchni oshirish va qarshilikni kamaytirish kerak.*

Istalgan jarayon tahlil qilinganda «harakatga keltiruvchi kuch» asosiy omildir.

Jarayonlarning kinetik qonuniyatlarini bilish va to'g'ri aniqlash turli xildagi qurilmalarning asosiy o'lchamlarini topishda asos bo'ladi.

1-bob. UMUMIY QISM

Vatanimiz iqtisodiyotining turli sanoatlarida xilma-xil xomashyolar qayta ishlanadi va natijada qattiq, suyuq, bug‘ va gaz agregat holatlaridagi turli-tuman tayyor mahsulotlar olinadi. Ma’lumki, har bir jarayon va qurilmalarni hisoblash uchun xomashyo va mahsulotlarning xossalarini bilish zarur.

1.1. Xomashyo, material va mahsulotlarning asosiy xossalari

Xomashyoni qayta ishlash natijasida hosil bo‘lgan ko‘pgina kimyo va oziq-ovqat mahsulotlari turli jinsli sistemalardan tashkil topgan bo‘ladi. Ularning asosiy fizik-mexanik va diffuzion-issiqlik xossalari – zichlik, solishtirma og‘irlik, qovushqoqlik, sirtiy taranglik, issiqlik sig‘im va o‘tkazuvchanlik, temperatura o‘tkazuvchanlik va boshqalar bilan xarakterlanadi.

Zichlik. Hajm birligidagi V bir jinsli jismning massasi m zichlik ρ deb yuritiladi:

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1.1}$$

bu yerda, ρ – zichlik, kg/m^3; m – massa, kg; V – hajm, m^3.

Zichlik kattaligiga teskari bo‘lgan kattalik solishtirma hajm v deb yuritiladi:

$$v = \frac{V}{m} \tag{1.2}$$

bu yerda, v – solishtirma hajm, m^3/kg.

Nisbiy zichlik Δ deb modda ρ zichligining suv zichligi ρ_c nisbatiga aytiladi va u ushbu ko‘rinishga ega:

$$\Delta = \frac{\rho}{\rho_c} \tag{1.3}$$

Suyuq, toza moddalar eritmalarining zichligi erigan modda konsentratsiyasi va eritma temperaturasiga bog‘liq:

$$\rho = f(KM, T) \tag{1.4}$$

bu yerda, KM – quruq modda konsentratsiyasi, %; T – eritma temperaturasi, K.

Suyuqlik aralashmasining hajmini komponentlar hajmlarining yig‘indisiga teng deb qabul qilib, uning zichligini ushbu formuladan aniqlash mumkin:

$$\frac{1}{\rho_{ap}} = \frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} + \dots \tag{1.5}$$

bu yerda, x_1, x_2,... – komponentlarning massaviy ulushlari; ρ_{ap}, ρ_1, ρ_2, ... – aralashma va komponentlarning zichliklari, kg/m^3.

Suspenziya zichligi ρ_{sus} quyidagi formula yordamida hisoblab topiladi:

BUXORO MUH... INSTITUTI
ARM
REESTR № 10518
"___" _____ 201___ y

$$\frac{1}{\rho_{cyc}} = \frac{x}{\rho_к} + \frac{1-x}{\rho_c} \quad \text{yoki} \quad \rho_{cyc} = \rho_к \cdot x + \rho \cdot (1-x) \tag{1.6}$$

bu yerda, x – suspenziya tarkibidagi qattiq fazaning massaviy ulushi; $\rho_к$ va ρ_c – qattiq va suyuq fazalarning zichliklari, kg/m^3.

Qand qiyomi, meva va meva-rezavorlarning sharbati yoki shakarli sut kabi suyuqliklarning 20°C temperaturadagi zichligi ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\rho_{20} = 10 \cdot [1{,}42 \cdot x + (100 - x)] \cdot \rho \tag{1.7}$$

bu yerda, x – quruq moddalar konsentratsiyasi, %.

Agarda temperatura $20°C$ dan farqli bo'lsa, quyidagi formula qo'llaniladi:

$$\rho_t = \rho_{20} - 0{,}5(t - 20) \tag{1.8}$$

bu yerda, t – mahsulot temperaturasi, °C.

Tomat mahsulotlarining zichligi esa ushbu formulada hisoblanadi:

$$\rho = 1016{,}76 + 4{,}4 \cdot x - 0{,}53 \cdot t \tag{1.9}$$

a va b komponentlardan tashkil topgan binar, turli jinsli sistemalarning zichligi ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\rho = \left(\frac{m_a}{\rho_a} + \frac{m_b}{\rho_b} \right)^{-1} \tag{1.10}$$

bu yerda, m_a – aralashma tarkibida a komponentning massaviy ulushi; $m_b = 1 - m_a$ – aralashma tarkibida b komponentning massaviy ulushi; ρ_a va ρ_b - a va b komponentlarning zichliklari, kg/m^3.

Agarda binar, turli jinsli sistema $\rho_к$ bo'lgan qattiq zarrachalar va ρ_c bo'lgan suyuq, moddalardan tarkib topgan bo'lsa, uning zichligi quyidagi formuladan topiladi:

$$\rho = \left(\frac{m_к}{\rho_к} + \frac{1 - m_к}{\rho_c} \right)^{-1} \tag{1.11}$$

bu yerda, $m_к$ – aralashmadagi zarrachalarning massaviy ulushi.

Istalgan gazning T temperatura va P bosimdagi zichligi ushbu formulada hisoblanadi:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{T_0 \cdot p}{T \cdot p_0} = \frac{M}{22{,}4} \cdot \frac{273 \cdot p}{T \cdot p_0} \tag{1.12}$$

bu yerda, $\rho_0 = M/22{,}4$ – normal sharoitda (0°C va 760 mm.sim.ust.) gazning zichligi, kg/m^3; M – molyar massa, kg; T – temperatura, K.

Gaz aralashmasining zichligi esa quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\rho_{ap} = y_1 \cdot \rho_1 + y_2 \cdot \rho_2 + \ldots \quad (1.13)$$

bu yerda, y_1, y_2, ... – aralashma komponentlarining hajmiy ulushlari; ρ_1, ρ_2, ... – komponentlarning tegishli zichliklari, kg/m^3.

Sochiluvchan material va mahsulotlar zichligi odatda «to'kma» zichlik orqali ifodalanib, materialning qattiq zarrachalarining haqiqiy zichligi va ular orasidagi bo'shliqqa bog'liqdir:

$$\rho_t = (1 - \varepsilon) \cdot \rho_k \quad (1.14)$$

bu yerda, ρ_t – sochiluvchan materialning «to'kma» zichligi, kg/m^3; ρ_k – qattiq zarrachalarning haqiqiy zichligi, kg/m^3; ε – qatlam zarrachalari orasidagi bo'shliq

$$\varepsilon = \frac{V - V_o}{V} \quad (1.15)$$

bu yerda, V – donasimon qatlam hajmi, m^3; V_o – qatlamdagi zarrachalar egallagan hajm, m^3.

Oddiy sochiluvchan materiallar «to'kma» qatlamining bo'sh hajmi odatda ε = 0,38-0,42 ga tengdir.

Qattiq meva va meva-rezavorlarning fizik zichligi va «to'kma» zichliklari orasida quyidagi bog'liqlik bor:
olma va karam uchun

$$\rho_t = 0{,}55 \cdot \rho$$

qolgan xomashyolar uchun esa

$$\rho_t = 0{,}6 \cdot \rho$$

Paxta chigitining haqiqiy zichligini quyidagi formula yordamida hisoblab topish mumkin [13]:

$$\rho = 666{,}7 \cdot 0_n^{0{,}2} \quad (1.16)$$

Chigitning «keltirilgan» zichligi uning momiqligiga bog'liq bo'lib, son jihatdan 650...1110 kg/m^3 oraliqda bo'ladi [4,13].

Solishtirma og'irlik. Hajm V birligidagi suyuqlikning og'irligi G solishtirma og'irlik γ deyiladi:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1.17)$$

bu yerda, G – suyuqlik og'irligi, N; V – hajm, m^3; γ – solishtirma og'irlik, N/m^3.

Massa bilan og'irlik o'zaro quyidagicha bog'langan:

$$m = \frac{G}{g}$$

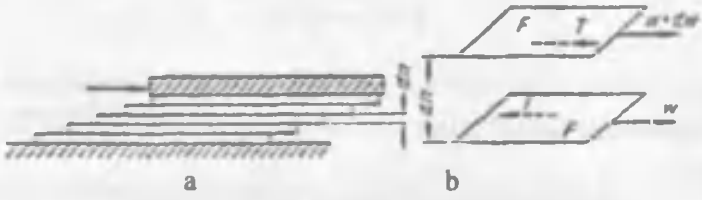
bu yerda, g = 9,81 m/s^2 – erkin tushish tezlanishi.

Massa miqdorini solishtirma og'irlik formulasiga qo'ysak, zichlik bilan solishtirma og'irlikning o'zaro bog'lanish nisbati quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (1.17a)$$

Qovushqoqlik. Haqiqiy suyuqlik harakati davrida ichki ishqalanish kuchlari hosil bo'lib, harakatlanishga qarshilik ko'rsatadi. Ushbu kuchlar bir-biriga nisbatan harakatlanayotgan suyuqlikning qo'shni qatlamlari orasida mavjud bo'ladi va ta'sir etadi. Suyuqlikning zarrachalari nisbiy harakati tufayli hosil bo'lgan kuchlanishga qarshilik ko'rsatish xossasiga ***qovushqoqlik*** deb ataladi.

Ikkita gorizontal parallel plastinalar orasidagi suyuqlik qatlamini tasavvur qilamiz (1.1-rasm). O'zgarmas tezlikda tepa plastinani ostkisiga nisbatan siljitish uchun qandaydir o'zgarmas urinma kuch ta'sir etishi kerak, chunki qovushqoq suyuqlik bunday harakatga qarshilik ko'rsatadi. Ushbu siljishda suyuqlik qatlamlari orasida urinma kuchlanish hosil bo'ladi. Plastinalar orasidagi butun suyuqlik qatlamini ***dn*** qalinlikka ega cheksiz ko'p elementar zarrachalardan tarkib topgan qatlamlardan iborat deb hisoblash mumkin. Qatlamlar tegib turgan yuzalari bo'ylab ishqalanish mavjud bo'lgani uchun istalgan qo'shni elementar qatlamlar orasida siljish kuchlanishi hosil bo'ladi. 1.1-rasmda ***F*** yuzaga ega bo'lgan ikkita parallel qatlam tasvirlangan. Chunonchi, pastki qatlam ***w*** tezlikda, tepa qatlam esa ***w+dw*** bo'lgan yuqori tezlikda harakatlanmoqda. Ikki qatlam orasidagi tezliklar farqi cheksiz kichik ***dw*** qiymatni tashkil etadi.



a b

1.1-rasm. Suyuqlik qovushqoqligiga oid.

Tajribalar shuni ko'rsatdiki, pastki qatlamga nisbatan bir tekisda siljishi uchun yuqori qatlamga urinma kuch ***T*** ta'sir etishi zarur. Qatlamlar orasida normal bo'yicha masofa birligiga to'g'ri keladigan tezlik o'zgarishini tavsiflovchi tezlik gradiyenti ***dw/dn*** qancha katta bo'lsa, urinma kuch ***T*** ham shunchalik ko'p miqdorda ta'sir etishi kerak. Undan tashqari, har bir ***T*** kuch qatlamlarning tegib turgan yuzasi ***F*** ga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni

$$|T| = \mu \cdot F \cdot \left|\frac{dw}{dn}\right| \qquad (1.18)$$

bu yerda, μ – xuddi shu suyuqlikka xos proporsionallik koeffitsiyenti.

$|T|$ ning qatlamlar bir-biriga tegib turgan yuzasi ***F*** nisbati ichki ishqalanish kuchlanishi yoki siljish kuchlanishi yoki urinma kuchlanish deb nomlanadi va u τ orqali belgilanadi. Unda (1.18) formula ushbu ko'rinishga keladi:

$$\tau = \mu \cdot \left|\frac{dw}{dn}\right| \qquad (1.18a)$$

Ichki ishqalanish kuchlanishi (siljish kuchlanishi) yoki urinma kuchlanish τ har doim musbat ishorali bo'lgani uchun, tenglamaning o'ng tomonida $|dw/dn|$ emas, balki tezlik gradiyenti ***dw/dn*** mavjud hollarda uning ishorasiga bog'liq. Bir-biriga nisbatan harakat qilayotgan plastina yuzalari ***F*** ga normal (perpendikular) ***p*** ni har doim tezlik kamayishi tomoniga o'tkazishni kelishib olamiz (1.1-rasm). Unda, tezlik gradiyenti manfiy bo'ladi va tenglama (18a) ushbu ko'rinishni oladi:

$$\tau = -\mu \cdot \frac{dw}{dn} \qquad (1.18b)$$

(1.18a) va (1.18b) tenglamalar Nyutonning ichki ishqalanish qonunini ifodalaydi. Bunga binoan, ***suyuqlik harakati jarayonida qatlamlar orasida hosil bo'ladigan ichki ishqalanish kuchlanishi tezlik gradiyentiga to'g'ri proporsionaldir.***

(1.18b) tenglamadagi manfiy ishora, urinma kuchlanish nisbatan yuqoriroq tezlikda harakat qilayotgan qatlam tezligining sekinlashishini bildiradi.

Nyuton qonunining boshqa bir talqini keyingi boblarda ushbu qonunning yana bir fizik ma'nosi ko'rib chiqilganligi keltirilgan.

(1.18), (1.18a) va (1.18b) tenglamalardagi proporsionallik koeffitsiyenti μ dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti, dinamik qovushqoqlik yoki qovushqoqlik deb ataladi.

Xalqaro o'lchov birligi (SI) sistemada dinamik qovushqoqlik quyidagi o'lchov birligida ifodalanadi:

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dw}{dn}} = \left[\frac{H}{m^2 \cdot \frac{m}{s \cdot m}}\right] = \left[\frac{H \cdot s}{m^2}\right] = [Pa \cdot s] \qquad (1.19)$$

Dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti μ ning suyuqlik zichligi ρ ga nisbati kinematik qovushqoqlik ν deyiladi:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \left[\frac{m^3}{s \cdot m^3 \cdot \frac{1}{m}}\right] = \left[\frac{m^2}{s}\right] \qquad (1.20)$$

bu yerda, ν – kinematik qovushqoqlik, m^2/s; μ – dinamik qovushqoqlik, Pa s.

Kinematik qovushqoqlik koeffitsiyentining fizik ma'nosi shundaki, harakatga keltiruvchi kuch bir o'lchov birligi bo'lganda bir-biridan 1 m masofada yuzasi $1m^2$ li parallel maydonlar orasidan hajmiy oqim bilan bir vaqt o'lchov birligida uzatilgan impulsni bildiradi.

20°C temperaturada ko'pchilik organik suyuqliklarning dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti quyidagi empirik formula yordamida hisoblansa bo'ladi [5]:

$$\lg(\lg \mu) = \left(\sum A \cdot n + \sum P\right) \cdot \frac{\rho}{10^3 \cdot M} - 2.9 \qquad (1.21)$$

bu yerda, h – atmosfera bosimi va 20°C da suyuqlikning dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti, MPa•s; ρ – suyuqlik zichligi, kg/m^3; M – mol massa, kg/kmol; A – organik birikma tarkibidagi bir xil atomlarning soni; n – atom molekulasi konstantasining son qiymatlari; p – atomlar orasidagi bog'liqlik xarakteri va guruhlashga kiritiladigan tuzatma qiymati.

Atom konstantalari n va tuzatma P larning qiymatlari ilovadagi 2-jadvalda keltirilgan [5].

Normal (assotsiatsiyalanmagan) suyuqliklar aralashmasining dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti h_{ar} ni ushbu formula orqali hisoblab aniqlash mumkin:

$$\lg \mu_{ar} = x_1 \cdot \lg \mu_1 + x_2 \cdot \lg \mu_2 + \ldots \qquad (1.22)$$

bu yerda, h_1, h_2, ... – komponentlarning dinamik qovushqoqlik koeffitsiyentlari; x_1, x_2, ... – aralashmadagi komponentlarning mol ulushi.

Suspenziyaning dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti quyidagi formula yordamida topilishi mumkin:

qattiq faza konsentratsiyasi 10% (hajm.) dan kam bo'lganda

$$h_{sus} = h_s \cdot (1 + 2{,}5 \cdot \varphi) \qquad (1.23)$$

qattiq faza konsentratsiyasi 10% (hajm.) dan ko'p bo'lganda

$$h_{sus} = h_s \cdot (1 + 4{,}5 \cdot \varphi) \qquad (1.24)$$

qattiq faza konsentratsiyasi 30% (hajm.) gacha bo'lganda

$$\mu_{sus} = \mu_c \cdot \frac{0,59}{(0,77-\varphi)^2} \tag{1.25}$$

bu yerda, h_s – toza suyuqlikning dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti; φ – suspenziya tarkibidagi qattiq fazaning hajmiy ulushi.

Ko'pchilik suyuqliklarning dinamik qovushqoqlik koeffitsiyentlari adabiyotlarda berilgan [5,8,17,25,55].

Biror t temperaturada sharbatlar, qiyomlar, quyultirilgan va xom sutlarning dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\mu_t = \frac{12,9 \cdot \mu}{t^{0,85}} \tag{1.26}$$

bu yerda, h – 20°C temperaturadagi dinamik qovushqoqlik.

Xom sut uchun

$$\mu_t = 0,7 \cdot exp(0,06 + 0,08 \cdot x) \tag{1.27}$$

bu yerda, x – quruq moddalar konsentratsiyasi.

O'simlik yog'larining dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti (mPa·s):

$$\mu_t = \frac{0,175}{10 \cdot exp(0,31 + 0,026 \cdot t)} \tag{1.28}$$

tomat mahsulotlari uchun (Pa·s):

$$\mu_t = 0,0199 \cdot x^{2,94} \cdot t^{-1,17} \tag{1.29}$$

Har xil temperaturalarda gazlarning dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti maxsus adabiyotlarda keltirilgan [25].

Gaz aralashmalarining dinamik qovushqoqlik koeffitsiyentini quyidagi taxminiy formula yordamida hisoblash mumkin:

$$\frac{M_{ar}}{\mu_{ar}} = \frac{y_2 \cdot M_1}{\mu_1} + \frac{y_2 \cdot M_2}{\mu_2} + \ldots \tag{1.30}$$

bu yerda, M_{ar}, M_1, M_2, ... – gaz aralashmasi va komponentlarning mol massasi; h_{ar}, h_1, h_2, ... – tegishli dinamik qovushqoqlik koeffitsiyentlari; y_1, y_2, ... – aralashmadagi komponentlarning hajmiy ulushlari.

Atmosfera bosimida bir qator gazlarning (koks, generator gazlari va boshqalar) dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti h_{ar} ni hisoblash uchun quyidagi empirik formulani ham qo'llash mumkin:

$$\mu_{ar} = \frac{y_1 \cdot \mu_1 \cdot \sqrt{M_1 \cdot T_{ar1}} + y_2 \cdot \mu_2 \cdot \sqrt{M_2 \cdot T_{ar2}} + \ldots}{y_1 \cdot \sqrt{M_1 \cdot T_{ar1}} + y_2 \cdot \sqrt{M_2 \cdot T_{ar2}} + \ldots} \tag{1.31}$$

bu yerda, h_{ar} – aralashmaning t temperaturadagi dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti; h_1, h_2, ... - t temperaturada komponentlarning dinamik qovushqoqlik koeffitsiyentlari; y_1, y_2 ... – komponentlarning

hajmiy ulushlari; M_1, M_2, ... – komponentlarning mol massalari; T_{kp1}, T_{kp2}, ... – komponentlarning kritik temperaturalari, K.

Har xil gazlar uchun $\sqrt{M \cdot T_{kp}}$ qiymatlari ilovadagi 3 - jadvalda berilgan [5].

Dinamik qovushqoqlik koeffitsiyentining temperaturaga bog'liqligi ushbu formula bilan ifodalanadi:

$$\mu_t = \mu_0 \frac{273+S}{T+S}\left(\frac{T}{273}\right)^{1.5} \qquad (1.32)$$

bu yerda, μ_t – 0^oC temperaturadagi dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti; T – temperatura, K; S – Saterlend konstantasi.

Sirtiy taranglik σ – o'zgarmas temperaturada fazalarni ajratuvchi yuzani bir birlikka ko'paytirish uchun son jihatdan barobar sarflanadigan ishga teng qiymatdir.

Agarda bir tomchi suyuqlik tashqi kuchlardan holi bo'lsa, u sirtiy taranglik kuchi ta'sirida shar shaklini oladi.

Sirtiy taranglik temperaturaga bog'liq va uning ortishi bilan son qiymatlari kamayadi.

Ba'zi suyuqliklar uchun sirtiy taranglikning son qiymatlari 1-1 jadvalda va ilovadagi 4 - jadvalda keltirilgan [5,6].

Suyuqliklarning sirtiy tarangligi

1-1 jadval

T/r	Suyuqlik	Temperatura, °C	Sirtiy taranglik, $\sigma\ 10^3$, N/m
1.	Suv	0	75,6
		20	72,8
2.	Olivka yog'i	20	32,0
3.	Etil spirti	20	24,1
4.	Metil spirti	20	22,6
5.	Sirka kislota	20	27,8

Issiqlik sig'im c – moddaga qandaydir jarayonda berilayotgan issiqlik miqdorining tegishli temperatura o'zgarishi nisbatiga aytiladi.

Amaliyotda massaviy, hajmiy va mol solishtirma issiqlik sig'imlari ishlatiladi. Solishtirma issiqlik sig'imi qaysi jarayonda (izobar, izoxor, izotermik, adiabatik, politropik) modda va atrof-muhit orasida energiya almashinishiga bog'liqdir. Hisoblashlarda juda ko'p izobar c_p va izoxor c_v issiqlik sig'imlar qo'llaniladi.

O'zaro bu ikki solishtirma issiqlik sig'imliklar Mayer formulasi bilan ifodalanadi [24,61]:

$$c_p - c_v = R \qquad (1.33)$$

bu yerda, R – universal gaz konstantasi, J/(mol K) yoki J/(kg K).

Izobar issiqlik sig'imning izoxor issiqlik sig'im nisbatiga adiabata ko'rsatkichi deyiladi:

$$\frac{c_p}{c_v} = k \qquad (1.34)$$

Ba'zi moddalarning solishtirma issiqlik sig'imi

1-2 jadval

T/r	Moddalar nomi	Solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg K)
1.	Suyuqliklar	0,80 ... 4,19
2.	Gazlar	0,50 ... 2,20
3.	Qattiq moddalar	0,13 ... 1,80
4.	Hayvon mahsulotlarining quruq moddalari	1,38 ... 1,68
5.	O'simlik mahsulotlarining	0,71...1,36

Turli jinsli sistemalarning solishtirma issiqlik sig'imi odatda additivlik (to'g'ri proporsionallik) qoidasiga bo'ysunadi va ushbu formuladan aniqlanadi:

$$c_p = c_1 \cdot m_1 + c_1 \cdot m_1 + c_1 \cdot m_1 + \ldots \qquad (1.35)$$

bu yerda, c_1, c_2, c_3, ... – komponentlarning solishtirma issiqlik sig'imlari; m_1, m_2, m_3, ... – aralashmadagi komponentlarning massaviy ulushlari.

Tomat mahsulotlarining solishtirma issiqlik sig'imi ushbu formulada hisoblanadi:

$$c = 4228{,}7 - 20{,}98x - 10{,}88 \cdot t \qquad (1.36)$$

O'simlik xomashyolariniki esa

$$c = c_{aqm} \cdot (1 - 0{,}01 \cdot W) + 41{,}87W \qquad (1.37)$$

bu yerda, c_{aqm} – absolyut quruq moddaning solishtirma issiqlik sig'imi; W – namlik, %.

Saxarozaning solishtirma issiqlik sig'imi

$$c = 4190 - 0{,}01 \cdot x \cdot 2510 - 7{,}54 \cdot t + 4{,}61 \cdot (100 - Db) \qquad (1.38)$$

bu yerda, x – quruq moddalar konsentratsiyasi; Db – mahsulot sifati, %.

xamirniki:

$$c = 1675 \cdot (1 + 0{,}015 \cdot W) \qquad (1.39)$$

bug'doyniki:

$$c = 1550 + 26{,}4 \cdot W \qquad (1.40)$$

Paxta chigiti murakkab, ko'p komponentli sistema bo'lgani uchun to'g'ridan to'g'ri uning solishtirma issiqlik sig'imini aniqlash qiyin. Chigit kabi geterogen materiallar uchun effektiv solishtirma issiqlik sig'imini topish maqsadga muvofiqdir. Buning uchun har bir komponentning, ya'ni mag'iz, chigit qobig'i va paxta tolalarining solishtirma issiqlik sig'imlarini bilish kerak [5].

Paxta tolasining solishtirma issiqlik sig'imini quyidagi formula orqali topiladi [5,13]:

$$c = c_{akm} \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right) + \frac{c_{suv} \cdot W}{100} \qquad (1.41)$$

bu yerda, c_{akm} – suvning solishtirma issiqlik sig'imi.

Paxta chigitining mag'izi va qobig'ining solishtirma issiqlik sig'imlari prof.Nurmuhamedov H.S. tomonidan taklif etilgan empirik formulalar yordamida hisoblanadi [5,6,13]:

mag'iz uchun

$$c = 540 + \left(3{,}56 \cdot W^{0{,}8} + 0{,}73\right) \cdot \left(T - 110{,}5\right) \tag{1.42}$$

qobiq uchun

$$c = 60 + 4 \cdot \left(T - 50\right) \cdot \exp 0{,}028 \cdot W \tag{1.43}$$

kunjara uchun

$$c = \left(0{,}05 + 0{,}02 \cdot W\right) \cdot T^{1{,}25} \tag{1.44}$$

bu yerda, W – material namligi, %; T – absolyut temperatura, K.

Paxta chigitining effektiv solishtirma issiqlik sig'imi ushbu formulada hisoblanadi [5,6,13]:

$$c_{ef} = m_1 \cdot \left[c_{suv} \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right) + \frac{c_s \cdot W}{100} \right] + m_2 \cdot \left[60 + 4 \cdot (T - 50) \cdot \exp\, 0{,}028 \cdot W\right] + \tag{1.45}$$

$$+ m_3 \cdot \left[540 + (356 \cdot W^{0{,}8} + 0{,}73) \cdot (T - 110{,}5)\right]$$

bu yerda, m_1, m_2, m_3, ... – paxta tolasi, chigit mag'izi va qobig'ining massaviy ulushlari.

(1.45) formula yordamida hisoblab chiqilgan paxta chigitining effektiv solishtirma sig'imlari 1-3 jadvalda keltirilgan [13].

1-3 jadval

T.K	Effektiv solishtirma issiqlik sig'imi c_{ef}, J/(kg·K)							
	Paxta chigitining momiqligi, %							
	0	5	10	15	20	25	30	35
250	1466	1460	1454	1448	1441	1435	1429	1423
300	1812	1808	1804	1801	1797	1793	1789	1785
350	2158	2137	2116	2095	2073	2052	2031	2010
400	2504	2466	2427	2389	2360	2312	2273	2245
450	2850	2794	2738	2683	2627	2571	2515	2460

Issiqlik o'tkazuvchanlik λ – bu mikrozarrachalarning o'zaro ta'siri va issiqlik harakati natijasida issiq jismdan sovuq jismga energiya o'tkazilishi tufayli jism temperaturasining turg'unlashishidir.

Qattiq material, suyuqlik va gazlarda issiqlik o'tkazuvchanlikning intensivligi issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ bilan xarakterlanadi.

30°C temperaturadagi suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ushbu formula yordamida hisoblanishi mumkin:

$$\lambda_{30} = A_1 \cdot c \cdot \rho \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho}{M}} \qquad (1.46)$$

bu yerda, A_1 – suyuqlikning assotsiatsiyalanish darajasiga bog'liq koeffitsiyent; c – suyuqlikning solishtirma issiqlik sig'imi, J/(kg·K); ρ – suyuqlik zichligi, kg/m^3; M – mol massa.

suv uchun $A_1 = 3{,}58 \cdot 10^{-8}$
benzol uchun $A_1 = 4{,}22 \cdot 10^{-8}$

Biror t temperaturadagi suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ushbu formuladan topiladi:

$$\lambda_t = \lambda_{30} \cdot [1 - \varepsilon \cdot (t - 30)] \qquad (1.47)$$

bu yerda, ε – temperatura koeffitsiyenti.

Metil spirti uchun $\varepsilon = 1{,}2 \cdot 10^3$ C^{-1};
Etil spirti uchun $\varepsilon = 1{,}2 \cdot 10^3$ C^{-1};
Meva, meva-rezavorlar sharbati, qiyomlar, shakarli sut uchun λ koeffitsiyenti ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\lambda_t = \lambda_{20} + 0{,}00068 \cdot (t - 20) \qquad (1.48)$$

20°C da esa

$$\lambda_{20} = 0{,}593 - 0{,}025 \cdot x^{0{,}53} \qquad (1.49)$$

bu yerda, x – absolyut quruq moddalar konsentratsiyasi.

Tomat mahsulotlarining λ koeffitsiyenti quyidagi formuladan topiladi:

$$\lambda = (528 - 4{,}04 \cdot x + 2{,}05 \cdot t) \cdot 10^{-3} \qquad (1.50)$$

$0<x<65\%$ va 80°C gacha bo'lgan oraliqda saxarozaning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti esa,

$$\lambda = (1 - 5{,}479 \cdot 10^{-3} \cdot x) \cdot (0{,}5686 + 1{,}514 \cdot 10^{-3} \cdot t - 2{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot t^2) \qquad (1.51)$$

Donasimon tukli, ko'p komponentli paxta chigitining effektiv issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ham prof. Nurmuhamedov H.S. tomonidan keltirib chiqarilgan formuladan topiladi [5,6,13]:

$$\lambda_{ef} = f \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_5}\right) \cdot \left[\frac{1}{\lambda_1}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{1}{\lambda_2}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3}\right) + \frac{1}{\lambda_3}\left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right) + \frac{1}{\lambda_4}\left(\frac{1}{r_4} - \frac{1}{r_5}\right)\right]^{-1} \qquad (1.52)$$

bu yerda, r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 – bo'shliq, yadro, havo qatlami, qobiq va momiqlik radiuslari, m; λ_1, λ_2, λ_3, λ_4 – yadro, havo, qobiq va paxta tolalarining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentlari, Vt/(m·K); f – shakl koeffitsiyenti.

Noto'g'ri shaklga ega bo'lgan paxta chigiti uchun f ushbu formuladan topiladi [13]:

$$f = 1{,}063 + 5{,}5 \cdot 10^{-2} \cdot O_n \qquad (1.53)$$

bu yerda. O_n – paxta chigitining momiqligi bo'lib, odatda, uning son qiymatlari f = 0.89-0,93 oraliqda bo'ladi.

(1.52) formula yordamida hisoblangan paxta chigitining effektiv issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining qiymatlari 1-4 jadvalda keltirilgan.

1-4 jadval

T, K	O_n, momig'likdagi λ, Vt/(m K)					
	0	3	6	9	12	15
250	0,484	0,477	0,470	0,464	0,457	0,453
300	0,406	0,401	0,395	0,390	0,384	0,380
350	0,433	0,427	0,421	0,415	0,409	0,405
400	0,322	0,318	0,313	0,309	0,304	0,301
450	0,291	0,287	0,283	0,279	0,275	0,272

Ma'lumki, temperatura o'zgarishi bilan mahsulotning issiqlik va fizik xossalari keskin o'zgaradi. Material xossalarining bunchalik o'zgarishiga ularning tarkibidagi suv yoki muzlarning asosiy xossalaridagi katta farqdir (1-5 jadval).

1-5 jadval

t/r	Xossalar	Birligi	Suv	Muz
1.	Solishtirma issiqlik sig'im	c, kJ/(kg K)	4,190	2,10
2.	Issiqlik o'tkazuvchanlik	λ, Vt/(m K)	0,554	2,21
3.	Temperatura o'tkazuvchanlik	$a\ 10^6$, m^2/s	0,130	0,17
4.	Zichlik	ρ, kg/m^3	999,5	916,2

Temperatura o'tkazuvchanlik a – m^2/s o'lchov birlikka ega. Fizik ma'no jihatdan kinematik qovushqoqlik ν ga o'xshaydi, ya'ni harakatga keltiruvchi kuch birga o'lchov birligi bo'lganda bir-biridan 1 m masofada yuzasi 1 m^2 li parallel maydonlar orasidan hajmiy oqim bilan bir vaqt o'lchov birligida uzatilgan impulsni bildiradi.

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} = \left[\frac{J \cdot kg \cdot K \cdot m^3}{s \cdot m^2 \cdot K \cdot J \cdot kg}\right] = \left[\frac{m^2}{s}\right]$$

1.2. O'xshashlik nazariyasi asoslari Kimyoviy texnologiya jarayonlarini o'rganish yo'llari

Jarayonlarni tahlil qilish va hisoblash uchun tenglamalarni keltirib chiqarish maqsadida ularni nazariy usulda amalga oshirsa bo'ladi.

Ushbu yo'l eng qulay bo'lib, jarayonlarni tavsiflovchi matematik tenglamalar (ko'pincha differensial) tuzish va ularni yechishdan iboratdir.

Bir turdagi butun bir sinfga oid hodisa va voqealarni differensial tenglamalar ifoda etadi. Ushbu sinfdan biror aniq bir hodisa yoki voqeani ajratib olish uchun differensial tenglama qo'shimcha shartlar (bir xillik shartlari) bilan chegaralanadi.

Bir xillik shartlari o'z ichiga quyidagilarni qamrab olgan: **geometrik** shakl va sistema qurilma o'lchamlarini; jarayonni olib borish shartlari, ya'ni moddalar **fizik** o'zgarmas kattaliklarini; boshlang'ich shartlari, ya'ni boshlang'ich tezlik,

temperatura, konsentratsiya va hokazo; sistema chegarasida holatni xarakterlovchi **chegaraviy shartlarni**, masalan, truba devori yaqinida tezlikning nolga tengligi.

Lekin kimyoviy va oziq-ovqat texnologiyalarining aksariyati juda murakkab va o'zgaruvchi parametrlar ko'pligi bilan xarakterlanadi. Shuning uchun, ko'pincha faqat masalaning matematik va bir xillik shartlar ifodasini olish mumkin. Olingan differensial tenglamalarni har doim ham matematikadagi ma'lum usullar bilan yechib bo'lmaydi.

Turbulent oqimlarda issiqlik va massa almashinish jarayonlarini nazariy o'rganishda ham xuddi shunday qiyinchiliklar bor.

Undan tashqari, hattoki murakkab jarayonlarni ifodalovchi differensial tenglamalar sistemasini ham tuzib bo'lmaydi.

Shunday qilib, qurilmani loyihalash uchun zarur hisoblash tenglamalarini nazariy keltirib chiqarish imkoniyati yo'q. Bunday holatlarda tajriba o'tkazish yo'li bilan jarayonni xarakterlovchi kattaliklar orasidagi bog'liqlik aniqlanadi.

Olingan tajriba ma'lumotlari asosida empirik tenglamalar keltirib chiqariladi. Ushbu tenglamalar xususiy xarakterga ega bo'lib, ulardan faqat aniq sharoitlarda foydalanish mumkin. Odatda, empirik tenglamalar ma'lum qadr-qiymatga ega va ularni muhandislik hisoblashlarda qo'llaniladi.

Lekin har qanday murakkab jarayonni tadqiqot qilish vaqtida umumiy bo'lgan qonuniyat va tenglamalarni keltirib chiqarish kerak. Ular yordamida biror xususiy tajriba natijalarini boshqa jarayonlarni ham tekshirishga qo'llash imkoniyati bo'lsin. Shu maqsadga tajriba natijalarini qayta ishlashda, o'xshashlik nazariyasi usullarini qo'llash orqali erishish mumkin.

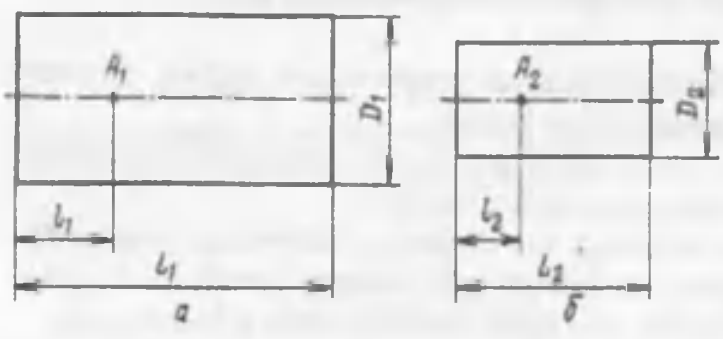
O'xshashlik nazariyasi – bu tajriba natijalarini ilmiy umumlashtirish usullari haqidagi ta'limot.

O'xshash jarayonlarda ularni xarakterlovchi va o'xshash bo'lgan kattaliklar nisbati o'zgarmasdir. O'xshashlik nazariyasi qanday tajriba o'tkazish va olingan natijalarni qaysi usul bilan qayta ishlash yo'llarini o'rgatadi.

O'xshashlik nazariyasini modellarda (tajriba qurilmalarida) jarayonning noma'lum kattaliklarini aniqlash, tekshirib ko'rish va olingan natijalarni sanoat qurilmalariga ko'chirishga yordam beradi.

Shunday qilib, masshtablash va modellash asosi bo'lib o'xshashlik nazariya usullari hisoblanadi.

O'xshashlik teoremalari va shartlari



1.2-rasm. Natura (a) va modelning (b) o'xshashlik shartlarini aniqlashga oid.

O'xshashlik nazariyasining asosiy prinsiplaridan biri bo'lib, umumiy qonuniyat bilan ifodalanuvchi o'xshash hodisalar (jarayonlar) guruhini ajratib olishdir.

Mos tushadigan va ularni xarakterlovchi kattaliklarning nisbatlari o'zgarmas bo'lgan hodisalar *o'xshash* deb ataladi.

O'xshashlik shartlariga binoan o'xshash hodisa va

voqealar quyidagi guruhlardan iborat: a) geometrik o'xshashlik; b) vaqt bo'yicha o'xshashlik; d) fizik o'xshashlik; e) boshlang'ich va chegaraviy shartlarning o'xshashligi.

Geometrik o'xshashlik. Bu shunday o'xshashlikki, natura va modellarning mos tushadigan o'lchamlari parallel va ularning nisbati o'zgarmas kattalik bilan ifodalanadi.

Masalan, aylanayotgan silindr ichidagi gazning harakatini tekshiramiz (1.2-rasm).

Ushbu qurilmadagi jarayonni tekshirish uchun geometrik o'xshashlikka rioya qilib model quriladi (1.1b-rasm), ya'ni natura va modelning mos tushadigan chiziqli o'lchamlarining nisbatlari teng.

Geometrik bir xillikka binoan ikkita o'xshash sistemani geometrik o'lchov kattaliklari o'zaro parallel bo'lsa, ularning nisbati ham o'zgarmas bo'ladi:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{l_1}{l_2} = \ldots = a_l = const \qquad (1.54)$$

O'lchovsiz kattalik a_l geometrik o'xshashlik o'zgarmas kattaligi (konstanta) yoki masshtab (o'tish) ko'paytmasi deb ataladi. Ushbu o'zgarmas kattalik o'xshash sistemalardagi bir xil turdagi mos keladigan kattaliklar nisbatini ifodalaydi va model o'lchamidan naturaga o'tish imkonini beradi.

Vaqt birliklari o'xshashligi. Geometrik o'xshashlikda vaqt bo'yicha bir xillik hosil bo'ladi. Bunga binoan, ikki geometrik jismdagi nuqtalar o'xshash trayektoriya bo'ylab, vaqt birligida bir xil masofa bosib o'tadi.

Ularning o'zaro bir-biriga nisbati o'zgarmas kattalikka teng:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2} = \ldots = a_\tau = const \qquad (1.55)$$

bu yerda, T_1, T_2, ... – mos keladigan zarrachalar bilan butun qurilmadan o'tish vaqti; τ_1, τ_2, ... – mos keladigan zarrachalar bilan L_1 va L_2 masofalardan o'tishi; a_τ – vaqt bo'yicha o'xshashlik konstantasi.

Fizik o'xshashlik. Fizik o'xshashlikka binoan, fazoda joylashgan ikki sistema fizik xossalarining nisbati vaqt birligida o'zgarmasdir. Masalan, agar zarracha naturada τ_1 vaqtda L_1 masofani bosib o'tsa (1.1-rasm), modelda esa τ_2 vaqt ichida L_2 masofani bosadi. Unda, mos keladigan A_1 va A_2 nuqtalar uchun.

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = a_\mu; \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = a_\rho \qquad \text{yoki} \qquad \frac{u_1}{u_2} = a_u \qquad (1.56)$$

bu yerda, u_1 va u_2 – fizik kattaliklar yig'indisi (lekin $a_\mu \neq a_\rho \neq a_l \neq a_\tau$ va h.); a_μ, a_ρ – fizik kattaliklar konstantasi.

Shunday qilib, agar geometrik va vaqt birligi o'xshashligi saqlansa, unda tezlik, temperatura, konsentratsiya va boshqa fizik kattalik maydonlari o'xshashligi ham saqlanib qoladi, ya'ni $w_1/w_2=a_w$; $l_1/l_2=a_l$; $c_1/c_2=a_c$.

Boshlang'ich va chegaraviy shartlar o'xshashligiga binoan boshlang'ich holat va sistemalar (natura va model) chegarasidagi holatlar o'xshashdir, ya'ni boshlang'ich va sistema chegaralaridagi asosiy parametrlar nisbati o'zgarmasdir.

Bu holat o'xshash fazodagi sistemaning geometrik, fizik va vaqt bo'yicha o'xshash bo'lishi uchun ularning boshlang'ich va chegaraviy shartlari bir xil bo'lishi zarur.

O'xshashlik invariantlari va kriteriylari. Agar natura va unga o'xshash modellarning holatini aniqlovchi hamma mos keladigan kattaliklar nisbiy birliklarda o'lchansa, ya'ni har bir sistema uchun mos keladigan nisbatlar olinsa, unda u ham o'zgarmas va o'lchamsiz kattalik bo'ladi. Masalan:

$$\frac{L_1}{D_1} = \frac{L_2}{D_2} = \ldots = inv^* = idem^{**} = i_1; \qquad \frac{T_1}{\tau_1} = \frac{T_2}{\tau_2} = \ldots = i_\tau \qquad (1.57)$$

i_l, i_τ va hokazo kattaliklar natura va model o'lchamlari nisbatiga bog'liq emas. Shuning uchun o'xshash sistemalarda ikkita bir xil kattaliklar nisbatini ifodalovchi o'lchamsiz birlik i invariant o'xshashlik deyiladi.

Bir xil kattaliklar nisbatini ifodalovchi invariant o'xshashlik **simpleks**[***] yoki **parametrik kriteriy** deb ataladi.

Turli xil kattaliklar nisbatini ifodalovchi invariant o'xshashlik **kriterial**[****] o'xshashlik deyiladi. Odatda, kriteriylar shu soha **nazariyasiga** katta hissa qo'shgan olimlar ismining birinchi ikki harfi bilan belgilanadi (masalan, Re – Reynolds soni yoki kriteriysi).

Istalgan fizik hodisa uchun kriteriy keltirib chiqarish mumkin. Buning uchun tekshirilayotgan hodisaning o'zgaruvchan kattaliklari orasidagi analitik bog'liqlikni bilish kifoya.

O'xshashlik kriteriylari o'lchamsiz bo'ladi.

Shunday qilib, o'zaro o'xshash hodisalar, son jihatdan teng o'xshashlik kriteriylar bilan xarakterlanadi. O'xshashlik kriteriylarining tengligi jarayonlar o'xshashligining birdan-bir miqdoriy sharti.

Bir sistema kriteriylarining boshqa unga o'xshash sistema kriteriylariga nisbati har doim 1 ga teng. Masalan, natura va model uchun $Re_1 = Re_2$. Unda

$$\frac{w_1 \cdot d_1\rho_1 / \mu_1}{w_2 \cdot d_2\rho_2 / \mu_2} = 1$$

O'xshashlik invariantlari turli xil kattaliklar nisbatlari bilan ham ifodalanishi mumkin, ya'ni shu kattaliklarning o'lchamsiz simplekslarini ifodalaydi. Masalan.

$$\frac{w_1 d_1 \rho_1}{\mu_1} = \frac{w_2 d_2 \rho_2}{\mu_2} = idem = Re \qquad (1.58)$$

Agar jarayonni tavsiflovchi, differensial tenglamalarni o'zgartirish yo'li bilan olingan o'xshashlik invariant kattalik komplekslari bilan ifodalansa, ular **o'xshashlik kriteriylari** deb nomlanadi.

Demak, o'xshashlik kriteriylari har doim fizik ma'noga ega bo'lib, tekshirilayotgan jarayon uchun katta ahamiyatli, istalgan ikkita effektlar (kuchlar va h.) o'rtasidagi nisbat o'lchovidir.

O'xshashlik kriteriylari istalgan jarayon uchun keltirilib chiqarilishi mumkin. O'lchovsiz simpleks yoki kattaliklar kompleksi, xususan o'xshashlik kriteriylari, **umumlashtirilgan o'zgaruvchi** deb nomlanadi.

O'xshashlik nazariyasi asosan 3 ta teoremaga tayanadi va asoslanadi.

Birinchi teoremani I.Nyuton kashf etgan. Unga binoan, o'xshash hodisalar son jihatdan teng o'xshashlik kriteriylari bilan xarakterlanadi:

$$\frac{f\tau}{m \cdot w} = idem = Ne$$

yoki $\tau = l/w$ ekanligini inobatga olsak,

---

* invariantis (lot.) – o'zgarmas

** idem (lot.) – bir xil

*** simplex (lot.) – oddiy

**** kreterion (grek.) – mezon

$$\frac{fl}{mw^2} = Ne \qquad (1.59)$$

bu yerda, f – kuch; m – zarracha massasi.

Ushbu kompleks **Nyuton kriteriysi** deb nomlanadi. Ushbu kriteriy zarrachaga ta'sir etuvchi kuchning inersiya kuchiga nisbatini xarakterlaydi.

Bir qator gidrodinamik kriteriylar oqimdagi kuchlarning o'zaro ta'sir nisbatlarini ifodalaydi, ya'ni og'irlik, bosim, ishqalanish va inersiya kuchlari orasidagi o'zaro ta'sirni. Shunday qilib, ko'pchilik gidrodinamik kriteriylar Nyuton kriteriysining xususiy holidir.

Birinchi teorema. O'xshash hodisalar son jihatdan teng o'xshashlik kriteriylari bilan ifodalanadi. O'xshashlik kriteriylariga kiruvchi hamma kattaliklar tajriba davrida o'lchanishi kerakligini taqozo etadi.

Ikkinchi teorema. Bekingem, Federman va Afanasyeva – Erenfest olimlar guruhi tomonidan kashf etilgan. O'zgaruvchan parametrlar orasidagi bog'liqlik kriteriylar orasidagi funksional bog'liqlik ko'rinishida bo'lishi kerak. Ushbu teorema, tajriba ma'lumotlari qanday qayta ishlanishi kerakligini ko'rsatadi. Ushbu teoremaga binoan, tajriba natijalari kriteriylar orasidagi bog'liqlik ko'rinishida ifodalash kerak.

O'xshashlik kriteriylari o'rtasidagi funksional bog'liqlik **kriterial tenglama** deb nomlanadi.

Kriterial tenglamalar hamma o'xshash jarayonlar guruhini ifodalaydi. Kriterial tenglama ko'rinishi tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Ko'pchilik holatlarda ushbu tenglama darajali bog'liqlik ko'rinishida bo'ladi.

Uchinchi teorema. M.V. Kirpichev va A.A. Guxmanlar tomonidan kashf etilgan. Ushbu teoremaga binoan, kriterial tenglamalarni faqat o'xshash jarayonlarga qo'llash mumkin. Hodisalar o'xshashdir, agar ularni ifodalovchi kriteriylar son jihatdan teng bo'lsa.

Agar hodisalarni aniqlovchi kriteriylar son jihatdan teng bo'lsa, unda albatta, o'xshash hodisalarda aniqlanayotgan kriteriylar ham tengdir. Shunday qilib, o'xshashlik nazariyasi usullarini qo'llab jarayonlarni o'rganish quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Jarayonning to'liq matematik ifodasini olish, ya'ni differensial tenglama tuziladi va bir xillik shartlari aniqlanadi, uni yechimi o'zgartiriladi va o'xshashlik kriteriylari topiladi.

2. Modellarda tajribalar asosida o'xshashlik kriteriylari orasidagi bog'liqlik aniqlanadi. Olingan umumlashtiruvchi hisoblash tenglamasini o'xshash jarayonlarni hisoblashda qo'llash mumkin.

Asosiy jarayonlarni hisoblashda bir necha xil o'xshashlik kriteriylari ishlatiladi va ular o'rganilayotgan jarayonni ifodalovchi o'lchamsiz fizik kattaliklardir. O'xshashlik kriteriylari 3 guruhga bo'linadi:

– gidromexanik o'xshashlik kriteriylari;
– issiqlik o'xshashlik kriteriylari;
– diffuzion o'xshashlik kriteriylari.

Gidromexanik o'xshashlik kriteriylariga Reynolds (***Re***), Eyler (***Eu***), Frud (***Fr***), Galiley (***Ga***), gomoxronlik (***Ho***) va boshqa kriteriylar kiradi.

Reynolds kriteriysi ishqalanish kuchlarining suyuqlik harakatiga ta'sirini yoki suyuqlik harakat rejimini ifodalovchi o'lchamsiz kompleks bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega:

$$\mathrm{Re} = \frac{wlp}{\mu} = \frac{wl}{\nu} \qquad (1.60)$$

bu yerda, w – suyuqlik oqimining tezligi, m/s; l – xarakterli o'lcham, m; ρ – suyuqlik zichligi, kg/m^3; μ – suyuqlik dinamik qovushqoqligi, Pa s; ν – suyuqlik kinematik qovushqoqligi, m^2/s.

Ushbu kriteriy o'xshash oqimlarda inersiya kuchlarning ishqalanish kuchlariga nisbatini xarakterlaydi.

Eyler kriteriysi bosim maydonining o'xshashligini ko'rsatadi yoki oqimdagi bosim yo'qotilishini yoki gidrostatik bosim farqining suyuqlik harakatiga ta'sirini ifodalaydigan o'lchamsiz kompleks bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho w^2} \qquad (1.61)$$

Ushbu kriteriy o'xshash oqimlarda gidrostatik kuchlarning inersiya kuchlariga nisbatini xarakterlaydi. Bu yerda Δp – oqim gidrostatik bosimining farqi.

Frud kriteriysi gravitatsion o'xshashlik kriteriysi bo'lib. suyuqlik harakatiga og'irlik kuchlari ta'sirini ifodalovchi o'lchamsiz kompleks va u quyidagi ko'rinishga ega:

$$Fr = \frac{w^2}{gl} \qquad (1.62)$$

bu yerda, g – erkin tushish tezlanishi, m/s^2. Ushbu kriteriy o'xshash oqimlarda inersiya kuchlarini og'irlik kuchlariga nisbatini xarakterlaydi.

Ushbu kriteriy bir jinsli oqimda inersiya va og'irlik kuchlarining nisbatini ifodalaydi.

Gomoxronlik kriteriysi suyuqlik harakati tezlik maydonining vaqt birligida o'zgarishini tezligini ifodalovchi o'lchamsiz kompleks bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega:

$$Ho = \frac{w\tau}{l} \qquad (1.63)$$

bu yerda, τ – vaqt, s.

Ushbu kriteriy o'xshash oqimlarda suyuqlik harakatining noturg'un holatda ifodalaydi. Ayrim adabiyotlarda ushbu kriteriy **Struxal *Sh* kriteriysi** deb nomlanadi.

Galiley kriteriysi oqimdagi molekular ishqalanish kuchlarini og'irlik kuchlariga nisbatini ifodalovchi o'lchamsiz kompleks bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega:

$$Ga = \frac{\mathrm{Re}^2}{Fr} = \frac{gl^3}{\nu^2} \qquad (1.64)$$

Ushbu kriteriy erkin oqim maydonlarini xarakterlaydi.

Arximed kriteriysi muhit zichligi va qovushqoq ishqalanish kuchlari farqi tufayli hosil bo'lgan Arximed kuchi o'zaro ta'sirini ifodalovchi o'lchamsiz kompleks bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega:

$$Ar = \frac{g \cdot l^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_к - \rho}{\rho} \qquad (1.65)$$

bu yerda, ρ va $\rho_к$ – muhit va qattiq zarracha zichliklari, kg/m^3; .

Veber kriteriysi sirtiy taranglik o'lchamsiz kompleksi bo'lib quyidagi ko'rinishga ega:

$$We = \frac{\rho \cdot w^2 \cdot l}{\sigma} \qquad (1.66)$$

bu yerda, l – geometrik o'lcham (tomchi diametri), m; σ – sirtiy taranglik, N/m.

O'lchov birliklar tahlil usuli

Murrakab jarayonlarni o'rganish paytida, masalan, harakatdagi suyuqlikda issiqlik almashinish davrida, har doim ham jarayonni to'liq ifodalovchi differensial tenglama tuzib bo'lmaydi va bir xillik shartlarini ifodalash qiyin. Shuning uchun, bunday hollarga o'xshashlik nazariyasini ham qo'llab bo'lmaydi.

Lekin kriterial tenglamalar keltirib chiqarish uchun jarayonga ta'sir etuvchi asosiy fizik kattaliklar tajriba natijasida aniqlangan bo'lsa, o'lchov birliklar tahlili usulini qo'llash mumkin.

Darsi – Veysbax tenglamasi misolida kriterial tenglamalar keltirib chiqarishda o'lchov birliklar tahlili usulini ko'rib chiqamiz.

Trubalar ichida suyuqlik harakati jarayonini tajribaviy o'rganish natijasida, bosimlar yo'qotilishi truba diametri va uzunligi, zichlik, qovushqoqlik va suyuqlik tezligiga bog'liqligi aniqlanadi.

Umumiy ko'rinishda funksional bog'liqlik quyidagicha yoziladi: $\Delta p=f(d,l,\rho,\mu,w)$. Hamma parametrlarning o'lchov birliklari bitta sistemada ifodalanishi shart.

Yuqorida funksional bog'liqlikka 6 ta kattalik (n=6) kiradi. Ular SI sistemasida quyidagi o'lchov birliklarga ega:

$$[\Delta p]=\left[\frac{N}{m^2}\right]=\left[\frac{kg}{m\cdot s^2}\right]=\left[FL^{-1}T^{-2}\right]$$

$$[d]=[m]=[L];$$

$$[l]=[m]=[L];$$

$$[\rho]=\left[\frac{kg}{m^3}\right]=\left[FL^{-3}\right]; \text{ m}$$

$$[\mu]=\left[\frac{N\cdot s}{m^2}\right]=\left[\frac{kg}{m\cdot s}\right]=\left[FL^{-1}T^{-1}\right]$$

$$[w]=\left[\frac{m}{s}\right]=\left[LT^{-1}\right]$$

Ushbu o'lchov birliklarni tuzishda 3 ta birlamchi o'lchov birligi ishlatilgan (m=3): m, s, kg. Demak, Bekingem teoremasiga binoan, funksional bog'liqlikni kriterial tenglama ko'rinishiga keltirish mumkin. Unda, $n - m = 6-3=3$ ta o'xshashlik kriteriysi bo'ladi.

Umumiy funksional bog'liqlikni darajali funksiya ko'rinishida yozamiz:

$$\Delta p = A d^a l^e \rho^c \mu^e w^k \qquad (1.67)$$

Ushbu kattaliklarni o'lchov birliklar formulalari bilan almashtiramiz:

$$\left[FL^{-1}T^{-2}\right] = L^a L^b \left[FL^{-3}\right]^c \left[FL^{-1}T^{-1}\right]^r \left[LT - 1\right]^k$$

Qavslarni ochsak, quyidagi ko'rinishni olamiz:

$$FL^{-1}T^{-2} = L^{a+b-3c-e+R} \cdot F^{c+e} \cdot T^{-e-k}$$

O‘lchov birligi bir xil simvollarning daraja ko‘rsatkichlarini tenglashtirib 5 ta noma’lumli 3 ta tenglama hosil qilamiz:

$$\left.\begin{aligned} a+b-3c-e+k=-1 \\ c+e=1 \\ -e-k=-2 \end{aligned}\right\} \qquad (1.68)$$

(1.68)ning 2 – tenglamasidan $s=1-e$, uchinchisidan- $k=2-e$ larni topamiz. Olingan c va k larning qiymatini (1.68) tenglamaga qo‘ysak, $a=-v-e$ ekanligini aniqlaymiz.

Olingan a, s va k larni dastlabki (1.67) tenglamaga qo‘yib, quyidagi ko‘rinishga ega bo‘lamiz:

$$\Delta p = Ad^{-b-c} \cdot l^{b} \cdot \rho^{1-e} \cdot \mu^{e} \cdot w^{2-e}$$

Daraja ko‘rsatkichlarini guruhlaymiz va quyidagi ko‘rinishdagi kriterial tenglamani olamiz:

$$\frac{\Delta p}{\rho w^{2}} = A \cdot \left(\frac{l}{d}\right)^{b} \left(\frac{\mu}{wd\rho}\right)^{e} \qquad (1.69)$$

(1.69) tenglamadagi o‘zgarmas A, b va c lar tajriba asosida topiladi.

$b=1$ ekanligi ma’lum, A va e lar esa truba ichidagi suyuqlik harakat rejimiga bog‘liq.

1.3. Jarayon va qurilmalarni hisoblash va tahlilining asosiy prinsiplari

Qayta ishlanayotgan materiallarning massaviy oqimlarini aniqlashdan maqsad mashina va qurilmalarni hisoblash hamda zarur energiya miqdorini, issiqlik va massa almashinish qurilmalarining optimal yuzalarini yoki jarayonning davomiyligini aniqlashdir.

Kinetik qonuniyatlarning tahlili, mashina va qurilmaning minimal o‘lchamlariga oid jarayonning shartlarini baholash va optimal rejimlarni topish imkoniyatini beradi.

Jarayonlar tahlili, mashina va qurilmalar hisobi quyidagi ketma-ketlikda o‘tkaziladi: jarayonning moddiy va energetik balanslari tuziladi; statika qonuniyatlariga tayanib jarayonning harakat yo‘nalishi va muvozanat shartlari aniqlanadi; harakatga keltiruvchi kuch hisoblanadi; kinetika qonuniyatlariga tayanib jarayon tezligi topiladi.

Aniqlangan optimal rejim uchun jarayon tezligi va harakatga keltiruvchi kuch kattaliklari asosida qurilmaning asosiy o‘lchamlari: ishchi hajm yoki ishchi maydon yuzasi aniqlanadi. Asosiy o‘lcham yordamida qurilmaning qolgan o‘lchamlari hisoblab topiladi.

Moddiy balans massaning saqlanish qonuniga tayanib tuziladi, ya’ni jarayon o‘tkazilish paytida qurilmaga kiritilayotgan material miqdori ΣG_{bosh}, undan chiqayotgan mahsulot miqdori ΣG_{ox} ga teng bo‘lishi zarur:

$$\sum G_{bosh} = \sum G_{ox} \qquad (1.70)$$

Moddiy balans asosida chiqayotgan mahsulot miqdori topiladi, ya’ni maksimal mahsulot chiqish imkoniyatiga nisbatan protsent hisobida chiqqan tayyor mahsulot miqdori. Odatda, olingan tayyor mahsulot miqdori sarflangan xomashyo birligiga hisoblanadi.

Lekin sanoatda qurilmani ishlatish va jarayon borishi davrida qaytarib bo'lmaydigan moddiy yo'qotilishlar albatta bo'ladi. Unda (1.70) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\sum G_{bosh} = \sum G_{ox} + \sum G_{yo'q} \qquad (1.71)$$

bu yerda, $G_{yo'q}$ – yo'qotilgan modda miqdori.

Odatda, moddiy balans butun jarayon yoki alohida bosqichlari uchun tuziladi.

Issiqlik balansi energiya saqlanish qonuniga tayanib tuziladi, ya'ni: jarayonga kiritilayotgan energiya miqdori ΣG_{bosh}, unda ajralib chiqayotgan energiya miqdoriga teng bo'lishi kerak:

$$\sum G_{bosh} = \sum G_{ox} + \sum G_{yo'q} \qquad (1.72)$$

Demak, chiqib ketadigan issiqlik miqdori, mahsulot va issiqlik elitkich bilan birga chiqayotgan issiqlik miqdorlari yig'indisiga teng.

Energetik balansdan, hamma turdagi energiyalarni kirish va chiqishidan tashqari, suyuqliklarni aralashtirishga yoki gazlarni siqish va uzatish uchun sarflanayotgan mexanik energiya ham hisoblab topiladi.

Issiqlik balansidan kelib chiqqan holda isituvchi bug', suv va boshqa issiqlik eltkichlar sarfi aniqlansa, energetik balansdan esa – jarayonni amalga oshirish uchun zarur umumiy energiya sarfi topiladi. Jarayon o'tishi davrida olingan natijaga vaqt va yuza (yoki hajm) birliklarining nisbatiga jarayon intensivligi deyiladi. Jarayon intensivligi vaqt birligida yuza (yoki hajm) birligidan o'tgan energiya yoki massa miqdori bilan xarakterlanadi.

(1.70) formulaga binoan jarayon intensivligi jarayonni harakatga keltiruvchi kuchga to'g'ri proporsionaldir. Jarayon intensivligining mezoni bo'lib, tezlik koeffitsiyenti xizmat qiladi:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta}{R} = K\Delta \qquad (1.73)$$

bu yerda, V – massa yoki energiya miqdori; F – massa yoki energiya o'tayotgan yuza; τ – jarayon davomiyligi; Δ – harakatga keltiruvchi kuch; R – qarshilik; K – tezlik koeffitsiyenti.

Umumiy holatda jarayonni harakatga keltiruvchi kuch-potensiallar farqi. Xususiy holatlarda esa, gidromexanik jarayonlari uchun – bosimlar farqi, issiqlik almashinish jarayonlari uchun – temperaturalar farqi, massa almashinish jarayonlari uchun – konsentratsiyalar farqi.

Jarayonlarning tezlik koeffitsiyenti moddiy oqimlarning harakat rejimiga bog'liq. Oqimlar harakati esa, gidrodinamika qonunlari bilan aniqlanadi.

Qurilma asosiy o'lchamlarini aniqlash. (1.73) tenglamadan foydalanib uzluksiz ishlaydigan qurilma asosiy o'lchamlari hisoblanadi. Agar qurilmadan vaqt birligida o'tayotgan muhit hajmi V ma'lum bo'lsa va chiziqli tezligi w berilgan yoki qabul qilingan bo'lsa, qurilmaning ko'ndalang kesim yuzasi F ushbu formuladan topiladi:

$$F = \frac{V}{w} \qquad (1.74)$$

Qurilmaning asosiy o'lchamlaridan biri bo'lgan F (1.74) formuladan aniqlanadi. Silindr shakldagi qurilmalar uchun uning diametri – D. Yana bir asosiy o'lchamlaridan biri qurilma ishchi balandligi (yoki uzunligi) H. (1.73) formuladan qurilma ishchi hajmi V yoki yuza F topilishi mumkin. Agar F ma'lum bo'lsa va $F = a \cdot V$ bog'liqlikdan (a – solishtirma yuza) qurilma ishchi hajmi aniqlanadi. So'ng, V

kattalik bo'yicha $V = FH$ formuladan foydalanib qurilma balandligi H hisoblanadi.

Mashina va qurilmalarga qo'yiladigan talablar

Mashina va qurilmalarga quyidagi talablar qo'yiladi: qurilma yoki mashina yuqori samarali, ishonchli, kam energiya va metall sarflaydigan, xavfsiz ish tashkil etish talablarini qondiradigan va ekspluatatsiya jarayonida xizmat ko'rsatish uchun qulay bo'lishi kerak. Qurilmaning uzoq muddat mobaynida va beto'xtov ishlashining qat'iy shartlari bo'lib, uning mexanik ishonchliligi va konstruktiv mukammalligi hisoblanadi. Qurilmaning mexanik ishonchliligi mustahkamlik, qattiqlik, turg'unlik, germetiklik xossalarini xarakterlaydi. Mustahkamlik esa qurilma konstruksiyasining uzoq muddat mobaynida va xavfsiz ish tashkil etish bilan uzviy bog'liqdir.

Konstruksiya mukammalligi qurilmaning soddaligi, kam metall sarflashi, texnologik moyilligi va yuqori f.i.k. bilan xarakterlanadi.

Ekspluatatsion afzalliklari – soddaligi, ekspluatatsiya davrida kichik sarflar va xizmat ko'rsatish uchun qulayligi bilan xarakterlanadi.

Konstruksiyaning mukammallik darajasi texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar: qurilmaning ish unumdorligi, sarf koeffitsiyentlar, ekspluatatsion narx va sarflar hamda tayyor mahsulot tannarxi bilan xarakterlanadi. Odatda, texnologik tizimlarda standart qurilma va mashinalar ishlatilishi zarur.

Ilmiy tadqiqot va loyihalashtirish institutlarining loyihalashga sarflarini kamaytirish, mahsulot narxini pasaytirish va seriyali ishlab chiqarishni tashkil etish uchun qurilmalarni tiplarga ajratish va normallashtirish ishini o'tkazishadi. Qurilmalarni loyihalashda asosiy, tayanch hujjat bo'lib davlat standartlari, soha normalari, texnik shartlar, qo'llanma va normalar xizmat qiladi.

Mashina va qurilma konstruksiyalari baholanganda, ularning texnik-iqtisodiy xarakteristikalari muhim ahamiyatga ega. Kam energiya sarf qilib tayyor mahsulot olish imkonini beradigan qurilma va mashinalar optimal qurilma (yoki mashina)lar deb hisoblanadi.

Qurilma va mashinalar optimal rejimlarda ishlashi shart. Bunday rejimlarni aniqlash optimallik kriteriysini tanlashga bog'liq. O'z navbatida optimallik kriteriysi bir qator parametrlar: temperatura, bosim, sarf, tozalash darajasi va boshqalarga bog'liq bo'lishi mumkin. Ko'pincha, iqtisodiy optimallik kriteriylaridan ham foydalaniladi. Bu kriteriy jarayonning energetik, mehnat va boshqa sarflarini xarakterlaydi. Undan tashqari, texnologik, statistik, termodinamik va boshqa optimallik kriteriylarini ham qo'llash mumkin. Lekin oxirgi yillarda qurilma va jarayonlarni tahlil qilishda eksergetik* usulni (chuqur, har tomonlama) qo'llash keng miqyosda tarqalmoqda.

Kirish qismi bo'yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Vatanimiz kimyo va neft-gazni qayta ishlash sanoatlarining istiqbollari va korxonalari.
2. «Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalari» fanining yuqori mala-

* eksergiya – grek. «ergon»- ish, kuch va «ex»- ichidan

kali kimyogarlarni tayyorlashdagi o‘rni.
3. «Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalari» fanining mazmuni va mohiyati.
4. «Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalari» fanining kelib chiqishi va rivojlanishi.
5. Asosiy texnologik jarayonlar klassifikatsiyasi.
6. Jarayonlarni harakatga keltiruvchi kuchlari va ularni ifodalovchi tenglamalarni yozing.

1-bob bo‘yicha
Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Xomashyo va materiallarning asosiy xossalari.
2. Zichlik, uni ifodalovchi formula va o‘lchov birligi.
3. Nisbiy zichlik va uni ifodalovchi formula.
4. Solishtirma og‘irlik, uni ifodalovchi formula va o‘lchov birligi.
5. Solishtirma hajm, uni ifodalovchi formula va o‘lchov birligi.
6. Dinamik qovushqoqlik, uni ifodalovchi formula va o‘lchov birligi.
7 Kinematik qovushqoqlik, uni ifodalovchi formula va o‘lchov birligi.
8. Turli suyuqlik va gazlar qovushqoqligini hisoblash formulalarini yozing.
9. Sirtiy taranglik va uning fizik ma’nosi.
10. Issiqlik sig‘imi, uni ifodalovchi formulalar va o‘lchov birligi.
11. Paxta chigiti va uni qayta ishlashda hosil bo‘lgan mahsulotlarini issiqlik xossalari.
12. Temperatura o‘tkazuvchanlik, uni ifodalovchi formula va o‘lchov birligi.
13. O‘xshashlik nazariyasi nimani o‘rgatadi?
14. Geometrik, fizik va vaqt birliklari o‘xshashligi.
15. O‘xshashlik kriteriylari va simplekslarining fizik ma’nosi.
16. O‘xshashlikning birinchi teoremasi va uning fizik ma’nosi.
17. O‘xshashlikning ikkinchi teoremasi va uning fizik ma’nosi.
18. O‘xshashlikning uchinchi teoremasi va uning fizik ma’nosi.
19. Nyuton kriteriysi, formulasi va fizik ma’nosi.
20. Reynolds kriteriysi, formulasi va fizik ma’nosi.
21. Eyler kriteriysi, formulasi va fizik ma’nosi.
20. Frud kriteriysi, formulasi va fizik ma’nosi.
20. Gomoxronlik kriteriysi, formulasi va fizik ma’nosi.
20. Arximed kriteriysi, formulasi va fizik ma’nosi.
20. Veber kriteriysi, formulasi va fizik ma’nosi.
21. Jarayon va qurilmalarni tahlil qilishning asosiy uslublari.
22. Kimyo sanoati mashina va qurilmalariga qo‘yiladigan talablar.

2-bob. GIDRAVLIKA ASOSLARI

Gidravlika – bu mexanikaning bir bo'limidir. Unda, suyuqliklar muvozanat va harakat qonunlari hamda ularni amaliyotda qo'llash o'rganiladi.

Gidravlika ikki bo'limdan iborat: gidrostatika va gidrodinamika.

GIDROSTATIKA

Gidrostatika suyuqliklarning muvozanat qonunlarini, gidrodinamika esa – suyuqlik va gazlarning harakat qonuniyatlarini o'rgatadi.

Gidromexanik jarayonlar asosida gidrodinamika qonuniyatlari yotadi va bu qonuniyatlar issiqlik va massa almashinish hamda kimyoviy va biokimyoviy jarayonlar samaradorligini belgilaydi.

2.1. Umumiy tushunchalar

Gidravlikada suyuqlik, gaz va bug'larni birlashtirib, umumiy nomi – suyuqlik deb yuritilishi qabul qilingan. Bunga sabab, suyuqlik va gazlarning harakat tezliklari tovush tezligidan kam bo'lganda, ularning harakat qonuniyatlari bir xil. Shuning uchun, gidravlikada suyuqlik ham, gazlar ham, bug'lar ham suyuqlik deb yuritiladi.

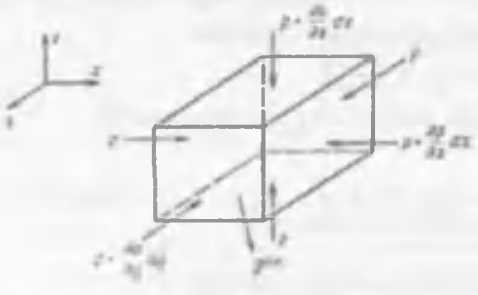
Suyuqlik va gazlarning ko'pchilik xossalari bir-biriga yaqin va o'xshash. Masalan, suyuqlik ham, gazlar ham biror shaklga ega emas. Undan tashqari, ularning qovushqoqliklari orasidagi farq juda kichik. Yana, kritik temperaturadan yuqori temperaturalarda suyuqlik va gazlar orasidagi farq umuman yo'qolib boradi.

Gidravlikaning asosiy qonuniyatlarini keltirib chiqarish uchun gipotetik ***ideal*** suyuqlik degan tushunchadan foydalaniladi.

Bosim ta'sirida absolyut siqilmaydigan, temperatura ortishi bilan zichligi o'zgarmaydigan va qovushqoqlikka ega bo'lmagan suyuqlik ***ideal*** suyuqlik deb ataladi.

Lekin amaliyotda suyuqliklar bosim ta'sirida siqiladi, temperatura ta'sirida esa zichligi o'zgaradi va ma'lum qovushqoqlikka ega bo'ladi. Bunday suyuqliklar ***haqiqiy*** (real) suyuqliklar deb nomlanadi.

Haqiqiy suyuqliklar tomchili va elastik (gaz va bug') suyuqliklarga bo'linadi. Tomchili suyuqliklar amalda siqilmaydi va juda kichik hajmiy kengayish koeffitsiyentiga ega. Lekin elastik suyuqliklarning hajmi temperatura yoki bosim ta'sirida o'zgaradi.



2.1-rasm. Gidrostatika uchun Eylerning muvozanat differensial tenglamasini chiqarishga oid.

2.2. Eylerning muvozanat differensial tenglamasi

Ushbu tenglama suyuqlik muvozanatining differensial tenglamasidan keltirib chiqariladi. Nisbiy tinch holatdagi suyuqlikning muvozanatini ko'rib chiqamiz. Bu holatda suyuqlikka massaviy kuchlar – og'irlik va enersiya kuchlari,

hamda sirtiy kuchlar – gidrostatik bosim kuchi ta'sir etadi. Butun suyuqlik hajmidan elementar, cheksiz kichik ***dv*** parallelepiped hajmini ajratib olamiz.

Parallelepipedning ***dx, dy, dz*** qirralari ***x, u, z*** o'qlarga parallel joylashgan (2.1-rasm). O'rtacha gidrostatik bosim kuchi, gidrostatik bosimning parallelepiped tomoni yuzasi ko'paytmasiga teng. 2.1-rasmdan ko'rinib turibdiki ***p=f(x,y,z)***. Ushbu funksional bog'liqlik ko'rinishini aniqlaymiz. Buning uchun elementar parallelepipedga ta'sir etuvchi hamma kuchlarning ***x, y, z*** o'qlardagi proyeksiyalar yig'indisini topamiz. ***x, y, z*** o'qlardagi massaviy kuchlarni massa birligiga nisbatlarini ***X, Y, Z*** deb belgilaymiz. Hajmiy kuchlarning ***x*** o'qidagi proyeksiyasi ***dQ=Xdm*** bo'ladi, bu yerda ***dm=ρdxdydz*** yoki ***dQ = Xρdxdydz***. Statikaning asosiy qonuniga binoan, tinch holatdagi suyuqlikka ta'sir etuvchi hamma kuchlar proyeksiyalari yig'indisi nolga teng. Shuning uchun, ***x*** o'qidagi kuchlar proyeksiyasi

$$pd_xd_z - \left(p - \frac{\partial p}{\partial x}dx\right)d_yd_z + Xpd_xd_yd_z = 0 \qquad (2.1)$$

bu yerda, ***pdxdz*** – chap tomonga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi; ***dp/dx-x*** o'qi biror nuqtasidagi gidrostatik bosimning o'zgarishi; ***(dp/dx)dx-dx*** qirra bo'ylab gidrostatik bosimning o'zgarishi.

Qarama-qarshi, o'ng tomonga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim ***p + (dp/dx)dx*** ga teng va uning ***x*** o'qiga proyeksiyasi:

$$\left(p + \frac{\partial p}{\partial x}\partial x\right)dydz$$

(2.1) tenglamada qavsni ochib, tegishli qisqartirishlarni amalga oshirsak, quyidagi ko'rinishdagi tenglamani olamiz:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \rho X = 0$$

Xuddi shunday usul bilan ***y*** va ***z*** o'qlari uchun muvozanat tenglamalarini keltirib chiqaramiz:

$$-\frac{\partial p}{oy} + \rho Y = 0$$

$$-\frac{\partial p}{\partial z} + \rho Z = 0$$

Olingan tenglamalarni sistemalashtirsak:

$$\left.\begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho X &= 0 \\ -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho Y &= 0 \\ -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho Z &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad (2.2)$$

Ushbu tenglamalar sistemasi Eylerning muvozanat holatining differensial tenglamasi deb ataladi.

2.3. Gidrostatikaning asosiy tenglamasi

(2.2) ning har bir tenglamasini ***dx, dy, dz*** larga ko'paytirib va hosil bo'lgan tenglamalar sistemasini qo'shib chiqsak, ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\frac{\partial p}{\partial x}dx + \frac{\partial p}{\partial y}dy + \frac{\partial p}{\partial z}dz = \rho\left(Xdx + Ydy + Zdz\right)$$

Gidrostatik bosim faqat koordinatlar funksiyasi bo'lgani uchun, tenglamaning chap qismi bosimning to'liq differensialini ifodalaydi, ya'ni:

$$dp = \rho\left(Xdx + Ydy + Zdz\right) \qquad (2.3)$$

Agar suyuqlik absolyut tinch holatda bo'lsa, unda inersion va og'irlik kuchlar pastga qarab yo'nalgan bo'ladi, ya'ni ***Z= -g; X=0; Y=0***. Unda

$$dp = -\rho g dz \qquad (2.4)$$

Ushbu tenglama chap va o'ng tomonlarini ρg bo'lsak, quyidagi ko'rinishga erishamiz:

$$dz + \frac{1}{\rho g}\partial p = 0$$

Agar $\rho = const$ bo'lsa,

$$dz + d\left(\frac{p}{\rho g}\right) = 0$$

Oxirgi tenglamani integrallasak, unda

$$z + \frac{p}{\rho g} = const \qquad (2.5)$$

bu yerda, z – geometrik napor yoki istalgan gorizontal yuzaga nisbatan olingan nuqtaning nivelir balandligi, m; p ρg – statik napor yoki pyezometrik bosim kuchi, m.

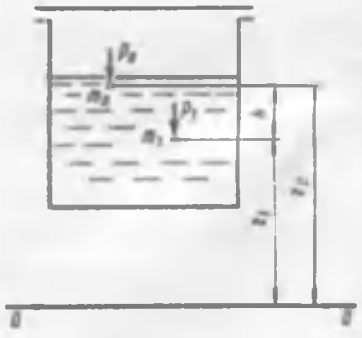
Bu tenglama ***gidrostatikaning asosiy tenglamasi*** deb nomlanadi. Gidrostatikaning asosiy tenglamasiga binoan, tinch holatdagi suyuqlikning istalgan nuqtasida geometrik va statik naporlar yig'indisi o'zgarmas miqdorga teng.

Masalan, z_0 balandlikdagi m_0 suyuqlik zarrachasi va z_1 balandlikdagi m_1 suyuqlik zarrachasi uchun (2.5) tenglamani yozsak, u ushbu ko'rinishda bo'ladi (2.2-rasm):

$$z_0 + \frac{p_0}{\rho g} = z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \qquad (2.6)$$

yoki

$$p_1 = p_0 + \rho g\left(z_0 - z_1\right) = p_0 + \rho g h \qquad (2.7)$$



2.2-rasm. Paskal qonunini keltirib chiqarishga oid.

(2.7) tenglama ***Paskal*** qonunini ifodalaydi. Unga binoan, tinch holatdagi suyuqlikning istalgan nuqtasiga ta'sir etayotgan tashqi bosim suyuqlikning barcha nuqtalariga bir xilda uzatiladi.

Statik napor $p/\rho g$ istalgan nuqtadagi bosimning solishtirma potensial energiyasini xarakterlaydi. Nivelir balandlik z – solishtirish yuzasidan yuqorida joylashgan istalgan nuqta holatining solishtirma potensial energiyasini ifodalaydi. Ikkala energiya yig'indisi suyuqlik og'irligiga to'g'ri keladigan potensial energiyaga teng.

Shunday qilib, gidrostatikaning asosiy tenglamasi (2.5) energiya saqlanish qonunining xususiy holi bo'lib, tinch holatdagi suyuqlikning hamma nuqtalarida solishtirma potensial energiya qiymati o'zgarmas kattalikdir.

(2.3) tenglamadan foydalanib sath yuza yoki bir xil bosimli yuza tenglamasini keltirib chiqarish mumkin, ya'ni $dp=0$ va $Xdx+Ydy+Zdz=0$.

Absolyut tinch holatdagi suyuqlik uchun tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$-gdz = 0 \qquad \text{yoki} \qquad dz = 0\,; \quad z = const$$

Shunday qilib, absolyut tinch holatdagi suyuqlikning sathi tekis, gorizontal yuza ko'rinishida bo'ladi.

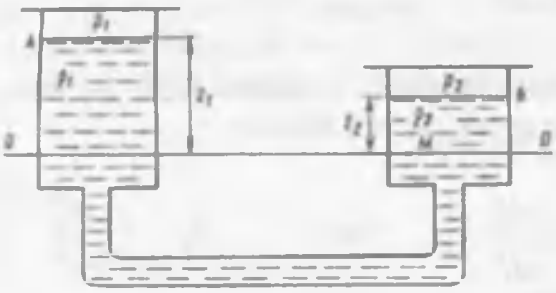
2.4. Gidrostatikaning asosiy tenglamasini amaliyotda qo'llash

Tutashgan idishlar. Ikkita yopiq A va B idishlar zichliklari har xil ρ_1 va ρ_2 aralashmaydigan suyuqliklar bilan to'ldirilgan (2.3-rasm).

A idishdagi bosim p_1, B dagi esa - p_2. Ixtiyoriy O-O tekisligini o'tkazamiz va unda M nuqta tanlab, uning uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$p_1 + \rho_1 g z_1 = p_2 + \rho_2 g z_2 \qquad \text{yoki} \qquad p_1 - p_2 = \rho_2 g z_2 - \rho_1 g z_1 \qquad (2.8)$$

bu yerda, z_1 va z_2 – A va B idishlarda nisbatan M nuqta sathidan suyuqlik yuzasigacha, bo'lgan balandligi.



2.3-rasm. Tutashgan idishlar.

Agar ochiq yoki yopiq idishlarda bir xil zichlik ρ ga ega suyuqliklar bir bosim ostida, ya'ni $p_1 = p_2$ bo'lsa, unda, (2.8) tenglama quyidagi holatga keladi – $z_1=z_2$.

Shunday qilib, tutashgan idishlar zichligi bir xil suyuqlik bilan to'ldirilgan va bir xil bosim ostida bo'lsa, unda idishlar shakli va ko'ndalang kesimidan qat'i nazar suyuqlik sathi bir xil bo'ladi.

Tutashgan idishlarning bu xossasidan texnikada qurilma va idishlarning ichidagi suyuqlik balandligini aniqlashda foydalaniladi.

Agar idishlar bir xil suyuqlik bilan to'ldirilgan, lekin ulardagi bosimlar har xil bo'lsa, (2.8) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$z_2 - z_1 = \frac{P_1 - P_2}{\rho g}$$

Agar idishlarda bosim bir xil, lekin turli xil suyuqliklar solingan bo'lsa, (2.8) tenglama ushbu holatga keladi:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Idish devori va tubiga suyuqlik bosimi suyuqlik ichidagi ixtiyoriy nuqta va tubidagi gidrostatik bosim gidrostatikaning asosiy tenglamasi (2.7) yordamida topiladi:

$$p = p_0 + \rho g(z_0 - z)$$

Ushbu holatda idishning gorizontal tubi uchun $z_0 - z = const$. Idish ichidagi suyuqlik balandligini H orqali ifodalasak, quyidagi formulani olamiz:

$$p = p_0 + \rho g H$$

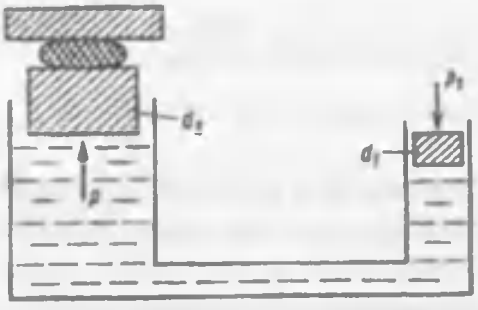
Idish tubidagi bosim kuchi $P = pF$ ga teng, bu yerda F–idish tubining yuzasi.

Oxirgi formuladan, idishning gorizontal tubiga tushayotgan suyuqlikning bosim kuchi, uning shakli va ichidagi suyuqlik hajmiga bog'liq emasligi kelib chiqadi.

Gidravlik press. Kimyo, neft-gaz, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda turli materiallarni presslash, granullash va briketlash uchun gidravlik presslar ishlatiladi. Bunday presslar ishlash prinsipi porshenning yuzasi bosim kuchining proporsionalligiga asoslangan.

Agar d_1 diametrli porshenga P_1 kuch ta'sir ettirilib P gidrostatik bosim hosil qilinsa, Paskal qonuniga ko'ra, d_2 o'lchamli katta porshenga ham P kattalikda bosim ta'sir etadi (2.4-rasm)

d_2 o'lchamli porshenga ta'sir etuvchi bosim kuchi:



2.4-rasm. Gidravlik press.

$$P_2 = \frac{p \cdot \pi \cdot d_2^2}{4}$$

d_1 o'lchamli porshenga esa,

$$P_1 = \frac{p \cdot \pi \cdot d_1^2}{4}$$

Birinchi tenglamani ikkinchisiga bo'lsak, quyidagi tenglamani olamiz:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \qquad \text{yoki} \qquad P_2 = P_1 \cdot \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

2-bob. Gidrostatika bo'yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Gidravlika nimani o'rgatadi?
2. Gidrostatika va gidrodinamika qanday qonuniyatlarni o'rgatadi?
3. Ideal va haqiqiy suyuqliklar degan tushunchalar ma'nosi.
4. Eylerning muvozanat differensial tenglamasini keltirib chiqaring.
5. Gidrostatikaning asosiy tenglamasi va uning fizik ma'nosi.
6. Paskal qonunini ifodalovchi formulani yozing.
7. Gidrostatikaning asosiy tenglamasini amaliyotda qo'llash:
   – tutash idishlar, gidravlik presslar konstruksiyalari va ularni hisoblash formulalarini yozing.

GIDRODINAMIKA

Suyuqliklarning truba quvurlari va kanallarda oqishi, harakatga keltiruvchi kuch, ya'ni bosimlar farqi ta'sirida ro'y beradi. Ushbu kuch nasos, kompressorlar, ayrim hollarda suyuqliklar zichligi yoki sathining farqi yordamida hosil qilinadi.

Ma'lum miqdordagi suyuqlikni zarur tezlikda uzatish uchun bosimlar farqini aniqlash kerak. Undan tashqari, uzatish uchun kerakli energiya miqdori yoki bosimlar farqi ma'lum bo'lsa, suyuqlik sarfi va tezligi topiladi. Yuqorida ko'rsatilganlarni amalga oshirish uchun gidrodinamika qonuniyatlarini bilish darkor.

Gidrodinamikada tashqi va ichki masalalar bo'ladi. Truba va kanallar ichidagi suyuqlikning harakati – bu gidrodinamikaning ichki masalasidir. Turli jismlar yuzasida suyuqlikning harakati – bu gidrodinamikaning tashqi masalasidir.

2.5. Suyuqlik harakatining asosiy xarakteristikalari

Suyuqlik sarfi va tezligi. O'zgarmas ko'ndalang kesimli trubada suyuqlik harakatini ko'rib chiqamiz.

Vaqt birligida ko'ndalang kesim orqali oqib o'tayotgan suyuqlik miqdoriga ***suyuqlik sarfi*** deyiladi. Agar suyuqlik sarfi m^3/s, $m^3/soat$ o'lchov birliklarida o'lchansa – hajmiy sarf, kg/s, kg/soat larda o'lchansa – ***massaviy sarf*** deb hisoblanadi.

Oqim ko'ndalang kesimining turli nuqtalarida suyuqlik zarrachalarining tezligi bir xil bo'lmaydi.

Quyida keltirilgan 2.13 - rasmga binoan, truba o'qi atrofida suyuqlik tezligi maksimal, uning devoriga yaqinlashgan sari minimal qiymatga teng bo'ladi. Lekin ko'pchilik hollarda truba ko'ndalang kesimi orqali oqib o'tayotgan suyuqlik tezliklarining taqsimlanish qonuniyatlari noma'lum yoki uni aniqlash juda qiyin. Suyuqliklarning haqiqiy tezligini o'lchash juda murakkab bo'lgani uchun, muhandislik hisoblashlarda zarrachalar o'rtacha tezligi ishlatiladi. Suyuqlik hajmiy sarfi Q (m^3/s) ning truba ko'ndalang kesim yuzasi F (m^2) nisbatiga ***o'rtacha tezlik*** w (m/s) deb nomlanadi:

$$w = \frac{Q}{F} \tag{2.9}$$

Bundan hajmiy sarf,

$$Q = w \cdot F \tag{2.10}$$

Massaviy sarf G (kg/s) esa, quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$G = \rho \cdot w \cdot F \tag{2.11}$$

bu yerda, ρ – suyuqlik zichligi, kg/m^3.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, yuqorida keltirilgan formulalar istalgan shakldagi ko'ndalang kesimli kanallar uchun ham to'g'ri keladi.

Gidravlik radius va ekvivalent diametr. Dumaloq bo'lmagan, istalgan shakldagi ko'ndalang kesimli trubalardan suyuqlik oqib o'tganda, asosiy chiziqli o'lcham sifatida gidravlik radius yoki ekvivalent diametri qabul qilinadi.

Truba yoki kanal ichida harakat qilayotgan oqim ko'ndalang kesim yuzasining perimetriga nisbati ***gidravlik radius*** r_g (m) deb nomlanadi:

$$r_g = \frac{F}{P} \tag{2.12}$$

bu yerda, F – suyuqlik oqimi ko'ndalang kesim yuzasi, m^2; P – ho'llangan perimetr, m.

Ichki diametri d, ko'ndalang kesim yuzasi $F = \pi d^2/4$ va ho'llangan perimetri $\Pi = \pi d$ bo'lgan dumaloq truba uchun gidravlik radius ushbu formuladan topiladi:

$$r_g = \frac{F}{\Pi} = \frac{\pi \cdot d^2 / 4}{\pi d} = \frac{d}{4} \tag{2.12a}$$

Gidravlik radius orqali ifodalangan ***ekvivalent diametr*** quyidagi ko'rinishga ega

$$d = d_e = 4r_g$$

Agar (2.12) tenglamani inobatga olsak,

$$d_e = \frac{4 \cdot F}{\Pi}$$

Tomonlari a va v bo'lgan to'rtburchak ko'ndalang kesimli suyuqlik bilan to'ldirilgan kanallar uchun gidravlik radius ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$r_g = \frac{F}{\Pi} = \frac{a \cdot в}{2a + 2в} = \frac{a \cdot в}{2 \cdot (a + в)}$$

ekvivalent diametr esa

$$d_e = 4r_g = \frac{4 \cdot a \cdot в}{2 \cdot (a + в)} = \frac{2 \cdot a \cdot в}{a + в}$$

Ichki diametri d_i va tashqi diametri d_t bo'lgan ikkita trubalar hosil qilgan halqasimon trubalararo bo'shliqning ko'ndalang kesim yuzasi uchun ekvivalent diametr quyidagi tenglamadan aniqlash mumkin:

$$d_e = \frac{4 \cdot F}{\Pi} = \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_T^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_u^2}{4} \right)}{\pi \cdot d_T + \pi \cdot \cdot d_u} = \frac{d_T^2 - d_u^2}{d_T + d_u} = d_T - d_u$$

Dumaloq truba uchun $d_e = d$.

Turg'un va turg'unmas (noturg'un) oqimlar. Suyuqlik harakat qonuniyatlariga qarab turg'un va noturg'un oqimlar bo'ladi.

Suyuqlik oqimining turg'un harakati davrida vaqt o'tishi bilan suyuqlik zarrachalarining tezligi va boshqa omillar (bosim, zichlik, temperatura va hokazolar) o'zgarmaydi ($dw/d\tau = o$, $dp/d\tau = o$ va hokazo), lekin oqimda kuzatilayotgan nuqta holatiga bog'liq:

$$w = f_1(x, y, z); \quad p = f_2(x, y, z); \quad h = f_3(x, y, z)$$

bu yerda, w – suyuqlik tezligi; p – bosim; h – oqim chuqurligi.

Turg'unmas harakat davrida tezlik, bosim va oqim chuqurligi koordinata va vaqtga bog'liq bo'ladi:

$$w = f_1(x, y, z, \tau); \quad p = f_2(x, y, z, \tau); \quad h = f_3(x, y, z, \tau)$$

Oqimlarning turg'un harakati uzluksiz, noturg'un esa – davriy jarayonlar uchun xarakterlidir.

Turg'un harakat ikki xil bo'ladi: tekis va notekis.

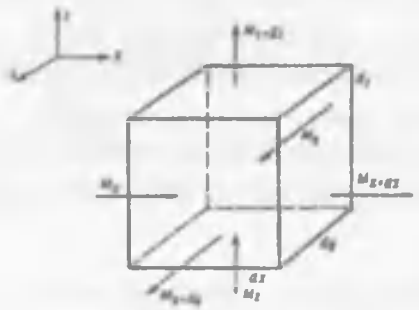
Oqim uzunligi bo'yicha uning tezligi, bosimi, chuqurligi va shakli o'zgarmasa, suyuqlikning harakati tekis, lekin bularning aksi bo'lsa – notekis harakati sodir bo'ladi.

Oqim o'rtasida (o'qida) suyuqlik harakatining tezligi maksimal, devor atrofidagi oqimchalarda esa minimal bo'ladi. Oqimda tezliklar taqsimlanishi suyuqlik harakat rejimlariga bog'liq.

2.6. Oqimning uzluksizlik tenglamasi

Uzluksiz harakat qilayotgan sharoitda suyuqlik oqimidagi tezliklar orasidagi bog'liqlikni ko'rib chiqamiz.

Buning uchun oqimdan hajmi $dV = dx,dy,dz$ bo'lgan elementar parallelepipedni ajratib olamiz (2.5-rasm).



2.5-rasm. Suyuqlik oqimining uzluksizlik tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

x o'qi bo'ylab harakat tezligining tashkil qilgan w_x deb belgilaymiz. Unda, parallelepipedning $dy\,dz$ chap tomonidan cheksiz qisqa vaqt ichida unga quyidagi miqdorda suyuqlik kiradi:

$$M_x = \rho w_x \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

bu yerda, ρ – suyuqlik zichligi.

Suyuqlik umuman siqilmaydi degan taxminni qabul qilamiz. Unda, suyuqlik zichligi ρ o'zgarmas bo'ladi.

Parallelepipedning qarama-qarshi tomonida suyuqlikning tezligi $\frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx$ qiymatga farq qiladi va quyidagiga teng bo'ladi:

$$w_x + \frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx$$

O'ng tomondan $d\tau$ vaqt ichida oqib chiqqan suyuqlik miqdori quyidagiga teng:

$$M_{x+dx} = \rho\left(w_x + \frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx\right) \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

Parallelepipedda ortib borayotgan massa miqdori

$$dM_x = M_x - M_{x+dx} = -\rho \frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

ga teng bo'ladi.

u va *z* o'qlari bo'ylab, suyuqlik massasining o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$dM_y = -\rho \frac{\partial w_y}{\partial y} \cdot dy \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau$$

$$dM_z = -\rho \frac{\partial w_z}{\partial z} \cdot dz \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau$$

Parallelepipedda $d\tau$ vaqt birligi ichida suyuqlik massasi umumiy miqdorining o'zgarishi koordinata o'qlari bo'ylab, uning o'zgarishlari yig'indisiga teng:

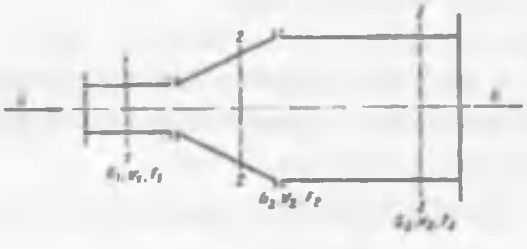
$$dM = dM_x + dM_y + dM_z = -\rho \cdot \left(\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

Agar $\rho = const$ bo'lganda, parallelepiped ichidagi suyuqlik massasi o'zgarmas bo'lishi kerak. Demak, massaning umumiy o'zgarishi $dM=0$ yoki

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} = 0 \qquad (2.13)$$

yoki $divw=0$. bu yerda $\frac{\partial w_x}{\partial x}, \frac{\partial w_y}{\partial y}, \frac{\partial w_z}{\partial z} - x, y, z$ o'qlari yo'nalishida tezliklarning o'zgarishi. Ushbu tenglama siqilmaydigan suyuqlik oqimi uzluksizligining differensial tenglamasi.

(2.13) tenglamani integrallagandan keyin, suyuqlikning turg'un harakati paytida truba quvurining har bir ko'ndalang kesimidan vaqt birligida bir xil miqdorda suyuqlik oqib o'tadi (2.6-rasm).



2.6-rasm. Suyuqlik oqimining uzluksizlik tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

$$G_1 = G_2 = G_3 = ... = const \qquad (2.14)$$

bu yerda, G – massaviy sarf, kg/s; $G = \rho w F$.

Tomchili, siqilmaydigan suyuqliklar $\rho = const$ bo'lgani uchun (2.14) tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$w_1 F_1 = w_2 F_2 = w_3 F_3 = const \qquad (2.15)$$

(2.15) tenglamadan ko'rinib turibdiki, tomchili suyuqlik harakatining tezligi trubaning ko'ndalang kesim yuzasiga teskari proporsionaldir:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{F_2}{F_1}$$

Shunday qilib, (2.15) tenglama **massa saqlanish qonuni**ning xususiy holi bo'lib, **suyuqlik oqimining moddiy balansi**ni ifodalaydi.

Agar suyuqlik tarkibida havo yoki suv bug'i, yoki havo bo'shliqlari paydo bo'lsa, oqim uzluksizligi buziladi.

2.7. Suyuqlik harakatining Eyler differensial tenglamasi

Oqimning istalgan nuqtasida suyuqlik harakatining tezligi va bosim orasidagi bog'liqlikni L. Eylerning harakat tenglamasi yordamida ifodalash mumkin.

Ushbu tenglamani keltirib chiqarish uchun turg'un harakat qilayotgan ideal suyuqlik oqimidan $dV=dxdydz$ hajmli elementar parallelepiped ajratib olamiz (2.1-rasm).

Parallelepipedga ta'sir etuvchi og'irlik va bosim kuchlarining koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari quyidagicha bo'ladi:

x o'qiga $$-\frac{\partial p}{\partial x}dxdydz$$

y o'qiga $$-\frac{\partial p}{\partial y}dxdydz$$

z o'qiga $$-\frac{\partial p}{\partial z}dxdydz$$

Dinamikaning asosiy prinsipiga binoan, harakatdagi elementar suyuqlik hajmiga ta'sir etuvchi hamma kuchlar proyeksiyalarining yig'indisi suyuqlik massasini uning tezlanishi ko'paytmasiga teng.

Parallelepiped hajmidagi suyuqlik massasi:

$$dm = \rho dxdydz$$

Agar elementar zarracha tezligi w, uning tezlanishi $dw/d\tau$ bo'lsa, tezlanishning koordinatalar o'qidagi proyeksiyalari quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{dw_x}{d\tau};\qquad \frac{dw_y}{d\tau};\qquad \frac{dw_z}{d\tau}.$$

bu yerda, w_x, w_y, w_z – x, y, z o'qlardagi tezliklar.

Koordinata o'qlariga nisbatan tezlanishning proyeksiyalari $\partial w_x / d\tau$, $\partial w_y / d\tau$ va $\partial w_z / d\tau$ bo'ladi.

Suyuqlik oqimi turg'un harakat qilayotgani sababli $\partial w_x / d\tau, = 0$; $\partial w_y / d\tau = 0$; $\partial w_z / d\tau = 0$.

Bunda, tezlikning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi, fazoda olingan nuqta tezligining o'zgarishini emas, balki suyuqlik elementar zarrachasining fazoda bir nuqtadan ikkinchisiga o'tganda x, y va z o'qlarga mos keladigan tezlik miqdori w_x, w_y va w_z larning o'zgarishini ko'rsatadi. Dinamikaning asosiy prinsipiga binoan:

$$\rho dxdydz \frac{dw_x}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial x} dxdydz$$

$$\rho dxdydz \frac{dw_y}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial y} dxdydz$$

$$\rho dxdydz \frac{dw_z}{d\tau} = -\left(\rho g + \frac{\partial p}{\partial z}\right) dxdydz$$

Qisqartirishlardan so'ng esa, ushbu tenglamalar sistemasini olamiz:

$$\left.\begin{aligned} \rho\frac{dw_x}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial x} \\ \rho\frac{dw_y}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial y} \\ \rho\frac{dw_z}{d\tau} &= -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned}\right\} \qquad (2.16)$$

Bu tenglamalar sistemasi turg'un oqimlar uchun ideal suyuqliklar harakatini ifodalovchi Eylerning differensial tenglamasi.

2.8. Haqiqiy suyuqlik oqimi uchun Bernulli tenglamasi

Turg'un oqimlar uchun Eylerning differensial tenglamalar sistemasini yechish gidrodinamikada katta ahamiyatga ega va juda ko'p ishlatiladigan Bernulli tenglamasini olish imkonini beradi.

Agar (2.16) tenglamalar sistemasining chap va o'ng tomonlarini ***dx, dy, dz*** larga ko'paytirib va suyuqlik zichligi ρ ga bo'lsak, ushbu ifodalarni olamiz:

$$\left.\begin{aligned} \frac{dx}{d\tau}\cdot dw_x &= -\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial x}dx \\ \frac{dy}{d\tau}\cdot dw_y &= -\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial y}\cdot dy \\ \frac{dz}{d\tau}\cdot dw_z &= -qdz - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial z}\cdot dz \end{aligned}\right\} \qquad (2.17)$$

(2.17) tenglamalar sistemasidagi ***dx/dτ, dy/dτ*** va ***dz/dτ*** nisbatlar tegishli koordinata o'qlaridagi w_x, w_y va w_z tezliklarning o'zgarishini ifodalaydi. Ushbu nisbatlarni tezlik orqali ifodalab, o'z o'rniga qo'ysak:

$$w_x dw_x + w_y dw_y + w_z dw_z = -gdz - \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial p}{\partial x}dx + \frac{\partial p}{\partial y}dy + \frac{\partial p}{\partial z}dz\right)$$

Tenglamaning chap tomonidagi qo'shiluvchilar quyidagi ko'rinishda ifodalanishi mumkin:

$$w_x dw_x = d\left(\frac{w_x^2}{2}\right); \qquad w_y dw_y = d\left(\frac{w_y^2}{2}\right); \qquad w_z dw_z = d\left(\frac{w_z^2}{2}\right).$$

Ularning yig'indisi esa,

$$d\left(\frac{w_x^2}{2}\right) + d\left(\frac{w_y^2}{2}\right) + d\left(\frac{w_z^2}{2}\right) = d\cdot\left(\frac{w_x^2 + w_y^2 + w_z^2}{2}\right) = d\left(\frac{w^2}{2}\right)$$

bu yerda. $w = |w|$ – tezlik vektorining kattaligi bo'lib, w_x, w_y va w_z o'qlari uchun o'z qiymatiga ega.

Tenglamaning o'ng tomonidagi ifoda bosimning to'la differensiali ***dp*** ga teng. Turg'un oqimlar uchun bosim fazodagi nuqta holatiga bog'liq bo'lib, istalgan nuqta uchun vaqt birligida o'zgarmaydi.

Demak,

$$d\left(\frac{w^2}{2}\right) = -\frac{dp}{\rho} - gdz$$

Ushbu tenglamaning ikkala tomonini erkin tushish tezlanishi ***g*** ga bo'lsak va hamma ifodalarni chap tomonga o'tkazsak, quyidagi ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$d\cdot\left(\frac{w^2}{2g}\right) + \frac{dp}{\rho g} + dz = 0 \qquad (2.18)$$

Bir jinsli. siqilmaydigan suyuqliklar uchun ρ=const.

Tenglamadagi differensiallar yig'indisini yig'indilar differensiali bilan almashtirilishi mumkin, ya'ni:

$$d\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g}\right) = 0$$

bu yerda

$$z + \frac{p}{\rho\cdot g} + \frac{w^2}{2g} = const \qquad (2.19)$$

Ushbu ko'rinishdagi ifoda ideal suyuqliklar uchun ***Bernulli tenglamasi*** deyiladi. $\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g}\right)$ kattalikka ***to'liq gidrodinamik napor*** yoki ***gidrodinamik napor*** deb nomlanadi.

Bernulli tenglamasiga binoan, ideal suyuqliklarning turg'un harakatida geometrik, statik va dinamik naporlar yig'indisi umumiy gidrodinamik naporga teng bo'lib, oqim bir trubadan ikkinchisiga o'tganda ham o'zgarmaydi.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} \qquad (2.20)$$

Bernulli tenglamasi **energiya saqlanish qonuni**ning xususiy holi bo'lib, **oqimning energetik balansini xarakterlaydi**. z – nivelir balandlik yoki geometrik napor (h_s, m) deb ataladi va nuqta holatining solishtirma potensial energiyasini

ifodalaydi. $\frac{p}{\rho g}$ – bosim napori yoki pyezometrik napor (h_c, m) deb nomlanadi va bosimning solishtirma potensial energiyasini ifodalaydi.

$\left(z+\frac{p}{\rho g}\right)$ yig'indi to'liq gidrostatik yoki statik napor (h_{st}, m) deyiladi va ushbu nuqtadagi to'liq solishtirma potensial energiyani ifodalaydi. $\frac{w^2}{2g}$ – tezlik yoki dinamik napor (h_d, m) deb nomlanadi va ushbu nuqtadagi solishtirma kinetik energiyani xarakterlaydi. Demak, turg'un xarakterdagi suyuqlik uchun potensial $\left(z+\frac{p}{\rho g}\right)$ va kinetik $\left(\frac{w^2}{2g}\right)$ energiyalar yig'indisi oqimning istalgan ko'ndalang kesimida o'zgarmas qiymatga ega.

Ma'lumki, haqiqiy (real) suyuqliklarda ichki ishqalanish kuchlari mavjud bo'lib, ular truba yoki kanallarda harakat qilganda, bir qism napor bu kuchni yengishga sarf etiladi.

Haqiqiy suyuqliklar uchun Bernulli tenglamasi ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$z_1+\frac{p_1}{\rho g}+\frac{w_1^2}{2g}=z_2+\frac{p_2}{\rho g}+\frac{w_2^2}{2g}+h_i \qquad (2.21)$$

yoki

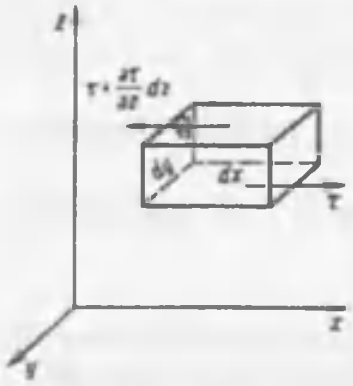
$$h_z+h_c+h_g+h_u=H$$

bu yerda, h_i – ishqalanish kuchini yengish uchun sarflangan napor.

Agar suyuqlik gorizontal trubada harakat qilayotgan bo'lsa, unda geometrik napor nolga teng bo'ladi, ya'ni h_z=0. Unda

$$h_c+h_d+h_u=H \qquad (2.22)$$

Shunday qilib, Bernulli tenglamasi energiya saqlanish qonunining xususiy holi bo'lib, oqimning energetik balansini ifodalaydi.



2.7-rasm. Navye-Stoks tenglama-sini keltirib chiqarishga oid.

2.9. Suyuqlik harakatining Navye-Stoks differensial tenglamasi

Suyuqlik oqimi harakatining Navye-Stoks differensial tenglamasi 1845-yili keltirib chiqarilgan.

Bu tenglamani keltirib chiqarish uchun quyidagi taxminlar qabul qilinadi: suyuqlik siqilmaydi va kengaymaydi.

Qovushqoq, haqiqiy (real) suyuqliklar harakatida oqim zarrachalariga og'irlik va gidrostatik kuchlardan tashqari, ishqalanish kuchlar ta'sirini topish uchun harakatdagi haqiqiy suyuqlik oqimida cheksiz kichik parallelepiped shaklidagi elementar zarracha

(2.24) tenglamalar sistemasida ρg – og'irlik kuchi, $\partial p/\partial x$, $\partial p/\partial y$, $\partial p/\partial z$ - gidrostatik bosim o'zgarishi Laplas operatorini μ ga ko'paytmasi – ishqalanish kuchlarining suyuqlik oqimiga ta'sirini xarakterlaydi. Tenglamalar sistemasining chap tomonlari inersiya kuchlarining ta'sirini ifodalaydi.

Keltirib chiqarilgan (2.24) tenglamalar sistemasi trubada oqayotgan haqiqiy suyuqlik oqimining turg'un harakatini ifodalovchi Eyler differensial tenglamasi deyiladi.

(2.24) dagi $\mu = 0$ bo'lganda, ideal suyuqlik oqimlarining turg'un harakatini ifodalovchi Eylerning differensial tenglamasini olish mumkin.

Haqiqiy suyuqlik harakatini to'la ifodalash uchun tenglamalar sistemasini keltirib chiqarishda suyuqlikning siqiluvchanligi va temperatura ta'sirida kengayishini hamda oqimning uzluksizligini hisobga olish zarur.

Lekin matematik ifoda murakkabligi uchun umumiy ko'rinishdagi Navye-Stoks differensial tenglamalar sistemasini yechish qiyin. Shuning uchun ushbu tenglamalar sistemasi ayrim xususiy hollar uchungina yechilgan. Buning uchun, bu differensial tenglamalardan o'xshashlik nazariyasi asosida bir qator o'xshashlik kriteriylari keltirib chiqariladi. Olingan kriteriylar jarayonlarni hisoblashda ishlatiladi.

2.10. Bernulli tenglamasining amaliy qo'llanilishi

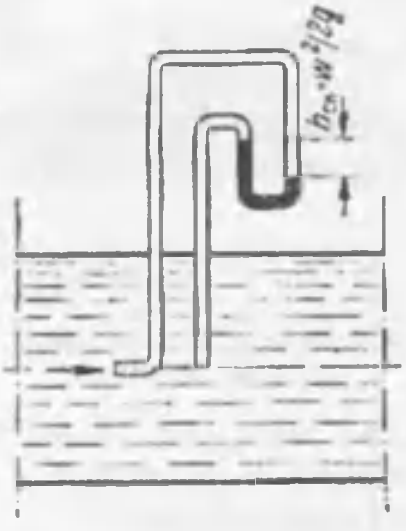
Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarida suyuqliklar tezligi, sarfi va teshiklardan oqib chiqishini aniqlashda Bernulli tenglamasidan keng ko'lamda foydalaniladi.

Suyuqlik tezligi va sarfini o'lchash prinsiplari. Sanoatda va ilmiy tadqiqotlarda suyuqlik tezligi va sarfini o'lchash uchun drossel asboblar va pnevmometrik trubalar ishlatiladi.

Pito-Prandtl pnevmometrik trubkasining tuzilishi 2.8-rasmda ko'rsatilgan.

Trubkalarning har bir ko'ndalang kesimida suyuqlik sathlarining farqi, uning o'qidagi nuqtaning tezlik napori h_T ni ifodalaydi. Trubkalardagi ishchi suyuqlik sathlarini *U*-simon differensial manometr yordamida o'lchash qulay. *U*-simon difmanometr ichidagi suyuqlik ishchi suyuqlik bilan aralashmaydi va uning zichligi ishchi suyuqliknikidan ancha katta bo'ladi.

Agar trubadagi suyuqlik biror tezlikka ega bo'lsa, *U*-simon difmanometrda suyuqlik h balandlikka ko'tarilishi dinamik naporni ko'rsatadi, ya'ni



2.8-rasm. Pito-Prandtl pnevmometrik trubka yordamida suyuqlik tezligini o'lchash.

$$h_T = \frac{w^2}{2g}$$

Dinamik napor qiymatidan tezlikni topish mumkin:

$$w = \sqrt{2gh} \qquad (2.25)$$

Pito-Prandtl trubkasining oqimi yo'nalishida bo'lishi, suyuqlik tezligining umumiy taqsimlanishiga ta'sir etadi. Shuning uchun formulaga tegishli tuzatish koeffitsiyenti kiritiladi:

$$w = \alpha\sqrt{2gh} \qquad (2.26)$$

Formuladagi α sarf koeffitsiyentining qiymati har bir o'lchov asbobi va pnevmometrik trubkalar uchun tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Uning qiymati Reynolds kriteriysi va drossel asbobi diametri d_0 ning

ajratib olamiz (2.7-rasm). Ishqalanish kuchlari parallelepipedning ustki va pastki tomonlari $dF = dx \cdot dy$ yuzalariga urinma bo'ylab, ta'sir etmoqda.

Agar parallelepiped pastki tomonida urinma bo'ylab kuchlanish τ bo'lsa, ustki tomonida esa:

$$\tau + \frac{\partial \tau}{\partial z} dz$$

bu yerda, $\frac{\partial \tau}{\partial z} dz$ – parallelepiped z o'qidagi pastki tomon urinma kuchlanishining o'zgarishini ifodalaydi.

x o'qiga ta'sir etuvchi ishqalanish kuchlarining proyeksiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\tau dxdy - \left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial z} dz \right) dxdy = -\frac{\partial \tau}{\partial z} dxdydz$$

Ushbu tenglamaga urinma kuchlanishi $\tau = \mu \frac{\partial w_x}{\partial z}$ ni qo'ysak, quyidagicha ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\mu \frac{\partial \left(\frac{\partial w_x}{\partial z} \right)}{\partial z} dxdydz = \mu \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} dxdydz$$

Umumiy holatda, agar uch o'lchovli oqim w_x tezligining tashkil etuvchisi faqat z o'qi yo'nalishida emas, balki koordinataning hamma uch o'qi yo'nalishida o'zgaradi. Unda x o'qiga bir xil ta'sir etuvchi ishqalanish kuchlarining proyeksiyasi ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$\mu \left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} \right) dxdydz$$

Koordinata o'qlari bo'ylab ikkinchi hosilalar yig'indisi Laplas operatori deb nomlanadi:

$$\frac{\partial^2 w_x}{\partial w^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial y} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z} = \nabla^2 w_x \qquad (2.23)$$

Cheksiz kichik elementar parallelepiped shakldagi zarrachaga ta'sir etuvchi og'irlik, gidrostatik va ishqalanish kuchlari proyeksiyalarining yig'indisi dinamikaning asosiy prinsipiga binoan quyidagiga teng:

$$\left.\begin{aligned} \rho \frac{dw_x}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 w_x \\ \rho \frac{dw_y}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 w_y \\ \rho \frac{dw_z}{d\tau} &= -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w_z \end{aligned}\right\} \qquad (2.24)$$

truba diametri d_1 nisbatiga bog'liqdir:

$$\alpha = f\left(\mathrm{Re}, \frac{d_0}{d_1}\right)$$

Suyuqlik sarfi esa sekundli sarf tenglamasidan topiladi:

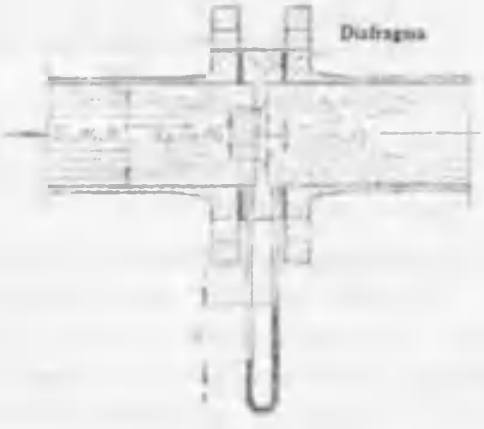
$$V = wF$$

Bu usulda suyuqlik tezligi va sarfini aniqlash oson, lekin pnevmometrik trubkani truba quvurining o'qiga o'rnatish qiyinligi uchun yuqori aniqlikka erishib bo'lmaydi.

Shuning uchun xalq xo'jaligining turli sohalarida suyuqlik va tezlikni o'lchash uchun drossel asboblar qo'llaniladi.

Bu asboblarning ishlash prinsipi trubalarning ko'ndalang kesimi o'zgarishi bilan dinamik bosimlar farqining o'zgarishiga asoslangan. Drossel asboblar sifatida o'lchov diafragmasi, soplosi va Venturi trubalari ishlatilishi mumkin.

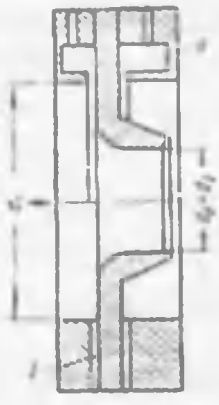
O'lchov diafragmasi yupqa diskdan yasaladi va o'rtasida dumaloq ko'ndalang kesimli teshik bo'ladi (2.9-rasm).



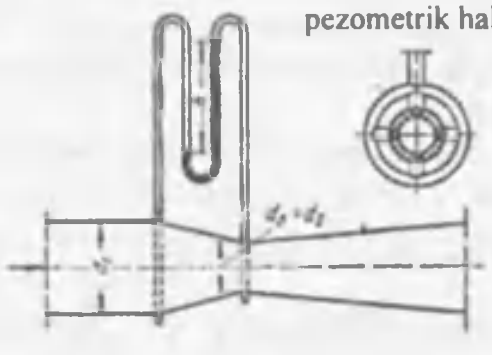
2.9-rasm. O'lchov diafragmasi.

O'lchov soplosi nasadka bo'lib, kirish qismi asta-sekin torayib boradigan qayilishdan va chiqish qismi-silindrik shaklga ega. *U*-simon differensial manometr halqasimon *a* yoki *b* kanallarga ulanadi (2.10-rasm).

Venturi trubasida o'lchovchi diafragma va soplolarga nisbatan napor va bosimning yo'qotilishi kam bo'ladi (2.11-rasm). Bunga sabab, Venturi trubasida diametr *d* asta-sekin torayib, keyin esa asta-sekin kengayib, dastlabki holati *d* o'lchamiga qaytishdir. Lekin bu asbobning kamchiligi shundaki, uning uzunligi juda katta. Bu esa, uning sanoatda keng qo'llanilishini ma'lum miqdorda cheklaydi.



2.10-rasm. O'lchov soplosi.



2.11-rasm. Venturi trubasi.

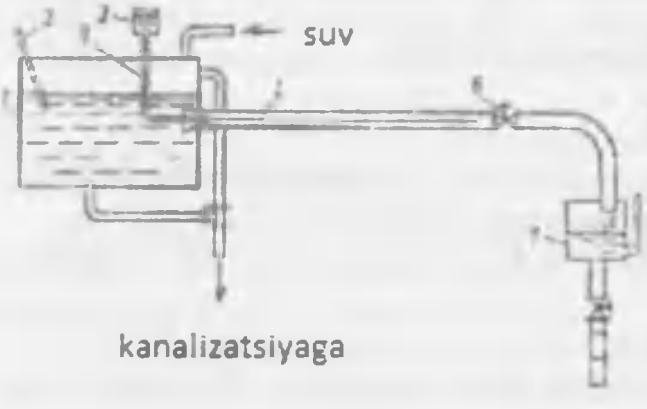
2.11. Suyuqlik harakati rejimlari

Suyuqlik harakati rejimlari birinchi bor tajriba qurilmasida 1883-yili ingliz olimi Reynolds tomonidan o'rganilgan (2.12-rasm).

Suyuqlikning bak 1 dan oqib chiqishi o'zgarmas naporda sodir bo'ladi. Suyuqlik sarfi esa, kran 6 yordamida rostlanadi va o'lchov idishi 7 da uning miqdori aniqlanadi.

Truba 5 ning o‘qi bo‘ylab kapillar trubka 4 o‘rnatiladi va u orqali rangli suyuqlik uzatiladi.

Tajriba paytida truba 5 ga asosiy suyuqlik bilan birga rangli suyuqlik yuboriladi. Truba 5 ichida tezliklar kichik bo‘lganda, rangli suyuqlik oqimchasi oqim o‘qi bo‘ylab ingichka chiziq bo‘lib cho‘ziladi va bir tekis harakat qilayotganini ko‘ramiz. Agar turli joylarda o‘rnatilgan bir nechta turli kapillar naychalardan asosiy oqimga o‘rnatilgan rangli suyuqlik yuborsak, bir-biri bilan yo‘nalishlari kesishmaydigan oqimchalarni kuzatamiz. Truba ichida suyuqlik oqimchalarining parallel yo‘nalish bo‘ylab, ya’ni texnikada ***laminar rejim*** deb nomlanuvchi, suyuqlikning oqimchali harakati sodir bo‘ladi.



2.12-rasm. Reynolds qurilmasi.
1-bak; 2-termometr; 3-rangli modda uchun idish; 4-kapillar truba; 5-truba; 6-kran; 7-yig‘gich.

Oqimda tezliklar taqsimlanishi parabola shaklidagi chiziq bilan ifodalanadi. Bunda, maksimal tezlik oqimning o‘qida bo‘ladi, minimal tezlik esa truba devori yaqinidagi qatlamlarga to‘g‘ri keladi. Truba devoriga yopishib turgan yupqa suyuqlik qatlami – ***chegaraviy qatlam*** deb nomlanadi.

Agar suyuqlik tezligini yanada oshirsak, rangli suyuqlik to‘lqinsimon harakatlanib butun suyuqlik oqimiga aralashib, ko‘rinmay ketadi. Bunga sabab, oqimning ayrim zarrachalari nafaqat truba o‘qi bo‘ylab gorizontal, chiziqli harakat qiladi, balki suyuqlik zarrachalari bir-biri bilan aralashib, ko‘ndalang yo‘nalishda tartibsiz harakatlanadi. Natijada butun suyuqlik massasi indikator rangiga bo‘yaladi. Suyuqlikning bunday to‘lqinsimon, tartibsiz harakati ***turbulent rejim*** deb ataladi. Oqimda tezliklar taqsimlanish cho‘qqisi keng, parabolasimon chiziq bilan ifodalanadi.

Ingliz fizik-olimi Reynolds tajribalarda suyuqlik tezligi, qovushqoqligi, zichligi va truba diametrini o‘zgartirdi. Tajribalar tahlili asosida olim quyidagicha xulosaga keldi: suyuqlik oqimining laminar rejimdan turbulent rejimga o‘tishi suyuqlik massaviy tezligi ρw, truba diametriga to‘g‘ri va suyuqlik qovushqoqligi μ ga teskari proporsionaldir. Olim tomonidan taklif etilgan o‘lchamsiz kompleks Reynolds kriteriysi deb yuritiladi.

$$\mathrm{Re} = \frac{wd\rho}{\mu} = \frac{wd}{\nu} \qquad (2.27)$$

bu yerda, $\nu = \mu/\rho$ – kinematik qovushqoqlik, m^2/s.

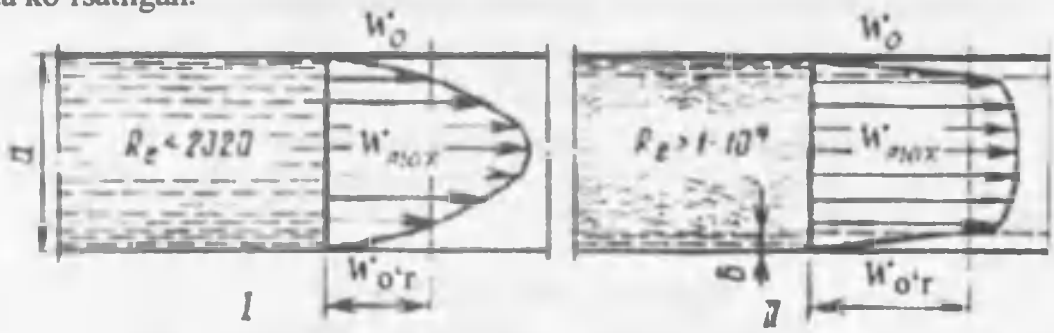
Reynolds kriteriysining son qiymatlariga qarab, suyuqlik harakat rejimi aniqlanadi. Undan tashqari, ushbu kriteriy qovushqoqlik va inersiya kuchlarining o‘zaro nisbatini xarakterlaydi. Bir xil truba diametri va suyuqlik tezligida, yuqori zichlik va kichik qovushqoqlikka ega suyuqliklar turbulent rejimga tezroq chiqadi. Laminar rejimdan turbulent rejimga o‘tish Reynolds kriteriysining kritik qiymatlarida sodir bo‘ladi.

Tekis trubalarda suyuqlik oqimi harakati uchun $Re_{kr} = 2320$. Agar $Re < 2320$ bo‘lsa, turg‘un laminar rejim bo‘ladi. Agar $2320 < Re < 10000$ bo‘lsa, suyuqlik harakati o‘tish rejimiga to‘g‘ri keladi.

Suyuqlik oqimining noturg'un harakatini o'tish rejimi xarakterlaydi. Bu rejimda ikki harakat turi bir vaqtning o'zida sodir bo'lishi yoki biridan ikkinchisiga oson o'tishi mumkin.

Re>10000 bo'lsa, turg'un turbulent rejimi bo'ladi.

Laminar va turbulent rejimlarda truba kesimida tezliklarning taqsimlanishi 2.13-rasmda ko'rsatilgan.



2.13-rasm. Laminar (I) va turbulent (II) harakat rejimlarida truba kesimida tezliklarning taqsimlanishi.

Nyuton ichki ishqalanish qonuniga bo'ysunmaydigan suyuqliklar harakatini modifikatsiyalashgan Reynolds kriteriysi xarakterlaydi:

$$\mathrm{Re}^{*} = \frac{d^{n} \cdot w^{2-n} \cdot \rho}{8^{n-1} k} \qquad (2.28)$$

bu yerda, n – oqim indeksi; k – konsistentlik ko'rsatkichi.

Suyuq oziq-ovqat mahsulotlari uchun turg'un laminar rejim $Re^{*}<<1$ bo'lganda sodir bo'ladi.

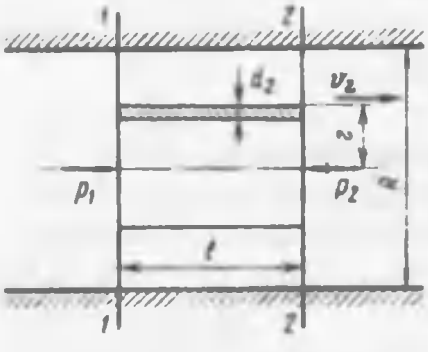
2.12. Laminar harakat qonunlari

Oqimchali harakat gipotezasidan kelib chiqqan holda, shuni ta'kidlash mumkinki, qatlamlar orasidagi ishqalanish kuchlari ta'sirida har bir qatlamdagi suyuqlik zarrachasining tezligi avvalgidan farq qiladi.

Suyuqlik qatlamlari orasida urinma kuchlanishlar bo'lgani uchun ishqalanish kuchlari hosil bo'ladi. Nyuton qonuniga binoan:

$$\tau = \pm\mu \frac{dw_r}{dr}$$

Truba devorida urinma kuchlanish maksimal va oqim o'qida minimal qiymatga ega. Demak, truba devoridan suyuqlik oqimchasi qanchalik uzoqda bo'lsa, uning tezligi shuncha katta bo'ladi va maksimal qiymati oqim o'qiga to'g'ri keladi (2.13).



2.14-rasm. Tezliklarni taqsimlanish qonuniga oid keltirib chiqarish.

Suyuqlik oqimida tezliklar taqsimlanish qonunini aniqlash uchun oqim o'qidan r masofada joylashgan, uzunligi l va qalinligi dr bo'lgan elementlar silindr shaklidagi suyuqlik bo'lakchasini ajratib olamiz (2.14-rasm).

Suyuqlik turg'un harakatida jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi $\Delta P=P_1-P_2$ butunlay ichki ishqalanish qarshiligi T ni yengishga sarflanadi:

$$P_1 - P_2 = T$$

lekin

$$P_1 - P_2 = (p_1 - p_2)\pi r^2$$

bu yerda, p_1 va p_2 – 1-1 va 2-2 kesimlardagi gidrostatik bosim.

Yuqorida keltirilgan tenglamaga binoan ishqalanish kuchi quyidagiga teng:

$$T = -\mu F \frac{dw_r}{dr}$$

bu yerda, F – elementar silindr shaklidagi suyuqlikning tashqi yuzasi $F=2\pi rl$.

Unda

$$(p_1 - p_2)\pi r^2 = -\mu 2\pi r l \frac{dw_r}{dr}$$

O'zgaruvchilarni bo'lish va tegishli qisqartirishlardan so'ng ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} r dr = -dw_r$$

Bu tenglamani integrallasak

$$\int_r^R \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} r dr = -\int_{w_r}^0 dw_r$$

Truba devori atrofida tezlik $w = 0$ ekanligini inobatga olsak, $r = l$ bo'ladi. Integrallashdan so'ng quyidagi tenglamani olamiz

$$\frac{p_1 - p_2}{2\mu l}\left(\frac{R^2}{2} - \frac{r^2}{2}\right) = w_r$$

bu yerda, R – truba radiusi.

Oxirgi olingan tenglamadan tezlikni aniqlasa bo'ladi:

$$w_r = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l}\left(R^2 - r^2\right) \qquad (2.29)$$

Truba o'qidagi ($r = 0$) maksimal tezlik ushbu tenglamadan topiladi:

$$w_{max} = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} \cdot R^2 \qquad (2.30)$$

(2.29) tenglamani (2.30) ga bo'lib, quyidagi ko'rinishga erishamiz:

$$w_r = w_{max}\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \qquad (2.31)$$

Ushbu tenglama Stoks qonuni bo'lib, trubada laminar rejimda harakatlanayotgan suyuqlik qatlamlarida tezliklarning parabolik taqsimlanishini ifodalaydi.

(2.29) tenglama yordamida Stoks laminar rejimidagi suyuqlik sarfini aniqlash mumkin. Buning uchun oqim o'qidan r masofa joylashgan, dr kenglikdagi elementar halqasimon kesimdan suyuqlikning oqib o'tishini ko'rib chiqamiz.

Halqasimon kesim yuzasi $df = 2\pi r dr$ ga teng.

Ushbu ko'ndalang kesimdan oqim o'tayotgan suyuqlikning tezligi w_r bo'lsa, uning sarfi quyidagiga teng bo'ladi:

$$dV_{sek} = w_r df = 2\pi w_r \cdot r dr \tag{2.32}$$

Tezlik w_r ni (2.29) tenglama orqali ifodalab (2.32) qo'ysak,

$$dV_{sek} = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l}\left(R^2 - r^2\right)2\pi r dr \tag{2.33}$$

Integrallashdan so'ng ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$V_{sek} = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} \cdot \pi \cdot R^4 \tag{2.34}$$

yoki

$$V_{sek} = \frac{\pi d^4 \cdot \Delta p}{128\mu l} \tag{2.35}$$

bu yerda, d – truba diametri.

(2.35) tenglama silindrik trubadagi suyuqlik sarf uchun ***Puazeyl tenglamasi*** deb nomlanadi.

Ma'lumki, suyuqlik sarfini trubadagi suyuqlikning o'rtacha tezligi orqali aniqlash mumkin:

$$V_{sek} = \pi R^2 \cdot w_{o'rt} \tag{2.36}$$

(2.34) va (2.36) tenglamalarni solishtirib, ushbu tenglamani olamiz:

$$w_{o'rt} = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} \cdot R^2 \tag{2.37}$$

Agar (2.30) tenglamani ham hisobga olsak:

$$w_{o'rt} = w = \frac{w_{\max}}{2} \tag{2.38}$$

2.13. Turbulent harakat rejimi

Sanoat qurilmalarida suyuqliklar turbulent harakati juda keng tarqalgan. Turbulent rejimda zarrachalarning xaotik, tartibsiz harakati tufayli oqimning asosiy qismida tezliklar ancha tekislanadi (2.13-rasm).

Tajribalar shuni ko'rsatdiki, turbulent rejimda suyuqlikning o'rtacha tezligi $w_{o'r}$ laminar rejimdagi kabi maksimal tezlikning yarmiga teng bo'lmay, undan ancha katta bo'ladi, ya'ni Reynolds sonining funksiyasidir $w/w_{max}=f(Re)$. Masalan, $Re=10^4$ bo'lsa $w_{yp} \approx 0,8 \cdot w_{max}$, $Re=10^8$ da $w_{yp} \approx 0,9 \cdot w_{max}$.

Lekin shuni alohida ta'kidlash kerakki, turbulent rejim o'ta murakkab xarakterli bo'lgani uchun, nazariy usul bilan suyuqlik tezliklarining taqsimlanish ko'lamini aniqlash qiyin. Bunga sabab suyuqlik zarrachalarining tartibsiz harakati va ularning intensiv aralashishidir. Oqibatda, suyuqlik ayrim zarrachalari tezligining yo'nalishi va kattaliklarining lokal o'zgarishlari juda tez sodir bo'ladi. Bunday fluktuatsiyalar xaotik xarakterga ega.

Oqimning istalgan nuqtasi uchun haqiqiy oniy tezlik w_x vaqt τ ga bog'liqligini ham 2.13-rasmda ko'rish mumkin. Turbulent rejimda tezlik qandaydir o'rtaga tezlik atrofida pulsatsiya qilib turadi. Ushbu nuqta uchun o'rtacha tezlik $\overline{w}_x$ quyidagi ifodadan topiladi:

$$\overline{w}_x = \frac{\int_0^\tau w_x d\tau}{\tau} \qquad (2.39)$$

bu yerda, $w_x - x$ o'qi bo'ylab suyuqlik zarrachasining oniy tezligi.

Turbulent rejim har doim laminar rejim bilan barobar yuz beradi.

Nazariy va tajribaviy izlanishlar shuni ko'rsatdiki, turbulent rejimdagi harakatni oqim yadrosi va gidrodinamik chegaraviy qatlamdan tarkib topgan deb hisoblash mumkin. Bu qatlam ichida yupqa, millimetrning bir necha ulushiga teng qalinlikdagi laminar chegaraviy qatlam bor. Gidrodinamika chegaraviy qatlam qalinligi δ Reynolds soniga bog'liqdir va uning taxminiy qiymatini Levich tenglamasidan aniqlash mumkin:

$$\delta = \frac{30d}{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}} \qquad (2.40)$$

bu yerda, d – truba diametri.

Turbulent rejimda truba devorining g'adir-budurligi suyuqlik harakati qarshiligiga salmoqli ta'sir etadi. Trubalarning g'adir-budurligi absolyut geometrik va nisbiy g'adir-budurligi bilan xarakterlanadi. Truba devorlaridagi g'adir-budurliklar o'rtacha balandliklarining truba uzunligi bo'yicha o'lchanishi **absolyut g'adir-budurlik** deb ataladi.

Truba devorlaridagi g'adir-budurliklar balandligi Δ ning ekvivalent diametri d ga nisbati $(\Delta/d_э)$ **nisbiy g'adir-budurlik** deyiladi va ushbu fomuladan aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{d_э}$$

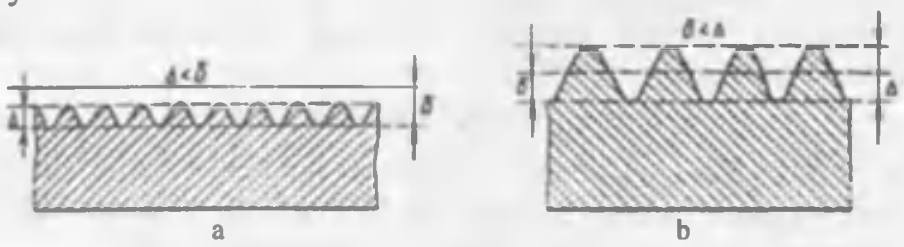
Truba devori g'adir-budurliklarining o'rtacha balandligi truba materiali, uning yasalish usuli va ishlatilish davomiyligiga bog'liq:

Truba	Δ, mm
Yangi shisha va po'lat trubalar	0,06...0,1
Ishlatilgan po'lat trubalar	0,10...0,2
Cho'yan va keramik trubalar	0,35...1,0
Korroziyaga uchragan po'lat va cho'yan trubalar	0,50...2,0

Reynolds kriteriysi qiymatiga qarab chegaraviy qatlam qalinligi δ o'zgaradi. Truba g'adir-budurliklari chegaraviy qatlamdan chiqib qolish holati juda ko'p napor yo'qotilishiga olib keladi.

δ va Δ nisbatlarining qiymatlariga qarab trubalar gidravlik silliq va g'adir-budur bo'ladi.

Agar $\Delta<\delta$ bo'lsa, trubalar **gidravlik silliq** deb ataladi (2.15-rasm). Bunda, suyuqlik laminar yupqa qatlam bo'ylab sirpanadi, ya'ni suyuqlikning suyuqlikka ishqalanishi yuz beradi.



2.15-rasm. Gidravlik silliq (a) va g'adir-budur (b) trubalar.

Agar $\Delta>\delta$ bo'lsa, trubalar **gidravlik g'adir-budur** deb nomlanadi. Bunda naporning yo'qotilishi truba devorining g'adir-budurligi bilan belgilanadi, chunki suyuqlik g'adir-budur truba devoriga ishqalanib, harakat qiladi.

Laminar rejimda naporning yo'qotilishi suyuqlik tezligining birinchi darajasiga, turg'un turbulent rejimda esa tezlik kvadratiga proporsionaldir.

Laminar chegaraviy yupqa qatlamli turbulent va o'tish rejimlarida, naporning yo'qotilishi tezlikning kvadratidan kichikroq darajaga proporsional bo'ladi. Har bir aniq holat uchun ushbu ko'rsatkich tajribaviy usul bilan topiladi.

2.14. Qovushqoq suyuqlik harakatining kriterial tenglamalari

Trubada qovushqoq suyuqlik harakatini ifodalovchi kriterial tenglamani keltirib chiqarish uchun Navye-Stoks differensial tenglamasidan foydalanish mumkin.

Agar siqish va cho'zish kuchlari hisobga olinmasa, abssissa o'qi bo'ylab harakat qilayotgan suyuqlik uchun differensial tenglama ushbu ko'rinishga ega bo'ladi.

$$-\frac{\partial p}{\partial x}+\mu\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2}+\rho g_x=\rho w_x\frac{\partial w_x}{\partial x}+\rho\frac{\partial w_x}{\partial \tau}$$

bu yerda, p – bosim; μ – dinamik qovushqoqlik; w – tezlik; ρ – zichlik; τ – vaqt.

Ushbu tenglamadagi birinchi qo'shiluvchi abssissa o'qi yo'nalishida oqim bosimining o'zgarishini. ikkinchisi esa ishqalanish kuchini, uchinchisi – og'irlik kuchini; to'rtinchi va beshinchilari esa inersiya kuchlarini xarakterlaydi. Tenglama qo'shiluvchilarining fizik ma'nosini inobatga olib, quyidagicha yozish mumkin:

$$-P+T+G=I_1+I_2$$

bu yerda, P – bosim kuchi; T – ishqalanish kuchi: G – og'irlik kuchi; I_1 va I_2 – inersiya kuchlari.

Truba quvurlarini hisoblashda quyidagi kuchlarning nisbatlari alohida ahamiyatga ega: bosim va inersiya P/I_1, inersiya va ishqalanish I_1/T, og'irlik hamda inersiya G/I_1, va inersiya kuchlari nisbati I_1/I_2.

Inersiya va ishqalanish kuchlarining nisbatidan o'lchamsiz $w_x\rho/\mu$ kompleksini olish mumkin, ya'ni Reynolds kriteriysini $\mathrm{Re}=wd\rho/\mu$.

Bosim va inersiya kuchlari nisbatidan esa Eyler kriteriysini, ya'ni $Eu=\Delta p/\rho w^2$ olish mumkin.

Og'irlik kuchi va inersiya kuchlari nisbatidan esa Frud kriteriysini, ya'ni $Fr=gd/w^2$.

Inersiya kuchlarining nisbatidan gomoxronlik kriteriysini, ya'ni $Ho = w\tau / d$ ni olish mumkin.

O'xshashlik nazariyasining ikkinchi teoremasiga binoan, Navye-Stoks tenglamasi yechimini yuqorida olingan kriteriylar orasidagi funksional bog'liqlikni ushbu ko'rinishda yozish mumkin

$$\varphi = (Ho, Fr, Eu, \mathrm{Re}) = O \qquad (2.41)$$

Ba'zi hollarda (2.41) geometrik o'xshashlik simpleks bilan to'ldirilishi mumkin. Trubalar orqali suyuqlik harakat qilganda, bunday simpleks sifatida truba uzunligi l ning uning diametr d yoki ekvivalent diametr d_e ga nisbati bo'ladi.

Unda

$$\varphi = \left(Ho, Fr, Eu, \mathrm{Re}, \frac{l}{d_e} \right) = O \qquad (2.41a)$$

yoki

$$Eu = f\left(Ho, Fr, \mathrm{Re}, \frac{l}{d_e} \right) \qquad (2.41b)$$

(2.41), (2.41a) va (2.41b) bog'liqliklar gidrodinamikaning kriterial yoki umumlashtirilgan tenglamalari deb nomlanadi. (2.41b) ko'pchilik hollarda quyidagicha funksiya ko'rinishiga keltiriladi:

$$Eu = A \cdot \mathrm{Re}^m \, Fr^n \, Ho^p \left(\frac{l}{d_e} \right)^q \qquad (2.42)$$

Modellarda olingan tajriba ma'lumotlarini qayta ishlash natijasida koeffitsiyent A va daraja ko'rsatkichlari m, n, p, q lar aniqlanadi.

Turg'un jarayonlar uchun (2.41b) dan gomoxronlik kriteriysi No ni chiqarib tashlash mumkin:

$$Eu = f\left(Fr, \mathrm{Re}, \frac{l}{d_e} \right) \qquad (2.43)$$

yoki

$$Eu = f_1(Fr, \mathrm{Re}, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \ldots)$$

bu yerda, G_1, G_2, G_3, ... – geometrik o'xshashlik simplekslari.

Turg'un turbulent rejimda suyuqlik harakatiga og'irlik kuchlari ta'sir ko'rsatmaydi. Unda (2.43) tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$Eu = f_2(\mathrm{Re}, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \ldots) \qquad (2.44)$$

2.15. Truba quvurlaridagi gidravlik qarshilik

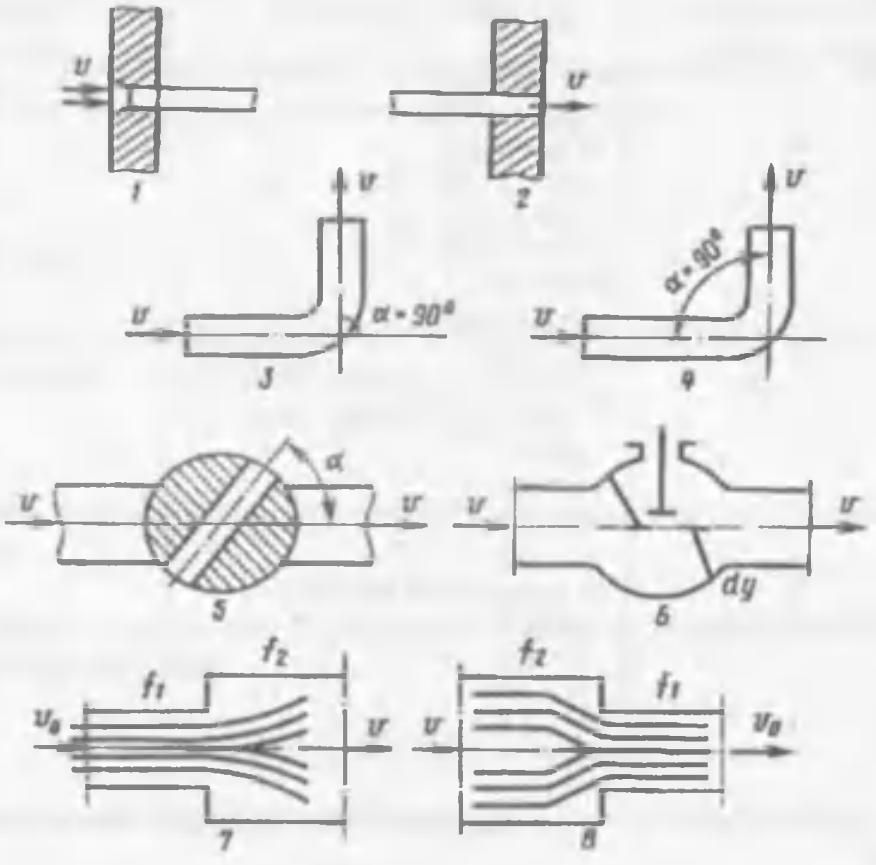
Amaliy gidrodinamikaning asosiy masalalaridan biri bo'lib, haqiqiy suyuqlik harakatidagi gidravlik qarshilikni aniqlash hisoblanadi.

Chunki, yo'qotilgan napor $h_{yo'q}$ (yoki $\Delta p_{yo'q}$) ni bilmasdan turib nasos, ventilator, gazoduvka va kompressorlar yordamida suyuqliklarni uzatish uchun zarur bo'lgan energiya sarfini aniq hisoblab bo'lmaydi. Undan tashqari $h_{yo'q}$ (yoki $\Delta p_{yo'q}$) bilmasdan turib, haqiqiy suyuqliklar uchun Bernulli tenglamasini qo'llab bo'lmaydi.

Truba quvurlarida napor (yoki bosim)ning yo'qotilishiga ishqalanish qarshiligi va mahalliy qarshiliklar sababchi bo'ladi.

Ishqalanish qarshiligi (yoki uzunlik bo'yicha qarshilik) – trubadan haqiqiy suyuqlik harakat qilganda, ichki ishqalanish qarshiligi, uning butun uzunligi bo'yicha mavjud (2.15-rasm). Ichki ishqalanish kuchining kattaligi suyuqlik oqimining rejimi (laminar, turbulent, turbulentlik darajasi)ga bog'liq.

Mahalliy qarshiliklar – suyuqlik oqimi tezligi va harakat yo'nalishi qiymatining ıstalgan o'zgarishidir. Ularga quyidagilar: keskin va asta-sekin toraygan va kengaygan qismlar, tirsaklar, jo'mrak, yopuvchi va rostlovchi uskuna (ventil, zadvijka, tiqinli kran) va boshqalar kiradi (2.16-rasm).



2.16-rasm. Mahalliy qarshiliklar.

Ayrim mahalliy qarshiliklar uchun ξ ning o'rtacha qiymatlari 2-1 jadvalda keltirilgan.

Trubadan haqiqiy suyuqlik harakat qilganda, naporning yo'qotilishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$h_{yo'q} = h_{iq} + h_{mq} \tag{2.45}$$

bu yerda, h_{iq} va h_{mq} – ishqalanish va mahalliy qarshiliklarni yengish uchun yo'qotilgan napor.

To'g'ri trubada laminar rejimda harakat qilayotgan suyuqlik uchun ishqalanish qarshiligini yengishda yo'qotilgan napor Puazeyl tenglamasidan (2.35) topilishi mumkin.

Bernulli tenglamasiga binoan gorizontal ($z_1=z_2$) va o'zgarmas kesimli ($w_1 = w_2$) truba quvurlarida ishqalanish qarshiligini yengishga yo'qotilgan napor:

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \frac{\Delta p}{\rho g} = h_{iq}$$

Agar $\Delta p = \rho g h$ ni (2.35) tenglamaga qo'ysak va hajmiy sarf V ni tezlik w ko'ndalang kesim yuzasiga ko'paytmasi bilan almashtirsak, quyidagi ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$w\frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi d^4 \rho g h_{iq}}{128 \mu l}$$

bu yerda, l va d – truba uzunligi va diametri; μ va ρ – suyuqlik qovushqoqligi va zichligi.

Mahalliy qarshiliklar koeffitsiyentlari

2-1 jadval

2.16-rasmdagi mahalliy qarshilik tartibi	Mahalliy qarshilik turi	Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti, ξ_{mq}
1.	Trubaga kirish	0.2…0,5
2.	Trubadan chiqish	1,0
3.	90^0 ga burilish	0,15
4.	$\alpha=90^0$ li tirsak	1,1…1,3
5.	Tiqinli kran:	
	Butunlay ochiq	0,05
	$\alpha=20…50^0$	2…95
6.	Standart ventil	
	d_{sh}=20 mm	8
	d_{sh}=40 mm va undan ortiq	4…6
7.	To'satdan kengayish (Re>3500):	
	f_1/f_2=0,1	0,50
	0,3	0,35
	0,4	0,30
	0,5	0,25
8.	To'satdan torayish (Re>10^4):	
	f_1/f_2=0.1	0.45
	0,3	0,35
	0,4	0,30
	0,5	0,25

Qisqartirishdan so'ng yo'qotilgan naporni aniqlash formulasi ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$h_{iq} = \frac{32 w \mu l}{\rho g d^2}$$

Tenglama o'ng tomonining surati va maxrajini $2w$ ko'paytirsak:

$$h_{iq} = \frac{64\mu}{wd\rho} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} = \frac{64}{\mathrm{Re}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g}$$

Shunday qilib, dumaloq ko'ndalang kesimli trubada suyuqlik laminar rejimda harakat qilganda yo'qotilgan napor:

$$h_{iq} = \frac{64}{\mathrm{Re}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g}, \qquad (2.46)$$

ya'ni ishqalanish qarshiligini yengishda yo'qotilgan napor tezlik napori $h_T = w^2/2g$ orqali ifodalanadi.

Ishqalanish qarshiligini yengishda yo'qotilgan napor tezlik naporidan qanchalik farq qilish kattaligi ***ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti*** deb ataladi va ξ_{iq} harf bilan belgilanadi.

$$\xi_{iq} = \frac{64}{\mathrm{Re}} \cdot \frac{l}{d}$$

bu yerda $\frac{64}{\mathrm{Re}}$ – gidravlik ishqalanish yoki ishqalanish koeffitsiyenti va u λ deb belgilanadi.

Laminar (*Re<2320*) rejimda gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti faqat Reynolds kriteriysining son qiymatiga bog'liq. Bularni hisobga olsak, (2.46) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozsa bo'ladi:

$$h_{iq} = \xi_{iq} \frac{w^2}{2g} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \qquad (2.47)$$

Agar $\Delta r_{iq} = \rho g h_{iq}$ ligini hisobga olsak, ishqalanish qarshiligini yengishda yo'qotilgan bosim Δp_{uk} quyidagi tenglamadan hisoblanishi mumkin:

$$\Delta p_{iq} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho w^2}{2} \qquad (2.48)$$

bu yerda, ρ – suyuqlik zichligi.

Agar trubaning ko'ndalang kesimi dumaloq bo'lmasa, Reynolds kriteriysida *d* o'rniga ekvivalent diametr *d*, qo'yiladi. Unda

$$\lambda = \frac{B}{\mathrm{Re}}$$

bu yerda, *B* – ko'ndalang kesim shakliga bog'liq koeffitsiyent, kvadrat kesim uchun *V=57*, dumaloq kesim uchun *B=96* va hokazo.

Gidravlik silliq trubalar uchun ($2320<Re<10^4$) gidravlik qarshilik koeffitsiyenti Blaziusning empirik formulasidan:

$$\lambda = 0{,}316 \cdot \mathrm{Re}^{-0{,}25} = \frac{0{,}316}{\sqrt[4]{\mathrm{Re}}} \qquad (2.49)$$

yoki Konakov formulasidan aniqlanishi mumkin:

$$\lambda = \frac{1}{(1{,}8 \lg \mathrm{Re} - 1{,}5)^2} \qquad (2.50)$$

G'adir-budur trubalar uchun gidravlik qarshilik koeffitsiyenti ushbu funksiya ko'rinishida ifodalanadi:

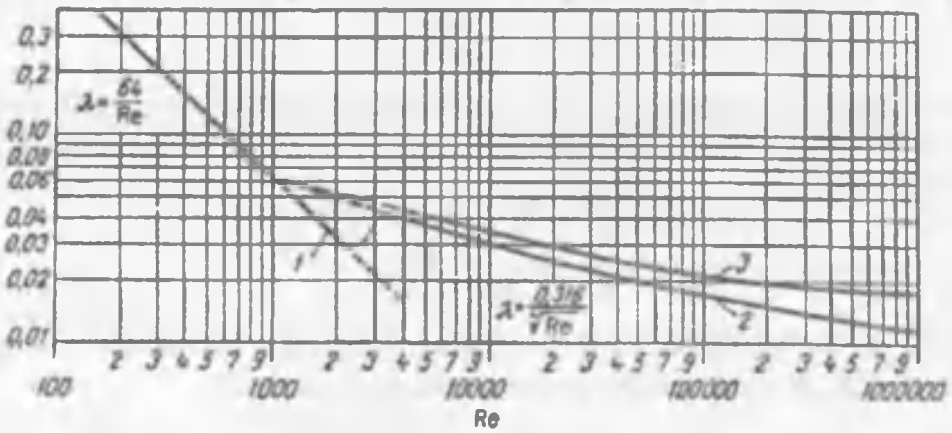
$$\lambda = f(\mathrm{Re}, \Delta / d)$$

bu yerda, $\varepsilon = \Delta/d$ – nisbiy g'adir-budurlik.

Gidravlik qarshilik koeffitsiyenti λ ni aniqlash uchun quyida keltirilgan grafik tavsiya etiladi (2.16a-rasm). Undan ko'rinib turibdiki, tekis trubalar λ sidan g'adir-budur trubalarniki ancha yuqori.

Grafikdan ko'rinib turibdiki, *Re* soni ortishi bilan $\lambda=f(Re)$ bog'liqlik avval aralash ishqalanish sohasiga, bu yerda $\lambda=f(Re,\Delta/d)$, so'ng esa avtomodel sohasi $\lambda=f(\Delta/d)$ ga o'tadi. Turbulent harakat rejimlarining hamma sohalari uchun gidravlik qarshilik koeffitsiyentini hisoblashning umumlashtirilgan tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\lg\left[\frac{\Delta/d}{3{,}7} + \left(\frac{6{,}81}{\mathrm{Re}}\right)^{0{,}9}\right] = -2\lg\left[\frac{e}{3{,}7} + \left(\frac{6{,}81}{\mathrm{Re}}\right)^{0{,}9}\right] \qquad (2.51)$$



2.16a-rasm. Gidravlik qarshilik koeffitsiyenti λ ning Reynolds kriteriysiga bog'liqligi.
1-tekis va g`adir-budur trubalar(laminar rejim); 2-po'lat, mis, shisha va latun tekis trubalar; 3-po'lat va cho'yan g`adir-budur trubalar.

Agar (2.51) formuladagi birinchi qo'shiluvchini inobatga olmasak, ushbu formulani olamiz:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\lg\left(\frac{6{,}81}{\mathrm{Re}}\right)^{0{,}9} = 1{,}8\lg\mathrm{Re} - 1{,}5 \qquad (2.52)$$

Gidravlik qarshilik ***Re*** ga bog'liq bo'lmagan avtomodel soha uchun ikkinchi qo'shiluvchini inobatga olmasa ham bo'ladi. Unda:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2\lg\frac{3{,}7}{\Delta/d} = 2\lg\frac{3{,}7}{e} \qquad (2.53)$$

Nyuton qonuniga bo'ysunmaydigan suyuqliklar uchun Re^*=3000...100000 da gidravlik qarshilik koeffitsiyentini topishda quyidagi formuladan foydalaniladi:

$$\lambda = a/(\mathrm{Re}^*)^b \qquad (2.54)$$

bu yerda, Re^* – (2.40) formuladan topiladi; a va b koeffitsiyentlar oqish indeksi n funksiyasidir va p=1 da a=0,316 va b=0,25 ga teng.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, mahalliy qarshiliklarda naporning yo'qotilishi ishqalanish qarshiliklardagi kabi tezlik napori orqali ifodalaniladi.

Mahalliy qarshiliklar tufayli yo'qotilgan napor h_{mq} ning tezlik napori $h_t=w^2/2g$ nisbatiga mahalliy qarshilik koeffitsiyenti deb ataladi va u ξ_{mq}

$$h_{mq1} = \xi_{mq1}\frac{w^2}{2g}$$

$$h_{mq2} = \xi_{mq2}\frac{w^2}{2g}$$

$$h_{mqn} = \xi_{mqn}\frac{w^2}{2g}$$

Hamma mahalliy qarshiliklar uchun:

$$h_{mq} = \sum \xi_{mq} \frac{w^2}{2g} \tag{2.55}$$

(2.47) va (2.55) tenglamalarni inobatga olsak, (2.45) tenglama, ya'ni umumiy naporning yo'qotilishi, quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin:

$$h_{yo'q} = \xi_{uq} \frac{w^2}{2g} + \sum \xi_{mq} \frac{w^2}{2g} = \sum \xi \frac{w^2}{2g} \tag{2.56}$$

bu yerda, $\sum \xi$ – qarshilik koeffitsiyentlarining yig'indisi.

Shunday qilib, naporning yo'qotilishi ushbu formuladan topiladi:

$$h_{yo'q} = \left(\lambda \frac{l}{d_e} + \sum \xi_{mq} \right) \frac{w^2}{2g} \tag{2.57}$$

Agar $\Delta p = \rho g h_{yo'q}$ hisobga olsak, umumiy bosimning yo'qotilishi esa quyidagi tenglamadan aniqlash lozim:

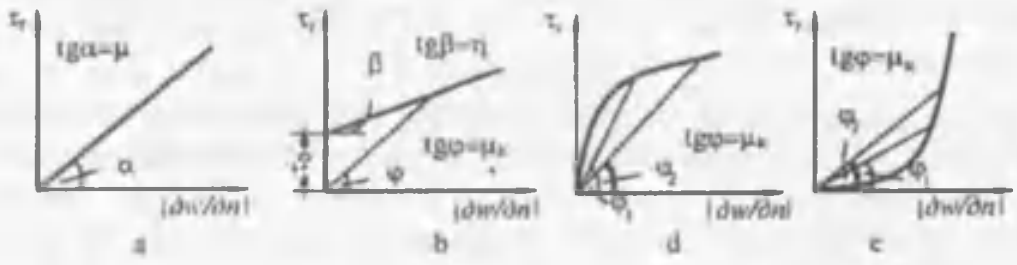
$$\Delta p_{yo'q} = \left(\lambda \frac{l}{d_e} + \sum \xi_{mq} \right) \frac{\rho w^2}{2} \tag{2.58}$$

2.15.1. Nonyuton suyuqliklarning oqishi

Nonyuton suyuqliklar klassifikatsiyasi va umumiy xossalari. Avvalgi suyuqliklar harakatining tahlili u yoki bu darajada siljish tenglamasi (18b) ga tayangan.

$$\tau = -\mu \frac{dw}{dn}$$

Laminar rejimda (qovushqoqlik kuchlarining salmog'i katta) proporsionallik koeffitsiyenti μ suyuqlikning xossasi bo'lib, uzatilayotgan kuchlanish yoki tezlik gradiyenti ***dw/dn*** ga bog'liq emas. Bunday hollarda τ_T ning ***dw/dn*** ga bog'liqligi to'g'ri chiziq orqali ifodalanadi va Nyuton formulasi deb nomlanadi. Proporsionallik koeffitsiyenti μ esa dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti va (1.18a) formula bilan ifodalandigan suyuqliklar ***nyuton suyuqliklari*** deb nomlanadi. Bu turdagi suyuqliklar uchun siljish diagrammasi 2.17a-rasmda tasvirlangan bo'lib, ushbu temperatura uchun $\mu = tg\alpha = const.$



2.17-rasm. Siljish diagrammasi.
a-nyuton suyuqliklari; b- bingam suyuqliklari;
d-mavhum plastik suyuqliklar; e-dilatant suyuqliklari.

Suyuqlikning turbulent harakatida τ_T ning ***dw/dn*** ga chiziqli bog'liqligi buziladi, chunki proporsionallik koeffitsiyenti suyuqlik oqimining xarakteristikalariga bog'liq bo'ladi. Yana shuni ta'kidlash kerakki, chiziqli bo'lmagan harakat boshqa hollarda, ya'ni qovushqoqlik kuchlari inersiya kuchlaridan juda katta sharoitlarda sodir bo'ladi. Bunday hodisalar qandaydir ichki tuzilishga ega bo'lgan suyuqliklarga taalluqli. Bu turdagi suyuqliklar soxta (formal) ravishda (1.18a) formulasi bilan ifodalanadi. Ushbu holatlarda o'zgaruvchan proporsionallik koeffitsiyenti faqat τ_T *va* ***dw/dn*** ga bog'liq bo'lib, mavhum qovushqoqlik μ_m ni anglatadi:

$$\tau = -\mu_m \cdot \frac{dw}{dn} = \mu_m \cdot \left|\frac{dw}{dn}\right| \qquad (a)$$

bu yerda, μ_m–var.

Bunday, ya'ni nonyuton suyuqliklar harakatini o'rgatadigan gidravlikaning qismi gidravlika fanining ajralmas qismi bo'lib **r e o l o g i ya** (gaz+nyuton suyuqliklari+ qattiq jismlar kabi Guk qonuniga bo'ysunadigan va bo'ysunmaydigan turli ishchi jismlarning mexanik xossalarini o'rganishni o'z ichiga qamrab olgan) deb nomlanadi.

Qovushqoqlik kuchlari asosiy kuch bo'lgan hollardagi nonyuton suyuqliklarining harakati **plastik** deb nomlanadi. Bu turdagi oqimlar ko'ndalang kesimi bo'yicha μ_m o'zgarib turadi.

Nonyuton suyuqliklar 2 guruhga bo'linadi:

– reologik **turg'un**: biror kuch ta'siridan bo'shatilganda, bu turdagi suyuqliklar to'liq qayta tiklanadi; suyuqlikning μ_m ko'rsatkichi ta'sir etayotgan kuchlar davomiyligiga bog'liq emas;

– reologik **noturg'un**: biror kuch ta'sir etganda suyuqlikning tuzilishi o'zgaradi, ya'ni kuch qanchalik uzoq muddat ta'sir etsa, shunchalik chuqur tub o'zgarishlar ro'y beradi va μ_m ko'rsatkichi ta'sir etayotgan kuchlar davomiyligiga bog'liq; ta'sir etayotgan kuch olinganda, bu turdagi suyuqliklar to'liq qayta tiklanishi mumkin yoki qisman tiklanishi yoki umuman tiklanmasligi mumkin.

Reologik **turg'un** suyuqliklar orasida kichik kuch ta'sir etganda harakatlanmaydigan bir guruh suyuqliklar mavjud. Suyuqlik harakati kuchlanish faqat qandaydir chegaraviy qiymat bo'lgan τ_o **oquvchanlik chegarasidan** ortganda sodir bo'ladi. $\tau<\tau_o$ bo'lganda suyuqlik qatlamlarining nisbiy siljishi ro'y bermaydi: ***dw/dn***. Ushbu guruh ichida shunday suyuqliklar borki, $\tau>\tau_o$ bo'lganda ortiqcha kuchlanish $(\tau-\tau_o)$ ta'sirida nyuton suyuqliklari kabi harakatlanadi. Ular uchun siljish tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\tau - \tau_o = -\eta \cdot \frac{dw}{dn} \quad \text{yoki} \quad \tau = \tau_o + \eta\left(-\frac{dw}{dn}\right) = \tau_o + \eta\left|\frac{dw}{dn}\right| \qquad (b)$$

Bu turdagi suyuqliklar ***bingam suyuqliklari*** va ular qatoriga mayda dispersli suspenziyalar, pastalar, ayrim shlamlar, lok-bo'yoqlar va boshqalar kiradi. Bingam suyuqliklari uchun siljish diagrammasi 2.17b-rasmda keltirilgan. Bu yerda η koeffitsiyenti $(\eta=tg\beta)$ to'g'ri chiziqni abssissaga qiyaligini ifodalaydi va u ***plastik qovushqoqlik koeffitsiyenti*** deb nomlanadi.

Reologik statsionar suyuqliklar orasida shunday guruh suyuqliklari mavjudki, plastik oqish sohasida ularning siljish tenglamasi darajali bog'liqlik ko'rinishida ifodalanadi:

$$\tau = k \cdot \left(-\frac{dw}{dn}\right)^m \qquad (d)$$

bu yerda, k va m – shu suyuqlikka xos bo'lgan, empirik usulda tanlangan konstantalar.

Konstanta $m<1$ bo'lgan suyuqliklar ***mavhum plastik*** deb nomlanadi (2.17d-rasm). Bu suyuqliklarga, masalan, oligomerlar, past molekulali polimerlar, yuqori molekulali eritmalar, asimmetrik zarrachali ayrim suspenziyalar. Grafikdan ko'rinib turibdiki, τ va $|dw/dn|$ ortishi bilan mavhum plastik suyuqliklar soxta qovushqoqligi kamayadi.

Konstanta $m>1$ bo'lgan suyuqliklar ***dilatant*** deb nomlanadi (2.17e-rasm). Bu suyuqliklarga misol bo'lib ayrim qovushqoq bo'lmagan suyuqliklarda aralashtirilgan quyuq suspenziyalar, yelimlar va hokazolarni keltirish mumkin. Grafikdan ko'rinib turibdiki, τ va $|dw/dn|$ ortishi bilan dilatant suyuqliklar soxta qovushqoqligi o'sadi.

$m>1$ bo'lganda (a) va (v) formulalarni solishtirib quyidagi ko'rinishni olamiz:

$m>1$ bo'lganda $$\mu_s = k \cdot \left(\frac{dw}{dn}\right)^{m-1} \qquad (g)$$

Amaliyotda dilatant suyuqliklar, mavhum plastik va bingam suyuqliklarga qaraganda kamroq uchraydi.

Reologik nostatsionar suyuqliklar orasidan amaliyotda tez-tez uchraydigan suyuqliklar quyidagilar:

– tiksotrop suyuqlik, uzluksiz kuchlanishlar ta'siridagi suyuqlikning μ_k ning vaqt o'tishi bilan qisman kamayishi sodir bo'ladi (masalan, ko'pchilik lok-bo'yoqlar, qatiq); ta'sir etayotgan kuchlanish olinganda suyuqlikning tuzilishi asta-sekin qayta tiklanadi va ularning harakatlanishi, ya'ni oqishi to'xtashi mumkin;

– reopektik (reopektant) suyuqliklar, uzluksiz kuchlanishlar ta'siridagi suyuqlikning μ_k ning vaqt o'tishi bilan o'sishi kuzatiladi (masalan, komponentlarning o'zaro kimyoviy ta'siri hisobiga, bunga turtkini mexanik kuch yoki kuchlanish beradi), ko'pincha qaytmas jarayon; (misol bo'lib ushbu aralashma xizmat qiladi, ya'ni suv va gips aralashmasi, bir necha bor chayqatilgandan so'ng tezda qotib qoladi);

– qovushqoq elastik suyuqliklar, urinma kuchlanish ta'siridan bo'shatilganda ko'pincha qattiq jismlar kabi birinchi holatiga qisman qaytadi (ularga quyidagilar kiradi: smolalar, yuqori qovushqoqli emulsiya va suspenziyalar, xamirga o'xshash moddalar).

Bingam, mavhum plastik va dilatant suyuqliklarning plastik oqishi. Bingam suyuqliklarining oqish xarakterini sifat nuqtayi nazaridan ko'rib chiqamiz (2.18-rasm). Qovushqoq oqish rejimi uchun kuchlar tahlili radial koordinata r bo'yicha τ ning o'zgarishi to'g'ri chiziq ekanligini ko'rsatdi. Kuchlanishlarning to'g'ri chiziqli epyurasi rasmning chap tomonida keltirilgan.

Oquvchanlik chegarasi τ_o bo'lgan suyuqliklar uchun 2 xil holat bo'lishi mumkin:

– eng katta kuchlanish $\tau_s<\tau_o$. Bu shuni bildiradiki, istalgan joriy radius $r\leq R$ da $\tau<\tau_o$. Bunda suyuqlikning oqishi yo'q, shuning uchun texnologik jihatdan bu holat qiziqarli emas.

$$\tau = k \cdot \left(-\frac{dw}{dn}\right)^m \qquad (d)$$

bu yerda, k va m – shu suyuqlikka xos bo'lgan, empirik usulda tanlangan konstantalar.

Konstanta $m<1$ bo'lgan suyuqliklar ***mavhum plastik*** deb nomlanadi (2.17d-rasm). Bu suyuqliklarga, masalan, oligomerlar, past molekulali polimerlar, yuqori molekulali eritmalar, asimmetrik zarrachali ayrim suspenziyalar. Grafikdan ko'rinib turibdiki, τ va $|dw/dn|$ ortishi bilan mavhum plastik suyuqliklar soxta qovushqoqligi kamayadi.

Konstanta $m>1$ bo'lgan suyuqliklar ***dilatant*** deb nomlanadi (2.17e-rasm). Bu suyuqliklarga misol bo'lib ayrim qovushqoq bo'lmagan suyuqliklarda aralashtirilgan quyuq suspenziyalar, yelimlar va hokazolarni keltirish mumkin. Grafikdan ko'rinib turibdiki, τ va $|dw/dn|$ ortishi bilan dilatant suyuqliklar soxta qovushqoqligi o'sadi.

$m>1$ bo'lganda (a) va (v) formulalarni solishtirib quyidagi ko'rinishni olamiz:

$m>1$ bo'lganda $$\mu_s = k \cdot \left(\frac{dw}{dn}\right)^{m-1} \qquad (g)$$

Amaliyotda dilatant suyuqliklar, mavhum plastik va bingam suyuqliklarga qaraganda kamroq uchraydi.

Reologik nostatsionar suyuqliklar orasidan amaliyotda tez-tez uchraydigan suyuqliklar quyidagilar:

– tiksotrop suyuqlik, uzluksiz kuchlanishlar ta'siridagi suyuqlikning μ_k ning vaqt o'tishi bilan qisman kamayishi sodir bo'ladi (masalan, ko'pchilik lok-bo'yoqlar, qatiq); ta'sir etayotgan kuchlanish olinganda suyuqlikning tuzilishi asta-sekin qayta tiklanadi va ularning harakatlanishi, ya'ni oqishi to'xtashi mumkin;

– reopektik (reopektant) suyuqliklar, uzluksiz kuchlanishlar ta'siridagi suyuqlikning μ_k ning vaqt o'tishi bilan o'sishi kuzatiladi (masalan, komponentlarning o'zaro kimyoviy ta'siri hisobiga, bunga turtkini mexanik kuch yoki kuchlanish beradi), ko'pincha qaytmas jarayon; (misol bo'lib ushbu aralashma xizmat qiladi, ya'ni suv va gips aralashmasi, bir necha bor chayqatilgandan so'ng tezda qotib qoladi);

– qovushqoq elastik suyuqliklar, urinma kuchlanish ta'siridan bo'shatilganda ko'pincha qattiq jismlar kabi birinchi holatiga qisman qaytadi (ularga quyidagilar kiradi: smolalar, yuqori qovushqoqli emulsiya va suspenziyalar, xamirga o'xshash moddalar).

Bingam, mavhum plastik va dilatant suyuqliklarning plastik oqishi. Bingam suyuqliklarining oqish xarakterini sifat nuqtayi nazaridan ko'rib chiqamiz (2.18-rasm). Qovushqoq oqish rejimi uchun kuchlar tahlili radial koordinata r bo'yicha τ ning o'zgarishi to'g'ri chiziq ekanligini ko'rsatdi. Kuchlanishlarning to'g'ri chiziqli epyurasi rasmning chap tomonida keltirilgan.

Oquvchanlik chegarasi τ_o bo'lgan suyuqliklar uchun 2 xil holat bo'lishi mumkin:

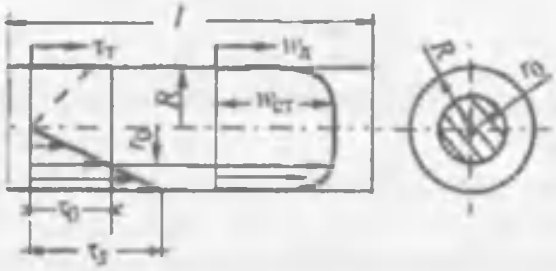
– eng katta kuchlanish $\tau_s<\tau_o$. Bu shuni bildiradiki, istalgan joriy radius $r \le R$ da $\tau<\tau_o$ Bunda suyuqlikning oqishi yo'q, shuning uchun texnologik jihatdan bu holat qiziqarli emas.

– eng katta kuchlanish $\tau_s > \tau_o$. Bu shuni bildiradiki, truba ko'ndalang kesimining ma'lum bir qismiga $\tau > \tau_o$ bo'lgan tengsizlik xosdir va bu yerda suyuqlik qatlamining nisbiy siljishi ro'y beradi; $|dw/dr| > 0$.

Rasm (o'ng tomonda, trubaning shtrixlangan qismi) dan ko'rinib turibdiki, truba o'qiga yaqin joylarda $\tau \leq \tau_o$ va bu yerda suyuqlik qatlamining nisbiy siljishi ro'y bermaydi; ushbu sohada $|dw/dr| = 0$ butun ko'ndalang kesim bo'yicha suyuqlik bir tezlikda «sterjen» ko'rinishda harakat qiladi.

2.18-rasmda tipik tezliklar epyurasi keltirilgan. Bingam suyuqligining plastik oqishi bir vaqtning o'zida halqasimon zonada laminar va o'q atrofida - «sterjen»li harakatlarning majmuasidir.

Mavhum plastik va dilatant suyuqliklarning plastik oqishi τ va $|dw/dr|$ larning kichik qiymatlari uchun ko'rib chiqiladi, chunki bu oraliqda oqish plastik bo'ladi. Bu turdagi suyuqliklar uchun oquvchanlik chegarasi mavjud emas, shuning uchun harakat butun ko'ndalang kesimga nisbatan tahlil qilinadi.



2.18-rasm. Dumaloq trubada bingam suyuqligining plastik oqish qonuniyatlariga oid.

Ma'lumki, $r=0$ da tezlik maksimal qiymatga ega bo'ladi:

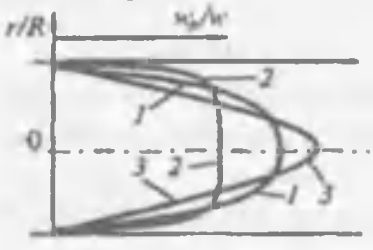
$$w_{max} = \left(\frac{\Delta p}{2kl}\right)^{\frac{1}{m}} \cdot \frac{m}{m+1} \cdot R^{\frac{m+1}{m}} = \left(\frac{\Delta p \cdot R}{2kl}\right)^{\frac{1}{m}} \cdot \frac{m}{m+1} \cdot R \qquad (f)$$

O'zgaruvchilar umumlashtirilganda

$$\frac{w}{w_{max}} = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{m+1}{m}} \qquad (g)$$

2.19-rasmning tahlili ko'rsatmoqdaki, truba ko'ndalang kesimi bo'yicha tezlik o'zgarishi parabolik ko'rinishga ega, ammo $m \neq 1$ da parabola kvadratik emas.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, mavhum plastik suyuqlik ($m>1$, chiziq №2) lar uchun tezliklar o'zgarish ko'lami tekislanganroq, dilatant suyuqlik ($m>1$, chiziq №3) uchun nisbatan kam tekislangan, nyuton suyuqliklari uchun esa tezliklar qiymatlari №1 va №3 chiziqlar orasidan o'rin olishgan.



2.19-rasm. Trubadagi umumlashtirilgan tezlik o'zgarishlarini taqqoslash.
1-nyuton suyuqliklarining laminar harakati; 2-mavhum plastik suyuqliklarning plastik oqishi; 3-dilatant suyuqliklarning plastik oqishi.

Suyuqlik sarfi V ni tezlik (ye) dan topilgandan so'ng, aniqlash ma'lum usulda amalga oshiriladi.

$$V=\left(\frac{\Delta p}{2kl}\right)^{\frac{1}{m}}\cdot\frac{m}{3m+1}\cdot\pi R^{\frac{3m+1}{m}}=\left(\frac{\Delta p\cdot R}{2kl}\right)^{\frac{1}{m}}\cdot\frac{m}{3m+1}\cdot\pi R^3 \qquad (j)$$

Suyuqlikning o'rtacha tezligi $V=w\rho$ ekanligini inobatga olsak, quyidagi ko'rinishga keladi:

$$w=\frac{V}{\pi R^2}=\left(\frac{\Delta p}{2kl}\right)^{\frac{1}{m}}\cdot\frac{m}{3m+1}\cdot R \qquad (z)$$

O'rtacha (z) va maksimal (d) tezliklar nisbati ushbu ko'rinishga ega:

$$\frac{w}{w_{max}}=\frac{m+1}{3m+1} \qquad (i)$$

Formula tahlili shuni ko'rsatadiki, agar $m=1$ bo'lsa, (j)...(i) tenglamalar nyuton suyuqliklarining laminar rejimi uchun formula ko'rinishini oladi. Tayyor quvurlarda suyuqlik sarfini aniqlash uchun (j) formulani suyuqlik xossalari va harakat rejimi aniq bo'lsa to'g'ridan to'g'ri hisoblash uchun qo'llasa yuqori ko'rsatkich beradi. Undan tashqari, bu formula yordamida gidravlik qarshilik Δp yoki diametr $d=2R$ larni aniqlash mumkin.

Yuqorida aytib o'tilgan, faqat τ va $|dw/dn|$ larning kichik qiymatlar sohasidagina nonyuton suyuqliklarning plastik harakati mavjud bo'ladi. Plastik harakatning yuqori chegarasi keltirilgan Reynolds soni Re_{np} xarakterlaydi va u quyidagicha aniqlanadi:

bingam suyuqligi uchun $\mathrm{Re}_{\mu}=\dfrac{wd\rho}{\eta\,(1+6w\eta)}$

mavhum plastik va dilatant suyuqliklar uchun

$$\mathrm{Re}_{\mu}=\frac{w^{2-m}\cdot d^m\cdot\rho}{k\cdot\left(3+\dfrac{1}{m}\right)^m}$$

ko'rinib turibdiki, agar τ_o (unda $\eta\to\mu$) va $m=1$ (unda $k\to\mu$) bo'lsa, ushbu tenglamalar Reynolds sonining oddiy holati $Re=wd\rho/\mu$ ga keladi.

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, agar $Re_{np}<\sim 2000$ da yuqorida ko'rib chiqilgan nonyuton suyuqliklarining harakati plastik deb hisoblanishi mumkin. Agar suyuqlik harakatining Reynolds soni Re_{np} ning qiymatlaridan ancha ortib ketsa, unda plastik harakat yo'qolib boradi va oqibatda nonyuton suyuqliklar harakati nyuton suyuqliklarining harakat qonuniyatlariga yaqinlashib keladi.

2.16. Truba quvurlari diametrini hisoblash

Truba quvurlarining narxi kimyo, oziq-ovqat sanoati korxona qurilmalari umumiy narxining salmoqli qismini tashkil etadi. Undan tashqari, truba quvurlarini ekspluatatsiya qilish katta mablag'larni sarf qilishni taqozo etadi. Shuning uchun, truba diametrini to'g'ri tanlash katta texnik-iqtisodiy ahamiyatga ega.

Ma'lum ish unumdorlikka ega truba quvurlarining diametrini (2.10) formula yordamida hisoblab topish mumkin:

$$V = wF \tag{2.59}$$

bundan

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} \tag{2.59a}$$

bu yerda, d – truba ichki diametri, m; w – suyuqlikning o'rtacha tezligi, m/s; V – hajmiy sarf, m^3/s.

Texnik-iqtisodiy hisoblar asosida tavsiya etiladigan truba quvurlaridagi suyuqliklarning tezliklari 2-2 jadvalda keltirilgan.

Suyuqliklarning tavsiya etiladigan tezliklari

2-2 jadval

t/r	Suyuqlik nomi	Tezligi, w, m/s
1.	Qovushqoqligi past tomchili suyuqlik	<3 m/s
2.	Qovushqoq suyuqlik	<1 m/s
3.	Tomchili suyuqlik (o'zidan - o'zi oqishi)	0,2...1 m/s
4.	Tomchili suyuqlik (haydash trubasida)	1...3 m/s
5.	Gaz (ventilator haydash trubasida)	8...15 m/s
6.	Gaz (bosim ostida)	15...25 m/s
7.	To'yingan suv bug'i	20...30 m/s
8.	O'ta qizdirilgan suv bug'i	30...50 m/s

Shunday qilib, truba quvurining diametri, unda harakat qilayotgan suyuqlik tezligi orqali aniqlanadi.

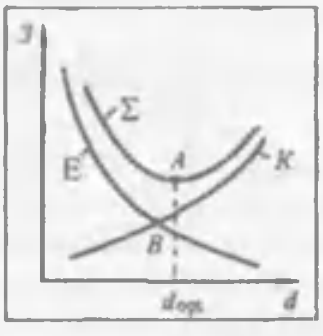
Agar suyuqlik tezligi qancha katta bo'lsa, (2.59) tenglamaga binoan, zarur diametr shuncha kichik va uni tayyorlash uchun shuncha kam material sarflanadi. Demak, uning narxi past, montaji va ta'mirlanishiga bo'ladigan xarajatlar kam bo'ladi. Shu bilan birga, (2.56) tenglamaga binoan, suyuqlik tezligi ortishi bilan uni uzatish uchun zarur bosimlar farqi oshadi. Bu esa, o'z navbatida, energiya sarfini o'sishiga olib keladi.

Shuning uchun, truba quvurining optimal diametrini topish uchun texnik-iqtisodiy uslubdan foydalanish zarur.

Ushbu muammoni yechish yo'li ko'pgina gidrodinamik, issiqlik va massa almashinish jarayonlari uchun umumiy bo'lib, kapital va ekspluatatsion sarflarni taqqoslashga asoslangan.

Truba quvurlarining tahlili uchun asos qilib sarf (2.59, 2.59a) va Darsi-Veysbax (2.48) tenglamalarini olamiz.

Truba quvurining diametri ortishi bilan kapital sarflar jadal sur'atda ko'payadi, chunki diametr d ga proporsional ravishda nafaqat perimetr, balki truba devorining qalinligi ham oshadi.



2.20-rasm. Truba quvurining eng samarador diametrini aniqlashga oid.
Z – sarflar; E – ekspluatatsion sarflar; K – kapital sarflar; Σ – sarflar yig'indisi.

2.20-rasmdan ko‘rinib turibdiki, truba diametri ortishi bilan kapital sarflar keskin ravishda ko‘payadi va u ***K*** egri chiziq orqali namoyon bo‘ladi.

Ekspluatatsion sarflar diametr o‘sishi bilan keskin kamayuvchi ***E*** egri chizig‘i bilan ifodalanadi. Loyihachi va texnologlarni jami sarflar (Σ egri chizig‘i) minimal bo‘lgan truba diametri qiziqtiradi. Rasmda Σ egri chizig‘ining minimumiga A nuqta to‘g‘ri keladi. Demak, truba quvurining optimal qiymati $d_{onm} = d_A$.

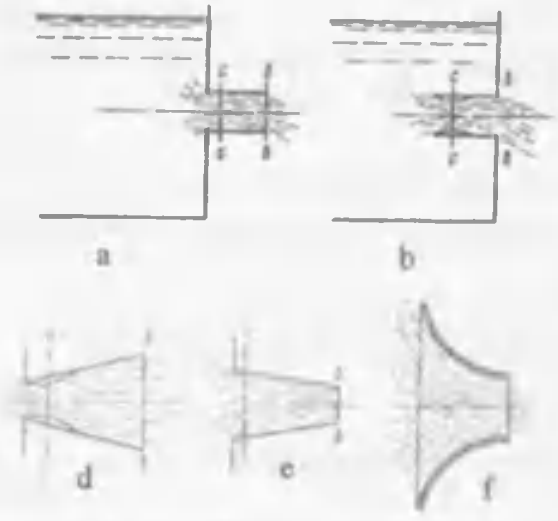
Optimal truba quvurida ekspluatatsion sarflar minimal bo‘ladi.

Ko‘pincha qurilmalarni loyihalashda suyuqlik va gazlarning tezligini truba quvurlarnikiga qaraganda 3...5 marotaba pastroq qilib olish maqsadga muvofiq.

2.17. Nasadka va teshiklar orqali suyuqlik oqib chiqishi

Texnologik qurilma, sisterna va boshqa idishlar bo‘shashi paytida teshik va nasadkalar orqali suyuqliklar oqib tushish jarayoni yuz beradi.

Nasadka deb yupqa devordagi teshikka mahkamlangan turli shakldagi kalta patrubkalarga aytiladi. Odatda nasadka uzunligi taxminan 3…4 diametrga teng bo‘ladi. Konstruksiyasiga qarab nasadkalar ichki (a), tashqi (b), kengayuvchi (c) va torayuvchi konussimon (d) hamda konoidal (e) shaklli bo‘ladi (2.21-rasm).



2.21-rasm. Nasadka turlari.

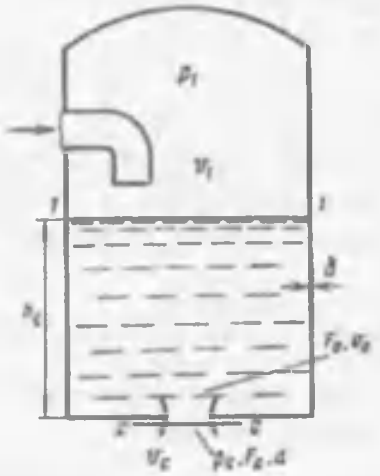
Suyuqlik oqib chiqish paytida nasadka ichida vakuum hosil bo‘ladi va natijada teshikning o‘zidan suyuqlik o‘tkazish qobiliyati ortadi. Kengayuvchi konussimon nasadkalarda silindrsimon nasadkalarnikidan ko‘proq miqdorda vakuum hosil bo‘ladi.

Agar nasadkalardan chiqishda yuqori tezlikka erishish zarur bo‘lsa, torayuvchi konussimon nasadkalarda qo‘llaniladi. Konoidal nasadkalar oqimcha shaklida tayyorlanadi. Shuning uchun bunday nasadkalarda oqimcha siqilmaydi va energiya yo‘qotilishi minimal bo‘ladi.

Idishdagi suyuqlik balandligi o‘zgarmas bo‘lganda, idish tubidagi dumaloq teshikdan suyuqlik oqib chiqishi.

Yupqa devordagi ($\delta \leq 2d$) teshik orqali suyuqlik oqib chiqmoqda, ya’ni teshik cheti o‘tkir qirrali va uning qalinligi oqimcha shakliga ta’sir etmaydi (2.22-rasm).

Bu sharoitda oqib chiqishda faqat energiyaning mahalliy yo‘qotilishi sodir bo‘lmoqda. Idish tubidan ma’lum bir balandlikda oqimcha siqiladi va ushbu ko‘ndalang kesimda parallel – oqimchali oqib tushish ro‘y bermoqda deb tasavvur qilamiz.



2.22-rasm. Idishda suyuqlik balandligi o‘zgarmas bo‘lganda, uning tubidagi dumaloq teshikdan oqib chiqishi.

1-1 va c-c ko'ndalang kesimlar uchun Bernulli tenglamasini yozamiz. Rasmdan ko'rinib turibdiki, $w_1 << w_c$;

$$h_c + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{p_c}{\rho g} + \frac{\alpha \cdot w_c^2}{2g} + h_{w0\,q}$$

bu yerda, p_c, w_c – siqilgan kesimdagi suyuqlik bosimi va tezligi; α – oqimchaning notekislik koeffitsiyenti:

$$h_{w'q} = \xi \frac{w_c^2}{2g}$$

bu yerda, ξ – mahalliy qarshilik koeffitsiyenti, ξ=0,06.

Bernulli tenglamasidan quyidagi formulani olamiz:

$$w_c = \sqrt{\frac{2g}{2+\xi}\left(h_c + \frac{p_0 - p_c}{\rho g}\right)} \qquad \text{yoki} \qquad w_c = \varphi\sqrt{2gH} \qquad (2.60)$$

bu yerda

$$\varphi = \sqrt{1/(\alpha + \xi)}.$$

Hajmiy sarf esa

$$V = \varphi F_c \sqrt{2gH}$$

bu yerda, φ – tezlik koeffitsiyenti, dumaloq teshik uchun φ=0,97; F_c –oqimcha ko'ndalang kesimi yuzasi:

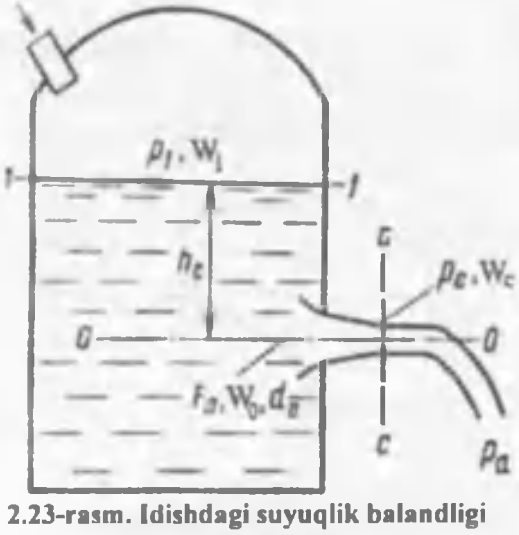
$$F_c = \varepsilon_0 F_0$$

bu yerda, ε_0 – oqimchaning siqilish koeffitsiyenti, ε_0=0,64; F_0 – teshik ko'ndalang kesimi yuzasi.

Unda:

$$V = \varphi\varepsilon F_0 \sqrt{2gH} = \mu F_0 \sqrt{2gH} \qquad (2.61)$$

bu yerda, $\mu = \varepsilon\varphi$ – sarf koeffitsiyenti.



2.23-rasm. Idishdagi suyuqlik balandligi o'zgarmas bo'lganda yupqa yon devordagi dumaloq teshikdan suyuqlik oqib chiqishi.

Sarf koeffitsiyenti μ teshik shakli, devor qalinligi va suyuqlik qovushqoqligiga bog'liq. Suv uchun μ = 0,62...0,63 bo'lib, boshqa suyuqliklar uchun $\mu = f(Re)$.

Agar suyuqlik atmosfera bosimli idishga oqib tushsa $p_1 = p_c = p_a$;

$$V = \mu F_0 \sqrt{2gh_c}$$

Idishdagi suyuqlik balandligi o'zgarmas bo'lganda, yupqa yon devordagi dumaloq teshikdan suyuqlik oqib chiqishi. d_0 diametrli teshik og'irlik markazidan 0-0 taqqoslash tekisligini o'tkazamiz. Idish sath yuzasi 1-1 va siqilgan ko'ndalang kesim c-c lar uchun Bernulli tenglamasini yozamiz (2.23-rasm).

$$h_c + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{p_a}{\rho g} + \frac{\alpha_c w_c^2}{2g} + \xi \frac{w_c^2}{2g}$$

bunda $p_c = p_a$ ekanligini inobatga olamiz.

Tenglamani w_c ga nisbatan yechsak,

$$w_c = \sqrt{\frac{2g}{\alpha + \beta}\left(h_c + \frac{p_1 - p_a}{\rho g}\right)} = \varphi\sqrt{2gH} \qquad (2.62)$$

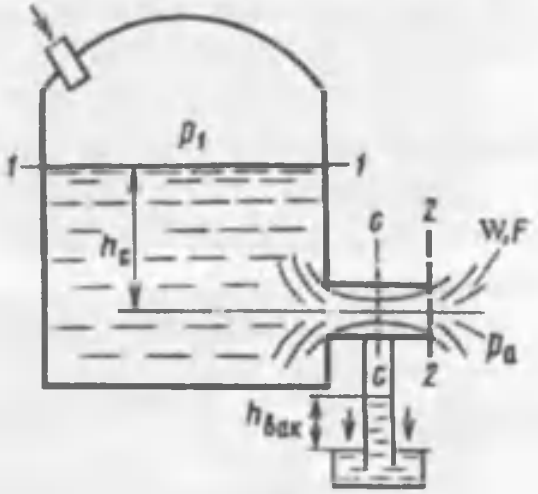
Suyuqlik sarfi esa, $p_o = p_c = p_a$ quyidagicha topiladi:

$$V = \mu F_0 \sqrt{2gh}$$

bu yerda, $\mu = 0{,}6\ldots0{,}62$.

Idishdagi suyuqlik balandligi o'zgarmas bo'lganda, silindrik nasadkadan suyuqlik oqib chiqishi.

Bernulli tenglamasiga binoan siqilgan ko'ndalang kesimda vakuum hosil bo'ladi (2.24-rasm).



2.24-rasm. Idishdagi suyuqlik o'zgarmas bo'lganda silindrik nasadkadan suyuqlik oqib chiqishi.

Silindrik nasadkadan suyuqlik oqib chiqish tezligi:

$$w = \sqrt{\frac{2gH}{\alpha + \xi_T/\varepsilon^2 + (1/\varepsilon - 1)^2 + \lambda l/d}} \qquad (2.63)$$

bu yerda, ξ_T – toraygan ko'ndalang kesimdagi mahalliy qarshilik; λ – gidravlik qarshilik koeffitsiyenti; nasadka uchun $\varepsilon_T = 1$ va $\mu = \varphi$.

Nasadka orqali oqib o'tayotgan suyuqlik sarfi:

$$V = \mu F_0 \sqrt{2gH}$$

Hosil bo'layotgan vakuum esa:

$$h_{vak} = 2\varphi^2 H(1 - \varepsilon)/\varepsilon \qquad (2.64)$$

Tashqi silindrik nasadka uchun $\varphi = 0{,}82$, $\varepsilon = 0{,}64$. Ushbu φ va ε qiymatlarida quyidagicha ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$h_{vak} \approx 0{,}75H \text{ va } H \le 1{,}3h_{vak}$$

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, agar vakuum 8 m.suv.ust.dan ortiq bo'lsa, havo chiqish ko'ndalang kesimidan so'rila boshlanadi. Bu esa vakuumning «uzilishiga» olib keladi. Bunday holatlarda nasadka oddiy teshikka o'xshab ishlaydi. Shuning uchun, naporning qiymati quyidagi formuladan aniqlanadigan eng katta qiymatdan oshmasligi kerak:

$$H_{e.k} = h_{vak.ek}\frac{1}{2\varphi^2}\cdot\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \qquad (2.65)$$

bu yerda $h_{vak.ek} = 8$ m.suv.ust.

$$H_{ek} = 8\frac{1}{2\cdot 0{,}82^2}\cdot\frac{0{,}64}{1-0{,}64} \approx 10\ m.suv.ust.$$

O‘zgaruvchan naporda suyuqlikning oqib chiqishi.

O‘zgaruvchan naporga ega bo‘lgan suyuqlikning yupqa devorli idish teshigidan oqib, butunlay chiqib ketishini ko‘ramiz (2.25-rasm).

Suyuqlikning oqib chiqishi turg‘unmas rejimda ro‘y bermoqda. Idish tubida joylashgan teshikning ko‘ndalang kesim yuzasi F_0.

Elementar $d\tau$ vaqt birligida suyuqlikning balandligi h_{s1} dan h_{s2} ga o‘zgarganda idish tubidagi teshikdan oqib chiqayotgan suyuqlik hajmi quyidagi formuladan topiladi:

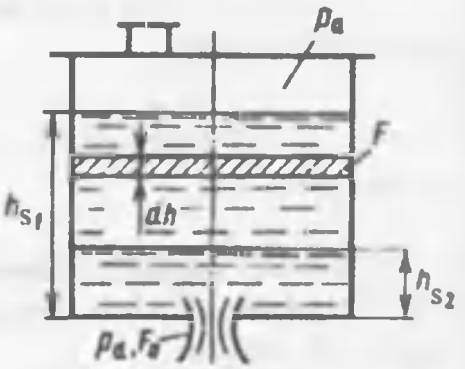
$$dV = \mu F_0 \sqrt{2gh} \cdot d\tau$$

bu yerda h–$d\tau$ vaqtda teshik og‘irlik markazi tepasidagi napor.

Vaqt birligida idishdagi suyuqlik balandligi $dh = dV/F$ ga o‘zgaradi. Bu yerda F – idish ko‘ndalang kesim yuzasi.

Oqimning uzluksizlik tenglamasiga binoan:

$$-dhF = \mu F_0 \sqrt{2gh}\, d\tau$$



2.25-rasm. O‘zgaruvchan naporda suyuqlikning oqib chiqishi.

bundan

$$d\tau = -\frac{Fdh}{\mu F_0 \sqrt{2gh}} \tag{2.66}$$

Suyuqlikning oqib tushish vaqtini topish uchun (2.66) ifodani h_{s1} va h_{s2} oraliqda integrallaymiz

$$\tau = -\int_{h_{s1}}^{h_{s2}} \frac{Fdz}{\mu F_0 \sqrt{2gz}} = \frac{F}{\mu F_0 \sqrt{2g}} \int_{h_{s1}}^{h_{s2}} \frac{dh}{\sqrt{h}} = \frac{F}{\mu F_0 \sqrt{2g}} \left| 2\sqrt{h} \right|_{hs1}$$

Demak

$$\tau = +\frac{2F\left(\sqrt{h_{s1}} - \sqrt{h_{s2}}\right)}{\mu F_0 \sqrt{2g}} \tag{2.67}$$

Ushbu tenglama yordamida suyuqlik balandligi ma’lum miqdorga kamayganda, ya’ni h_{s1} dan h_{s2} ga pasayganda, suyuqlikning oqib tushish vaqti topiladi.

Agar h_{s2}=0 bo‘lsa, idishdagi suyuqlik butunlay, to‘liq oqib chiqqan bo‘ladi:

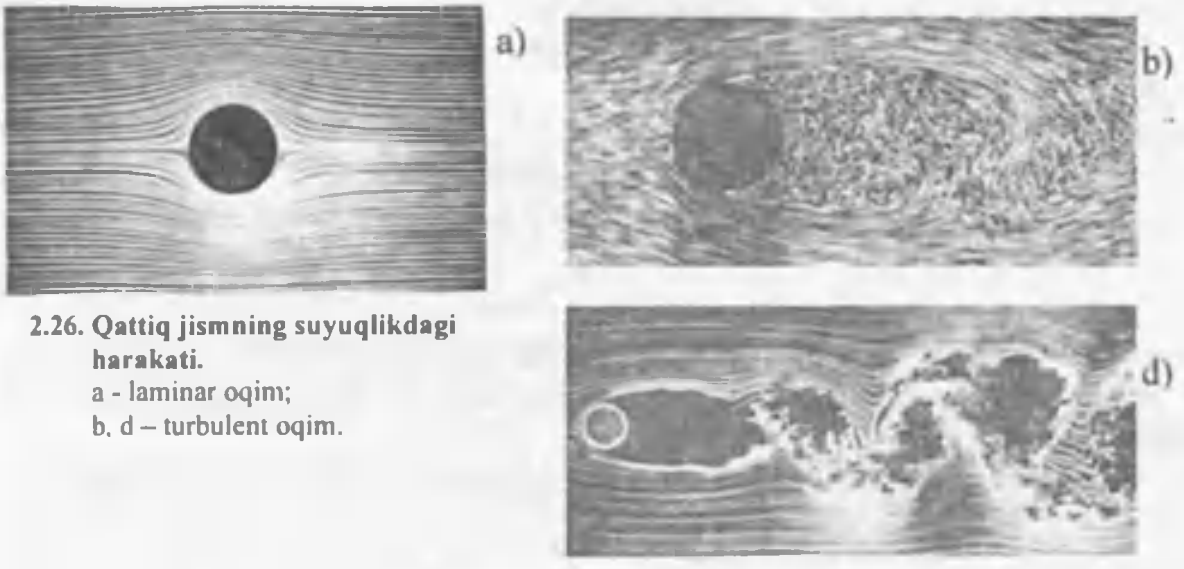
$$\tau = \frac{2F\sqrt{h_{s1}}}{\mu F_0 \sqrt{2g}} \qquad \text{yoki} \qquad \tau = \frac{2Fh_{s1}}{\mu F_0 \sqrt{2gh_{s1}}} = \frac{2V_p}{V} \tag{2.68}$$

bu yerda, V_p – rezervuar hajmi; $V - h_{s1}$ bo‘lgandagi suyuqlik sarfi.

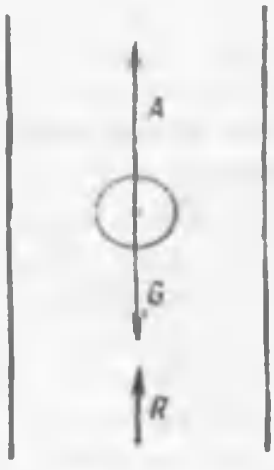
Demak, napor o‘zgaruvchan bo‘lganda rezervuarning butunlay, to‘liq bo‘shash vaqti o‘zgarmas naporliga qaraganda 2 marta ko‘p bo‘ladi.

2.18. Qattiq jismlarning suyuqlikda harakati

Suyuqlikda jism harakatiga qarshilik. Kimyo va oziq-ovqat texnologiyalarida bir qator jarayonlar qattiq jismlarning suyuqlik yoki gazlarda harakati bilan bog'liq. Bunday jarayonlarga qattiq zarrachalarni suspenziya va changlardan og'irlik, inersion kuchlar ta'sirida cho'ktirish va suyuqlik muhitlarida mexanik aralashtirishlar kiradi.



2.26. Qattiq jismning suyuqlikdagi harakati.
a - laminar oqim;
b, d – turbulent oqim.



2.27-rasm. Cho'kayotgan zarrachaga ta'sir etuvchi kuchlar.

Ushbu jarayonlar qonuniyatlarini o'rganish gidrodinamikaning tashqi masalasidir.

Jismlar suyuqlikda harakat qilgan paytda qarshiliklar hosil bo'ladi. Bu qarshiliklarni yengish va jismning tekis harakatini ta'minlash uchun ma'lum miqdorda energiya sarflanishi kerak. Hosil bo'layotgan qarshiliklar asosan harakat rejimi va jism shakliga bog'liqdir.

Laminar rejimda, ya'ni suyuqlik qovushqoqligi yuqori yoki uning tezligi past va jism o'lchamlari kichik bo'lganda, jism atrofida chegaraviy qatlam hosil bo'ladi va suyuqlik tekis, ravon oqib o'tadi (2.26a-rasm).

Jism harakat tezligi ortishi bilan (turbulent rejimda) inersiya kuchlarining ahamiyati va roli ortib boradi. Bu kuchlar ta'sirida jismni o'rab turgan chegaraviy qatlam uzila boshlaydi va natijada harakat qilayotgan jism orqa tomonida bosim pasayadi va ushbu joyda tartibsiz, uyurmali oqimchalar hosil bo'ladi (2.26b-rasm).

Jismning suyuqlikda harakati paytida uning old va orqa tomonlaridagi bosimlar farqi o'sib boradi va laminar rejimdagidan ancha katta bo'ladi. Reynolds kriteriysining ma'lum bir qiymatidan boshlab old tomonidagi qarshilikni hisobga olmaslik ham mumkin. Trubalarda suyuqlik harakati paytidek, bunday hollarda avtomodel rejim boshlanadi.

2.27-rasmda suyuqlikda cho'kayotgan sharsimon zarrachaga ta'sir etuvchi kuchlar ko'rsatilgan.

Diametri d va zichligi ρ_3 bo'lgan zarrachaning og'irlik kuchi G va u pastga qarab yo'nalgan bo'ladi:

$$G = \left(\frac{\pi d^3}{6}\right)\rho_3 g \qquad (2.69)$$

Arximed qonuniga binoan ko'taruvchi kuch A ushbu tenglamadan topiladi:

$$A = \left(\frac{\pi d^3}{6}\right)\rho g \qquad (2.70)$$

bu yerda, ρ – suyuqlik zichligi, kg/m^3.

Zarracha cho'kishiga sababchi kuch esa, quyidagiga teng:

$$G - A = \frac{\pi d^3}{6}(\rho_3 - \rho)g \qquad (2.71)$$

Cho'kish jarayonida qattiq jismga suyuqlik qarshilik ko'rsatadi. Ushbu qarshilik R qiymati muhit qovushqoqligi μ, zichligi ρ, zarracha ko'ndalang kesim yuzasi F va shakliga bog'liq.

Muhit qarshilik kuchi R Nyuton qonuniga binoan ushbu tenglamadan topiladi:

$$R = \xi F \frac{\rho w_{chuk}^2}{2} \qquad (2.72)$$

bu yerda, ξ – muhit qarshilik koeffitsiyenti; w_{chuk} – jism harakat tezligi, m/s.

Cho'kish jarayonini o'rganish natijasida ko'pchilik olimlar tomonidan quyidagi rejimlar aniqlangan va ularni ifodalovchi formulalar tavsiya etilgan:

2-3 jadval

Suyuqlik harakat rejimi	Reynolds soni	*Arximed* soni	*Formula*	Muhitning qarshilik koeffitsiyenti
Laminar	Re<2	Ar<36	Re=0,056·Ar	$\xi = \frac{24}{\mathrm{Re}}$ (2.73)
O'tish	Re=2…500	Ar=(36…83)·10^3	Re=0,15·Ar^{0,715}	$\xi = \frac{18,5}{\mathrm{Re}^{0,6}}$ (2.74)
Turbulent	Re>500	Ar>83·10^3	**Re=1,74·Ar^{0,5}**	$\xi = 0,44 = const$ (2.75)

Shar shaklida bo'lmagan jismlarning suyuqlikda harakati paytida muhitning qarshiligi sharsimon shaklli jismga nisbatan katta bo'lib, Reynolds soni va shakl omiliga bog'liq bo'ladi, ya'ni:

$$\xi = f(\mathrm{Re}, \Phi); \qquad \Phi = \frac{F_{sh}}{F} \qquad (2.76)$$

bu yerda, F – jism yuzasi; F_{sh} – jism hajmiga teng sharning yuzasi.

Turli shakldagi jismlarning F koeffitsiyenti qiymatlari.

2-4 jadval

Zarracha shakli	Shar	Kub	Silindr ($h=10r$)	Disk ($h=0,1r$)
Koeffitsiyent F	1	0,806	0,69	0,32

Reynolds kriteriysini hisoblashda shar shaklida bo‘lmagan jismlar uchun asosiy chiziqli o‘lcham sifatida shu jism hajmiga teng ekvivalent sharning diametri qo‘llaniladi.

Agar jismning hajmi V, uning massasi m va zichligi ρ bo‘lsa, unda ekvivalent diametri d ning qiymati ushbu tenglamadan topilishi mumkin:

$$V = \frac{m}{\rho_3} = \frac{\pi d^3}{6} \qquad (2.77)$$

2-bob. Gidrodinamika bo‘yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Gidrodinamika nimani o‘rgatadi?
2. Suyuqlik sarfini aniqlovchi formula va o‘lchov birligini yozing.
3. Gidravlik radius va ekvivalent diametrlar ma’nosi va formulasini yozing.
4. Turg‘un va noturg‘un oqimlar to‘g‘risidagi tushunchalar va formulasini yozing.
5. Oqimning uzluksizlik tenglamasining fizik ma’nosi va formulasini yozing.
6. Suyuqlik harakatining Eyler differensial tenglamasini keltirib chiqaring.
7. Bernulli tenglamasining fizik ma’nosi va formulasini yozing.
8. Potensial va kinetik energiyalar ta’rifini bering.
9. Geometrik, statik va tezlik naporlarining ma’nosi va formulalarini yozing.
10. Navye-Stoks differensial tenglamasini yozing va ta’rifini bering.
11. Suyuqlik sarfi va tezligini o‘lchash usullari.
12. Pito-Prandtl pnevmometrik trubkasining konstruksiyasi, tezlikni o‘lchash usuli va hisoblash formulasi.
13. Diafragma konstruksiyasi, tezlikni o‘lchash usuli va hisoblash formulasi.
14. O‘lchov soplo konstruksiyasi, tezlikni o‘lchash usuli va hisoblash formulasi.
15. Venturi truba konstruksiyasi, tezlikni o‘lchash usuli va hisoblash formulasi.
16. Suyuqliklarning qanday harakat rejimlari bor?
17. Reynolds kriteriysi, uning fizik ma’nosi va formulasini yozing.
18. Laminar rejimda o‘rtacha tezlik qaysi formuladan aniqlanadi?
19. Turbulent rejimda o‘rtacha tezlik qaysi formuladan aniqlanadi?
20. Nisbiy g‘adir-budurlik, gidravlik silliq va g‘adir-budur trubalar ta’rifi.
23. Ishqalanish qarshiligini ta’riflang va hisoblash formulasini yozing.
24. Mahalliy qarshilikni ta’riflang va hisoblash formulasini yozing.
25. Mahalliy qarshiliklar turlari va konstruksiyalari.
26. Nonyuton suyuqliklar turlari. Reologiya nima?
28. Bingam, mavhum plastik va dilatant suyuqliklarni ta’riflab bering.
29. Truba diametrini aniqlash formulasini yozing.
30. Suyuqlik, gaz va bug‘lar uchun qanday tezlik tavsiya etilgan?
31. Nasadka va teshiklar konstruksiyalarini chizing.
32. Suyuqlikda cho‘kayotgan jismga qanday kuchlar ta’sir etadi?
33. Og‘irlik, ko‘taruvchi va qarshilik kuchlarini ifodalovchi formulalarni yozing.
34. Shakl omili nima va u qanday parametrlarga bog‘liq?
35. Qattiq jismning cho‘kish rejimlari va ularni hisoblash formulalari.

NASOSLAR

2.19. Umumiy tushunchalar

Qurilmalarda va quvur ichida suyuqlik uning boshi va oxiridagi bosimlar farqi tufayli harakat qiladi. Suyuqlikning quyi sathdan yuqori sathga uzatish uchun esa nasoslardan foydalaniladi. Bunda suyuqlikka bosimning potensial energiyasi ta'sir ettiriladi.

Nasos – shunday gidravlik mashinaki, unda elektr yuritkichning mexanik energiyasi suyuqlikning harakatlanish (uzatish) energiyasiga aylantirib beriladi.

2.20. Nasoslar klassifikatsiyasi

Harakatlanish turiga qarab hajmiy, kurakli (markazdan qochma), uyurmaviy va o'qli nasoslarga bo'linadi.

Hajmiy nasoslarning ishlash prinsipi yopiq hajm ichida siqib chiqarish usuliga asoslangan bo'lib, ilgarilama-qaytma va aylanma harakatlar tufayli suyuqlik siqib chiqariladi. Hajmiy nasoslarga porshenli, rotatsion, vintli, shesternyali va plastinali gidravlik mashinalar kiradi. Markazdan qochma nasoslarda bosim markazdan qochma kuch ta'sirida, ya'ni nasos qobig'I (asosi)ga joylashgan kurakli g'ildirakning aylanishi tufayli sodir bo'ladi.

Uyurmaviy nasoslarda uyurma energiyasi hisobiga uzatiladi. Bu ishchi g'ildirakning aylanishida uyurmaning tezda hosil bo'lishi va so'nishi bilan amalga oshadi.

Aytib o'tilgan nasoslardan tashqari, yana oqimchali nasoslar hamda gazliftlar va montejyu deb nomlanadigan mashinalardan ham foydalaniladi. Bu nasoslarda gaz, suv va bug'larning bosimlaridan foydalaniladi. Turli sohalarda ishlatiladigan mexanik nasoslarning turlari ko'p bo'lib, ularning ish unumdorligi va bir me'yorda uzatishiga, tuzilishiga, ishchi organlarining xarakteri va harakatlanish tezligiga qarab sinflarga ajratilgan (2-5 jadval).

Nasoslar klassifikatsiyasi

2-5 jadval

№	Tip	Turi	Alohida belgilari
1	Mexanik	Hajmiy:	
		Porshenli	Harakatlanuvchi ishchi organ-porshen yoki plunjer
		Rotatsion:	
		plastinali	Ishchi organ – plastinali rotor
		shesternyali	Ishchi organ –shesternya
		vintsimon	Ishchi organ –vintlar
		shlangsimon	Ishchi organ –siljuvchi siqilmalar
		Parrakli:	
		markazdan qochma	Ishchi g'ildirak aylanishi davrida suyuqlikni chetga uloqtiradi
		Propellerli (o'qli)	O'qga mahkamlangan parraklar suyuqlikni o'q chizig'i bo'yicha uzatadi
		Uyurmali	Suyuqlikni ko'p marotaba chetga uloqtirish
2	Mexanik emas	Gazlift	Suyuqlik zichligiga nisbatan zichligi kam gaz-suyuqlik aralashma hosil qilish
		Oqimchali	Oqimning katta kinetik energiyasi
		Montejyu	Bosim ostidagi qo'zg'almas gaz

2.21. Nasoslarning asosiy parametrlari

Nasoslarning asosiy parametrlari bo'lib unumdorlik, napor va quvvatlari hisoblanadi.

Unumdorlik $V\ (m^3/s)$ – bu suyuqlikning hajmiy sarfi bo'lib, haydash quvuri orqali nasos yordamida uzatilgan suyuqlik miqdorini bildiradi.

Nasos napori $N\ (m)$ – bu nasosning massa birligiga ega bo'lgan suyuqlikka bergan solishtirma energiyasidir.

Foydali quvvat $N_f(Vt)$ –napor N va suyuqlik massaviy sarfi $\rho g\ V$ ko'paytmasiga teng miqdordagi suyuqlik potensial energiyasiga aytiladi:

$$N_f = \rho g V H$$

Nasos o'qidagi quvvat N_{val} ni aniqlash uchun foydali quvvatni nasos foydali ish koeffitsiyentiga bo'lish kerak va u nasosning yo'qotgan energiyasini xarakterlaydi:

$$N_e = \frac{N_f}{\eta_n} = \frac{\rho g V H}{\eta_n}$$

Nasos yo'qotgan energiyasi konstruksiyaning mukammalligi, ishlatish samaradorligi va nasosning yedirilishi hisobga olinadi:

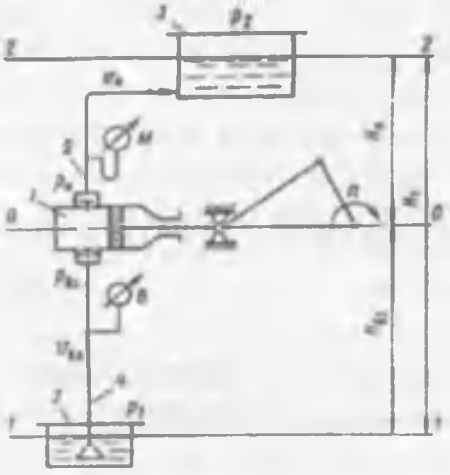
$$\eta_n = \eta_V \cdot \eta_g \cdot \eta_{mex}$$

bu yerda, η_v – uzatish f.i.k.; suyuqlikning klapan, salnik, har xil tirqishlardan oqib chiqib ketishini hisobga oladi, ya'ni $\eta_v = V/V_{naz}$ – haqiqiy unumdorlikning nazariy unumdorlikka nisbatini xarakterlaydi; η_g –gidravlik f.i.k.; $\eta_g = N/N_{naz}$ – hajmiy naporni nazariy naporga nisbatini bildiradi; η_{mex} – mexanik f.i.k.; podshipnik, salnik va boshqa elementlarda ishqalanishga yo'qotilgan quvvat.

Nasosning foydali ish koeffitsiyenti η_n porshenli nasoslar uchun 0,8...09, markazdan qochma nasos uchun 0,7...0,95 ni tashkil etadi.

Elektr yuritkich iste'mol qilayotgan quvvat yoki nominal quvvati N_{eyu} o'qdagi quvvatga qaraganda ko'proq, chunki elektr yuritkichdan nasos o'qigacha energiyani uzatish muftasida va elektr yuritkich o'qida yo'qotilishlar sodir bo'ladi. Ushbu yo'qotilishlar N_e tenglamasiga uzatma η_{uz} va elektr yuritkich f.i.k. η_{eyu} larini kiritish orqali inobatga olinadi:

$$N_{eyu} = \frac{N_e}{\eta_n \cdot \eta_{uz} \cdot \eta_{eyu}} = \frac{\rho g V H}{\eta_V \cdot \eta_g \cdot \eta_{mex} \cdot \eta_{uz} \cdot \eta_{ryu}}$$



2.28-rasm. Nasos qurilmaning sxemasi.

Nasos qurilmasining to'liq foydali ish koeffitsiyenti:

$$\eta = \frac{N_f}{N_{eyu}} = \eta_n \cdot \eta_{uz} \cdot \eta_{eyu}$$

bu yerda, N_{eyu} – yuritkich iste'mol quvvati; η_{yu} – uzatish f.i.k.; η_{eyu} – yuritkich f.i.k.

Yuritkichning o'rnatish quvvati, nasosni ishga tushirish onida (vaqtida)gi N_{eyu} ortiqcha yuklanishini inobatga olgan holda aniqlanadi.

$$N_{ur} = \beta \cdot N_{eyu}$$

bu yerda, β – quvvatning zaxira koeffitsiyenti, bu elektr yuritkichning quvvatiga qarab 2,0 dan 1,1 gacha olinadi.

Elektr yuritkichning quvvati qancha yuqori bo'lsa, koeffitsiyent β ning qiymati shuncha kichiklashadi.

So'rish balandligi. Nasos qurilmasi nasos 1, pastki 2 va bosim hosil qiluvchi 3 idishlardan, manometr M, vakuummetr V, so'rish 4 va haydash 5 quvurlaridan tashkil topgan.

Nasosning naporini aniqlash uchun 1-1 va 0-0 kesimlari uchun Bernulli tenglamasini so'rish rejimi uchun yozamiz (2.28-rasm). Taqqoslash tekisligi deb pastki idishdagi suyuqlik sathini olamiz:

$$\frac{p_1}{\rho g}+\frac{w_1^2}{2g}=H_{so'r}+\frac{w_{so'r}}{2n}+\frac{p_{so'r}}{\rho g}+h_{so'r.yo'q}. \qquad (2.78)$$

bu yerda p_1 – pastki idishdagi bosim; w_1 – 1-1 kesimdagi pastki hajmdagi suyuqlik tezligi; $H_{so'r}$ – so'rish balandligi; $w_{so'r}$ – so'rish quvuridagi suyuqlik tezligi; $p_{so'r}$ – nasosning so'rish bosimi; $h_{so'r.yo'q}$ - so'rish quvuridagi yo'qotilishlar.

Haydash rejimi uchun 0-0 va 2-2 kesimlari uchun tuzilgan Bernulli tenglamasi (taqqoslash tekisligi deb nasos o'qidan o'tgan 0-0 tekisligi olinadi) quyidagicha yoziladi:

$$\frac{p_{uz}}{\rho g}+\frac{w_{uz}^2}{2g}=H_{uz}+\frac{w_2^2}{2g}+\frac{p_2}{\rho g}+h_{uz.yo'q} \qquad (2.79)$$

bu yerda, p_{uz} – uzatish (haydash) bosimi; w_{uz} – haydash quvuridagi tezlik; H_{uz} – uzatish balandligi; w_2 – 2-2 – kesimdagi yuqori idishdagi suyuqlik tezligi; p_2 – haydash idishidagi bosim; $h_{uz.yo'q}$ – haydash quvuridagi yo'qotilish.

So'rish va haydash quvurlaridagi tezlikka nisbatan pastki va yuqoridagi idishlardagi suyuqlik tezligining o'zgarishi juda kichik bo'lgani uchun, ular nolga teng (w_1=0; w_2=0).

(2.78) va (2.79) tenglamalarni hisobga olib nasosning naporini quyidagicha yozish mumkin:

$$H=\frac{p_{uz}-p_{so'r}}{\rho g}=\frac{p_2-p_1}{\rho g}+\frac{w_{uz}^2+w_{so'r}^2}{2n}+H_{so'r}+H_{uz}+h_{so'r.yo'q}+h_{uz.yo'q} \qquad (2.79a)$$

So'rish bilan haydash quvuri o'zaro teng bo'lganda, ushbu tenglikni soddalashtirish mumkin bo'ladi, ya'ni $w_{so'r}=w_{uz}$. Suyuqlikni geometrik uzatish balandligi esa $H_g=H_{so'r}+H_{uz}$, bundan quyidagi tenglama kelib chiqadi:

$$H=\frac{p_2-p_1}{\rho g}+H_{so'r}+h_{yo'q} \qquad (2.80)$$

bu yerda, $h_{yo'q}=h_{so'r}+h_{uz.yo'q}$ – bosimning umumiy yo'qotilishi.

Agarda yuqoridagi va pastki idishdagi bosimlar teng bo'lsa, ya'ni $P_2=P_1$, u holda:

$$H=H_g+h_{yo'q} \qquad (2.81)$$

(2.80) tenglamaga binoan, nasosning bosimi, suyuqlikni geometrik balandlik H_g ko'tarishga, idishlardagi bosimlar farqini, so'rish va haydash idishlardagi gidravlik qarshiliklarni yengishga sarf bo'ladi.

Gorizontal joylashgan quvur orqali suv uzatilganda (H_g=0), nasos bosimi faqat qarshiliklarni yengish uchun sarflanadi:

$$H = h_{yo'q} \tag{2.82}$$

Ishlayotgan nasosning bosimini (naporini) vakuummetr H_v va manometr H_m larning ko'rsatkichlari asosida aniqlash mumkin:

$$H = H_m + H_v + h$$

bu yerda, h – manometr va vakuummetrlar orasidagi masofa.

(2.78) tenglamadan so'rish balandligini ko'rib chiqsak:

$$H_{so'r} = \frac{p_1 - p_{so'r}}{\rho g} - \frac{w^2_{so'r}}{2g} - h_{so'r.yo'q} \tag{2.83}$$

w_1 tezlik qiymati $w_{so'q}$ ga nisbatan ancha kichik bo'lgani uchun, w_1=0 deb qabul qilsak bo'ladi.

(2.83) tenglamadan shu narsa ko'rinib turibdiki, $p_{so'r}$ kamayishi bilan so'rish balandligi ortadi. Suyuqlik nasos ichida qaynab ketmasligi uchun, $p_{so'r}$ qiymati suyuqlik uzatilayotgan temperaturadagi suv bug'i to'yinish bosimi $p_{to'y}$ dan katta bo'lishi kerak , ya'ni $p_{so'r} > p_{to'y}$.

Shunday qilib, so'rish balandligining chegaraviy qiymatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$H_{so'r} \le \frac{p_{at} - p_t}{\rho g} - \frac{w^2_{so'r}}{2g} - h_{so'r.yo'q}$$

bu yerda, p_{at} – atmosfera bosimi; $p_{at}=p_1$.

Aks holda, suyuqlik nasos ichida qaynab ketadi va intensiv bug' hosil bo'lishga olib keladi. Bug' pufakchalari suyuqlik bilan yuqori bosimli sohaga kirib qolsa, tomchiga aylanib, bo'shliqlar hosil qiladi, gidravlik zarba shovqin bo'lishiga olib keladi, ya'ni kavitatsiya hodisasi sodir bo'ladi.

Ma'lumki, suyuqliklarning qaynashi – bu uning to'yingan bug'lari bosimining tashqi bosim, ya'ni suyuqlik ustuni yoki tashqi bosimga teng yoki katta ($p>p_{cyp}$) bo'lgandagi sharoitda sodir bo'ladi. Qaynash jarayonida hosil bo'lgan bug' bosim ortishi bilan kondensatsiyalanadi. Lekin bir kilogramm suyuqlik egallagan hajm, bug' egallab turgan hajmga nisbatan bir necha yuz va ming barobar kam bo'ladi. Shuning uchun, kondensatsiya ro'y berayotgan bo'shliqda vakuum hosil bo'ladi. Kondensatsiyada bo'shagan bo'shliqni bir zumda suyuqlik to'ldiradi. Bunda gidravlik zarba hosil bo'ladi hamda nasos detallarining yemirilishi ro'y beradi va natijada nasosning ishchi organlarida o'yilgan chuqurchalar paydo bo'ladi. Nasos bunday rejimda ishlashi uning buzulishiga olib keladi.

Yuqorida qayd etilgan hodisa, ya'ni past bosimli sohalarda suyuqlikning qaynash davrida gaz pufakcha (g'ovak) larining hosil bo'lishi **kavitatsiya** (inglizcha – cavity, «bo'shliq», «g'ovaklik») deb nomlanadi. Kavitatsiya mavjud rejimlarda nasoslarni ekspluatatsiya qilish uning gidravlik f.i.k. va unumdorligining pasayishiga olib keladi. Kavitatsiya hodisasi erigan gazlar desorbsiyasi yoki birikmalar zichlanishi yo'qolgan hollarda qurilmaga havoning so'rilishi ($p_{so'r}$ atmosfera bosimidan past bo'lganda) oqibatida ham ro'y berishi mumkin. Shuning uchun ham, nasos unumdorligini so'rish yo'lidagi zadvijka orqali amalga oshirish qat'iyan ma'n etiladi.

Kavitatsiya bo'lishi nasos unumdorligini pasaytiradi, gidravlik zarba bilan ishlagan nasos, tez yediriladi, korroziyaga uchraydi va uning tez buzilishiga olib keladi.

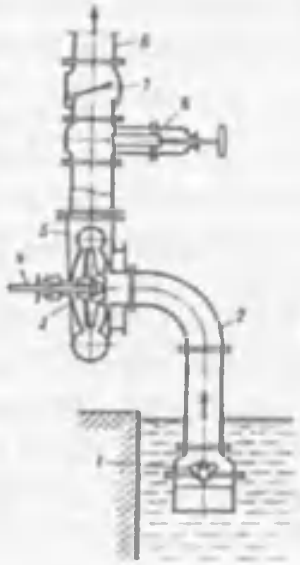
2.22. Markazdan qochma nasoslar

Ishlash prinsipi. Markazdan qochma nasoslar oqim kinetik energiyasini bosimning potensial energiyaga aylantirib berishiga asoslanib ishlaydi (2.29-rasm). Bu turdagi nasoslarda suyuqlikni so'rish va uzatish markazdan qochma kuch ta'sirida bo'lib, bu kuch nasos ishchi g'ildiragiga joylashgan spiralsimon kurakchalarni aylanishidan hosil bo'ladi. Kurakchalar suyuqlik oqib o'tadigan kanalni hosil qiladi.

Suyuqlik, so'rish trubasi orqali, ishchi g'ildirak o'qi bo'ylab nasosga kiradi.

Ishchi g'ildirak suyuqlikka aylanma harakat beradi. Markazdan qochma kuch ta'sirida suyuqlik nasos qobig'i bilan ishchi g'ildirak orasidagi o'zgaruvchan ko'ndalang kesimli kanalga kirib boradi. Kanalda suyuqlik tezligi uzatish quvuridagi tezlik qiymatigacha kamayadi.

Natijada ishchi g'ildiragiga kirishdagi bosim pasayib, suyuqlik beto'xtov nasosga so'rib boriladi. Markazdan qochma turdagi nasosni ishga tushirishdan oldin nasos ichida siyraklanish hosil qilish uchun uning ichiga suyuqlik quyiladi. Nasosdan suyuqlik orqaga oqib ketmasligi uchun, qaytarish klapani so'rish trubasiga o'rnatilgan bo'ladi. Gidravlik mashinalar bir va ko'p bosqichli nasoslarga bo'linadi.



2.29-rasm. Markazdan qochma nasos sxemasi:
1,7 - klapan; 2 - so'rish quvuri; 3 - ishchi g'ildirak; 4 - o'q; 5 - qobiq; 6 - haydash quvuri; 8 - zadvijka.

Bir bosqichli nasosning bosimi 50 m suv ustunidan oshmaydi. Shuning uchun yuqori bosim hosil qilish uchun bir o'qning o'ziga ketma-ket bir nechta ishchi g'ildiragi o'rnatiladi.

Ko'p bosqichli nasosning bosimi g'ildirak soniga proporsional. Ko'pincha g'ildiraklar soni beshtadan ortmaydi (2.30- rasm).

Markazdan qochma nasosning asosiy tenglamasi (Eyler tenglamasi). Ma'lumki, aylanish o'qiga nisbatan vaqt birligi ichida ma'lum bir suyuqlik massasi harakat miqdorining o'zgarishi, hamma tashqi kuchlar momentlarining yig'indisiga teng, ya'ni aylanish momentiga teng. Suyuqlikni g'ildirakka kirishdagi absolyut harakat tezligi C_1 tezlikli mos ravishda nisbiy tezliklar w_1 va w_2 aylanma tezliklar u_1 va u_2 ning geometrik yig'indisiga teng bo'ladi (2.31-rasm). G'ildirak kuragi bo'ylab harakatlanayotgan elementar oqimcha uchun, g'ildirakka kirishda:

$$\Delta m \cdot C_1 = \rho \cdot \Delta V C_1 \cdot \Delta \tau$$

G'ildirakdan chiqishda esa:

$$\Delta m \cdot C_2 = \rho \Delta V \cdot C_2 \cdot \Delta \tau$$

bu yerda, ρ – suyuqlik zichligi; ΔV – suyuqlik oqimchasi hajmi.

2-2 va 1-1 kesimlar uchun mos ravishdagi harakat miqdori momentlari:

$$M_2 = \rho \cdot \Delta V \cdot C_2 \Delta\tau \cdot r_2 \cdot \cos\alpha_2;$$
$$M_1 = \rho \cdot \Delta V \cdot C_1 \Delta\tau \cdot r_1 \cdot \cos\alpha_1,$$

bu yerda, r_1 va r_2 – ishchi g'ildirakning tashqi va ichki radiuslari; α_1 va α_2 – suyuqlikni g'ildirakka kirish va chiqishdagi absolyut hamda aylanma tezliklari orasidagi burchak.

Harakat miqdori momentini elektr yuritkichdan beriladigan energiya hisobiga oshirish mumkin.

$\Delta\tau$= 1 vaqt ichida harakat miqdori momenti ortishi:

suyuqlik oqimchasi uchun:

$$\Delta M = M_2 - M_1 = \rho\Delta V(C_2 r_2 \cos\alpha_2 - C_1 r_1 \cos\alpha_1)$$

suyuqlikning butun massasi uchun:

$$\sum \Delta M = \sum \rho\Delta V(C_2 r_2 \cos\alpha_2 - C_1 r_1 \cos\alpha_1) \qquad (2.84)$$

Ideal oqim uchun hamma harakat energiyasi harakat miqdori momentining ortishiga sarflanadi. Tashqi aylantirish (burish) momenti:

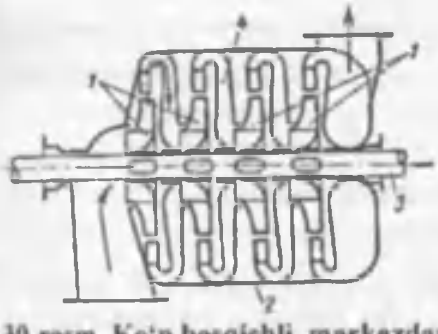
$$M = \frac{N}{\omega} = \frac{\rho g V H}{\omega} \qquad (2.85)$$

Tashqi chetki tezliklar $u_1 = r_1 \cdot \omega$ va $u_2 = r_2 \cdot \omega$ ni hisobga olib, (2.84) va (2.85) ni tenglatib hamda (2.85) tenglamani H_{nas} ga nisbatan yechganda, markazdan qochma nasos uchun Eyler tenglamasiga ega bo'lamiz:

$$H_{nas} = \frac{1}{g}(C_2 \cdot u_2 \cdot \cos\alpha_2 - C_1 \cdot u_1 \cos\alpha_1) \qquad (2.86)$$

Suyuqlikni g'ildirakka urilmasdan kirishi va undan chiqishi shartini hisobga olib, α_1=90° va α_2 =10...15° qabul qilinsa, (2.86) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$H_{nas} = \frac{1}{g} \cdot u_2 \cdot C_2 \cdot \cos\alpha_2 \qquad (2.87)$$

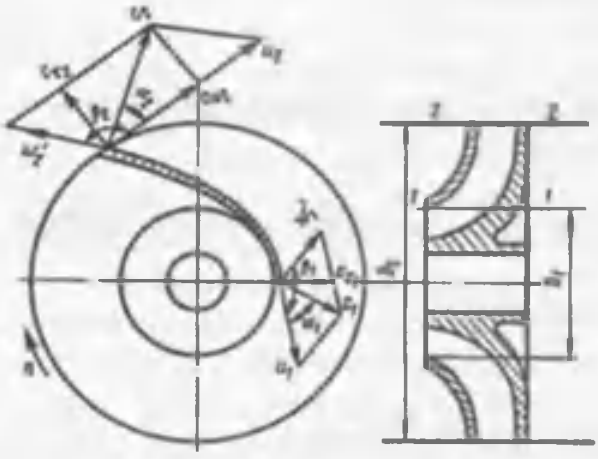


2.30-rasm. Ko'p bosqichli, markazdan qochma nasos sxemasi:
1-ishchi g'ildirak; 2-qobiq; 3 - o'q; 4- aylanma kanal.

2.28-rasmga qarab, tezliklar parallelogrammasidan $C_2 \cdot \cos\alpha_2 = C_{u2}$ $\alpha_1 = 90°$ bo'lganda:

$$H_{nas} = \frac{1}{g} \cdot u_2 \cdot C_{u_2} \qquad (2.88)$$

(2.88) tenglamasi ishchi g'ildiragining cheksiz sonli kurakchalari uchun olindi. Shuning uchun kurakchalar sonini hisobga oluvchi ε koeffitsiyent (2.88) tenglamaga kiritiladi, uning qiymati ε=0,6...0,8 ga teng.



2.31-rasm. Markazdan qochma nasosning asosiy tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

Haqiqiy hajmiy bosim nazariy bosimdan doimo kam bo'ladi. Chunki energiya nasosdagi gidravlik qarshiliklarni yengish uchun sarflanadi:

$$H = \frac{1}{g}\varepsilon \cdot \eta_2 \cdot u_2 \cdot C_{u_2} \quad (2.89)$$

bu yerda, η_2 – gidravlik foydali ish koeffitsiyenti 0,8...0,95 ga teng bo'ladi.

Nasos bosimi ma'lum darajada kuraklarning shakliga ham bog'liq bo'lib, aylanma va nisbiy tezliklar vektori orasidagi β_2 burchak yordamida aniqlanadi (2.28-rasm).

Tezlik parallelogrammasidan:

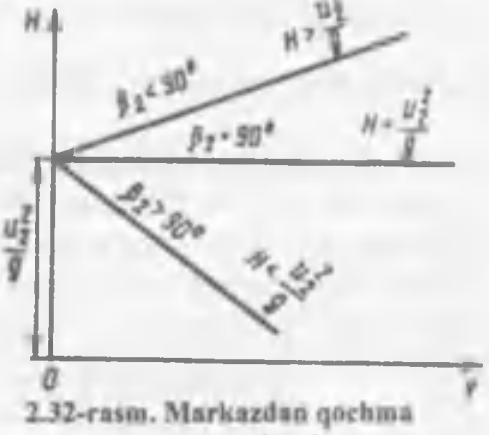
$$C_{u2} = u_2 - C_{r2} \cdot ctg(180 - \beta_2) = u_2 + C_{r2} \cdot ctg\beta_2$$

Unda: $$H = \frac{1}{g} \cdot E \cdot \eta_2 \left(u_2^2 + u_2 \cdot C_{r2} \cdot ctg\beta_2\right) \quad (2.90)$$

$\beta_2 < 90°$ bo'lganda (kurakchalar ishchi g'ildirakning aylanish yo'nalishi bo'yicha egilgan bo'lsa): $C_r \cdot ctg\beta_2 > 0$ va $H > \frac{1}{g}\varepsilon \eta_r u_2^2$, $\beta_2 > 90°$ da esa (kurakchalar ishchi g'ildirakning aylanish yo'nalishiga qarama-qarshi buklangan): $C_r \cdot ctg\beta_2 < 0$ va $H < \frac{1}{g} \cdot \varepsilon \cdot \eta_r \cdot u_2^2$ kurakchalar radial bo'lganda $\beta_2 = 90°$, $C_r \ ctg\beta_2 = 0$ va $H = \frac{1}{g}\varepsilon \cdot \eta_r \cdot u_2^2$.

Demak, eng katta bosim kurakchalar ishchi g'ildiragining aylanish yo'nalishi bo'yicha buklangan holatga to'g'ri keladi (2.29-rasm). G'ildirakdagi gidravlik yo'qotishlar kam bo'lishi uchun, kurakchalar quyidagicha buklanadi $\beta_2 = 140...164^0$ va $\beta_1 = 153...166^0$ bo'ladi (2.32-rasm).

Markazdan qochma nasoslarda unumdorlik ma'lum miqdorda ishchi g'ildirak kanallarining erkin kesim yuzalari yordamida aniqlanadi (2.28-rasmga qarang).



2.32-rasm. Markazdan qochma nasos naporiga β_2 burchakning ta'siri.

Nazariy unumdorlik ushbu tenglama yordamida hisoblanadi:

$$V_n = F_2 \cdot C_{r_2} = (\pi \cdot D_2 - z \cdot \delta) \cdot e \cdot C_2 \cdot \sin\alpha_2 \quad (2.91)$$

bu yerda, F_2 –ishchi g'ildirakning tashqi aylana bo'yicha erkin kesim kanalining yuzasi; C_{r2} – suyuqlikning ishchi g'ildirakdan chiqishdagi absolyut tezligining radial tashkil etuvchisi; D_2 – g'ildirakning tashqi diametri; z – kurakchalar soni; δ – kurakchalar qarshiligi; δ – g'ildirak eni.

Nasosning haqiqiy unumdorligi:

$$V = \eta_v \cdot V_T$$

bu yerda, η_v –nasosning hajmiy foydali ish koeffitsiyenti.

Markazdan qochma nasoslar xarakteristikalari. Nasoslar ishini tahlil qilish uchun ularni xususiy va universal xarakteristikalaridan foydalaniladi.

Nasosning xususiy xarakteristikasi bosim H, talab etilayotgan quvvat N, nasosning foydali ish koeffitsiyenti η_n larning $n=const$ bo'lgandagi unumdorlik V ga nisbatan o'zaro bog'liqligidir.

Nasosning bosimini unumdorlik bilan bog'liqligini aniqlash uchun, tezlikning radial tashkil etuvchisi C_{r2} ni unumdorlik orqali (2.91) tenglamaga binoan quyidagi ko'rinishi:

$$C_{r_2} = \frac{V}{\eta_v \cdot F_2}$$

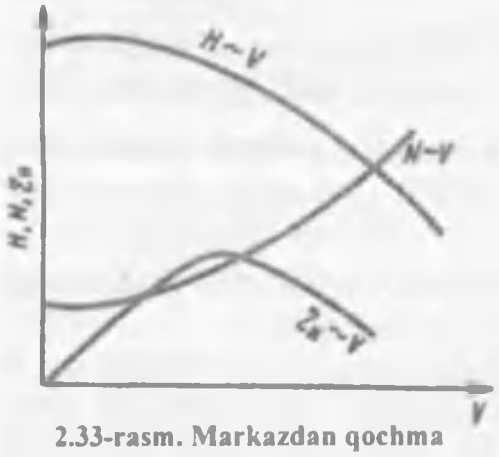
va (2.90) ga qo'yib ushbu tenglamani olamiz:

$$H = \eta_r \cdot \left(\frac{u_2^2}{g} + \frac{u_2 \cdot ctg\beta_2}{g\eta_v \cdot F_2} \cdot V \right) \qquad (2.92)$$

Ushbu nasos uchun U_2, β_2, η_v, F_2 lar o'zgarmas kattalik bo'lib, H ning V dan bog'liqligi (2.92) tenglamaga binoan to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi:

$$H = \eta_r (A + BV)$$

bu yerda, A va V – o'zgarmas koeffitsiyentlar.



2.33-rasm. Markazdan qochma nasosning xususiy xarakteristikasi.

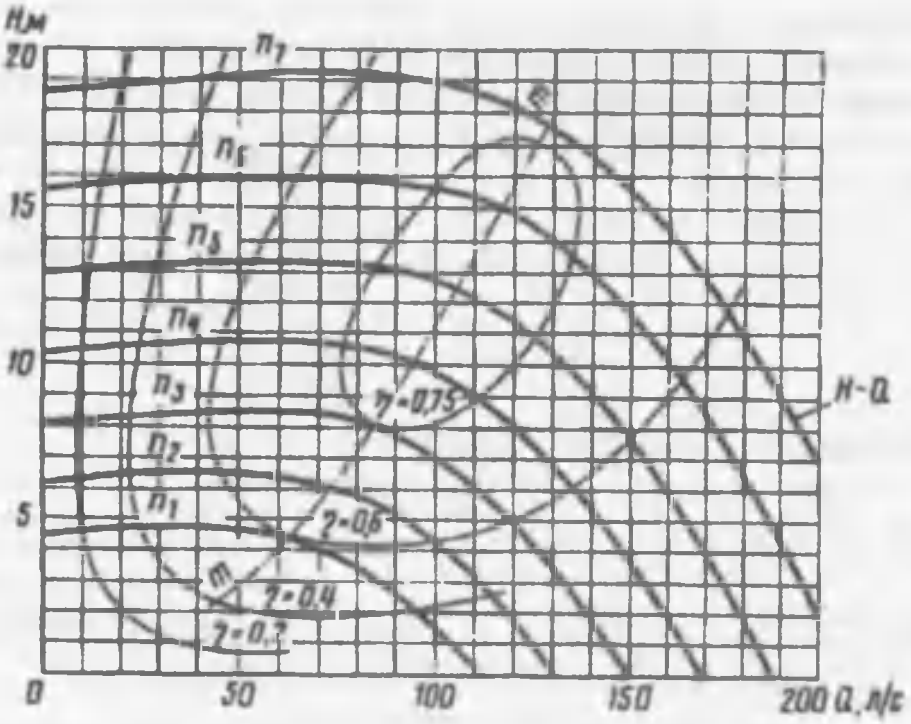
Haqiqatda esa tajriba bo'yicha $n=const$ bo'lganda, H ning V ga bog'liqligi egri chiziqni beradi (2.33-rasm), ya'ni unumdorlik oshgan sari nasos bosimi pasayadi, iste'mol quvvati esa ortadi. Foydali ish koeffitsiyentining qiymati esa asta-sekin ortib maksimumdan o'tib pasayadi. Ma'lumki, nasosning foydali ish koeffitsiyenti foydali quvvat $(N_f = \rho g V H)$ ning nasos o'qidagi quvvati nisbatiga teng. Foydali quvvat suyuqlikka energiyasini berishga sarf bo'ladi. $V=0$ va $V=V_{max}$ bo'lganda, foydali quvvat nolga teng, ya'ni $H=0$ bo'ladi. So'rish quvuri zadvijka berk bo'lganda, ya'ni $V=0$ da, nasos eng kam quvvat iste'mol qiladi.

Nasosni ekspluatatsiya qilganda eng samarali ishi η_n-V koordinatlaridagi, ma'lum aylanish chastotasidagi egri chiziqning maksimumiga to'g'ri keladigan oraliq H va V zonasiga to'g'ri keladi.

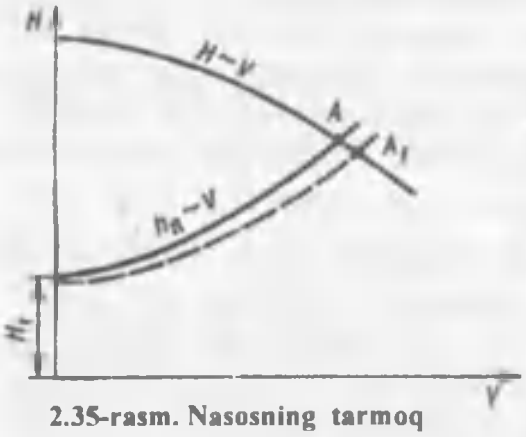
Nasosning universal xarakteristikasi nasos ishining chegaraviy qiymatlari haqida ma'lumotlar va bunda foydali ish koeffitsiyentining maksimal qiymatini, uning optimal ish rejimini tanlashga imkoniyat beradi.

Nasos universal xarakteristikasi ishchi g'ildiragining turli aylanish chastotalari uchun olinadi. Bunda $H - V$ bog'liqlik bir necha marta olinadi. Har bir $H - V$ egri chiziqda o'zgarmas foydali ish koeffitsiyentining $(\eta'_n, \eta''_n, \eta'''_n ...)$ qiymatlariga tegishli nuqtalar ajratiladi. m-m chiziqi foydali ish koeffitsiyentlarining maksimum qiymatlariga teng bo'ladi (2.34-rasm).

Nasosning tarmoqdagi ishi. Tarmoq xarakteristikasi uzatilayotgan suyuqlik unumdorligi bilan bosim orasidagi bog'liqlikni ko'rsatadi. Bosim esa, geometrik uzatish balandligi bilan bosimni yo'qotilish yig'indisi orqali aniqlanadi.



2.34-rasm. Aylanish chastotasi *n* bo'lganda markazdan qochma nasosning universal xarakteristikasi.



2.35-rasm. Nasosning tarmoq xarakteristikasi.

Darsi-Veysbax tenglamasidan $h_v = k \cdot V^2$ ekanligini aniqlash mumkin. Bundan xarakteristikaning parabola tenglamasini $H = H_r + k \cdot V^2$ ko'rinishida yozish mumkin.

2.35-rasmda nasos va tarmoqning xarakteristikasi ko'rsatilgan.

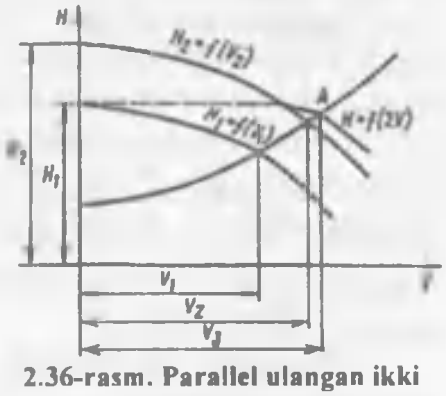
Bu xarakteristikalarning kesishgan joyi *A* ish nuqtasi deyiladi. Ushbu tarmoqda nasos ishlaganda bu nuqta eng yuqori unumdorlik ekanligini bildiradi. Agar kattaroq miqdorda unumdorlik kerak bo'lsa, elektr yuritkichning aylanishlar chastotasini oshirish zarur yoki tarmoqda bosim yo'qotilishini hamda geometrik uzatish balandligini kamaytirish kerak.

Tarmoqda bosim yo'qotilishi kamaytirilganda, ishchi nuqtasi (A_1) o'ngga suriladi. Agar yuqorida qayd etilgan, uchchala usulda ham unumdorlik oshmasa, u holda nasos yanada quvvatlisi bilan almashtiriladi.

Nasoslarni birgalikda ishlashi. Nasoslarning suyuqlikni uzatish miqdorini oshirishga, ularni parallel ulash yo'li bilan erishiladi.

Nasoslarning ***yig'ma*** xarakteristikasini har bir nasos xarakteristikasi abssissalari yig'indisi orqali olinadi.

2.36-rasmda *1* va *2* nasoslarning yig'ma xarakteristikalari ko'rsatilgan. Har bir nasos alohida V_1 va V_2 unumdorlikka ega. Parallel ulanganda yig'ma

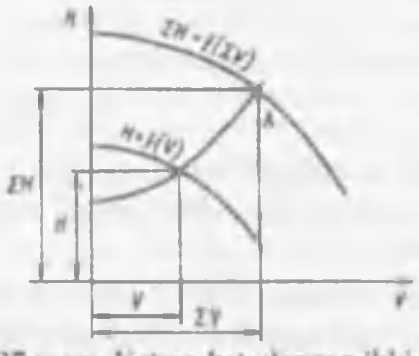


2.36-rasm. Parallel ulangan ikki nasosning birgalikda ishlashi.

unumdorlik V_3 ga teng bo‘ladi (A ish nuqtasi), lekin u nasoslarni alohida unumdorliklaridan kam bo‘ladi. Bunda unumdorlikdan yutish tarmoq xarakteristikasining shakliga bog‘liq bo‘ladi. Agar tarmoq xarakteristikasi qiya bo‘lsa (egri chiziq), yig‘ma unumdorlik o‘sadi. Bosimning o‘sishi bunday hollarda sezilarsiz bo‘ladi.

Bosimning ortishi uchun nasoslar ketma-ket ulanishi kerak. Bu holda yig‘ma xarakteristika alohida nasoslarning xarakteristika ordinatalarini qo‘shish yo‘li bilan olinadi. Bu xarakteristika bilan tarmoq xarakteristikasi kesishgan nuqtasi yig‘ma bosim va unumdorlikni aniqlab beradi (2.37-rasm). Tarmoqning xarakteristikasi tikka (qiya) bo‘lsa sezilarli o‘sishga erishiladi.

Markazdan qochma nasoslarni rostlash. Rostlash, masalan, nasos uzatishini o‘zgartirishdan iborat bo‘ladi. Bunga erishish uchun yoki tarmoq xarakteristikasi, yoki nasos xarakteristikasi o‘zgartiriladi.



2.37-rasm. Ketma-ket ulangan ikki nasoslar birgalikda ishlashi.

Tarmoq xarakteristikasini esa uzatish quvuridagi lo‘kidonni ochish yoki yopish bilan o‘zgartirish mumkin. So‘rish quvuridagi uzatishni rostlash, odatda nasos ishini uzilishiga olib keladi.

Nasos xarakteristikasini o‘zgartirish uchun ishchi g‘ildirak sonini oshirish yoki kurakchalarni burilish burchaklari β_1 va β_2 larni o‘zgartirish bilan amalga oshirish mumkin. Burchakni o‘zgartirganda nasos unumdorligini katta qiymatga oshirishga erishsa bo‘ladi.

Proporsionallik qonuni. Markazdan qochma nasoslarning napori va unumdorligi nasos ishchi g‘ildiragining aylanish chastotasi (soni)ga bog‘liq bo‘ladi. (2.89) tenglamaga muvofiq nasos napori aylanma tezlik kvadratiga bog‘liq, ya’ni $H \sim c^2 u^2$.

Agar aylanishlar soni n_1 da napor H_1 bo‘lsa, $n_2 \sim H_2$ bo‘ladi deb xulosa qilsak, unda:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{u_2'}{u_2''}\right)^2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2, \text{ ya’ni } \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \qquad (2.93)$$

(2.91) tenglamadan esa, nasos unumdorligi suyuqlik g‘ildiragidan ajralishdagi absolyut tezligini radial tashkil etuvchisiga proporsional, ya’ni $V \sim C_{r2}$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{C_{2r}'}{C_{2r}''} = \frac{u_2'}{u_2''} = \frac{\pi D_2 n_1}{\pi D_2 n_2} = \frac{n_1}{n_2}; \qquad \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (2.94)$$

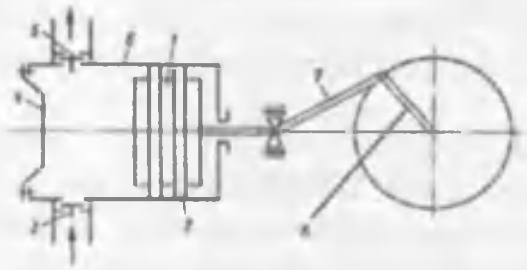
Nasos talab etadigan quvvat esa, unumdorlik va naporning ko‘paytmasiga proporsional (2.89) va (2.91) tenglamalarga binoan quyidagi ko‘rinishni hosil qilamiz:

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \qquad (2.95)$$

(2.93) - (2.95) tenglamalar proporsionallik qonuni tenglamalari deyiladi. Biroq bu tenglamalarni taxminiy hisoblar uchun ishlatish mumkin. Aniq hisoblar uchun esa, nasos ishchi g‘ildiragini aylanishlar chastotasi bilan foydali ish koeffitsiyenti inobatga olinishi kerak. Shuni qayd etib o‘tish kerakki, proporsionallik qonunini nasosning aylanishlar soni bir-biridan 2 barobargacha farq qilgandagina qo‘llash mumkin.

2.23. Porshenli nasoslar

Porshenli nasoslar plunjer yoki porshenni silindrda ilgarilama-qaytma harakati yordamida suyuqlikni siqib chiqarish prinsipiga asoslangan (2.38-rasm). Porshenni o'ng tomonga qilgan harakatidan keyin, silindrning chap qismida havoni siyraklanishi sodir bo'lib, so'rish klapani ochiladi va so'rish quvuri orqali suyuqlik silindrga tortib olinadi. Porshen chapga surilganda so'rish klapani berkilib, uzatish klapani ochiladi va suyuqlik haydash quvuri orqali uzatila boshlaydi.



2.38-rasm. Bir tomonlama harakatlanuvchi, gorizontal porshenli nasos sxemasi:
1-porshen; 2-zichlovchi halqalar; 3-so'rish klapani; 4-silindr qopqog'i; 5-haydash (uzatish) klapani; 6-silindr; 7-krivoship; 8-shatun.

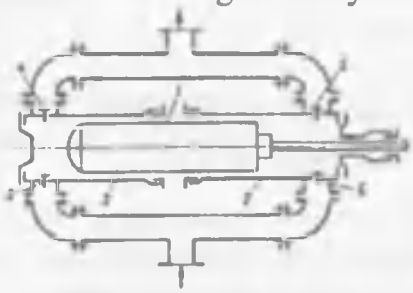
Porshen krivoship-shatunli mexanizm yordamida harakatga keltiriladi. Porshen silindrda zichlovchi halqalar yordamida siqib turiladi. Porshenli nasoslar uzatmasi turiga qarab, bevosita ulanuvchi va uzatmali bo'ladi.

Bevosita ulangan nasoslar bug' nasoslar yordamida harakatlanadi, bunda nasos porshen bilan bitta shtokda joylashgan bo'ladi. Uzatmali nasoslar elektr yuritkich yordamida harakatga keltiriladi. Nasoslar krivoship aylanish chastotasiga qarab, sekin aylanadigan (n=45...60 min^{-1}), o'rtacha (n=60...120 min^{-1}) va tez aylanadigan (n=120...180 min^{-1})larga bo'linadi.

Porshenli nasoslar vertikal va gorizontal bo'lishi mumkin.

Yuqori bosimli nasoslar 100 MPa gacha bo'lgan bosimni ta'minlab bersa, yuqori mahsuldorlik nasos esa, soatiga 60 m^3 suyuqlik haydab beradi.

Porshenli nasoslar uchun so'rish va uzatish jarayoni davriy bo'lib, suyuqlikni uzatish bir tekis amalga oshmaydi.



2.39-rasm. Ikki tomonlama harakatlanuvchi nasos sxemasi:
1-plunjer; 2-silindrlar; 3,6-so'rish klapanlari; 4,5-haydash klapanlari.

Notekis uzatishni bartaraf etish uchun ko'p tomonlama ta'sir etuvchi nasoslar qo'llaniladi.

Ikki tomonlama ta'sir etuvchi nasosda 2 ta so'rish va 2 ta uzatish klapani bor (2.39-rasm). Krivoship to'liq aylanib chiqqanda silindrning ham chap, ham o'ng tomonidan navbatma-navbat uzatish va so'rish jarayonlari sodir bo'ladi.

Plunjerning o'ng tomonga qo'zg'alishida, chap tomonidagi so'rish klapani ochiladi va suyuqlik silindrning bo'shlig'iga so'riladi. Shu vaqtda esa, o'ng tomondagi uzatish klapani ochilib, suyuqlik silindrning o'ng qismidan quvurga uzatiladi. Plunjer orqaga qaytganda esa, o'ng tomonning so'rish klapani ochilib, chap tomonning uzatish klapani ochiladi.

Nasos kamchiliklari: silindr hajmi samarali ishlatilmaydi. Plunjerda siqish halqalari bo'lmaydi va uzunligining diametriga nisbati katta bo'ladi, ya'ni S/D=5-8.

Suyuqlikni bir tekisda uzatishni ta'minlash uchun uch tomonlama harakatlanadigan nasoslar yordamida amalga oshirish mumkin. Oddiy harakatli (bir

tomonlama) nasoslarni ketma-ket joylashgan bo'lib, bunday krivoshiplar o'zaro 120^0 burchak ostida ketma-ket joylashgan bo'ladi (2.40-rasm).

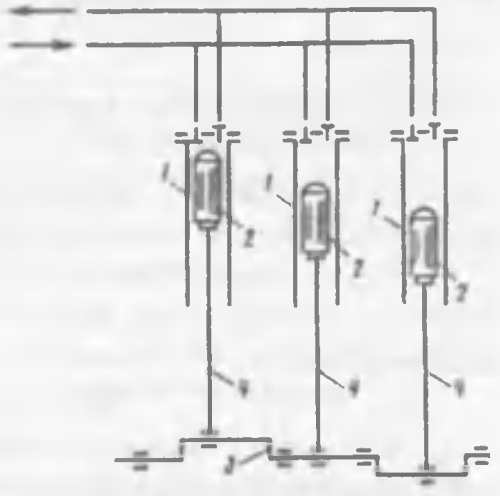
Krivoshipning to'liq bitta aylanishida, 3 marta so'rish va 3 marta uzatish jarayoni sodir bo'ladi.

Porshenli nasos porshenining bitta harakatidagi nazariy unumdorligi, porshenning vaqt birligida hosil qilgan hajmi bilan aniqlanadi.

Agar porshen siqib chiqarayotgan suyuqlik hajmi (m^3) $V = f \cdot S$ bo'lsa, unda bir yo'lli nasosning o'rtacha nazariy unumdorligi (m^3/soat):

$$V_N = 60 \cdot f \cdot S \cdot n$$

bu yerda, f – silindrning ko'ndalang kesimi; S – porshen yo'li uzunligi, ya'ni boshlang'ich va oxirgi harakat nuqtalari orasidagi masofa; n – aylanishlar chastotasi.



2.40-rasm. Uch tomonlama ishlaydigan nasos sxemasi (tripleks-nasos).
1-silindrlar; 2- plunjerlar; 3- tirsakli o'q; 4- shatunlar.

Ikki tomonlama harakatlanadigan nasosdagi krivoshipning 1 ta to'liq aylanganida 2 ta marta so'rish va 2 marta uzatish sodir bo'ladi. Porshenning o'rtacha qilgan harakatida silindr ichiga $f \cdot S$ ga teng bo'lgan miqdorda suyuqlik so'riladi, o'ng tomondan esa $(f - f_{o'k})S$ miqdorida suyuqlik siqib chiqariladi ($f_{o'k}$ – shtokning ko'ndalang kesimi).

Nasosning nazariy unumdorligi:

$$V_N = f \cdot S \cdot n + (f - f_{o'k}) \cdot S \cdot n = 2 \cdot f \cdot S \cdot n - f_{o'k} \cdot S \cdot n$$

O'qning ko'ndalang kesim yuzasini kichik deb olinsa $f_{o'k} << f$, bir soatlik nazariy uzatish miqdori:

$$V_N = 2 \cdot f \cdot S \cdot n \cdot 60 \qquad (2.96)$$

Nasosning haqiqiy unumdorligi quyidagicha:

$$V_\mu = \eta_V \cdot V_N :$$

bu yerda, η_V – klapan, salnik va quvur tirqishlaridan oqib chiqish paytida, yo'qotiladigan suyuqlikni hisobga oladigan ***foydali ish koeffitsiyenti*** - η_V = 0,85...0,99.

Ko'p bosqichli nasoslarning haqiqiy unumdorligi (m^3/soat) da:

$$V_x = i \cdot 60 \cdot \eta_V \cdot f \cdot S \cdot n \qquad (2.97)$$

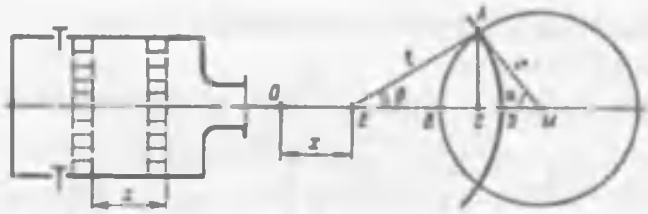
bu yerda, i – harakat karraligi.

Bu formula nasosning o'rtacha unumdorligini ifodalaydi, lekin porshenni 1 marta borib kelishida suyuqlikning uzatilishi notekis amalga oshadi.

Ixtiyoriy vaqtda porshenli nasos uzatgan suyuqlik miqdorini aniqlash uchun, porshen harakati qonuniyatini bilish kerak.

Porshenni x miqdorda gaz so'rishi krivoshipning burilish burchagi α ga nisbatan quyidagicha ifodalash mumkin (2.41-rasm).

Porshenni chap tomonini oxirgi holatida polzun 0 nuqtada joylashadi.



2.41-rasm. Porshen harakat qonunini keltirib chiqarishga oid.

Porshenning o'ngga qilgan harakatida esa, polzun qandaydir *E* nuqtaga suriladi. Krivoshipning bosib o'tgan yo'li esa, krivoship buriladigan α burchak yordamida aniqlanib, u *A (nuqta)* ga joylashadi.

Quyidagi hisoblash ishini ko'rib chiqamiz: *E* nuqtadan *l* radiusli shatun uzunligida *AD* yoyini chizib, *A* nuqtadan gorizontal chiziqqa *AC* perpendikular tushiramiz.

Porshen bosib o'tgan *x* masofa esa: $x=BD=BC+CD$ bo'ladi. Lekin $BC=MB-MC=r-r\cdot\cos\alpha=r(1-\cos\alpha)$, $CD=ED-EC=l-l\cos\beta=l(1-\cos\beta)$. Bu yerda *r* krivoship uzunligi. Demak:

$$x=r(1-\cos\alpha)+l(1-\cos\beta)$$

lekin $\cos\beta$ ni birga yaqin deymiz, chunki $l>>>r$ va burchak $\beta\to 0$, shunday qilib $x=r(1-\cos\alpha)$. Bunda porshenning harakat tezligi:

$$C_p=\frac{dx\,d\alpha}{d\tau\,d\alpha}=r\cdot\sin\alpha\frac{d\alpha}{d\tau}=\omega\cdot r\cdot\sin\alpha$$

bu yerda. ω – krivoshipning aylanma burchak tezligi.

Shunday qilib, oniy uzatish sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradi:

$$V=f\cdot C_p=f\cdot r\cdot\omega\cdot\sin\alpha \quad \text{va} \quad dV=f\cdot r\cdot\sin\alpha\cdot d\tau$$

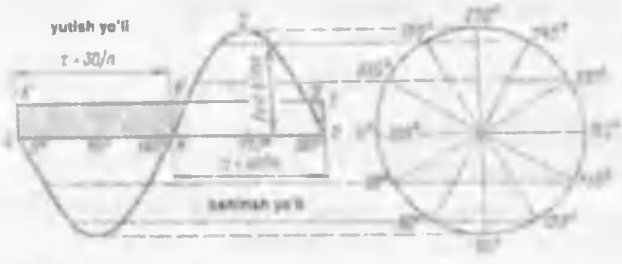
lekin $\omega=\frac{d\alpha}{d\tau}$; unda $dV=f\cdot r\cdot\sin\alpha\,d\alpha$

Krivoshipning burilish burchagi α ni abssissa o'qiga qo'ysak, oniy qo'zg'alishni esa, ordinata o'qiga joylashtiramiz (2.42-rasm). Sinusoida bilan chegaralangan maydon, porshenning 1 ta bosib o'tgan yo'lida, ya'ni krivoshipning harakati yo'li esa π dan 2π gacha bo'ladi, nasos uzatgan suyuqlik hajmiga proporsional bo'ladi (2.42-rasmga qarang).

$$V=\int_{\pi}^{2\pi}dV=fr\int_{\pi}^{2\pi}\sin\alpha\cdot d\alpha=2fr=f\cdot S \qquad (2.98)$$

2.42-rasm krivoship burilish burchagi π dan 2π gacha ko'rsatilgan bo'lib, bu abssissa o'qida ajratilgan oraliq vaqtiga proporsional.

Oddiy nasos so'rish yo'liga mos bo'lgan o'qning birinchi yarim aylanishida suyuqlikni uzatmaydi va bu abssissa o'qida *0* dan π gacha uzatish chizig'i abssissa bilan mos keladi (AB chizig'i). Oddiy nasosning krivoshipi to'liq aylanishi yoki porshenning 2 marta borib-kelish ABCD chizig'i bilan ifodalanadi.

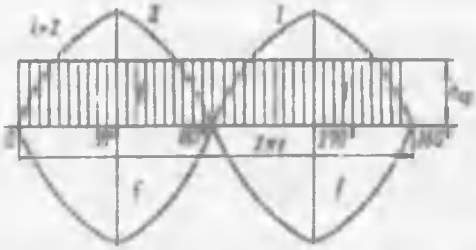


2.42-rasm. Oddiy nasosning uzatish diagrammasi.

Krivoshipning burilish burchagi $\alpha=90^0$ bo'lganda, maksimal uzatish bo'ladi. Nasosning notekis uzatishi quyidagi nisbat bilan aniqlanadi: $\psi=V_{max}/V_{ur}$ Oddiy harakatli nasos uchun notekislik koeffitsiyenti $\psi_1=\pi$ bo'lsa, ikki tomonlama harakatli nasos uchun

$\psi_{II}=\pi/2=1,57$, uchtalik uchun esa - $\psi_{III}=1,047$.

Ikki tomonlama harakatli nasosning uzatish diagrammasi bir-biriga nisbatan o'girilgan sinosoidalar tashkil etadi (2.43-rasm), 3 bosqichli nasos uchun esa 3 ta sinosoidaning 120^0 ga surilgan bo'ladi (2.44-rasm).



2.43-rasm. Ikki tomonlama harakatlanuvchi nasosning uzatish diagrammasi.

2.44-rasm. Uch bosqichli nasosning uzatish diagrammasi.

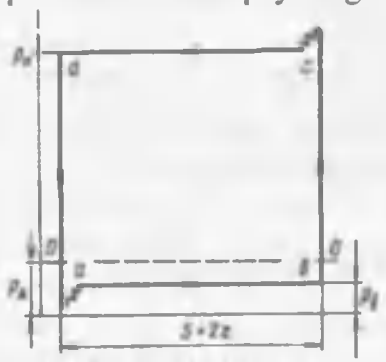
Natijaviy uzatish egri chiziqi I, II va III ordinata egri chiziqlarining yig'indisi bo'lib xizmat qiladi, chunki ular oddiy nasoslarning uzatish davriga to'g'ri keladi. Grafikdan ko'rinib turibdiki, 3 bosqichli nasoslarning suyuqlik uzatishi tekislanib boradi.

Oddiy nasoslarning uzatish va so'rish quvurlaridagi notekislikni kamaytirish uchun ularga bevosita havo qalpoqchalari o'rnatiladi. Havo qalpoqchalari bufer hajm hisoblanib, uning 50% hajmini havo egallaydi. So'rish paytida, qalpoqchaga suyuqlik kirganda undagi havo siqiladi, agar uzatish o'rtacha qiymatdan kamaysa, suyuqlik ichidan chiqarib yuboriladi. Qalpoqchadagi havo bosimining o'zgarish farqi kam bo'lsa, suyuqlikning so'rish va haydash quvurlarida harakati bir tekisda bo'ladi.

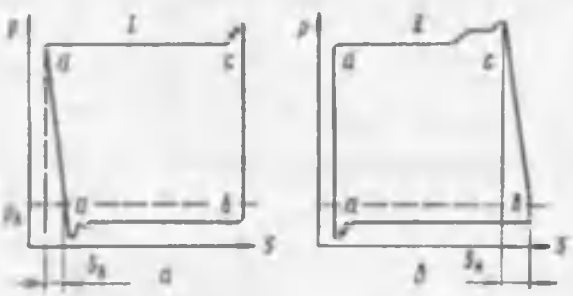
Porshenli nasosning unumdorligi uzatish bosimiga bog'liq bo'lmasdan doimiy, kattalik bo'lib qoladi.

Nasos quvvatini hisoblashda va ish jarayonidagi nosozliklarni aniqlashda indikator diagrammasidan foydalaniladi.

Nasos silindrini absolyut bosimini porshen bosib o'tgan yo'li yoki hajmiga bog'liqligini ko'rsatib beradi. Nasos silindriga, o'rnatilgan indikator yordamida indikator diagramma chiziladi. 2.45-rasmda *ав* chizig'i so'rish jarayoniga mos keladi. Nasosdagi bosim atmosfera bosimdan past bo'ladi va p_a ga teng bo'ladi. Porshenning *в* nuqtasi eng chetki o'ng holatiga mos keladi. Bu holatda so'rish klapani yopiq bo'ladi. Porshen o'ngga qarab harakati boshlanganda, silindrdagi bosim birdaniga $p_н$ qiymatgacha ko'tariladi (*вс* chiziq). $P_н$-p_a bosimlar farqi ostida haydash quvuridagi klapan ochiladi va suyuqlik uzatila boshlaydi (*са* chiziqi). *а* va *с* nuqtalardagi bosimning tebranishi klapanlarni ochilish paytidagi inersiyasi tufayli hosil bo'ladi.



2.45-rasm. Indikator diagrammasi.



2.46-rasm. Nasos ishidagi ba'zi nosozliklar:
a – klapanning yopishib qolishi;
b – so'rish klapani yopilishining kechikishi.

Indikator diagrammasi yordamida nasosning indikator quvvatini aniqlash mumkin. Uning qiymati diagramma yuzasiga teng deb olinadi. Indikator quvvatini bila turib, foydali quvvatni aniqlash mumkin bo'ladi:

$$N_f = \eta_{ind} \cdot N_{ind}$$

bu yerda, η_{ind} – indikator f.i.k.

2.46-rasm indikator diagramma yordamida nasosning ba'zi bir nosozliklarini aniqlash mumkin.

2.46a-rasmdagi diagrammada uzatish paytida nasos klapanining kech yopilishi kuzatilayotgan bo'lsa, 2.46b-rasmda esa, so'rish klapani yopilishining kechga qolishi tasvirlangan.

Indikator diagrammasidagi o'zgarishlar nasos ichidagi boshqa nosozliklar mavjudligidan dalolat beradi.

Silindrga havoni kirib qolishi diagrammadagi so'rish gorizontal chizig'idan chetlanishiga, chiziqni tebranishi ko'rsatadi.

Porshenli nasoslar asosan, suyuqlikni kam miqdorda uzatishda bosimi 5 dan 100 MPa gacha bo'lgan yuqori qovushoq, tez alangalanuvchi suyuqliklarni uzatishda hamda suyuqliklarni taqsimlash uchun ishlatiladi.

Porshenli nasoslarning kamchiligini aytib o'tadigan bo'lsak, bularga unumdorligi, kichikligi, suyuqlikni notekis uzatishi, krivoship-shatunli mexanizmi borligi, suyuqlik tarkibida qattiq zarrachalar bo'lsa, klapanlari tez ishdan chiqishi kiradi. Undan tashqari, uni joylashtirish uchun mustahkam poydevorlar talab etiladi.

Porshenli nasoslarning klassifikatsiyasi 2-6 jadvalda keltirilgan.

Nasoslar klassifikatsiyasi

2-6 jadval

№	Tip	Turi	Alohida belgilari
1.	Yuritish usuli	Elektr yuritkich (krivoship-shatun mexanizmi yoki boshqa)	Reduktor orqali elektr yuritkich aylanma harakati
		To'g'ri harakatlanuvchi	Shtokning ilgarilama-qaytma harakatli mashinadan
		Qo'l yordamida harakatlanuvchi	-
2.	Hosil qilgan bosimi	Past bosimli	$p<1$ MPa
		O'rtacha bosimli	$1<p<2$ MPa
		Yuqori bosimli	$p>2$ MPa
3.	Porshen konstruksiyasi	Porshenli	S/D=0,5-1,5
		Plunjerli	S/D=2…8
4.	Aylanish chastotasi	Tez yurar	120…300 ayl/min
		O'rta tezlikli	60…120 ayl/min
		Sekin yurar	40…60 ayl/min
5.	Porshen harakatining yo'nalishi	Gorizontal	Poydevorga tangensial yuklama tushadi
		Vertikal	Poydevorga normal yuklama tushadi
6.	Harakat karraligi	Bir karra (oddiy) harakatli	Suyuqlikni bir me'yorda uzatib beradi
		Qo'shaloq harakatli	
		To'rt karra harakatli	
		Uch karra harakatli	
7.	Unumdorligi	Kichik	$V<1$ m^3/c
		O'rta	$1<V<2$ m^3/c
		Yuqori	$V>2$ m^3/c

2.23.1. Porshenli nasoslar unumdorligini rostlash

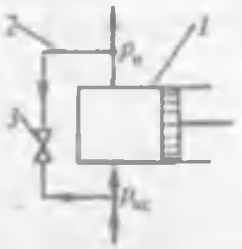
(2.97) formulaga binoan porshenli nasoslar ish unumdorligini quyidagi usullar yordamida rostlash mumkin:

– turli uzatish soniga ega bo'lgan reduktor o'rnatib krivoship aylanish tezligini o'zgartirish yo'li bilan; odatda juda katta nasos qurilmalarida qo'llaniladi;

– krivoship **vtulka**si holatiga ta'sir etib porshen yurish masofasini o'zgartirib, ya'ni radius r ga ta'sir etib; shunday qilib unumdorlikni ham bosqichma-bosqich hamda asta-sekin o'zgartirish mumkin;

– haydash yo'lidagi bir qism suyuqlikni baypas shahobchasidagi **ventil** orqali so'rish yo'liga uzatish (2.47-rasm); ushbu usulda energiya sarfi bekorga yo'qoladi, chunki bir qism suyuqlik so'rish yo'liga qaytarilmoqda; bu rostlash usuli energetik jihatdan zararli va undan ish unumdorligi faqat kichik miqdorda (10...20% dan kam) o'zgartirilganda qo'llaniladi.

Porshenli nasosning unumdorligini so'rish va haydash yo'llarida zadvijka o'rnatib rostlash man etiladi. Birinchidan bu usul bilan ish unumdorligini rostlab bo'lmaydi, chunki krivoship-shatun mexanizmining bir aylanishida bir miqdordagi ($V_o=FS$) suyuqlik so'riladi va haydaladi. Ikkinchidan, ish unumdorligini zadvijkalar yordamida rostlash katta buzulishlarga olib kelishi mumkin.



2.47-rasm. Porshenli nasoslar unumdorligini baypas shaxobchasida ventil yordamida rostlash.
1-nasos; 2-baypas shaxobchasi; 3-ventil (zadvijka).

2.24. Nasoslarning maxsus turlari

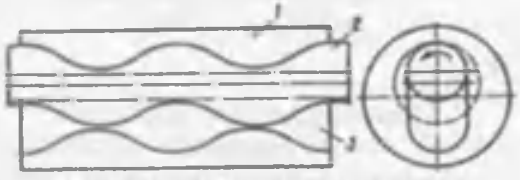
Quyultirilgan suyuqliklarni uzatish uchun (olxo'ri, o'rik, olcha va meva-rezavorlar sharbati va qiyomi) qovushoqligi 1000 Pa·s qiymatga teng bo'lgan suyuqliklar uchun rotatsion hajmiy nasoslar (mononasoslar) ishlatiladi.

Mononasosning asosiy qismlari stator 1 va rotor 2 bo'ladi (2.48-rasm).

Odatda, stator ichi ikki yo'lli, yuzali, vintli, profilli, yuqori rezbali silindrdan tashkil topgan.

Statorga bir yo'lli rotor o'rnatilgan bo'lib, u o'zining asosiy o'qi va statorning ko'ndalang kesim o'qi atrofida ham aylanadi.

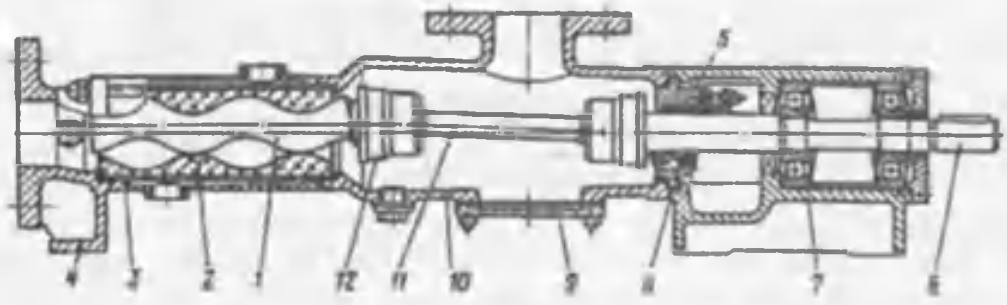
Stator va rotor orasida hosil bo'ladigan yopiq bo'shliqlar 3, nasos ishlashi paytida suyuqlik bilan to'lib turadi va rotor aylanganda, aksial qo'zg'alib boradi. Rotor aylanganda bu bo'shliq hajmi 0 dan maksimumgacha o'zgaradi, bo'shliq ortib borganda suyuqlik so'rib boriladi.



2.48-rasm. Mononasos sxemasi:
1-stator; 2-rotor;
3-yopiq bo'shliq.

Mononasosning konstruksiyasi 2.49-rasmda keltirilgan. Nasos korpusi cho'yandan

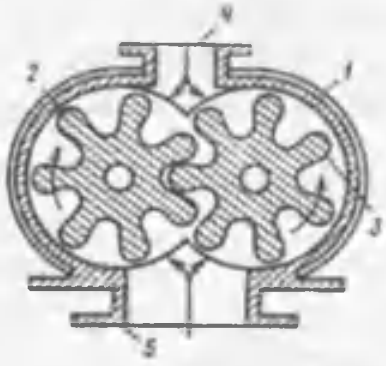
yoki zanglamaydigan po‘latdan tayyorlanadi. Stator esa tabiiy kauchuk, sintetik, maxsus rezina, poliuretan, plastik massadan, yumshoq polivinilxlorid, teflon, poliamiddan, rotor – esa zanglamaydigan metall va plastmassadan tayyorlanadi.
Bu nasoslarning bosimi 2,4 MPa va unumdorligi 200 m^3/soat gacha bo‘lishi mumkin.



2.49-rasm. Mononasos konstruksiyasi:
1- rotor; 2-stator; 3-isitish g‘ilofi; 4-haydash shtuseri; 5-salnik; 6-o‘q; 7-podshipnik qobig‘i; 8-zichlovchi halqa; 9-qopqoq; 10-qobiq; 11-birlashtiruvchi o‘q; 12-sharnir.

Nasoslarda sovitish yoki isitish uchun g‘iloflar bo‘lishi mumkin. Statorning ishchi temperaturalar oralig‘i –30 dan +300°C gacha.

2.50-rasm. O‘qli nasos sxemasi:
1-stator; 2-rotor; 3-yopiq bo‘shliq.



2.51-rasm. Shesternyali nasos sxemasi:
1-qobiq; 2,3-shesternyalar; 4-haydash shtuseri; 5-so‘rish shtuseri.

Kichik bosim bilan katta miqdordagi suyuqliklarni uzatishda o‘qli nasoslardan foydalanish yuqori samara beradi (2.50-rasm).

Bu turdagi nasoslarning ishchi g‘ildiragi eshkakli vint shaklida tayyorlangan bo‘ladi. Suyuqlik kurakcha yordamida ilib olinadi va korpusda aylanib, o‘qning yo‘nalishi bo‘ylab uzatiladi. Nasosdan keyin suyuqlikni aylanma harakatini to‘g‘rilab beruvchi uskuna joylashgan bo‘ladi.

Quyuq, yuqori qovushqoq suyuqliklarni uzatishda shesternyali nasoslardan foydalaniladi (2.51-rasm).

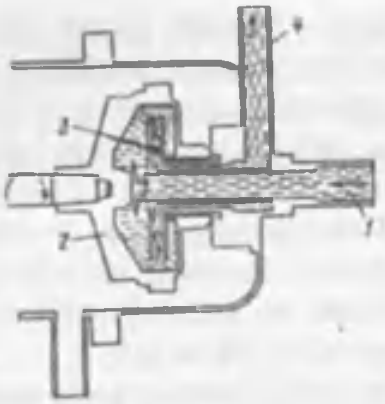
Nasos cho‘yan korpusdan yasalgan bo‘lib, unga 2 ta bir-biri bilan ilashadigan shesternyalar o‘rnatilgan bo‘ladi. Shesternyalardan biri elektr yuritkichga ulangan bo‘lib, yetaklovchi bo‘lsa, ikkinchisi – yetaklanuvchi hisoblanadi.

Shesternyalar o‘zaro ilashishdan chiqqanida siyraklanish hosil bo‘ladi va suyuqlik nasosga so‘riladi. Shesternya tishlari suyuqlikni so‘rib ketadi va u aylanish yo‘nalishi tomon harakatlanadi. Shesternya tishlari qaytadan ilashganda, suyuqlik uzatiladi. Shesternyali nasoslarni taqsimlab uzatish sifatida qo‘llash ham mumkin. Undan tashqari, kichik unumdorlikda, yuqori bosimni ta’minlab beradi.

Suyuqliklarni aralashtirish uchun markazdan qochma aralashtirgichlardan foydalaniladi (2.52-rasm).

Rasmda ko'rsatilganidek, ma'lum nisbatda aylanayotgan barabanga kiradi va intensiv aralashadi. Suyuqlik aralashmasi greyferga kirib, bosim ostida aralashtirgichdan shtuser orqali chiqib ketadi.

Markazdan qochma nasos turlari. Ishchi g'ildiragining charxiga qarab markazdan qochma nasoslar 5 guruhga bo'linadi.



2.52-rasm. Markazdan qochma turdagi suyuqlik aralashtirgich.
1-suyuqlik uzatish shtuseri; 2-aralashtiruvchi baraban; 3-greyfer; 4-aralashmani chiqarish shtuseri.

Guruh	D_1/D_2	n_s
Sekin yurar	2,5	40...80
O'rtacha tezlikli	2	80...150
Tez yurar	1,4	150...300
Yarim o'qli	1,1	300...600
O'qli	0,8	600...1200

Bir xil α_2, β_2, burchaklar va ε, η_g koeffitsiyentlarga ega nasoslarning asosiy xarakateristikasini tez yurarlik kriteriysi n_s ifodalaydi.

Tez yurish kriteriysi etalon nasosning aylanish chastotasi bo'lib, f.i.k. o'zaro teng bo'lib, 0,736 kVt quvvat bilan 1 m. suv ust. teng bosim hosil qiladi.

Ishchi g'ildiragi D va D_S diametrli 2 ta o'zaro mos bo'lgan hamda aylanishlar chastotasi mos ravishda n va n_s bo'lgan nasoslarni tekshirib ko'ramiz. Ularning bosimlari N va N_s, unumdorligi V va V_s bo'lsa, quvvatlar H va $H_S = 0{,}736$ kVt bo'ladi.

(2.89) tenglamadan napomi aniqlash uchun (2.93) tenglamaga murojaat etsak:

$$\frac{H}{H_S} = \frac{nD}{n_S D_S}$$

(2.91) tenglamadan unumdorlikni aniqlash uchun (2.94) dan foydalanamiz:

$$\frac{V}{V_S} = \frac{F \cdot C_{2r}}{F_S C_{2rS}} = \frac{n \cdot D^3}{n_S D_S^3}$$

Quvvatni nisbatini aniqlash uchun (2.95) ga ga murojaat qilsak:

$$\frac{N}{N_S} = \frac{\rho g V H}{\rho g V_S H_S} = \frac{n^3 D^5}{n_s^3 D_s^5}$$

Bu tenglamalardan $H_S = 1$ m va $N_S = 0{,}736$ kVt ni hisobga olib:

$$n_S = \frac{3{,}65 \cdot n\sqrt{V}}{H^{0{,}75}} \qquad (2.99)$$

(2.99) tenglamadan ko'rinadiki, aniq aylanishlar chastotasida tez yurarlik koeffitsiyenti unumdorlik yaxshilanishiga to'g'ri proporsional, naporga teskari proporsional. Shu sabab, sekin yurar nasoslar unumdorligi past bo'lib, bosimni yuqori

qiymatga ko'tarishga xizmat qilsa, tez yurarlar esa, kichik bosim bilan katta unumdorlikni ta'minlab beradi.

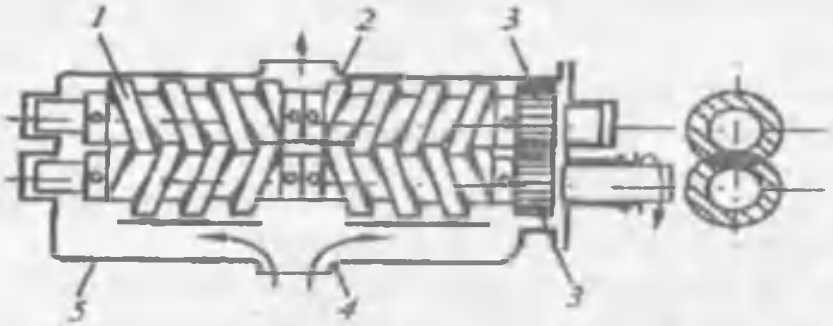
Markazdan qochma nasoslarning afzalligi shundan iboratki, suyuqlik bir tekis uzatiladi, kichik o'lchamli, tezyurar, klapanlari yo'qligi, rostlash osonligi, plastmassadan tayyorlash va yengil poydevor asosga o'rnatish mumkin.

Kamchiliklariga esa quyidagilar kiradi: bosim, unumdorlik va foydali ish koeffitsiyenti, nasosning ish rejimiga bog'liq, suyuqlik qovushoqligi va napor ortishi bilan foydali ish koeffitsiyenti kamayadi; past unumdorlikda nasoslarning foydali ish koeffitsiyenti kichik bo'ladi.

Bu turdagi nasoslar katta unumdorlik va kichik bosim kerak bo'lganda ishlatiladi.

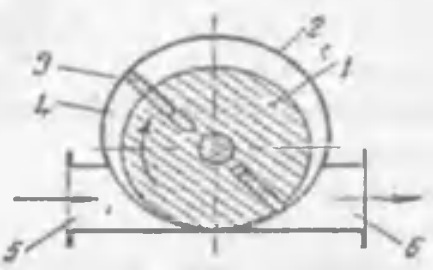
Vintsimon nasos. Ishlash prinsipi shesternyali nasosnikiga o'xshash.

Bu turdagi nasoslar shesternya 3 lar yordamida qarama-qarshi tomonga aylanadigan ikkita vint 1 dan tarkib topgan. Vint 1 lar zich yopishib turadigan qobiq 5 ichiga o'rnatilgan (2.53-rasm). O'q bo'yicha yuklama ortib ketmasligi uchun suyuqlik nasosga yon tomonidan kiritiladi va o'rtasida joylashgan shtuserdan chiqariladi. Nasosga kirgan suyuqlik vint ariqchilari va qobiq orasidagi hajmni to'ldiradi. Vintlar aylanganda suyuqlik surilib markazgacha boradi va haydash patrubkasiga yo'naltiriladi.



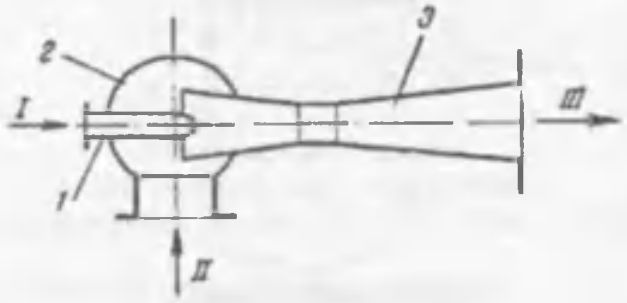
2.53-rasm. Vintsimon nasos.
1-vintlar; 2,4-haydash va so'rish patrubkalar; 3-shesternyalar; 5-qobiq.

Plastinali nasos. Bunday nasoslar og'ir silindr (rotor) 1 va qobiq 2 lardan tarkib topgan (2.54-rasm). Silindrda plastinalar uchun bir xil kenglikda ariqchalar o'yilgan va u qobiq ichida ekssentrik o'rnatilgan bo'ladi. Rotor 1 o'qi qopqoqning yon tomonidan salnik orqali qobiqdan chiqariladi va elektr yuritkich o'qi bilan birlashtiriladi. Rotordagi ariqchalarga to'rtburchak shaklidagi plastina 3 lar mahkamlanadi. Rotor aylanganda, ushbu plastinalar qobiq zich joylashib sirpanadi va o'roqsimon shakldagi bo'shliqni ikkiga bo'ladi: so'rish va haydash kameralariga. So'rish kamerasida plastina aylanish yo'nalishida harakatlanganda ushbu kamerada vakuum hosil bo'ladi va suyuqlik 5 patrubka orqali so'riladi. Vertikal o'qdan plastina o'tganda haydash kamerasining hajmi kamayib boradi va suyuqlik haydash patrubka 6 orqali truba quvuriga uzatiladi.



2.54-rasm. Plastinali rotatsion nasos.
1-rotor; 2-qobiq; 3-plastinalar; 4-ishchi bo'shliq;
5-so'rish patrubkasi; 6-haydash patrubkasi.

Oqimchali nasos. Bu turdagi nasoslarda suyuqliklarni uzatish va napor hosil qilish uchun boshqa bir suyuqlikning kinetik energiyasidan foydalaniladi (2.55-rasm). Odatda, bu suyuqlik ishchi suyuqlik (bug‘ yoki suv) deb nomlanadi. Oqimchali nasoslar ikki guruhga bo‘linadi: **injektor** (atmosfera bosimidan yuqori bosim hosil qiladi) va **ejektor** (qurilmada vakuum hosil qiladi).



2.55-rasm. Oqimchali nasos.
1-soplo; 2-nasos qobig‘i; 3-diffuzor;
I-ishchi suyuqlik; II-uzatilayotgan suyuqlik; III-aralashma.

Ishchi suyuqlik katta tezlikda soplo 1 dan aralashish kamerasi 2 orqali diffuzor 3 ga uzatiladi. Bu davrda ishchi suyuqlik yuzaviy ishqalanish hisobiga uzatilayotgan suyuqlikni tortib ketadi. Diffuzorning eng tor joyida ishchi va uzatilayotgan suyuqliklar tezligi maksimumga chiqadi va Bernulli tenglamasiga binoan statik bosim esa minimal qiymatga ega bo‘ladi. Aralashish kamerasi va diffuzordagi bosimlar farqi uzatilayotgan suyuqlikni so‘rish yo‘lidan kamera 2 tortilishini ta’minlaydi. Diffuzor 3 da oqim tezligi pasayadi, lekin uning potensial energiyasi ortadi va napor ostida suyuqlik haydash trubasiga uzatiladi. Oqimchali nasoslar unumdorligini injeksiya koeffitsiyenti orqali ifodalash qulaydir, ya’ni

$$\psi_u = \frac{G_u}{G_{ch}} \qquad \text{(a)}$$

bu yerda, G_u – ishchi suyuqlik sarfi, kg/s; G_u – uzatilayotgan suyuqlik sarfi, kg/s.

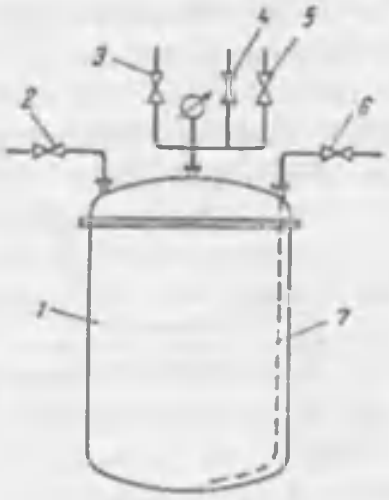
Oqimchali nasoslarni ishchi va uzatilayotgan suyuqliklar, ya’ni ishchi suyuqlik bug‘i kondensatsiyalanganda suvga aylansa, aralashishi mumkin bo‘lgan hollarda qo‘llash ruxsat etiladi. Ko‘pincha, bu turdagi nasoslar bug‘ qozonlariga suvni uzatishda ishlatiladi.

Montejyu. Bu turdagi nasos gorizontal yoki vertikal rezervuar 1 ko‘rinishida bo‘lib, suyuqlikni uzatish uchun siqilgan havo yoki inert gaz energiyasidan foydalaniladi (2.56-rasm). Qurilmaga suyuqlik ochiq kran 2 orqali yuboriladi. Buning uchun havo krani 3 yoki montejyuni vakuum yo‘li bilan bog‘laydigan kran 4 ochiladi. Suyuqlik uzatilib boshlashdan avval 2,3 va 4 kranlar yopiladi va haydash yo‘lidagi kran 6 va siqilgan havo uzatish yo‘lidagi kran 5 ochiladi. Siqilgan havo bosimi manometr orqali nazorat qilinadi.

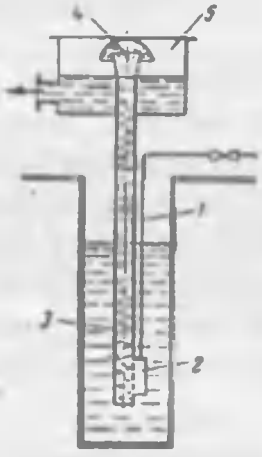
Montejyuning afzalliklari: ishqalanuvchi va aylanuvchi detal va qismlar yo‘q; kimyoviy faol, ifloslangan va radioaktiv suyuqliklarni uzatish uchun qo‘llash mumkin.

Kamchiliklari: nasos foydali ish koeffitsiyenti juda past, ya’ni 10…20%.

Havoli ko‘targich (erlift). Bunday nasoslar siqilgan havo uzatadigan truba 1 va gaz-suyuqlik aralashmasi hosil bo‘ladigan kamerasi 2 lardan tarkib topgan (2.57-rasm). Ma’lumki, gaz-suyuqlik aralashmasining zichligi suyuqlik zichligidan kam bo‘lganligi uchun truba 3 orqali yuqoriga ko‘tariladi. Truba 3 dan chiqishda qaytargich 4 ga urilib pastga oqib tushadi. Shunday qilib, gaz-suyuqlik aralashmasidan havo ajralib chiqadi va suyuqlik yig‘gich 5 ga tushadi.



2.56-rasm. Montejy.
1-qobiq; 2-6-kranlar; 7-siqib chiqarish trubasi.



2.57-rasm. Havoli ko'targich.
1-siqilgan havo uzatish trubasi; 2-aralashtirgich; 3-ko'tarish trubasi; 4-qaytargich; 5-yig'gich.

Ishchi suyuqlik sifatida «gaz-havo» ishlatilgani uchun ushbu qurilmaning ikkinchi nomi ham bor, ya'ni gazlift. Bunday qurilmalarni hisoblash uchun 2.58-rasmda keltirilgan sxemadan foydalanamiz.

Gaz-suyuqlik aralashmasining zichligi ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\rho = \rho_g \varphi + \rho_s (1 - \varphi) \qquad (b)$$

$P_g << \rho_s$ bo'lgani uchun $\rho = \rho_s (1 - \varphi)$

Agar H_s ma'lum bo'lsa, suyuqlikning maksimal ko'tarilish balandligi H quyidagi formuladan topiladi:

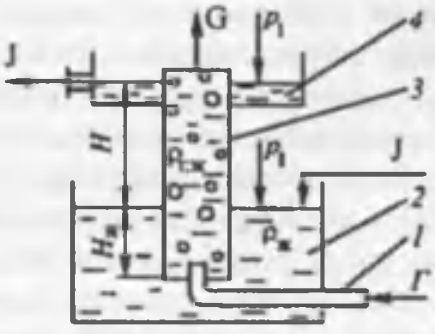
$$H = H_{sr} \cdot \frac{\rho_s - \rho_{g\,s}}{\rho_{gs}} \qquad (v)$$

Trubaning suyuqlikka cho'kib turgan qismi H_{sr} quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$H_s = H \cdot \frac{\rho_{gs}}{\rho_s - \rho_{gs}} \qquad (g)$$

Agar (v) formuladagi nisbatni gaz saqlash φ orqali ifodalasak

$$\frac{\rho_s - \rho_{gs}}{\rho_{gs}} = \frac{\varphi}{1 - \varphi} \qquad (d)$$



2.58-rasm. Gazlift sxemasi.
1-gaz uzatish trubasi: 2-suyuqlik idishi;
3-ko'tarish trubasi; 4-qabul qilish idishi. G-gaz; J-suyuqlik.

unda (v) va (g) formulalar ushbu ko'rinishga keladi:

$$H = H_s \cdot \frac{\varphi}{1-\varphi}, \qquad H_s = H \cdot \frac{1-\varphi}{\varphi}. \tag{e}$$

Formuladan ko'rinib turibdiki, ko'tarish balandligi oshirish uchun gaz-suyuqlik aralashma tarkibidagi gaz miqdorini ko'paytirish kerak.

Agar H va H_s ma'lum bo'lsa, minimal gaz saqlash φ ushbu formuladan hisoblanadi:

$$\varphi = \frac{H}{H - H_s} \tag{j}$$

Gazlift parametrlarini yanada aniqroq hisoblashlar uchun ikki fazali oqim harakati davridagi gidravlik yo'qotilishlarni inobatga olish kerak. Ushbu yo'qotilishlar suyuq va gaz fazalar sarfi, ko'tarish trubasining diametri, uning devorlarining holati va boshqalarga bog'liq.

Havoli ko'targichning afzalliklari: ishqalanuvchi va harakatlanuvchi qism va detallar yo'qligi. Kamchiligi: nisbatan kichik f.i.k. (25...35%).

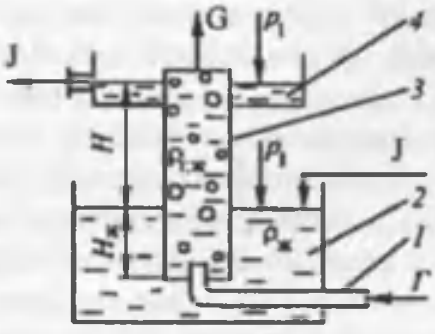
2.25. Nasoslarni qo'llash sohalari, afzallik va kamchiliklari

Har bir nasosni o'zining qo'llash sohalari bo'lib, u yerda o'z afzalliklarini maksimal to'liq va tegishli kamchiliklarini eng kam miqdorda namoyon qiladi (2.59-rasm).

Hajmiy nasoslar. Porshenli nasoslar yuqori qovushqoq, yonuvchan va portlovchan suyuqliklarni nisbatan katta bo'lmagan unumdorlik va yuqori bosim (50...1000 atm.) da uzatish uchun mo'ljallangan.

Kichik napor (<10...15 m) va yuqori unumdorlik (<1500 m^3/min) talab etilgan sohalarda propellerli nasoslar qo'llaniladi. Bu turdagi nasoslar ifloslangan va kristallanishga moyil bo'lgan suyuqliklarni uzatish uchun ishlatiladi. Ushbu nasoslar gidravlik f.i.k. katta, ixcham va tez yurar.

Porshenli va plunjerli nasoslarning asosiy afzalligi bu ularda foydali ish koeffitsiyentining kattaligi (η=0,9) va kam miqdordagi, yuqori qovushoq suyuqliklarni har qanday bosimda uzatib berish xossasiga egaligidir. Lekin ularda suyuqlik uzatilishi notekisligi, klapanlarni tez ishdan chiqishi va ularning katta o'lchamga ega bo'lishi, porshenli va plunjerli nasoslarning qo'llanishini ozgina chegaralaydi. Plunjerli nasoslarni ishlatish osonroq bo'lib, buzilishi kamroq bo'ladi.



2.58-rasm. Gazlift sxemasi.
1-gaz uzatish trubasi: 2-suyuqlik idishi;
3-ko'tarish trubasi; 4-qabul qilish idishi. G-gaz; J-suyuqlik.

unda (v) va (g) formulalar ushbu ko'rinishga keladi:

$$H = H_s \cdot \frac{\varphi}{1-\varphi}, \qquad H_s = H \cdot \frac{1-\varphi}{\varphi}. \qquad \text{(e)}$$

Formuladan ko'rinib turibdiki, ko'tarish balandligi oshirish uchun gaz-suyuqlik aralashma tarkibidagi gaz miqdorini ko'paytirish kerak.

Agar H va H_s ma'lum bo'lsa, minimal gaz saqlash φ ushbu formuladan hisoblanadi:

$$\varphi = \frac{H}{H - H_s} \qquad \text{(j)}$$

Gazlift parametrlarini yanada aniqroq hisoblashlar uchun ikki fazali oqim harakati davridagi gidravlik yo'qotilishlarni inobatga olish kerak. Ushbu yo'qotilishlar suyuq va gaz fazalar sarfi, ko'tarish trubasining diametri, uning devorlarining holati va boshqalarga bog'liq.

Havoli ko'targichning afzalliklari: ishqalanuvchi va harakatlanuvchi qism va detallar yo'qligi. Kamchiligi: nisbatan kichik f.i.k. (25...35%).

2.25. Nasoslarni qo'llash sohalari, afzallik va kamchiliklari

Har bir nasosni o'zining qo'llash sohalari bo'lib, u yerda o'z afzalliklarini maksimal to'liq va tegishli kamchiliklarini eng kam miqdorda namoyon qiladi (2.59-rasm).

Hajmiy nasoslar. Porshenli nasoslar yuqori qovushqoq, yonuvchan va portlovchan suyuqliklarni nisbatan katta bo'lmagan unumdorlik va yuqori bosim (50...1000 atm.) da uzatish uchun mo'ljallangan.

Kichik napor (<10...15 m) va yuqori unumdorlik (<1500 m^3/min) talab etilgan sohalarda propellerli nasoslar qo'llaniladi. Bu turdagi nasoslar ifloslangan va kristallanishga moyil bo'lgan suyuqliklarni uzatish uchun ishlatiladi. Ushbu nasoslar gidravlik f.i.k. katta, ixcham va tez yurar.

Porshenli va plunjerli nasoslaming asosiy afzalligi bu ularda foydali ish koeffitsiyentining kattaligi (η=0,9) va kam miqdordagi, yuqori qovushoq suyuqliklarni har qanday bosimda uzatib berish xossasiga egaligidir. Lekin ularda suyuqlik uzatilishi notekisligi, klapanlarni tez ishdan chiqishi va ularning katta o'lchamga ega bo'lishi, porshenli va plunjerli nasoslarning qo'llanishini ozgina chegaralaydi. Plunjerli nasoslarni ishlatish osonroq bo'lib, buzilishi kamroq bo'ladi.

Markazdan qochma va o'qli nasoslar. Juda katta bo'lmagan napor, o'rta va yuqori ish unumdorligi talab etilgan hollarda ishlatiladi. Bu nasoslar foydali ish koeffitsiyenti (η=0,8...0,95) yuqori va suyuqlikni bir me'yorda uzluksiz uzatib beradi. Nisbatan sodda tuzilganligi ularni uzoq xizmat qilishini va ishonchliligini ta'minlaydi. Klapanlarning yo'qligi, ishqalanish yuzalari bo'lmasligi ifloslangan suyuqliklarni ham uzatish imkonini beradi. Elektr yuritkich bilan bevosita ulanishi nasos qurilmasining ixchamligini ta'minlaydi va uning foydali ish koeffitsiyentini oshiradi. Kurakchali nasoslarni ushbu afzalliklari, ularning kimyo sanoatida keng ko'lamda qo'llanishiga olib keldi. Markazdan qochma nasoslar uchun asosiy 2 ta chegara mavjuddir: 10 MPa dan ortiq bosim olish mumkin emas; juda kichik ish unumdorlikka ega nasoslarni loyihalash maqsadga muvofiq emas.

Ma'lumki, suyuqlik bosimini oshirish uchun ishchi g'ildirak aylanishlar sonini ko'paytirish kerak. Markazdan qochma kuch aylanishlar sonining kvadratiga proporsional bo'lib, nafaqat suyuqlikka, balki ishchi g'ildirakka ham ta'sir etadi. Juda yuqori aylanishlar sonida ishchi g'ildirak disklari va kurakchalari mexanik buzilishi mumkin. Shuning uchun ishchi g'ildirak aylanishlar sonini chegaralanishi konstruksion materiallarning mexanik mustahkamligi bilan belgilanadi. Texnik yuksalish tufayli yangi, yuqori mustahkamlikka ega konstruksion materiallar yaratilishi nasos hosil qilayotgan napor bo'yicha yuqori chegarasining asta-sekin ko'tarilishiga olib keladi.

Bu nasoslarning kamchiligi: unumdorligi va bosimi pastligidir. Tarmoq qarshiligining ortishi bilan ish unumdorligi kamayadi va bu hol o'z navbatida f.i.k. pasaytiradi.

Vintsimon asos. Bu turdagi nasoslar neft mahsulotlari, yonilg'i, yuqori qovushqoq suyuqliklarni uzatish uchun qo'llaniladi. Bu nasoslar o'qining aylanish tezligi 3000 ayl/min. gacha bo'lib, unumdorligi 300 m^3/soatgacha va hosil qiladigan bosimi 175 atm.

Vintsimon nasoslar quyidagi afzalliklarga ega: tezyurar, ixcham va shovqinsiz ishlaydi. Bosim o'zgarishi bilan unumdorlikka salbiy ta'sir etmaydi va f.i.k. nisbatan yuqori η=0,75...0,80. Hajmiy nasoslar tuzilishi oddiy (shesternyali va vintli) bo'lib, suyuqlikni bir me'yorda uzatib beradi.

Plastinali nasos. Kichik bosim va unumdorlik hamda suyuqlik tarkibida qattiq fazasi bo'lmagan suyuqliklarni uzatish uchun plastinali nasoslar qo'llaniladi.

Shesternyali nasos. Yuqori bosim (100…150 atm.) va kichik ish unumdorligi (<5…6 m^3/min.) hamda suyuqlik tarkibida qattiq fazasi bo'lmagan suyuqliklarni uzatish uchun shesternyali nasoslar qo'llaniladi.

Oqimchali nasoslar. Bu nasoslar kichik (o'rtacha) napor va ish unumdorlik talab etilgan hollarda qo'llaniladi. Ushbu nasoslarning afzalligi shundan iboratki, ularning tuzilishi ancha sodda, ifloslangan suyuqliklarni ham uzata oladi. Suv oqimchali nasoslar texnikada quduqlardan suvlarni ko'tarish uchun xizmat qiladi. Bug' - oqimchali nasoslar esa, bug' qozonlarga suv uzatish uchun yoki vakuum hosil qilishda xizmat qiladi. Oqimchali nasoslarning kamchiligi: foydali ish koeffitsiyenti juda kichik va yuqori bosim hosil qila olmaydi.

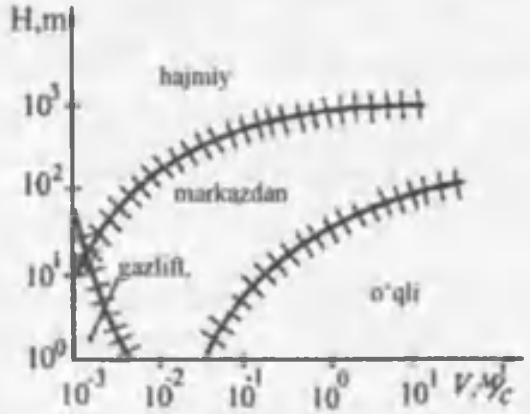
Uyurmali nasoslar. Kichik unumdorlik (<40 m^3/min.) va katta naporlar (<250 m) da toza, qovushqoqligi past bo'lgan suyuqliklarni uzatish uchun uyurmali nasoslar ishlatiladi. Bu turdagi nasoslar afzalliklari: tuzilishi sodda, ixcham va yuqori naporlar olish mumkinligi.

Kamchiliklari: f.i.k. kichik η=0,20...0,50, energiyaning yo'qotilishi salmoqli hamda tarkibida qattiq faza bo'lgan va qovushqoq suyuqliklarni uzatishga yaroqsizligi.

Havoli (gazli) ko'targich va oqimchali nasoslar harakatlanuvchi va ishqalanuvchi qism va detalli nasoslarni qo'llash man etilgan texnologiyalarda ishlatiladi. Ushbu nasoslar kichik (o'rtacha) napor va ish unumdorlik talab etilgan hollarda qo'llaniladi. Bu nasoslar tuzilishi sodda va ularga ko'rsatiladigan xizmat ham oddiyligidir. Misol uchun, chuqur quduqlardan suv chiqarish, agressiv suyuqliklarni uzatishda qo'llaniladi. Havoli ko'targich, montejyu va oqimchali nasoslar f.i.k. past (25...35%). Lekin nasos tarkibida harakatchan qism va detallar yo'qlig'i, uning eng asosiy afzalligidir.

Montejyu. Bu nasosni qo'llash sohasi kichik napor va unumdorlik talab etiladigan texnologik jarayonlardir.

2.59-rasmda turli xildagi nasoslarni qo'llash sohalarining chegaralari keltirilgan.



2.59-rasm. Turli nasoslarni qo'llash sohalari.

Ushbu bobning yakunida shuni ta'kidlash kerakki, har bir aniq holat uchun nasosni tanlash texnik-iqtisodiy hisoblashlar asosida hamda ekspluatatsion, nasos va boshqa jihozlarning konstruktiv xarakteristikalarini inobatga olgan holda amalga oshiriladi.

2-bob. Nasoslar bo'yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Nasos qanday mashina?
2. Nasoslar qanday turlarga bo'linadi?
3. Nasoslarning asosiy parametrlarini ifodalovchi formulalarni yozing va o'lchov birliklarini aniqlang.
4. Nasos qurilmasining f.i.k.
5. Nasosning so'rish balandligi qanday aniqlanadi?
6. Markazdan qochma nasos konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
7. Porshenli nasos konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
8. Markazdan qochma nasos konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
9. Proporsionallik qonunini ifodalovchi formulalarni yozing.
10. O'qli nasos konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
11. Shesternyali nasos konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
12. Vintsimon nasos konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
13. Plastinali nasos konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
14. Oqimchali nasos konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
15. Montejyu konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
16. Havoli ko'targich konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.

KOMPRESSORLAR

2.26. Asosiy tushunchalar

Kimyo va oziq-ovqat sanoati korxonalarida ko'p miqdorda gaz va gaz aralashmalarini qayta ishlashga to'g'ri keladi. Ko'pgina kimyoviy jarayonlarning atmosfera bosimdan farqli bosim ostida olib borilishi, jarayon tezligini oshiradi, qurilma o'lchamlarini kichik bo'lishiga va hokazolarga olib keladi.

Gazlarni siqish yordamida ularni quvurlarda va qurilmalarda harakati ta'minlanadi va vakuum hosil qilinadi. Bundan tashqari, havo va gazlarni siqish, ularni aralashtirish, suyuqliklarni purkash uchun ishlatiladi. Kimyo sanoatida qo'llaniladigan bosim miqdorlari 10^{-3} dan 10^{8} H/m^2 (10^{-8}...10^{3} atm) gacha bo'ladi.

Gazlarni uzatish va siqish uchun mo'ljallangan mashinalar kompressor mashinalar deyiladi.

Kompressor mashinasi hosil qiladigan oxirgi bosim P_2 ning, gazni so'rilish paytidagi bosim P_1 ga nisbati siqish darajasi deb nomlanadi.

Siqish ko'rsatkichining qiymati bo'yicha kompressor mashinalari quyidagi turlarga bo'linadi:

1) Ventilatorlar $(P_2/P_1) < 1,1$ – katta miqdordagi gazlarni uzatish uchun;

2) Gazoduvkalar $1,1 < (P_2/P_1) < 3$ – nisbatan katta gidravlik qarshilikka ega quvurlardan gazlarni uzatish uchun;

3) Kompressorlar $(P_2/P_1) > 3$ yuqori bosim hosil qilish uchun ishlatiladi;

4) Vakuum-nasos atmosfera bosimidan kichik bo'lgan bosimlarda gazlarni so'rib olish uchun.

Kompressor mashinalari ishlash usuli (prinsipi) bo'yicha porshenli, rotorli, markazdan qochma, o'qli va boshqa mashinalarga bo'linadi.

Porshenli mashinalarda gazlarni siqish hajmining kamayishi hisobiga amalga oshadi. Bunda porshenning ilgarilama-qaytma harakati tufayli gazning bosimi oshiriladi.

Rotorli mashinalarda gazlarni siqish ekssentrik joylashgan rotorning aylanishi tufayli hajmning kamayishi oqibatida hosil bo'ladi.

Markazdan qochma mashinalarda ishchi g'ildirakning aylanishida hosil bo'ladigan inersiya kuchlari yordamida gaz siqiladi.

O'qli mashinalarda ishchi g'ildirak va yo'naltiruvchi qurilma uzunligi bo'ylab, gaz harakatlanganda uning siqilishi sodir bo'ladi.

Vakuum-nasos sifatida har qanday kompressordan foydalanish mumkin. Faqat vakuum-nasos bilan kompressor orasida farq shundaki, vakuum-nasosda so'rish bosimning atmosfera bosimidan sezilarli kam bo'lsa, uzatish esa atmosfera bosimidan ko'proq bo'ladi. Porshenli kompressorlar kam miqdordagi gazlarni katta bosimlargacha (0,5 ... 20 MPa va undan yuqori) siqishda ishlatiladi. Turbokompressorlar esa, katta miqdordagi gazlarni nisbatan past bosimlarda (0,15...1,5 MPa) uzatib berishga mo'ljallangan.

2.27. Gazlarni siqish jarayonining termodinamik asoslari

Real gazlarni siqish jarayonida uning hajmi, bosimi va temperaturasi o'zgaradi. Gazlarni siqish jarayoni nazariyasi ideal gaz termodinamikasiga asoslanadi va ushbu tenglama bilan ifodalanadi:

$$p = \rho R T \qquad (2.100)$$

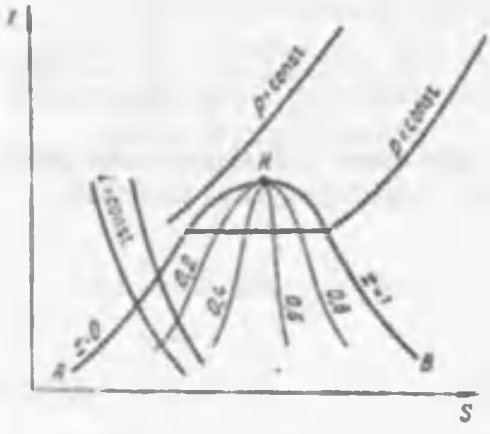
Kompressordan chiqishdagi 10 MPa va undan yuqori bo'lgan gaz uchun real gazning holat tenglamasidan foydalansa bo'ladi:

$$p = z\rho RT \tag{2.101}$$

bu yerda, z – siqilish koeffitsiyenti, uning son qiymatlari maxsus adabiyotlarda keltirilgan.

Lekin amaliy hisoblashlar uchun temperatura-entropiya yoki ***T-S*** termodinamik diagrammadan foydalanish qulay va ishonchli. Odatda, ***T-S*** diagramma tajriba ma'lumotlari asosida quriladi.

2.60-rasmda AKV chegaraviy egri chiziq tasvirlangan bo'lib, uning maksimumi kritik nuqta K ga to'g'ri keladi. Ushbu egri chiziq va abssissa o'qi oralig'idagi sohada, bir vaqtning o'zida ham suyuq, ham bug' fazalar mavjuddir. KA kesmaning chap qismidagi soha bug'ning to'liq kondensatsiyalanishiga to'g'ri keladi. Grafikning bu qismida quruqlik darajasi x=1. KA kesmani o'ng qismi esa, suyuqlikning to'liq bug'lanishini ifodalaydi va unda quruqlik darajasi x=0. Chegaraviy egri chiziqning chap tomonida suyuq, o'ng tomonida esa faqat bug' (gazsimon) fazalar bo'ladi. Kritik nuqta K ning koordinatalari gazning kritik parametrlarini xarakterlaydi.



2.60-rasm. T-S diagramma.

Nam bug' sohasida o'zgarmas namlik chiziqlari (x=const) o'tkaziladi. O'zgarmas temperatura chiziqlari (izotermalar) abssissa, entropiya chiziqlari (T=sonst va S=const) esa ordinata o'qlariga paralleldir. O'ta qizigan bug' sohasidagi izobara chiziqlari (r=const) tepaga yo'nalgan bo'lsa, nam bug' sohasida esa, izoterma chiziqlari bilan ustma-ust tushadi, chunki bu yerda temperatura issiqlik o'zgarmagan holda suyuqlikni bug'lanishiga sarflanadi. Suyuq faza sohasidagi izobara chiziqlari chegaraviy egri chiziq bilan birlashib ketadi. Bunga sabab suyuqlikning siqilmasligi va bosimning fizik xossalarga sust ta'siridir.

Undan tashqari, ***T-S*** diagrammada o'zgarmas entalpiya chiziqlari (i=const) ham o'tkazilgan. ***T-S*** diagrammadagi gazning hamma parametrlari 1 kg gazga nisbatan olingan.

Termodinamikaning qonuniga binoan, qaytar jarayonlar uchun entropiyaning ortishi quyidagiga teng

$$dS = \frac{dQ}{\tau} \tag{2.102}$$

Ushbu tenglama yordamida gaz holatining o'zgarish issiqligini hisoblab topish mumkin:

$$Q = \int T\,dS \tag{2.103}$$

Gazlarni siqish jarayoni. Gazni siqish jarayonidagi oxirgi bosimi atrof-muhit bilan issiqlik almashinishga bog'liq. Nazariy jihatdan faqat ikkita holat bo'lishi mumkin:

1) Izotermik jarayon – gazni siqish jarayonida hosil bo'layotgan issiqlikning hammasi atrof-muhitga ajratib olinadi va gazning temperaturasi o'zgarmas bo'lib turadi;

2) Adiabatik jarayon – bunda atrof-muhit bilan issiqlik almashinish umuman yo'q va siqish jarayonida issiqlik gazning ichki energiyasini oshirishga sarflanadi va natijada uning temperaturasi ko'tariladi.

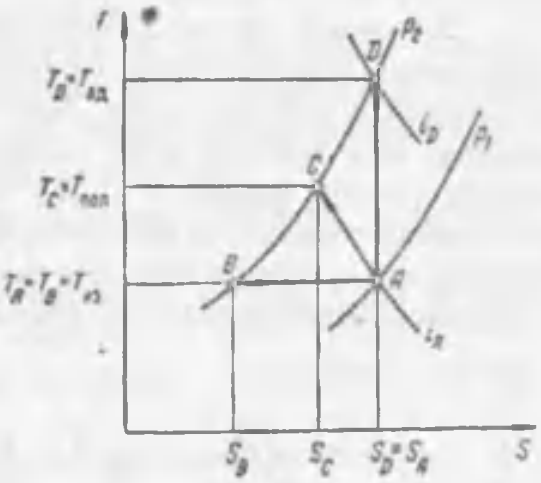
Odatda gazni siqish jarayonida hajm va bosim o'zgarishi bilan uning temperaturasining o'zgarishiga olib keladi va hosil bo'layotgan issiqlikning bir qismi atrof-muhitga o'tadi.

Siqish jarayonidagi ish va iste'mol qilinayotgan quvvat. Gazni r_1 bosimdan r_2 gacha izotermik siqish jarayoni *T-S* diagrammada T_A=const chizig'i bo'ylab o'tkazilgan *AB* to'g'ri kesma bilan ifodalanadi (2.61-rasm).

Adiabatik siqish jarayoni gaz va atrof-muhit o'rtasida umuman issiqlik almashmasligi bilan xarakterlanadi. Gazni adiabatik siqishda dQ=0 va dS=0. Shunday qilib, adiabatik jarayonda entropiya o'zgarmas va u *T-S* diagrammada S_4 =const chizig'i bo'ylab o'tkazilgan *AD* to'g'ri chiziq bilan tasvirlanadi.

Gazni p_1 bosimdan p_2 gacha siqish davrida politropik jarayon yuz beradi va u *AC* qiya chizig'i bilan xarakterlanadi.

Agar boshlang'ich bosim p_1 va oxirgisi p_2 ma'lum bo'lsa, gazni siqish uchun sarflangan solishtirma ish l analitik usulda ham aniqlanishi mumkin:



2.61-rasm. T-S diagrammada gazni siqish jarayonini tasvirlash.

izotermik jarayon uchun

$$l_{iz} = p_1 v_1 \ln \frac{p_2}{p_1} \tag{2.104}$$

adiabatik jarayon uchun

$$l_{ad} = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \tag{2.105}$$

politropik jarayon uchun

$$l_{pol} = \frac{m}{m-1} p_1 \cdot v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \tag{2.106}$$

bu yerda, v_1 – so'rish davridagi gazning solishtirma hajmi, m^3/kg; $k=c_p/c_v$ – adiabata ko'rsatkichi (gazning o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imiga nisbati): m – politropa ko'rsatkichi.

Politropa ko'rsatkichi m ning qiymati gazning tabiati, xossalari va atrof-muhit bilan issiqlik almashinish sharoitlariga bog'liq. Masalan, gazni suv yordamida sovutiladigan kompressorda havo siqilganda m =1,35 deb taxmin qilsa bo'ladi.

Izotermik siqishda eng kam ish sarflanadi. Shuning uchun ham gazlarni siqish izotermik jarayonga yaqin sharoitda tashkil etishga harakat qilinadi. Demak, siqish jarayonida hosil bo'layotgan issiqlikni gazni sovitish yo'li bilan ajratib olinadi.

Siqish jarayonidan so'ng gazning temperaturasi T_2 quyidagicha aniqlanadi:

izotermik jarayon uchun

$$T_2 = T_1 \tag{2.107}$$

adiabatik jarayon uchun

$$T_2 = T_1\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \tag{2.108}$$

politropik jarayon uchun

$$T_2 = T_1\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{m-1}{m}} \tag{2.109}$$

Gazni siqish uchun kompressor sarflayotgan nazariy quvvat N_n (Vt) ushbu formula yordamida topiladi:

$$N_n = V\rho l \tag{2.110}$$

bu yerda, V – kompressorning hajmiy sarfi,m^3/s; ρ – gaz zichligi, kg/m^3.

Agar kompressorning hajmiy ish unumdorligi va gazning zichligi so'rish sharoiti, (ya'ni $V=V_1$ va $\rho=\rho_1=1/v_1$) hamda (2.104)...(2.108) tenglamalarni hisobga olsak, gazni kompressorda siqish jarayonida sarflanayotgan quvvatni aniqlash mumkin:

izotermik jarayon uchun

$$N_{n.iz} = p_1V_1 \ln\frac{p_2}{p_1} \tag{2.111}$$

adiabatik jarayon uchun

$$N_{n.ad} = \frac{k}{k-1}p_1V_1\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right] \tag{2.112}$$

politropik jarayon uchun

$$N_{n.pol} = \frac{m}{m-1}p_1V_1\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{m-1}{m}} - 1\right] \tag{2.113}$$

Kompressor o'qidagi quvvat N_v ni quyidagi tenglama orqali hisoblab topiladi:

$$N_v = \frac{\rho V L}{\eta_v \eta_{mex}}$$

bu yerda, η_v – hajmiy koeffitsiyent, suyuqlikni klapan, turli tirqishlardan oqib chiqib ketishini hisobga oladi: η_{mex} – kompressorning mexanik foydali ish koeffitsiyenti, mexanik ishqalanishni yengish uchun sarflanadigan energiyani hisobga oladi.

Elektr yuritkich quvvati N_{eyu} kompressor o'qidagi quvvat N_v dan katta, chunki yuritkichning o'zida va uzatmada ma'lum miqdorda quvvat yo'qotiladi:

$$N_{eyu} = \frac{N_v}{\eta_{eyu}\eta_{uz}}$$

bu yerda, η_{eyu} va η_{uz} – elektr yuritkich va uzatmaning foydali ish koeffitsiyentlari.

Yuritkich kerakli quvvati N_{eyu} odatda 10...15% zaxira bilan qabul qilinadi, ya'ni

$$N_{yu} = (1{,}1-1{,}15)\cdot N_{dv}$$

Adiabatik foydali ish koeffitsiyentning η_{ad} qiymati birga yaqin bo'lib, 0,93...0,97 ga tengdir. Izotermik foydali ish koeffitsiyenti η_{iz} siqilish darajasiga qarab, 0,64...0,78 qiymat oralig'ida bo'ladi. Mexanik foydali ish koeffitsiyenti η_{mex} ko'pincha 0,85...0,95 oraliqdagi qiymatga teng.

Ventilator o'qidagi N_e quvvatni:

$$N_e = \rho Q H\, g/\eta_v \qquad (2.114)$$

tenglamadan aniqlanadi.

Bu yerda, η_v – ventilator foydali ish koeffitsiyenti bo'lib, uzatish koeffitsiyenti η_v va mexanik foydali ish koeffitsiyenti η_{mex} larning ko'paytmasi orqali aniqlanadi.

2.28. Porshenli kompressorlar

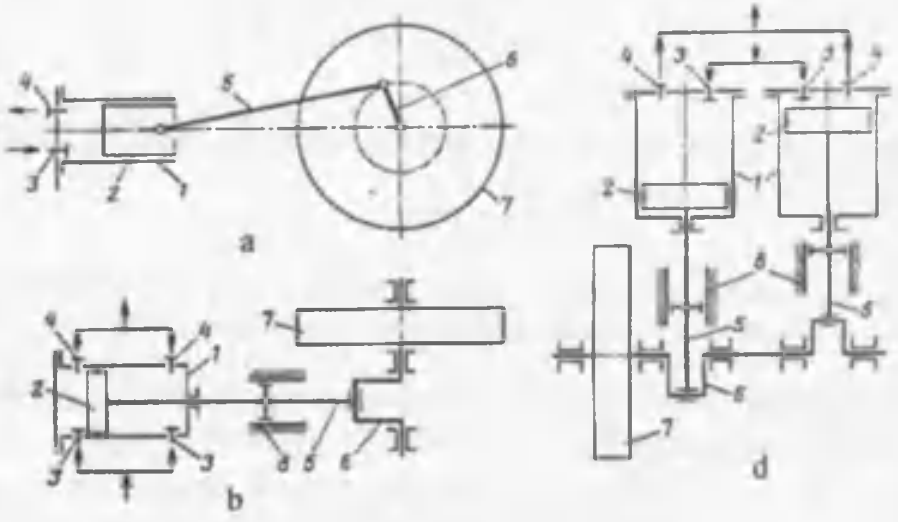
Porshenli kompressorlar siqish bosqichi soniga qarab bir, ikki va ko'p bosqichli, ishlash prinsipi bo'yicha esa, oddiy (bir tomonlama) va ikki tomonlama harakatli kompressorlarga bo'linadi. Kompressor mashinasining tuzilishi xuddi porshenli nasosning tuzilishiga o'xshash. Kompressor mashinasining gazni biror oraliq yoki oxirgi bosimgacha siquvchi qismiga siqish bosqichi deyiladi.

Porshen silindrda o'ngga va chapga krivoship-shatun mexanizmi yordamida ilgarilama - qaytar harakat qiladi. Kompressorlarda porshen silindr devoriga zich qilib o'rnatiladi va uni ikki qismga bo'lib turadi. Porshen chapdan o'nga ilgarilama harakat qilganda, so'rish klapani ochiladi va silindr gazga to'ladi. Porshen orqaga qaytganda esa, silindrdagi gazning siqilishi natijasida bosim ortadi va haydash quvuriga uzatiladi. Ma'lumki, gaz siqilganda uning temperaturasi ortadi.

Oddiy porshenli kompressorlarda porshenning bir marta to'liq, borib-kelishida bir marta so'rish va uzatish bo'ladi. Ikki tomonlama porshenli kompressorlarda ikkita so'rish va ikkita uzatish bo'ladi (2.62-rasm).

Bir bosqichli kompressorlar gorizontal va vertikal holda tayyorlanadi. Gorizontal kompressorlar ikki tomonlama, vertikallari esa bir tomonlama bo'ladi.

Bir bosqichli, bir tomonlama gorizontal kompressorda (2.62a-rasm) porshen 2 silindr 1



2.62-rasm. Oddiy porshenli kompressor:
a-bir silindrli, bir tomonlama harakatlanuvchi; b-bir silindrli, ikki tomonlama harakatlanuvchi; d-ikki silindrli, bir tomonlama harakatlanuvchi.
1-silindr; 2-porshen; 3-so'rish klapani; 4-haydash klapani; 5-shatun; 6-krivoship; 7-maxovik; 8-kreyskopf.

da harakatlanadi. Silindr bir tomonidan so'rish 3 va uzatish 4 klapanlari o'rnatilgan qopqoq bilan yopilgan. Porshen shatun 5 va krivoship 6 bilan bevosita ulangan.

O'qda esa, krivoshipdan tashqari maxovik 7 o'rnatilgan. Porshen chapdan o'ngga harakatlanganda, silindr ichida, ya'ni qopqoq bilan porshen orasida, siyraklanish hosil bo'ladi. So'rish liniyasida bosimlar farqi hosil bo'lgandan so'ng, silindrda klapan 3 ochiladi va silindrga gaz kiradi. Porshen o'ngga qarab harakat qilganda esa, so'rish klapani yopiladi, silindr ichidagi gaz porshen yordamida, ma'lum bosim r_2 gacha siqiladi va klapan 4 ochilgandan so'ng gaz uzatish quvuriga beriladi. Bundan so'ng sikl yana qaytariladi.

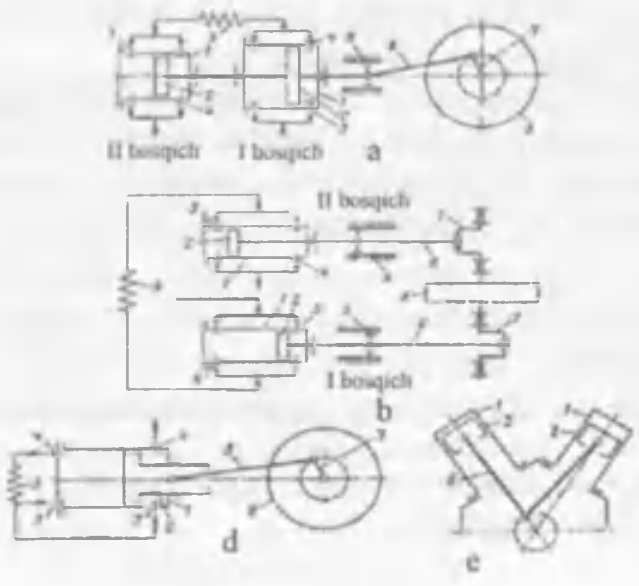
Bir bosqichli ikki tomonlamali kompressorda (2.62b-rasm) ikkita so'rish va ikkita uzatish klapanlari bor. Bu kompressorlarning tuzilishi murakkab, lekin unumdorligi oddiy kompressorga nisbatan ikki marta ko'p.

Siqilgan gazni sovitish uchun silindr, ba'zida esa qopqoqda ham suv uchun g'ilof qilinadi.

Yuqorida ko'rib chiqilgan kompressorlarning unumdorligini oshirish uchun ular ko'p silindrli qilib tayyorlanadi. 2.62d-rasmda ikki silindrli kompressor ko'rsatilgan. Bir tomonlama, ikki silindrli kompressor bir-biriga nisbatan *90°* yoki *180°* da joylashgan ikkita silindr, bitta tirsakli o'q va krivoship uzatkichdan iborat.

Bir bosqichli vertikal kompressorlar, gorizontal mashinalarga nisbatan tez yurar va unumdorligi ko'proq bo'ladi. Undan tashqari, ular kam joy egallaydi, porshen va silindrlari esa kam yediriladi(gorizontal kompressorlarda og'irlik kuchi ta'sirida porshen va silindrning bir tomoni ko'proq yediriladi).

Ikki bosqichli gorizontal kompressorlar odatda bir silindrli differensial porshenli qilib tayyorlanadi (2.62d-rasm). Avval gaz porshen 2 ning chap tomonida silindr 1 da siqiladi, so'ng sovutkich 8 orqali silindrning boshqa tomonidan kiradi va kerakli r_2 bosimgacha siqiladi. Ko'p bosqichli kompressorlar «tandem» sistemasi (silindrlar ketma-ket joylashgan, 2.63a-rasm) yoki «kompaund» sistemasi (silindrlar parallel joylashgan 2.63b-rasm) bo'yicha tayyorlanadi. So'nggi paytda «oppozit» kompressorlar keng tarqalgan bo'lib, bunda porshen harakat yo'nalishi o'zaro kesishgan bo'ladi. Bu kompressorlarda silindrlar tirsakli valni ikkala tomonida joylashgan bo'lib, oppozit kompresorlarda val aylanish tezligini 2...2,5 martagacha orttirish mumkin. Bu mashina unumdorligini oshiradi. Porshenli kompressorlarda gazni uzluksiz uzatish uchun, uni moy va namlikdan tozalash zarur, so'ng esa iste'molchiga uzatish resiver orqali amalga oshiriladi.

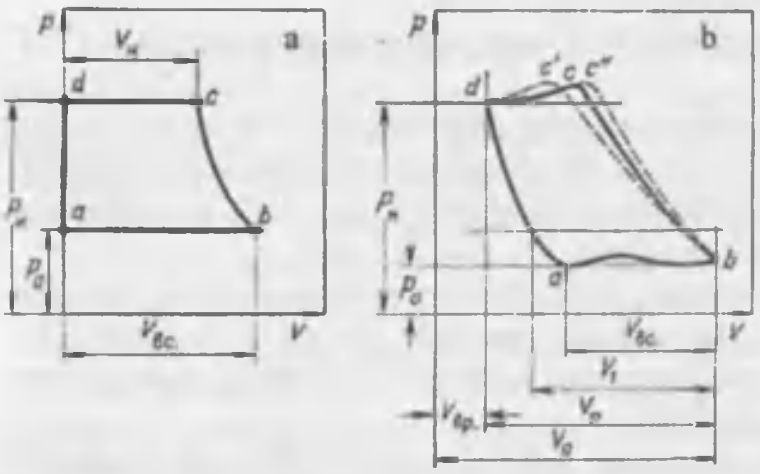


2.63-rasm. Ikki bosqichli porshenli kompressor:
a- «tandem»; b- «kompaund»; d-differensial porshenli;
e-V-simon silindrli. 1-silindr; 2-porshen; 3-so'rish klapani;
4-haydash klapani; 5-kreyskopf; 6-shatun,
7-krivoship; 8-maxovik; 9-sovutkich.

Indikator diagramma. Porshenli nasoslarni tekshirish uchun indikator diagrammasi olinadi. Bunda kompres-

sorning tirsakli o'qi bir marta aylanganda, bosim va uzatilgan gaz hajmi orasidagi bog'liqlik quriladi. 2.64-rasmda bir tomonlama, bir bosqichli kompressorning nazariy p-V diagrammasi ko'rsatilgan. Nazariy kompressorda diagrammadagi b va d nuqtalarga mos keladigan holatlarda silindr qopqog'iga yaqin keladi va gazni so'rish jarayoni uzatish tamom bo'lishi bilan boshlanadi. Diagrammada so'rish jarayoni ab, siqish bc va uzatish cd chiziqlar bilan tasvirlanadi.

Haqiqiy kompressorda siqish jarayoni (2.64-rasm) nazariy siqishdan ancha farq qiladi. Silindr qopqog'i va porshenning orasida doimo bo'sh hajm hosil bo'ladi va u «zararli bo'shliq» deb nomlanadi. Bu bo'shliqda uzatish va siqish jarayonidan so'ng porshen orqaga qaytganda, gaz kengayadi va so'rish klapani ochiladi, ya'ni porshen ma'lum bir oraliqda *a* nuqtagacha bekor harakatlanadi. Buning oqibatida kompressor unumdorligi pasayadi, «zararli bo'shliq» silindrning ish hajmiga nisbatan ulushlarda olinadi: ε·V (bu yerda ε-zararli bo'shliq hajmining porshen harakati tufayli hosil bo'lgan foydali hajmga nisbati teng) odatda, «zararli yoki foydasiz bo'shliq» silindr hajmining 3...5% ni tashkil etadi.



2.64-rasm. Indikator diagrammalari.
a-nazariy; b-ishchi.

2.64-rasmda *bc'* va *bc''* siqish chiziqlari mos ravishda izotermik va adiabatik jarayonlarni xarakterlaydi. Ushbu diagrammadagi yuzalar siqish jarayonida bajarilgan ishni anglatadi, ya'ni izotermik siqishda bajarilgan ish eng kichik bo'lsa, adiabatikda eng katta qiymatga ega bo'ladi.

Real sharoitda siqish jarayoni (*bc* chiziq) politrop jarayonda amalga oshadi. Bunda, ajrab chiqayotgan issiqlikning bir qismigina atrof-muhitga tarqaladi.

Kompressor unumdorligi. Porshenning bir marta bosib o'tgan yo'lida so'rilgan gaz hajmi V_{cyp} «zararli bo'shliq» ta'siri tufayli V_ϕ hajmga nisbatan kichik bo'ladi va kompressorning unumdorligini pasaytiradi. Bu unumdorlikning pasayishi kompressorning hajmiy foydali ish koeffitsiyenti λ_0 bilan hisobga olinadi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\lambda_0 = \frac{V_{so'r}}{V_П} = \frac{V_{so'r}}{Q_H} \qquad (2.115)$$

bu yerda Q_H – kompressorning nazariy unumdorligi, vaqt birligi ichidagi porshen harakati tufayli hosil bo'lgan V_f hajmga teng.

Silindrning to'liq hajmi $V_0 = V_f + \varepsilon V_f$ dan, so'rib olingan gaz hajmi $V_{so'r} = \lambda V_f$ ayirmasini foydali hajmga nisbatini x bilan belgilasak:

$$x = \frac{(V_0 - V_{so'r})}{V_{op}} = \frac{\left(V_{f\phi} + \varepsilon V_{f\phi} - \lambda V_{f\phi}\right)}{V_{f\phi}} = 1 - \varepsilon - \lambda$$

unda:

$$\lambda_0 = 1 + \varepsilon - x \qquad (2.116)$$

«Zararli bo'shliq»da gazning kengayishi politropik deb hisoblasak, tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$p_2\left(\varepsilon \cdot V_f\right)^n = p_1\left(V_0 - V_{so'r}\right)^n = p_1\left(\varepsilon \cdot V_\phi\right)^n$$

bu yerda, $x \cdot V_f = V_0 - V_{so'r} - p_2$ dan va p_1 ga o'zgarganda gazning zararli yoki foydasiz bo'shliqda egallagan hajmi.

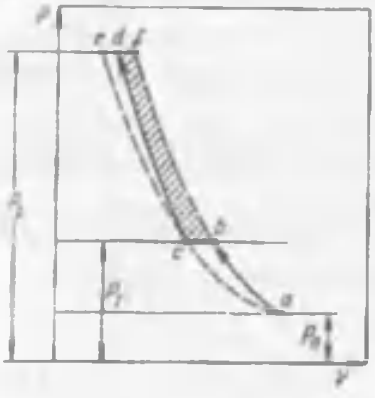
Bundan

$$x = \varepsilon\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}}$$

Ushbu ifodani (2.116) ga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\lambda_0 = 1 - \varepsilon\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1\right] \qquad (2.117)$$

(2.117) ifodadan ko'rinib turibdiki, λ_0 ning qiymati ε ga, siqish darajasi p_2/p_1 ga va politropa ko'rsatkichi t ga, gaz xossasi va kompressor konstruksiyasiga bog'liq ekan.



2.65-rasm. Kompressorda gazni ko'p bosqichli siqish jarayonining *p-V* nazariy diagrammasi.

Siqish ko'rsatkichini ortishi hajmiy koeffitsiyent λ_0 ning qiymati kamayadi va nolga teng bo'lib qolishi ham mumkin. Siqish ko'rsatkichi λ_0 =0 bo'lganda, siqish darajasi odatda siqish chegarasi deyiladi. Bu holda gaz, zararli bo'shliqda kengayadi va butun silindrni to'ldirib, so'rish jarayonini to'xtatadi va kompressor unumdorligi nol bo'lib qoladi.

Kompressorning unumdorligi nafaqat (2.117) tenglamadan aniqlanadigan λ_0 ga kiradigan parametr qiymatlariga bog'liq, balki klapan yaxshi joylashmasa, gazning chiqib ketishi oqibatida unumdorlik pasayadi hamda so'rilayotgan gaz silindr devoriga urilib qizishi oqibatida hajmi ortsa, so'riladigan gaz miqdori kamayadi. Shuning uchun, kompressor unumdorligini hisoblashda uzatish koeffitsiyenti kiritiladi. Uzatish koeffitsiyenti λ_t kompressordagi barcha yo'qotilishlarni hisobga oladi.

Uzatish koeffitsiyenti λ_t hajmiy koeffitsiyent λ_0 bilan, turli tirqishlardan gazni chiqib ketishi bilan birga isib ketishini hisobga oluvchi koeffitsiyent λ_l ning ko'paytmasidan tashkil topgan, ya'ni $\lambda_t = \lambda_0 \cdot \lambda_l$. Uzatish koeffitsiyenti λ_t ni quyidagi formuladan ham hisoblab topish mumkin:

$$\lambda_v = \lambda_0\left(1{,}01 - 1{,}02\frac{p_2}{p_1}\right) \qquad (2.118)$$

Bunda haqiqiy unumdorlik Q shtokning ko'ndalang kesim yuzasini hisobga olmaganda quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = \lambda_v \cdot zF\ S \cdot n \qquad (2.119)$$

bu yerda, z – porshenning bir marta yurganidagi so'rib olish soni (bir tomonlama kompressorlarda $z = 1$); F – porshen ko'ndalang kesim yuzasi; S – porshen yo'li; n – bir sekundda kompressor o'qining aylanishlar soni.

Agar gaz bosimini 0,5...0,7 MPa dan yuqori qiymatgacha siqish zarur bo'lsa, ko'p bosqichli kompressorlar qo'llaniladi.

Bunday kompresorlar gaz temperaturasini juda ko'p ko'tarilishiga yo'l qo'ymaydi va kompressorning ish samaradorligini oshiradi. Misol uchun, ikki bosqichli kompressorda bir xil qiymatga erishish uchun kam miqdorda energiya sarflanadi.

Bu holatni (2.65-rasmda) qurilgan *p-V* nazariy diagrammada ko'rib chiqamiz.

Ikki bosqichli kompressorning birinchi bosqichida p_0 bosimdan p_1 gacha ***ab*** oraliqda adiabatik siqiladi, ***bc*** chiziq oralig'ida esa, gazning dastlabki temperaturasigacha issiqlik almashinish qurilmasida sovutiladi (***ace*** izoterma chizig'i). Ikkinchi bosqichda gaz ***cd*** adiabatik chizig'i bo'yicha oxirgi p_2 bosimgacha siqiladi. Shuning uchun oraliq sovutkichli, ikki bosqichli gazni siqish bir bosqichli kompressorda siqish jarayonini ifodalovchi ***abf*** adiabataga nisbatan izotermaga yaqin bo'ladi (***abcd*** silliq chiziq bo'ylab boradi). Shtrixlangan ***bcdf*** yuza ikki bosqichli siqishni bir bosqichligiga nisbatan bajarilgan ishdagi yutug'ini ko'rsatadi. Yuqorida aytilgan ma'lumotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, bosqichlar soni ortishi bilan siqish jarayoni izotermik jarayonga yaqinlashadi. Lekin kompressorda bosqichlar soni ortsa, konstruksiyasi murakkablashadi. Shuning uchun kompressorda bosqichlar soni 6...7 tadan ortmaydi.

Kompressorning hamma bosqichlarda siqish ko'rsatkichi bir xil bo'lishi maqsadga muvofiq. Agar mashina *m* siqish bosqichli bo'lganda

$$c = \left(\frac{p_k}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} \qquad (2.120)$$

Ko'p bosqichli kompressorlarning unumdorligi birinchi bosqichdagi so'rilgan gaz bo'yicha (2.119) ifodadan aniqlanadi.

Bosqichlar orasida bosimlarning yo'qotilishi har bosqich nazariy siqish ko'rsatkichidan biroz kattaroq bo'lishi kerak va uni quyidagicha hisoblash mumkin:

$$c = \psi \left(\frac{p_k}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} \qquad (2.121)$$

bu yerda ψ = 1,1...1,5 bosqichlar orasida bosim yo'qotilishini hisobga oluvchi koeffitsiyent; p_k – oxirgi bosim.

Porshenli kompressorlarning ba'zi kamchiliklari: katta joy egallaydi, sekin harakat qiladi, og'ir, ko'p metall sarflaydi va hokazo.

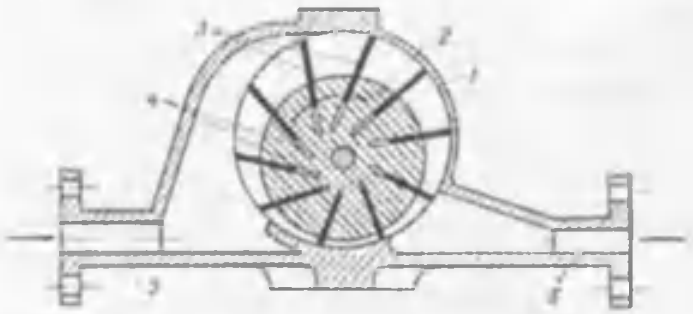
Ma'lumki kichik unumdorlik va yuqori bosimli markazdan qochma kompressorlar tayyorlash ma'lum qiyinchiliklar bilan bog'liq. Shuning uchun 0,5 MPa bosimdan yuqori va 3000...6000 m^3/soat unumdorlikka erishish uchun vertikal porshenli mashinalardan foydalaniladi. Ular ixcham, tezyurar va foydali ish koeffitsiyenti yuqori bo'ladi.

2.29. Rotorli kompressorlar

2.66-rasmda plastina-shiber tipidagi rotorli kompressorlar ko'rsatilgan. Og'ir rotor 2 ning aylanishida, ko'ndalang ariqlarda joylashgan plastina 3 lar erkin harakat qilishadi. Rotor 2 ning ariqchalarida radial yo'nalishda oson sirpanadigan plastinalar bo'lib, ular rotor bilan qobiq orasidagi o'roqsimon bo'shliqni bir necha qismga, ya'ni yacheykaga bo'lib turadi. Plastinalar aylanishi natijasida ular orasidagi bo'shliqqa gaz patrubka 5 dan so'rib olinadi. Plastinalar orasidagi hajm kamayishi bilan gazning bosimi ortadi va u uzatish trubasi 6 orqali haydash quvuriga uzatiladi. Rotorli kompressor vali bevosita

elektr yuritkich bilan ulanishi mumkin. Bunday hollarda kompressor ixcham va yengil bo'ladi.

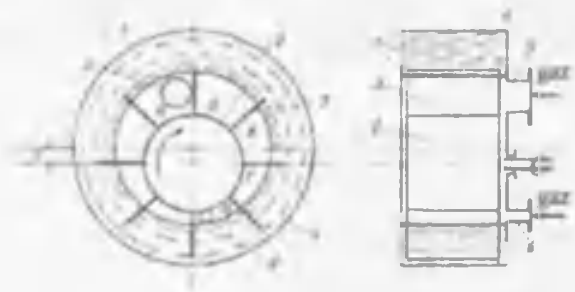
Suv halqali rotorli kompressorlar (2.67-rasm). Stator 1 ga ekssentrik holatda uzunligi bir xil rotor 2 joylashtirilgan. Ishga tushirishdan avval kompressorning yarmi suv bilan to'ldiriladi.



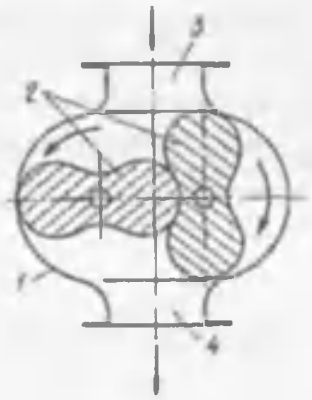
2.66-rasm. Plastina tipidagi rotorli kompressor.
1-qobiq (stator); 2-rotor; 3-plastinalar; 4-ariqchalar; 5-so'rish patrubkasi; 6-haydash patrubkasi.

Rotor aylanganda suv chetga sochilib, bir xil qalinlikdagi suvdan iborat bo'lgan halqa 4 hosil bo'ladi. Rotor parraklari va suv halqalari orasida yacheykalar hosil bo'ladi. Rotor aylanishining birinchi yarmida yacheyka kattalashsa, ikkinchi yarmida kamayadi. Bunda patrubok 5 orqali gaz so'rilsa, siqilgan gaz patrubok 6 orqali uzatiladi. Shunday qilib, suv halqalari kompressorda porshen vazifasini bajaradi, chunki ushbu halqa yordamida *A,Б,B,Г,D* ishchi kameralarning hajmi o'zgartiriladi. Demak, suv halqali kompressorda hosil qilinadigan bosim katta bo'lmagani uchun, undan gazoduvka yoki vakuum-nasos sifatida foydalanish mumkin.

Ikki parrakli rotor kompressorlar (gazoduvkalar). Qobiq 1 da ikkita parallel vallarda ikkita rotor 2 aylanadi (2.68-rasm). Ularning biri elektr yuritkich yordamida aylantirilsa, ikkinchisi tishli uzatma yordamida aylanadi. Rotor 2 lar o'zaro hamda qobiq devori bilan zich joylashgan bo'lib, kamerani ikki qismga ajratib turadi. Birinchi kameraga patrubok 3 orqali gaz so'rib olinsa, boshqasida esa patrubka 4 orqali siqilgan gaz haydash quvuriga uzatiladi.



2.67-rasm. Suv halqali, rotorli kompressor:
1-stator; 2-rotor; 3-parraklar; 4-suvli halqa; 5,6-so'rish va haydash patrubkalari.



2.68-rasm. Rotatsion kompressor (gazoduvka)
1-qobiq; 2-rotorlar; 3,4-so'rish va haydash patrubkalari.

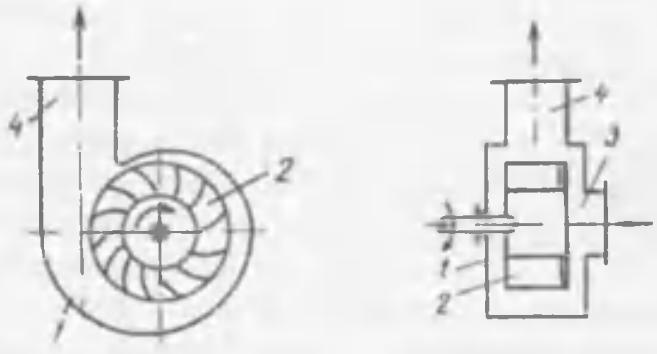
Rotorli kompressorlar bosimi 1,0 MPa va unumdorligi 5000...6000 m^3/soatgacha bo'lganda qo'llanadi. Rotorli kompressorlarning kamchiligi: tayyorlash murakkab, tez ishdan chiqadi, rotor plastinalari juda tez yediriladi, ishlaganda ko'p shovqin tarqatadi va ekspluatatsiyasi qimmat.

2.30. Markazdan qochma tipdagi kompressorlar

Dinamik kompressorlar. Bu turdagi mashinalarga asosan markazdan qochma, o'qli va oqimchali kompressorlar misol bo'ladi.

Markazdan qochma kompressorlar shu turdagi nasoslar kabi ishlash prinsipi bir xil. Ularga ventilator, turbogazoduvka va turbokompressorlar kiradi.

Markazdan qochma ventilatorlar *shartli ravishda kichik* ($p<10^3$ Pa), *o'rta* bosimli ($p=10^3...3\cdot10^3$ Pa) va yuqori bosimli ($p=3\cdot10^3...10^4$ Pa) ventilatorga bo'linadi.



2.69- rasm. Markazdan qochma ventilator.
1-qobiq; 2-ishchi g'ildirak; 3-so'rish patrubkasi; 4-haydash patrubkasi.

Kichik bosimli ventilatorning spiral ko'rinishidagi qobig'i 1 da bir nechta kurakchali ishchi g'ildiragi 2 aylanadi (2.69-rasm).

Gaz g'ildirak o'qi orqali patrubka 3 yordamida so'rib olinadi va uzatish patrubkasi 4 orqali haydash quvuriga chiqarib beradi. O'rta va yuqori bosimli ventilatorlar ishchi g'ildiraklarining eni nisbatan keng bo'lib, kurakchalari oldinga egilgan bo'ladi.

Markazdan qochma ventilatorlar xarakteristikasi nasoslarniki bilan bir xil bo'lib, Q, H, va N kabi parametrlar aylanishlar soni n ga bog'liq va (2.122)...(2.124) tenglamalardan hisoblab aniqlanadi. Ventilatorda hosil bo'ladigan bosim H (2.125) yoki (2.80) tenglamalar yordamida aniqlanadi:

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{c_2'}{c_2''}=\frac{n_1}{n_2} \tag{2.122}$$

$$\frac{H_1}{H_2}\approx\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \tag{2.123}$$

$$\frac{N_1}{N_2}\approx\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \tag{2.124}$$

$$H=H+\frac{(p_2-p_1)}{\rho\cdot g}+\frac{\left(w^2{}_{so'r}-w^2{}_{uz}\right)}{2\cdot g}+h_{yo'q} \tag{2.125}$$

$$H=H_{.}+\frac{(p_2-p_1)}{(\rho\cdot g)}+h_{yo'q}$$

Ventilator o'qidagi $N_{o'q}$ quvvatni ushbu tenglamadan aniqlanadi.

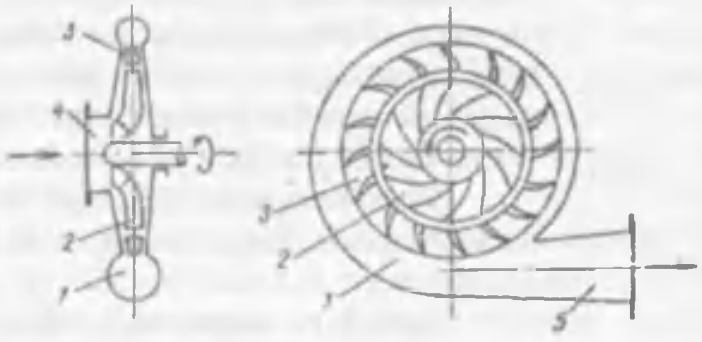
$$N_{o'q}=\frac{\rho QHg}{\eta_v} \tag{2.126}$$

bu yerda, η_v – ventilator f.i.k. bo'lib, u uzatish f.i.k. η_v, gidravlik f.i.k. $\eta_.$ va mexanik f.i.k. η_{mex} larning ko'paytmasi orqali topiladi.

Turbogazoduvkalar. Bir bosqichli turbogazoduvkalar (2.70-rasm) yuqori bosimli ventilatorga o'xshash bo'lib, gazlarni $3 \cdot 10^4$ Pa bosimgacha siqadi. Spiral ko'rinishidagi korpus 1 da g'ildirak 2 aylanadi, g'ildirakning kurakchalarida ichkariga yo'naltiruvchi moslamasi 3 joylashgan va unda gazning kinetik energiyasi bosimning potensial energiyaga aylantiriladi. Siqilgan gaz turbogazoduvkalar patrubkasi 5 orqali chiqadi.

Ko'p bosqichli turbogazoduvkalarda bitta o'qqa bir nechta kurakchali g'ildiraklar (3...4 ta) o'rnatiladi. Bunda gaz bosqichlar orasida sovutilmaydi. Ko'p bosqichli turbogazoduvkalarda g'ildiraklar diametri o'zgarmaydi, eniga esa, birinchisidan oxiriga qarab, kamayib boradi. Bu bilan har bir bosqichda siqish darajasi ortib boradi. O'qning aylanishlar soni va kurakchalar tuzilishi o'zgartirilmaydi. Turbogazoduvkalarda siqish darajasi 3...3,5 dan ortmaydi.

Turbokompressorlar tuzilishi bo'yicha xuddi turbogazoduvka konstruksiyasi kabi, faqat ular yuqori siqish darajasini ta'minlaydi. Undan tashqari, ularda g'ildiraklar soni ancha ko'p bo'ladi. G'ildiraklar diametri va eni birinchi g'ildirakka nisbatan asta-sekin kamayib boradi. Ko'p hollarda turbokompressor g'ildiraklari seksiyalanib, 2 yoki 3 qobiqqa joylashtiriladi. Har bir qobiqda g'ildiraklar diametri turlicha bo'lsa, lekin qobiq ichidagi g'ildiraklar diametri bir xil, eni esa har xildir. Odatda, bir qobiqdan ikkinchisiga o'tayotgan siqilgan gaz maxsus sovutkichlarda temperaturasi pasaytiriladi. Turbokompressorlarda maksimal erishish mumkin bo'lgan bosim 2,5...3,0 MPa.



2.70-rasm. Turbogazoduvka sxemasi.
1 - qobiq; 2 - ishchi g'ildirak; 3 - yo'naltiruvchi moslama;
4 - so'rish patrubkasi; 5 - haydash patrubkasi.

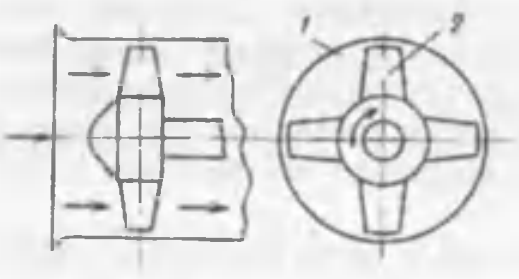
2.31. O'qli va vintli kompressorlar

O'qli kompressorlarning qobig'i qisqa silindrik patrubka 1 ko'rinishida tayyorlanadi (2.71-rasm) va uning ichida ishchi g'ildirak (kurakchali propeller ko'rinishida) 2 aylanadi.

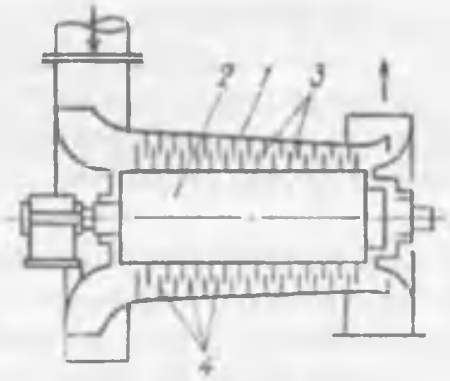
Ventilator o'qi bo'ylab to'g'ridan to'g'ri havo harakat qiladi.

Shu sababli o'qli ventilatorlar foydali ish koeffitsiyenti markazdan qochma ventilatornikidan ancha yuqori bo'ladi. Lekin o'qli ventilator hosil qilayotgan napor markazdan qochma ventilator naporidan 3...4 marta past.

O'qli kompressor tuzilishi bo'yicha ko'p pog'onali o'qli ventilatorlarga o'xshaydi (2.72-rasm). Odatda pog'onalar soni 10...20 ta bo'lishi mumkin, lekin siqilayotgan gazning temperaturasi pasaytirilmaydi.



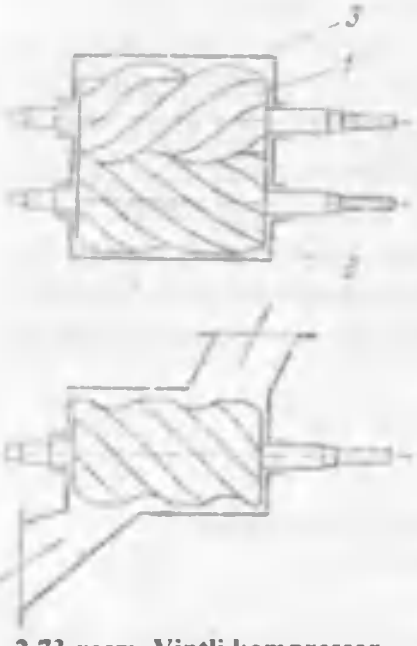
2.71- rasm. O'qli ventilator.
1 - qobiq; 2 – ishchi g'ildirak.



2.72-rasm. O'qli kompressor.
1-qobiq; 2-rotor; 3-ishchi kurakcha;
4-qo'zg'almas kurakchalar.

Ishchi kurakchali 3 silindrik rotor 2 qurilma qobig'i 1 da aylanadi. Ishchi kurakchalar qobig'da mahkamlangan qo'zg'almas kurakchalar 4 orasida aylanib harakatlanadi. Undan tashqari, qo'zg'almas kurakchalar siqilayotgan gazni bir pog'onadan ikkinchisiga yo'naltiruvchi moslama vazifasini ham bajaradi. Kurakchalar va qobiq orasidagi tirqish juda kichik (0,5 mm gacha) bo'ladi.

O'qli kompressorlar ixcham, yuqori foydali ish koeffitsiyentiga ega va katta ish unumdorlikni (50000…80000 m^3/soat) ta'minlab bera oladi. Lekin hosil qiladigan bosimi 0,5...0,6 MPa dan oshmaydi. Turbogazoduvka va turbokompressorlar juda katta hajmda gazlar uzatilishi talab etilganda qo'llash maqsadga muvofiq. Ish unumdorligi 3000...6000 m^3/soat, bosimi 1...1,2 MPa (lekin 3,0 MPa dan ortmaydi).



2.73-rasm. Vintli kompressor.
1,2-rotorlar; 3-qobiq.

Vintli kompressorlar parallel o'qli ikkita 1 va 2 rotorlardan tarkib topgan bo'lib, qobiq 3 ichida aylanadi (2.73-rasm).

Rotor 1 bir nechta tishli (odatda 3…4 ta) silindr ko'rinishida bo'lib, ular vintsimon chiziq bo'ylab joylashgan. Rotor 2 da esa, vintsimon chiziq bo'ylab botiqlik (chuqurlik) yasalgan va shakli rotor 1 ning tishlariga mos keladi. Rotor 1 aylanganda, vintsimon tishlar rotor 2 botiqligiga ilinganda ikki rotor bo'shlig'idagi gaz siqib chiqariladi.

Ikki pog'onali kompressorlar 0,8 MPa gacha bosim hosil qiladi; rotorning aylanish tezligi 10000 ayl/min. 0,2 MPa bosim beruvchi vintli kompressorlar foydali ish koeffitsiyenti boshqa turdagi mashinalarnikidan katta bo'ladi.

Vintli kompressorlar ixchamligi, tez yurarligi va uzatilayotgan gazlar tozaligi bilan ajralib turadi.

Kamchiliklari: vintli rotorlarni tayyorlash murakkab va kompressor ishlash paytida ortiqcha shovqin chiqaradi.

2.32. Vakuum-nasoslar

Vakuum-nasoslarni kompressorlardan konstruktiv farqini belgilovchi ko'rsatkichi, bu ulardagi siqish darajasining yuqoriligidir.

Masalan, vakuum-nasos gaz (havo)ni 0,05 atmosfera bosimida so‘rib olsa (siyraklanish 95%) va uni nasosdan chiqishida 1,1 at gacha siqadi (ortiqcha bosim 0,1 at ga teng bo‘lib, u turli qarshiliklarni yengish uchun sarflanadi). Bu holda nasosning siqish darajasi:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1,1}{0,05} = 22$$

ga teng bo‘ladi. Shuni alohida ta’kidlash kerakki, bir bosqichli porshenli kompressorlarda siqish darajasi 8 dan oshmaydi.

Bunday yuqori siqish darajasi bilan vakuum-nasosning hajmiy koeffitsiyenti va unumdorligi birdan pasayib ketadi. Shuning uchun nasosning ishchi hajmidan to‘liq foydalanish uchun «zararli bo‘shliq» ulushini minimumga tushirishga harakat qilinadi. Shu maqsadda vakuum-nasosning ko‘pgina turlarida, misol uchun, porshenli va rotor-plastinali nasoslarda, bosimni tekislash usuli qo‘llanadi va bunda vakuum-nasoslarning uzatish koeffitsiyentini λ_v=0,8...0,9 gacha oshirsa bo‘ladi.

Porshenli vakuum-nasoslar. Ushbu qurilma ho‘l va quruq mashinalarga bo‘linadi. Quruq vakuum-nasos gazni uzatish uchun, ho‘l vakuum nasoslar esa, gaz va suyuqliklarni bir vaqtning o‘zida uzatish uchun ishlatiladi.

Quruq vakuum-nasoslar porshenli kompressorlardan konstruktiv tuzilish bo‘yicha farq qilmaydi. Ushbu mashinalarni hajmiy koeffitsiyentini oshirish uchun maxsus taqsimlash mexanizmi (zolotnik) bilan ta’minlangan. Ushbu mexanizm yordamida zararli bo‘shliq siqish jarayoni oxirida so‘rish kamerasi bilan ulanadi, bu vaqtda bosim so‘rish bosimi p_1 ga teng bo‘ladi. p_2 bosimgacha siqilgan gaz «zararli bo‘shliq»dan p_1 bosimli kameraga o‘tadi. Shuning uchun zararli bo‘shliqda gaz bosimi pasayadi va vakuum-nasos porsheni qo‘zg‘alishi oldidan gaz so‘riladi. Tabiiyki, bu hol unumdorlikning oshishiga olib keladi.

Suyuqlik vakuum-nasosda maxsus taqsimlash mexanizmi bo‘lmaydi. Ortiqcha miqdordagi suyuqlikni chiqarib tashlash maqsadida uzatish va so‘rish klapanlari biroz kattalashtirilgan bo‘ladi (klapandan chiqayotgan suyuqlik tezligi, gazning harakat tezligidan kichik bo‘lishi uchun). Shuning uchun suyuqlik vakuum-nasoslarda «zararli bo‘shlig‘i» ko‘proq bo‘lib, quruq vakuum-nasoslarga nisbatan siyraklanish qiymati ancha kichik bo‘ladi.

Quruq porshenli vakuum-nasoslar uchun elektr yuritkichlar siqish darajasining maksimal qiymatiga qarab tanlanadi, ya’ni qoldiq bosim qiymati p_1=0,33 atm. (uzatish bosimi p_2=1 atm bo‘lish sharti bajarilsa).

Suyuqlik vakuum-nasoslarda gaz holatining o‘zgarish jarayoni izotermik bo‘ladi, chunki so‘rish suyuqligi bilan gaz orasida intensiv issiqlik almashinadi. Bunga sabab, suyuqlik issiqlik sig‘imi gaznikiga nisbatan juda kattaligidir.

Rotorli plastinali va suv halqali vakuum-nasoslar. Bu turdagi nasoslar mos ravishda kompressorlarning ayni o‘zi. Rotorli va suv halqali nasoslarda bosimni rostlash uchun «zararli bo‘shliq» bilan eng kichik bosimli kamerani bog‘lab turuvchi maxsus kanal orqali gaz o‘tkaziladi. Shu yo‘l bilan vakuum-nasosning hajmiy koeffitsiyentini oshirishga erishiladi. Ishchi suyuqlik parsial bosimi va temperaturasi qancha katta bo‘lsa, suv halqali vakuum-nasos hosil qiladigan siyraklanishi shuncha kichik qiymatga ega bo‘ladi. Shuning uchun, odatda suv halqali vakuum-nasosga imkoni boricha past temperaturali suyuqlik quyish kerak.

Oqimchali vakuum-nasoslar. Bu vakuum-nasoslar ishlash prinsipi bo‘yicha suyuqlik nasoslariga o‘xshashdir. Odatda, oqimchali vakuum-nasoslarda ishchi eltkich

sifatida suv bug'idan foydalaniladi. Bug' oqimchali nasoslar, agressiv muhitlarga bardoshli, legirlangan va maxsus materiallardan tayyorlanib, kislota va boshqa suyuqlik bug'larini so'rib olish uchun ishlatiladi.

Bir bosqichli bug' oqimchali nasoslarda hosil qilinadigan siyraklanish absolyut bosimning 90% dan ortmaydi. Chuqurroq vakuum hosil qilish uchun ko'p bosqichli bug' oqimchali, ketma-ket ulangan vakuum-nasoslar qo'llaniladi. Bosqichlar orasida ishlatilgan bug'larni kondensatsiyalash foydalanilgan bug'larni siqish kerakmasligini ta'minlaydi va umumiy energiya sarfini kamaytiradi.

2.33. Kompressorlarni taqqoslash va tanlash

Mamlakat iqtisodiyotining hamma sanoatlarida porshenli va markazdan qochma kompressor mashinalarining qo'llanilishi juda keng tarqalgan.

Turbokompressor va turbogazoduvkalar tuzilishining soddaligi, ixchamligi va gazni bir me'yorda uzatishi bilan ajralib turadi. Ularning asosiy afzalliklari: gaz toza, moy va changlarsiz uzatiladi. Inersiya kuchlarining yo'qligi va katta tezlikda aylanishi, turbokompressorlarni kichik poydevorlarga mahkamlash imkonini beradi.

Turbokompressorlar f.i.k. qiymati porshenli mashinalarnikiga qaraganda kamroq bo'ladi. Ish unumdorligi 6000 m^3/soat va undan yuqori bo'lgan turbokompressorlar iqtisodiy jihatdan foydali, chunki kapital va xizmat ko'rsatish xarajatlari juda kam. Shuning uchun turbokompressorlarni katta miqdordagi unumdorlik (10000...200000 m^3/soat) talab etilgan vaqtda va 30 atm gacha bosim kerak bo'lganda (o'rtacha 10...12 atm.) qo'llash maqsadga muvofiq. Hozirgi paytda ko'p bosqichli turbokompressorlar gaz bosimini 300 atm.gacha ko'tarib bera oladi. Undan tashqari, uzatiladigan gaz tozaligiga yuqori talablar qo'yilganda, bu turdagi kompressorlar juda qo'l keladi.

Gaz sarfi 10000 m^3/soatgacha, ya'ni kichik miqdordagi sarflarda va 1000 atm bosim bo'lganda porshenli kompressorlar qo'llaniladi.

Rotorli va vintli kompressorlar markazdan qochma nasoslar kabi afzalliklarga ega bo'lib, turbokompressorlarga nisbatan f.i.k. yuqori, unumdorligi 6000 m^3/soatdan past bo'lgan sarflarda va bosimi 15 atm dan yuqori bo'lmaganda ishlatiladi. Rotorli kompressorlarning kamchiliklari: ko'rsatiladigan xizmat va tayyorlash murakkab, rotor plastinalari tez yediriladi va ishchi kameralarini zichlash qiyin.

Turbokompressorlar unumdorligini turli usullarda rostlash mumkin:

– iqtisodiy jihatdan eng samaralisi – bu ishchi g'ildirak aylanishlar soni n ga ta'sir etish. Lekin ushbu usul konstruktiv tomondan juda murakkab va uni faqat katta unumdorlikka ega turbokompressorlarda qo'llash maqsadga muvofiq;

– haydash yo'lidagi bir qism gazni so'rish yo'liga o'tkazish. Ushbu usul iqtisodiy jihatdan samarasiz, chunki retsikl qilinayotgan gazga sarflangan siqish energiyasi yo'qotiladi;

– so'rish yoki haydash yo'lida zadvijka o'rnatish. Ushbu usulning afzalligi uning soddaligida. Lekin zadvijka ma'lum gidravlikka qarshilik ega va uni yengishga energiya sarflanadi. Ammo ushbu yo'qotilish to'liq bosimlar farqi p_2-p_1 dan ancha kichik. So'rish yo'liga o'rnatilgan zadvijka bosimning atmosfera bosimidan pasayishiga olib keladi. Bu hol o'z navbatida yaxshi zichlanmagan joylardan havo so'rilishiga va texnologik gazlar bilan aralashishiga, ayrim hollarda esa portlovchi gaz aralashmalari hosil bo'lishiga olib keladi.

O'qli kompressorlar ixcham va foydali ish koeffitsiyenti yuqori. Yuqori miqdordagi unumdorlik (80000 m^3/soat) va kichik bosimlar (6 atm. gacha) talab etilganda ishlatiladi.

Vakuum-nasoslar hosil qiladigan siyraklanish qiymatiga qarab qo'llaniladi.

Porshenli suyuqlik vakuum-nasoslaming absolyut siyraklanishi 80...85%ni hosil qiladi. Bu mashinalaming takomillashtirilgan konstruksiyalilari 93...97% gacha siyraklanish beradi. Quruq porshenli vakuum-nasoslar bosim rostlagichi bilan bo'lsa, siyraklanish qiymatini 99,9% ga yetkazish mumkin. Rotor plastinali, bosim rostlagichli vakuum nasoslar 98...99% li siyraklanishni ta'minlab bersa, rostlagichsizligi esa – 95...96% ni tashkil etadi.

O'rtacha siyraklanishni (90...95%) hosil qilish, agressiv va portlovchi gazlarni aralashtirish uchun sanoat korxonalarida suv halqali vakuum-nasoslar keng qo'llaniladi. Markazdan qochma mashinalar porshenlilarga nisbatan ancha qulay va ko'p afzalliklarga ega, lekin foydali ish koeffitsiyenti juda kichik. Suv halqali vakuum-nasos hosil qiladigan siyraklanish qiymati, ishchi eltkich bo'lgan suv bug'ining temperaturasiga bog'liq bo'lgan parsial bosim bilan chegaralanadi.

0,05...0,1 mm.sim.ust.dan katta bo'lmagan qoldiq bosim olish uchun maxsus konstruksiyali rotor vakuum-nasoslardan foydalaniladi. Bunday ikki bosqichli mashinalarning qoldiq bosimi 0,005 mm.sim.ust.ni tashkil etadi. Uch bosqichli mashinalarda esa - 0,001 mm sim ust.

95...99,8% li siyraklanishni ko'p bosqichli, bug' oqimchali, vakuum-nasoslarda olish mumkin. Bunday qurilmalar oddiyligi va aylanuvchan qismlardan iborat bo'lgani bilan ajralib turadi va ular kimyoviy agressiv gazlarni so'rib olishda ko'p qo'llaniladi. Bug' oqimchali nasos qurilmalarini uzatmasiz, poydevorsiz, istalgan joyga o'rnatish mumkin. Bug' oqimchali vakuum-nasoslarning kamchiliklari: suv bug'ining sarfi katta, so'rilayotgan gazning bug' bilan aralashma hosil qilishidir.

2-bob. Kompressorlar bo'yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Kompressor nima uchun mo'ljallangan mashina?
2. Qaysi ko'rsatkich bo'yicha kompressorlar ajratiladi?
3. Kompressorlar necha guruhga bo'linadi?
4. Izotermik jarayonda T_{iz}, l_{iz} va N_{iz} larni aniqlash formulasini yozing.
5. Adiabatik jarayonda T_{ad}, l_{ad} va N_{ad} larni aniqlash formulasini yozing.
6. Politropik jarayonda T_{pol}, l_{pol} va N_{pol} larni aniqlash formulasini yozing.
7. Porshenli kompressor konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari
8. Plastinali kompressor konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari
9. Rotatsion kompressor konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
10. Markazdan qochma ventilator konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
11. O'qli kompressor konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
12. Vintsimon kompressor konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
13. Vakuum-nasoslar konstruksiyasi, ishlash prinsipi va afzalliklari.
14. Kompressorlarni qo'llash sohalari.

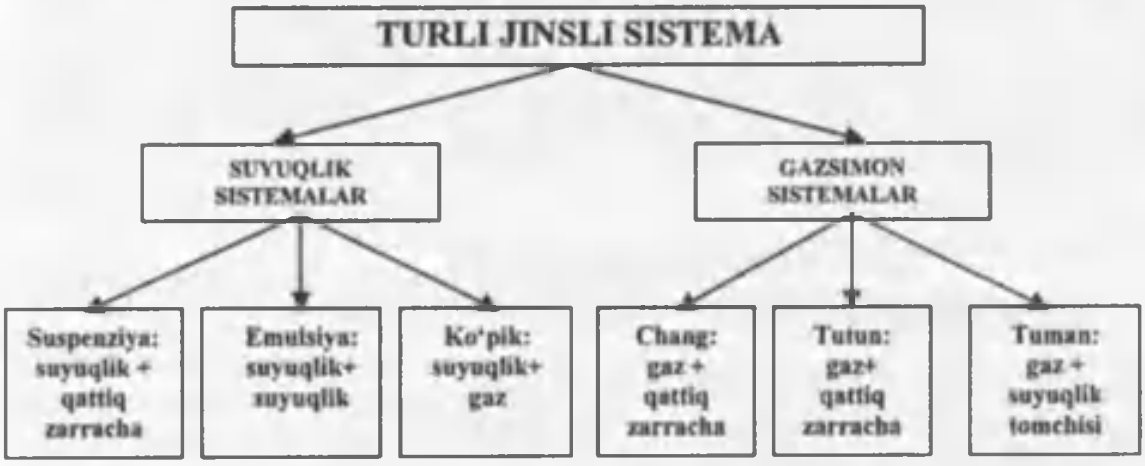
3 - bob. GIDROMEXANIK JARAYONLAR

Gidromexanik jarayonlarga quyidagilar kiradi: suyuq va gazsimon turli jinsli sistemalarni gravitatsion (cho'ktirish), markazdan qochma (sentrifugalash) yoki elektr maydoni kuchlari ta'sirida qattiq zarrachalardan tozalash; bosimlar farqi ostida suyuqlik va gazlarni g'ovak to'siqlar orqali o'tkazib filtrlash; suyuqlik muhitlarida aralashtirish; mavhum qaynash va boshqalar.

3.1. Turli jinsli sistemalar klassifikatsiyasi

Kamida ikkita har xil fazalardan (suyuqlik – qattiq jism, suyuqlik – gaz va h.) tarkib topgan aralashmalar ***turli jinsli sistemalar*** deb nomlanadi. Zarrachalari o'ta mayin yanchilgan holatdagi faza ***dispers*** yoki ***ichki faza*** deb ataladi. Dispers faza zarrachalarini o'rab olgan muhit esa ***dispersion*** yoki ***tashqi faza*** deb ataladi.

Fazalarning fizik holatiga qarab turli jinsli sistemalar quyidagi guruhlarga bo'linadi: suspenziya, emulsiya, ko'pik, chang, tutun va tumanlar (3.1-rasm).



3.1-rasm. Turli jinsli sistemalar klassifikatsiyasi.

Suyuqlik va qattiq zarrachalardan tashkil topgan turli jinsli sistema ***suspenziya*** deb ataladi. Qattiq zarrachalar o'lchamiga qarab suspenziyalar shartli ravishda quyidagi turlarga bo'linadi: dag'al (>100 mkm); mayin (0,5...100 mkm); loyqa (0,1...0,5 mkm) suspenziyalar va kolloid eritmalar ($\leq 0{,}1$ mkm).

Biri ikkinchisida erimaydigan, dispers va dispersion fazalardan tashkil topgan aralashma sistemasi **emulsiya** deb nomlanadi. Dispers faza zarrachalarining o'lchami keng oraliqda o'zgarishi mumkin. Odatda, emulsiya og'irlik kuchi ta'sirida qatlamlarga ajraladi. Lekin dispers faza tomchilari 0,4...0,5 mkm dan kichik bo'lsa yoki stabilizatorlar qo'shilgan hollarda emulsiyalar turg'un bo'ladi va uzoq muddat davomida qatlamlarga ajralmaydi. Dispers faza konsentratsiyasi ortishi bilan dispers faza dispersion fazaga o'tishi va teskarisi bo'lishi mumkin. Bunday o'zaro almashinish hodisasi fazalar **inversiyasi** deyiladi.

Suyuqlik va unda taqsimlangan gaz pufakchalaridan tashkil topgan sistemalar **ko'piklar** deb ataladi. Ko'piklar o'z xossalari bo'yicha emulsiyalarga yaqin.

Gaz va unda taqsimlangan 0,3...5 mkm o'lchamli qattiq zarrachalardan tashkil topgan sistemalar **tutunlar** deb nomlanadi. Tutunlar bug' (yoki gaz) larning suyuq yoki

qattiq holatga kondensatsiyalanish jarayoni orqali o'tishda hosil bo'ladi. Undan tashqari, qattiq yoqilg'ilar yonishi natijasida ham paydo bo'ladi.

Gaz va unda taqsimlangan 3...70 mkm o'lchamli qattiq zarrachalardan tashkil topgan sistemalar **changlar** deb ataladi.

Ko'pincha changlar qattiq materialni maydalash, aralashtirish va ma'lum masofaga uzatish paytida hosil bo'ladi.

Dispersion gaz va o'lchami 0,3...5 mkm bo'lgan dispers suyuqlik fazalardan tashkil topgan sistemalarga **tumanlar** deyiladi. Tumanlar suv bug'ini sovitish jarayonida, bug'ning kondensatsiyalanishi natijasida hosil bo'ladi.

Tutun, chang va tumanlar – **aerozollar** deb yuritiladi.

3.2. Ajratish usullari

Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarida turli jinsli sistemalarni tashkil etuvchi fazalarga ajratishga to'g'ri keladi. Masalan, vino ishlab chiqarishda uni tindirish, ya'ni muallaq holatdagi zarrachalarni, suyuq fazadan ajratish. Ajratish usullarini tanlashda dispers faza o'lchamiga, fazalar zichliklari farqiga va dispersion faza qovushoqligiga ahamiyat berish zarur. Turli jinsli sistemalarni ajratish uchun quyidagi usullar qo'llaniladi: a) cho'ktirish; b) filtrlash; d) sentrifugalash; e) suyuqlik yordamida ajratish.

Og'irlik kuchi, inersiya (jumladan, markazdan qochma) yoki elektrostatik kuchlar yordamida turli jinsli sistemalar tarkibidagi qattiq yoki suyuqlik zarrachalarini ajratish jarayoni **cho'ktirish** deb nomlanadi. Agar jarayon faqat og'irlik kuchi ta'sirida olib borilsa **tindirish** deb yuritiladi. Tindirish odatda turli jinsli sistemalarni dastlabki ajratish uchun ishlatiladi.

Filtrlash – turli jinsli sistemalarni g'ovaksimon to'siq - filtr yordamida ajratish jarayonidir. Bunda, g'ovaksimon to'siq suyuqlik yoki gazni o'tkazib yuboradi, ammo muhitdagi qattiq zarrachalarni ushlab qoladi. Suspenziya, emulsiya va changlarni ajratish uchun cho'ktirish jarayoniga qaraganda filtrlash ancha samarali.

Sentrifugalash – suspenziya va emulsiyalarni markazdan qochma kuch ta'sirida ajratish jarayonidir. Bu jarayonda yaxlit yoki g'ovaksimon to'siqlar ham ishlatiladi. Sentrifugalash jarayonida cho'kma va suyuq faza (fugat) hosil bo'ladi.

Suyuqlik yordamida ajratish usuli deb – gaz tarkibidagi qattiq zarrachalarni birorta suyuqlik ishtirokida ushlab qolish jarayoniga aytiladi. Bu jarayon og'irlik yoki inersiya kuchlari ta'sirida olib boriladi va gazlarni tozalash uchun ishlatiladi. Ba'zan, bu usuldan suspenziyalarni ajratishda ham foydalanish mumkin.

3.3. Ajratish jarayonining moddiy balansi

Dispers faza ***a*** va dispersion faza ***b*** lardan tashkil topgan turli jinsli sistema ajratilishi kerak. Quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

G_{ar}, $G_{cho'k}$, G_{ts} – boshlang'ich aralashma, cho'kma va tozalangan suyuqlik massalari, kg;

x_{ar}, $x_{cho'k}$, x_{ts} – boshlang'ich aralashma, cho'kma va tozalangan suyuqliklar tarkibida ***b*** modda konsentratsiyasi, %.

Agar ajratish jarayonida massa yo'qotilishi bo'lmasa, moddiy balans tenglamasini ushbu ko'rinishda yozish mumkin:

moddalarning umumiy miqdori bo'yicha

$$G_{ar} = G_{ts} + G_{cho'k} \qquad (3.1)$$

dispers faza (*b* modda) bo'yicha

$$G_{ar}x_{ar} = G_{ts}x_{ts} + G_{cho'k}x_{cho'} \tag{3.2}$$

(3.1) va (3.2) tenglamalarni birgalikda yechsak, tozalangan suyuqlik miqdorini topamiz:

$$G_{ts} = G_{ar}\frac{x_{cho'k} - x_{ar}}{x_{cho'k} - x_{ts}} \tag{3.3}$$

va cho'kma miqdorini:

$$G_{cho'k} = G_{ar}\frac{x_{ar} - x_{ts}}{x_{cho'k} - x_{ts}} \tag{3.4}$$

Ajratish jarayonining samaradorligi ajratish jadalligi bilan xarakterlanadi:

$$Э_{ajr} = \frac{G_{ar}\cdot x_{ar} - G_{ts}\cdot x_{ts}}{G_{ar}\cdot x_{ar}} \tag{3.5}$$

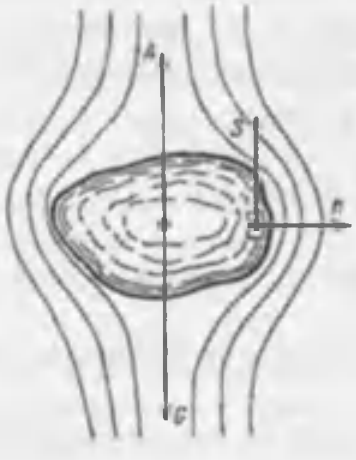
(3.3) va (3.4) tenglamalar yordamida aralashtirish jarayonini ham ifodalasa bo'ladi. Undan tashqari, (3.3) tenglamadan aralashma tarkibidagi dispers faza konsentratsiyasini ham topish mumkin:

$$x_{ar} = \frac{G_{ts}x_{ts} + G_{cho'k}\cdot x_{cho'k}}{G_{ar}} \tag{3.6}$$

TINDIRISH VA CHO'KTIRISH

3.4. Og'irlik kuchi ta'sirida cho'ktirish

Cho'kish jarayonida qattiq jism turli kuchlar ta'sirida suyuqlikda harakat qiladi. Og'irlik kuchi ta'sirida uning suyuqlikdagi harakatini ko'rib chiqamiz. Bunda, qattiq zarrachaga og'irlik kuchi *G*, ko'taruvchi (Arximed) kuch *A* va ishqalanish kuchlari *T* ta'sir etadi (3.2-rasm).



3.2-rasm. Og'irlik kuchi *G* ta'sirida zarracha cho'kishining differensial tenglamasini chiqarishga oid.

Ixtiyoriy shakldagi zarrachani ko'rib chiqamiz. Uning hajmi chiziqli o'lchamining uchinchi darajasiga to'g'ri proporsionaldir.

$$V = \varphi_1 l^3 \tag{3.7}$$

bu yerda, l – zarracha gabarit o'lchami, diametri; φ_l – shaklga bog'liq koeffitsiyent.

Agar zarracha zichligi ρ_3, suyuqlikniki ρ_s bo'lsa, unda zarrachaga og'irlik kuchi G va ko'taruvchi kuch A lar ta'sir etmoqda. Bu ikkala kuch qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi.

$$G = \varphi_1 l^3 \rho_3 g, \quad A = \varphi_1 l^3 \rho_c g \tag{3.8}$$

Ushbu kuchlarning farqi ta'siri ostida zarracha suyuqlikda harakat qiladi va uning

tashqi yuza birligiga ishqalanish kuchi T ta'sir etadi.

Ishqalanish kuchi T Nyuton-Petrov qonuniga binoan aniqlanadi:

$$T = \mu \frac{\partial w}{\partial n}$$

bu yerda, μ – dinamik qovushoqlik koeffitsiyenti; $\partial w/\partial n$ – tezlik gradiyenti.

Butun zarrachaga ta'sir etuvchi muhitning qarshilik kuchi uning yuzasiga bog'liq. Demak, muhitning qarshilik kuchi quyidagiga teng:

$$R = \varphi_2 l^3 \mu \frac{\partial w}{\partial n} \tag{3.9}$$

Mexanikaning ikkinchi qonuniga binoan, og'irlik, ko'taruvchi va ishqalanish kuchlarining teng ta'sir etuvchisi, zarracha massasining erkin tushish tezlanishiga ko'paytmasiga teng. Demak:

$$\varphi_1 l^3 (\rho_3 - \rho_c) g - \varphi_2 l^3 \mu \frac{\partial w}{\partial n} = \varphi_1 l^3 \rho_3 \frac{dw}{d\tau} \tag{3.10}$$

(3.10) tenglik og'irlik kuchi ta'sirida cho'kayotgan zarrachaning differensial tenglamasi deb nomlanadi.

O'xshashlik nazariyasi uslublarini qo'llab, (3.10) dan og'irlik kuchi ta'sirida zarrachaning cho'kish jarayonini ifodalovchi o'xshashlik tenglamalarini olish mumkin.

Buning uchun (3.10) tenglamani $\varphi_1 l^3 \rho_\kappa \frac{dw}{d\tau}$ bo'lib:

$$g \frac{d\tau}{dw} \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_3} \cdot \frac{\rho_3}{\rho_s} - \frac{c_2 \mu \partial w d\tau}{c_1 \rho_3 l \partial n dw} \cdot \frac{\rho_3}{\rho_c} - \frac{\rho_3}{\rho_c} = 0 \tag{3.11}$$

Olingan natijani ρ_κ/ρ_s ko'paytirib va tegishli qisqartirishlarni amalga oshirsak, quyidagi ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\frac{\varphi_2}{\varphi_1} \cdot \frac{\mu \tau}{l \rho} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \cdot \frac{\mu}{\rho w l} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \cdot \frac{1}{\mathrm{Re}} \tag{3.12}$$

φ_2/φ_1 – nisbat zarracha shakliga bog'liq va ***shakl koeffitsiyenti*** deb nomlanadi:

$$f = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \tag{3.13}$$

o'lchamsiz kompleks esa:

$$\frac{\mu}{\rho w l} = \frac{1}{\mathrm{Re}} \qquad \text{yoki} \qquad Re = \frac{wl\rho}{\mu} = \frac{wl}{\nu}$$

Reynolds soni deyiladi. Bu son suyuqlik oqimlari harakatining gidrodinamik o'xshashligini xarakterlaydi, zarrachaning cho'kish jarayonida esa – suyuqlikning zarracha atrofidan oqib o'tish gidrodinamik o'xshashligini ifodalaydi.

Xuddi shu yo'l bilan (3.11) ning birinchi ayriluvchisidan quyidagi ko'rinishga kelamiz:

$$\frac{g\tau}{w} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} = \frac{gl}{w^2} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} \tag{3.14}$$

(3.14) tenglamani Re^2 ga ko'paytirsak, ***Arximed*** kriteriysini olamiz:

$$Ar = \frac{w^2 l^2}{\nu^2} \frac{gl}{w^2} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} = \frac{gl^3}{\nu^2} \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} \qquad (3.15)$$

Ushbu kriteriy og'irlik va ko'taruvchi kuchlar farqining ko'taruvchi kuchga nisbatini xarakterlaydi.

Shunday qilib, o'xshashlik nazariyasi uslublarini qo'llab, (3.10) tenglamadan zarrachalarning cho'kish jarayonini ifodalovchi o'xshashlik tenglamasini keltirib chiqarish mumkin:

$$\mathrm{Re} = a(fAr)^n \qquad (3.16)$$

Cho'kish jarayonini tajribaviy o'rganish natijasida quyidagi rejimlar aniqlangan: laminar ($Re \leq 0{,}2$), o'tish ($0{,}2 < Re < 50$) va turbulent ($Re < 500$). Amaliy hisoblar uchun quyidagi formulalardan foydalanish mumkin:

$Re < 1{,}85$ yoki $f \cdot Ar < 33$ bo'lganda

$$\mathrm{Re} = \frac{f \cdot Ar}{18} = 0{,}056 f \cdot Ar \qquad (3.17)$$

$1{,}85 < Re < 500$ yoki $33 < f \cdot Ar < 83 \cdot 10^3$ bo'lganda

$$\mathrm{Re} = 0{,}152 \cdot (fAr)^{0{,}725} \qquad (3.18)$$

$Re > 500$ yoki $f \cdot Ar > 83 \cdot 10^3$ bo'lganda

$$\mathrm{Re} = 1{,}74 \cdot (fAr)^{0{,}5} \qquad (3.19)$$

(3.17)...(3.19) formulalar yordamida aniqlangan Reynolds soni orqali og'irlik kuchi ta'sirida suyuqlikda cho'kayotgan zarracha tezligini topish mumkin:

$$w_{cho'k} = \frac{\mathrm{Re} \cdot \mu}{l \cdot \rho} \qquad (3.20)$$

Laminar harakat rejimida cho'kish tezligini quyida keltirilgan usulda topiladi. d diametrli sferik shaklga ega zarrachalar uchun $w_{cho'k}$ (3.17) formuladan aniqlash mumkin:

$$\frac{w_{cho'k} d\rho}{\mu} = \frac{1}{18} \frac{gd^3(\rho_3 - \rho)}{\upsilon^2 \rho}$$

Agar $\nu = \mu/\rho$ ekanligini hisobga olsak, cho'kish tezligi ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$w_{cho'k} = \frac{gd^2(\rho_3 - \rho)}{18\mu} \qquad (3.21)$$

(3.21) formula Stoks qonunini, ya'ni sharsimon zarrachalarning laminar rejimdagi cho'kish tezligi, ular diametrining kvadratiga, muhit va zarracha zichliklari farqiga to'g'ri proporsinal va muhit qovushoqligiga teskari proporsionalligini ifodalaydi.

Noto'g'ri shakldagi zarrachalar uchun cho'kish tezligi sharsimonnikidan kam bo'ladi. Zarrachalarning shakl koeffitsiyenti qiymatlari maxsus adabiyotlarda keltirilgan.

Suyuqlikda tomchining cho'kish jarayonida uning shakli uzluksiz ravishda o'zgarib turadi. Bunday hollarda suyuqlik tomchisining cho'kish tezligi prof. Smirnov N.I. formulasi yordamida hisoblanadi:

$$w_{cho'k} = \frac{gd^{2,5}}{\sigma} \left(\frac{\rho - \rho_T}{\rho_T} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{\mu}{\rho g} \right)^{0,5} \qquad (3.22)$$

bu yerda, d – tomchining o'rtacha diametri; σ – fazalar chegarasidagi sirtiy taranglik; ρ_t – tomchi hosil qiluvchi suyuqlik zichligi; ρ – muhit zichligi; μ – muhit qovushqoqligi.

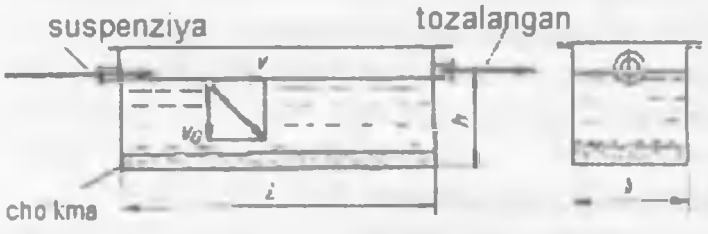
Stoks qonuniga binoan, cho‘kayotgan qattiq zarrachaning maksimal o‘lchami ushbu formuladan topiladi:

$$d_{max} \approx 1{,}56\sqrt{\frac{\mu^2}{\rho(\rho_3 - \rho)}}$$

Cho‘kish jarayonining kinetik qonuniyatlarini o‘rganish natijasida quyidagi umumiy qoida kelib chiqadi: zarracha o‘lchami va faza zichliklarining farqi ortishi bilan cho‘kish tezligi ko‘payadi, lekin muhitning qovushoqligi ko‘payishi bilan cho‘kish tezligi kamayadi.

3.5. Siqiq cho‘kish tezligi

3.4 paragrafda qattiq jismning suyuqlikda harakat qonunlari ko‘rib chiqilgan va zarrachaning og‘irlik kuchi ta’sirida erkin cho‘kish tezligi aniqlangan. Ushbu qonunlarni faqat dispers faza konsentratsiyasi past sistemalarga qo‘llash mumkin.



3.3-rasm. Cho‘kish jarayoni sxemasi.

Lekin sanoatda dispers faza konsentratsiyasi yuqori bo‘lgan hollarda ham cho‘ktirish jarayonlari, ya’ni cho‘kayotgan zarrachalar bir-biri bilan to‘qnashganda ham amalga oshiriladi (3.3-rasm).

Ko‘pchilik tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, cho‘kma qatlami ustida quyuqlashgan suspenziya zonasi hosil bo‘ladi va bu yerda ***siqiq*** sharoitda zarrachalarning cho‘kishi ro‘y beradi. Bunda, zarrachalar o‘zaro to‘qnashadi va jarayon ishqalanish kuchi ishtirokida boradi. Natijada, mayda zarrachalar o‘zidan katta, yirik zarrachalar harakatini sekinlashtiradi. Shu paytning o‘zida yirik zarrachalarni o‘zi bilan birga mayda, kichik o‘lchamli zarrachalarni ilashtirib olib ketadi va ularning harakatini tezlashtiradi. Qurilma tubiga yaqinlashgan sari zarracha tezligi pasayadi va cho‘kma asta-sekin zichlanib boradi. Zarracha tezligining pasayishi suyuqlikning to‘xtatish harakati, ya’ni zarracha siqib chiqarayotgan suyuqlik harakatining teskari yo‘nalishi bilan belgilanadi.

Zarrachaning siqiq cho‘kishi har doim erkin cho‘kish tezligidan kam bo‘ladi. Bunga sabab muhitning qarshiligi va qo‘shimcha qarshilik mavjudligi, ya’ni ishqalanish qarshiligi va zarrachalarning o‘zaro to‘qnashuvidir. Ushbu holatda muhit qarshiligining ortishi, cho‘kayotgan zarrachalar massasining suyuqlikka dinamik ta’siri bilan xarakterlanadi. Bu hol, o‘z navbatida, muhitda ko‘tariluvchi oqimlar hosil bo‘lishiga olib keladi.

Gidrodinamik nuqtayi nazaridan, zarrachalarning siqiq cho‘kishi, qattiq zarrachalar qatlamining mavhum qaynash jarayoniga o‘xshashligidir.

Shuning uchun, qo‘zg‘almas muhitda zarrachalarning bir tekisda cho‘kishi, ularning ko‘tariluvchi oqimda uchib yurishiga aynan o‘xshashdir. Demak, siqiq cho‘kish qonuniyatlarini, mavhum qaynash qatlamidagi ko‘tariluvchi oqim harakati orqali o‘rganish qulaydir. Bunda, siqiq cho‘kish tezligi qattiq zarrachalar qatlamining mavhum qaynash holatidagi oqim tezligiga teng. Zarrachalar konsentratsiyasi nolga qarab intilganda, siqiq cho‘kish tezligi maksimal qiymatiga, ya’ni erkin cho‘kish tezligiga yaqinlashishi shubhasizdir.

Shunday qilib, hisoblash formulasining umumiy ko'rinishi mavhum qaynash qatlamida oqimning tezligini aniqlash kabi bo'lishi kerak, ya'ni quyidagi funksiya orqali ifodalanadi:

$$\mathrm{Re}_{cho'k} = f\left(Ar, \varepsilon\right)$$

Hamma rejimlar uchun siqiq holatdagi cho'kish tezligini aniqlash uchun quyidagi umumiy tenglamadan foydalaniladi:

$$\mathrm{Re}_{cho'k} = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,6\sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}} \tag{3.23}$$

bu yerda:

$$\mathrm{Re} = \frac{wd\rho}{\mu} \quad \text{va} \quad Ar = \frac{gd^3}{\nu^2}\,\frac{\rho_3 - \rho}{\rho} \tag{3.24}$$

$$\varepsilon = \frac{V_0 - V}{V_0} \tag{3.25}$$

bu yerda, V_0 – suspenziyadagi suyuqlik hajmi, m^3 ; V – suspenziyadagi qattiq zarrachalar hajmi, m^3 .

Sharsimon qattiq zarrachalarning siqiq holatdagi cho'kish tezligini quyidagi tenglamalar yordamida topish mumkin:

agar $\varepsilon > 0,7$ dan bo'lsa:

$$w_{cho'k} = w_{cho'k} \cdot \varepsilon^2 \cdot 10^{-1,82(1-\varepsilon)} \tag{3.26}$$

agar $\varepsilon \leq 0,7$ dan bo'lsa:

$$w_{cho'k} = w_{cho'k}\,\frac{0,123 \cdot \varepsilon^2}{1-\varepsilon} \tag{3.27}$$

3.6. Suspenziya konsentratsiyasi va zarrachalar shaklining cho'kish tezligiga ta'siri

Yuqorida qayd etilgandek, suyuq muhitda qattiq jism harakati paytida uning shakli cho'kish tezligiga salmoqli ta'sir etadi. Og'irlik kuchi ta'siridagi cho'kish jarayonida ushbu ta'sir shakl koeffitsiyenti f orqali hisobga olinadi. Shar shaklidagi jismlar uchun $f = 1$. Odatda, shar shaklida bo'lmagan jismlar uchun $f < 1$.

3-1 jadval

T/r	Zarracha shakli	Koeffitsiyent f
1	*Shar*	1.00
2	Dumaloq	0.77
3	Serqirra	0.66
4	Cho'zinchoq	0.58
5	Plastinasimon	0.43

Agar zarracha shakli sharsimon bo'lmasa, uning nazariy cho'kish tezligi suyuqlik oqimi rejimiga qarab tanlanadi. Formuladagi aniqlovchi o'lcham sifatida zarrachaning ekvivalent diametri qo'llaniladi. So'ng esa, zarrachaning haqiqiy shakliga qarab, aniqlangan cho'kish tezligi $w_{cho'k}$ tegishli shakl koeffitsiyenti f ga ko'paytiriladi:

$$w'_{cho'k} = w_{cho'k} \cdot f \tag{3.28}$$

Keltirib chiqarilgan formulalarda cheksiz bo'shliqda zarrachalar erkin cho'kmoqda deb faraz qilingan. Bunday taxmin suspenziya konsentratsiyasi juda past bo'lganda to'g'ri. Lekin suspenziya konsentratsiyasi o'rta va yuqori bo'lsa, cho'kish jarayonida zarrachalar bir-biri bilan to'qnashadi va katta zarrachalar maydalarini ilintirib, o'zi bilan olib ketadi. Zarrachalarning bunday to'qnashuvi natijasida, ularning harakat energiyasi yo'qotiladi, ya'ni muhitning qarshiligi ortadi va oqibatda cho'kish tezligi kamayadi.

Agar suspenziya konsentratsiyasi qanchalik yuqori bo'lsa, cho'kish tezligiga siqiqlik hodisasi shunchalik katta ta'sir qiladi. Shuning uchun, haqiqiy yoki nazariy cho'kish tezligi, hajmiy konsentratsiyani hisobga oluvchi tuzatish koeffitsiyentiga ko'paytiriladi.

3.7. Markazdan qochma kuch ta'sirida cho'ktirish

Emulsiyadagi suyuqlik tomchilarini va suspenziyadagi qattiq zarrachalarni markazdan qochma kuchlar maydonida ajratish jarayoniga **sentrifugalash** deyiladi. Sentrifugalash jarayonini amalga oshiradigan qurilma **sentrifuga** deb nomlanadi.

Markazdan qochma kuch ta'sirida suspenziya **cho'kma** va **fugat** deb nomlanuvchi suyuqlik fazalarga ajraladi. Odatda cho'kma qurilma rotori ichida qoladi, fugat esa - tashqariga chiqariladi.

Sentrifuga ishlash paytida hosil bo'ladigan markazdan qochma kuch cho'ktirish jarayonidagi og'irlik va filtrlashdagi gidrostatik kuchlarga nisbatan ancha katta bo'ladi. Shuning uchun turli jinsli sistemalarni ajratish uchun qo'llaniladigan cho'ktirish va filtrlash jarayonlariga qaraganda sentrifugalash juda samarali hisoblanadi.

Sentrifuganing asosiy qismi gorizontal yoki vertikal o'qqa o'rnatilgan va katta tezlikda aylanuvchi silindrik rotor bo'lib, u elektr yuritkich yordamida aylanma harakatga keltiriladi. Markazdan qochma kuch ta'sirida turli jinsli sistemadagi qattiq zarrachalar cho'kmaga tushib, suyuqlikdan ajraladi.

Ajratish prinsipiga qarab, sentrifugalar 2 xil bo'ladi: filtrlovchi va cho'ktiruvchi sentrifugalar.

Cho'ktiruvchi sentrifuganing silindrik rotori yaxlit devorli bo'lib, emulsiya va suspenziyalarni cho'ktirish prinsipi asosida ajratadi. Bu qurilmada ajratish jarayonida og'irlik kuchi o'rniga markazdan qochma kuch ishlatiladi. Silindrik rotor aylanishi natijasida hosil bo'ladigan markazdan qochma kuch ta'sirida suspenziya yoki emulsiya rotor devoriga qarab harakat qiladi. Zichligi yuqori bo'lgan qattiq zarrachalar rotor devorida, zichligi kamrog'i esa o'q atrofida yig'iladi.

Filtrlovchi sentrifuga rotori g'ovaksimon bo'lib, emulsiya va suspenziyalarni filtrlash prinsipi asosida ajratadi. Bu qurilmalarda, ajratish jarayonida bosimlar farqi o'rniga, markazdan qochma kuch ishlatiladi.

Bu turdagi sentrifugalarda suspenziya yoki emulsiya rotor devoriga qarab harakat qiladi va fazalarga ajraladi. Fazalarga ajratish jarayoni quyidagicha ro'y beradi: suyuq faza rotorning to'sig'idan o'tib, qurilma qobig'iga yig'iladi va shtuser orqali chiqariladi. Qattiq faza esa, filtrlovchi to'siqda ushlanib qoladi va undan so'ng rotordan tushiriladi.

Ishlash prinsipiga ko'ra sentrifugalar davriy va uzluksiz bo'ladi. Rotor o'qining o'rnatilishiga qarab, gorizontal va vertikal sentrifugalar bo'ladi. Davriy ishlaydigan sentrifugalarda cho'kma qo'l, og'irlik kuchi yoki pichoq yordamida tushiriladi. Uzluksiz sentrifugalarda cho'kma shnek yordamida inersion va pulsatsion kuchlar yordamida tushiriladi.

Filtrlovchi va cho'ktiruvchi sentrifugalarda ajratish jarayonlarining tahlili shuni ko'rsatadiki, cho'ktirish va filtrlash jarayonlar bilan sentrifugalash orasida o'xshashlik ko'p va hamma jarayonlarning umumiy qonuniyatlari ham o'xshashdir.

Sentrifugalarda hosil bo'ladigan markazdan qochma kuch ushbu tenglik bilan ifodalanadi:

$$c = \frac{mw^2}{r} = \frac{Gw^2}{gr} \tag{3.29}$$

bu yerda, m – aylanuvchi jism massasi, kg; G – aylanuvchi jism og'irligi, H; w – rotorning aylanish tezligi, m/s; g – erkin tushish tezlanishi, m^2/s; r – rotor aylanish radiusi, m.

Rotorning aylanish tezligi ushbu tenglikdan topiladi:

$$w = \omega \cdot r = \frac{2\pi n}{60} r \tag{3.30}$$

bu yerda, ω – burchak tezligi, rad/s; n – aylanish soni, ayl/min.

(3.29) va (3.30) tengliklardan markazdan qochma kuchni aniqlaymiz:

$$C = \frac{G}{rg}\left(\frac{2\pi n}{60} r\right)^2 \tag{3.31}$$

yoki

$$C \approx \frac{Grn^2}{900} \tag{3.32}$$

Shunday qilib, rotor diametrini ko'paytirishga qaraganda, uning aylanish sonini oshirish, markazdan qochma kuchning o'sishiga olib keladi.

Sentrifugalarning ish unumdorligi ajratish koeffitsiyentiga bog'liq. Sentrifugalarda ajratish koeffitsiyenti markazdan qochma kuchlar maydonida hosil bo'lgan kuchlanish bilan xarakterlanadi. Sentrifugada hosil bo'layotgan markazdan qochma kuchlar miqdorining og'irlik kuchi tezlanishidan necha marta ko'pligini ko'rsatuvchi kattalik **ajratish koeffitsiyenti** deb nomlanadi:

$$K_a = \frac{w^2}{rg} \tag{3. 33}$$

Sentrifuga rotori aylanish chastotasining ortishi va uning diametri kamayishi bilan markazdan qochma kuch maydonida ajratish samaradorligi ortadi. Agar aylanish tezligini aylanish chastotasi orqali ifodalasak, ajratish koeffitsiyentini aniqlash uchun ushbu ko'rinishdagi formulani olamiz:

$$K_a \approx \frac{n^2 r}{900} \tag{3.34}$$

Ajratish koeffitsiyenti sentrifugalarning muhim xarakteristikasi bo'lib, uning ajratish qobiliyatini aniqlovchi ko'rsatkichdir.

3.8. Tindirish va cho'ktirish qurilmalari

Cho'ktirish jarayoni turli konstruksiyali qurilmalarda, ya'ni cho'ktirgichlarda amalga oshiriladi.

Cho'ktirgichda suspenziya harakati tufayli cho'ktirish jarayoni sodir bo'ladi: qattiq zarrachalar qurilma tubiga cho'kadi va cho'kma qatlami hosil qiladi.

Odatda, cho'ktirgichlarni hisobi o'z ichiga eng mayda zarrachalarni cho'ktirishni ko'zda tutadi.

Cho'ktirgichning solishtirma ish unumdorligini quyidagi formuladan topish mumkin:

$$V = \frac{lbh}{\tau_0} \tag{3.35}$$

bu yerda, l, b, h – qurilmaning geometrik o'lchamlari, m; τ_0 – zarrachalarning o'rtaga cho'kish davomiyligi, s.

Agar cho'ktirgichning ish unumdorligi ma'lum bo'lsa, cho'ktirish yuzasini ushbu formuladan aniqlash mumkin:

$$F = \frac{G}{\rho \cdot w} \tag{3.36}$$

bu yerda, $G=G_m/\tau$ – cho'ktirgichning ish unumdorligi, kg/s; ρ – mahsulot zichligi, kg/m^3.

Tindirish va cho'ktirish uchun mo'ljallangan qurilmalar ishlash prinsipiga ko'ra quyidagilarga bo'linadi: gravitatsion cho'ktirgich, sentrifuga, gidrosiklon va separatorlarga.

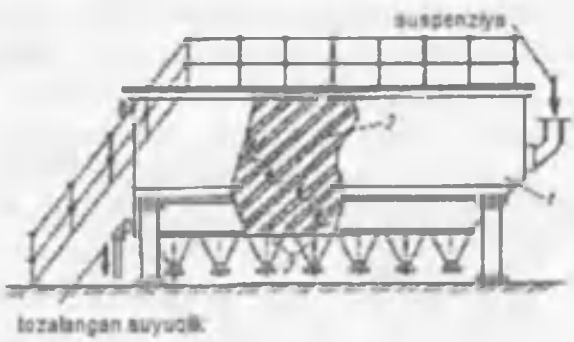
Tindirgichlar uzlukli, yarim uzluksiz va uzluksiz ishlaydigan bo'ladi.

Uzlukli ishlaydigan tindirgich. Bu turdagi qurilma aralashtirgichi bo'lmagan, yassi suv havzasidan iborat. Suv havzasi suspenziya bilan to'ldirilgandan so'ng, to'liq ajralish sodir bo'lguncha, cho'ktirish jarayoni davom etadi.

Undan keyin, cho'kma qatlamidan yuqorida joylashgan shtuserdan tozalangan suyuqlik chiqarib olinadi. Qurilma tubidagi qattiq zarrachalardan bo'lgan cho'kma qo'l yordamida olib tashlanadi.

Cho'ktirgich o'lchamlari va shakli turli jinsli sistema zarrachalari diametri va suspenziya konsentratsiyasiga bog'liq. Suspenziya zichligi va zarrachalarining diametri ortishi, tindirgich o'lchamlarini kamaytirish imkonini beradi.

Tindirish jarayonining davomiyligi dispersion faza qovushoqligiga bog'liq. Ma'lumki, temperatura o'sishi bilan suyuqliklar qovushoqligi pasayadi. Shuning uchun, cho'ktirish jarayonini intensivlash maqsadida suspenziyalar qizdiriladi (agar texnologiyaga zid bo'lmasa).



3.4-rasm. Qiya to'siqli yarim uzluksiz tindirgich.
1 - qobiq; 2 - qiya to'siqlar;
3 - bunkerlar.

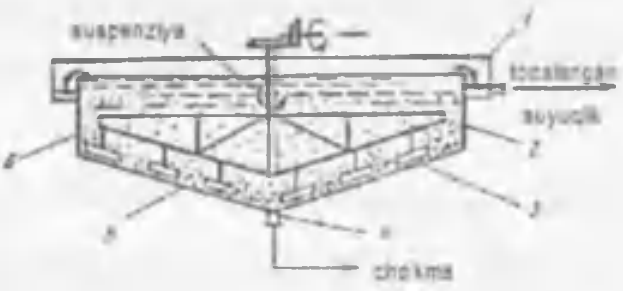
Qiya to'siqli, yarim uzluksiz tindirgich. Suspenziya shtuser orqali qurilmaga kiritiladi va qiya o'rnatilgan to'siq 2 lar yordamida galma-gal yuqoridan pastga va pastdan yuqoriga qarab yo'naltiriladi (3.4-rasm).

Qiya to'siqlar qurilmada suspenziyaning harakat davomiyligi va tindirish yuzasini oshiradi. Hosil bo'ladigan shlam esa, bunker 3 larda yig'iladi va to'lib chiqqandan so'ng jo'mraklar yordamida chiqazib yuboriladi.

Tozalangan suyuqlik tindirgichning tepa qismida o'rnatilgan shtuser orqali chiqariladi.

Kimyo, neft-gaz va oziq - ovqat sanoatlarida uzluksiz ishlaydigan tindirgichlar keng ko'lamda qo'llanilmoqda.

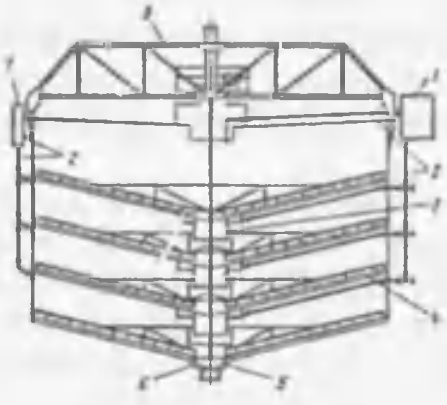
Eshkak aralashtirgichli, uzluksiz ishlaydigan tindirgich. Bunday turdagi tindirgich konussimon tub 5 va silindrik qobiq 6 dan hamda qurilmaning tepa qismidagi halqasimon tarnov 1 dan tarkib topgan bo'ladi (3.5-rasm). Chiqarish lyuki 4 ga cho'kmani uzatish uchun qiya parrakli aralashtirgich 2 da bir necha eshkak o'rnatilgan bo'ladi. Aralashtirgich 0,02...0,5 min^{-1} chastota bilan aylanadi. Truba yordamida suspenziya silindrik qobiq o'rtasiga uzluksiz ravishda uzatiladi. Tozalangan suyuqlik halqasimon tarnovga quyiladi va so'ng tindirgichdan chiqariladi. Hosil bo'lgan shlam diafragmali nasos yordamida qurilmaning pastki qismidan so'rib olinadi. Agar shlam tarkibidagi dispers faza qimmatli yoki kelgusi texnologik jarayonlar uchun yaroqli bo'lsa, u qayta ishlanishga yuboriladi.



3.5-rasm. Eshkak aralashtirgichli uzluksiz ishlaydigan tindirgich.
1-halqasimon tarnov; 2-aralashtirgich; 3-eshkak; 4-lyuk; 5-konussimon tub; 6-silindrik qobiq.

Bu turdagi tindirgichlarda zichligi bir tekisda bo'lgan cho'kmalarga va uni samarali suvsizlantirishga erishsa bo'ladi. Eshkakli tindirgichlar kamchiligi, bu ularning qo'polligidir.

Ko'p qavatli tindirgich. Bunday qurilmalar uzluksiz ishlaydi va bir-biri ustiga o'rnatilgan bir nechta eshkakli tindirgichlardan iborat (3.6-rasm). Har bir qavatlar orasida konussimon to'siqlar joylashtirilgan. Bu to'siqlar tufayli tindirgich yuzasi anchaga ko'payadi va natijada qurilma ixchamroq bo'ladi.



3.6-rasm. Ko'p qavatli tindirgich.
1 – taqsimlovchi moslama;
2 - trubalar; 3 - stakan;
4 - eshkakli aralashtirgich;
5 – to'kish konusi; 6 - qirg'ich;
7 - kollektor; 8 - rom.

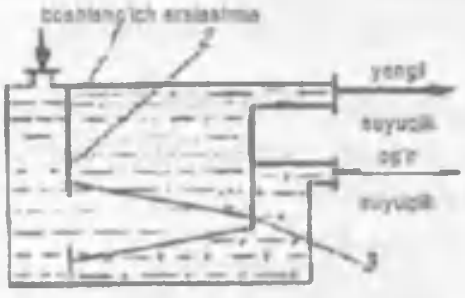
Tindirgich umumiy o'qqa ega bo'lib, unga aralashtiruvchi eshkaklar joylashtiriladi. Suspenziya esa taqsimlovchi moslamadan trubalar orqali har bir qavat stakaniga uzatiladi. Tozalangan suyuqlik halqasimon tarnovlardan o'tib, kollektorda yig'iladi. Har bir yarus shlamni chiqarib yuborish stakanlari bilan ulangan. Yuqorida joylashgan har bir qavat stakanining pastki uchi quyi qavat shlamini ichiga kirib turadi. Shunday qilib, tindirgichning qavatlari shlam bo'yicha ketma-ket ulangan. Hosil bo'layotgan shlam faqat eng pastki qavatning ichida qirg'ich o'rnatilgan to'kish konusidan chiqariladi.

Emulsiyalarni uzluksiz ajratish tindirgichi bir necha qismdan iborat (3.7-rasm). Emulsiya qurilmaning chap qismiga beriladi va u yerdan o'rta separatsion kameraga uzatiladi.

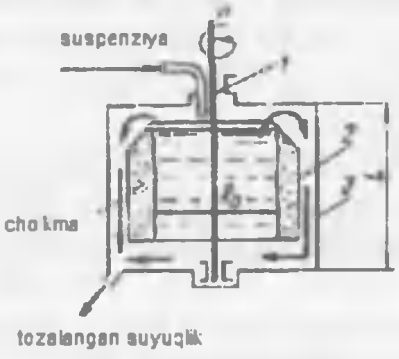
Chap to'siq 2 aralashma sathi balandligini rostlash imkonini beradi. Separatsion qismda boshlang'ich aralashma og'irlik kuch ta'sirida fazalarga ajraydi. Yengil faza

tepaga ko'tariladi va tindirgichning yuqorisidagi shtuserdan oqib chiqadi. Og'ir faza esa, o'ng to'siq 3 ostidan o'tib pastga tushadi va qurilma tubidagi shtuserdan oqib chiqadi.

Cho'ktiruvchi sentrifuga. Bu turdagi qurilmalar rotori yaxlit metalldan tayyorlanadi (3.8-rasm). Ularning ishlash prinsipi xuddi tindirgichlarnikiga o'xshashdir. Boshlang'ich aralashma qurilma rotoriga truba orqali uzatiladi. Rotor 2 ning aylanishi natijasida markazdan qochma kuch ta'sirida zichligi yuqori bo'lgan zarrachalar rotorning ichki yuzasiga to'planadi, zichligi kamrog'i esa, aylanish o'qiga yaqinroq joyda yig'iladi. Tozalangan suyuqlik, ya'ni fugat, qobiq 3 dagi shtuser orqali tashqariga chiqariladi. Rotor devorida hosil bo'lgan cho'kma esa, jarayon tugagandan so'ng to'kiladi.



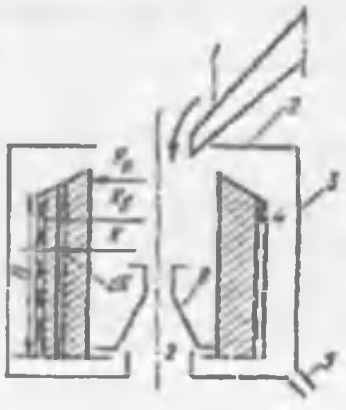
3.7-rasm. Emulsiyalarni uzluksiz ajratish uchun tindirgich.
1-qobiq; 2-chap to'siq;
3-o'ng to'siq.



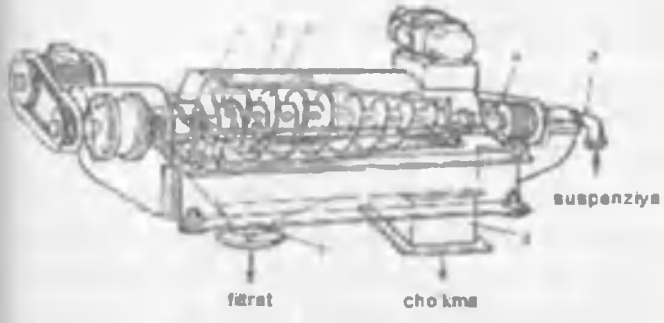
3.8-rasm. Cho'ktiruvchi sentrifuga.
1-o'q; 2-rotor; 3-qobiq.

Filtrlovchi sentrifuga. Ushbu sentrifuga qobiq 3 ichida o'rnatilgan aylanuvchi rotor 4 dan tashkil topgan. Rotor devori teshik, to'rsimon bo'lib, uning ichki yuzasi filtrlovchi material bilan qoplangan (3.9-rasm).

Rotor elektr yuritkich yordamida aylantiriladi. Aylanma harakat tufayli rotor 4 ichidagi suyuqlikga markazdan qochma kuch ta'sir qila boshlaydi. Natijada gidrostatik bosim hosil bo'ladi va u jarayonni harakatga



3.9-rasm. Filtrlovchi sentrifuga.
1-suspenziya berish trubasi;
2-cho'kma tushiradigan teshik;
3-qobiq; 4-rotor; 5-fugat
chiqarish shtuseri; 6-konus.



3.10-rasm. Uzluksiz ishlaydigan, cho'kmani shnekda to'kuvchi gorizontal cho'ktiruvchi sentrifuga.
1-qobiq; 2-rotor; 3-shnekli moslama;
4-g'ovak o'q; 5-markaziy truba;
6-cho'kma kamerasi; 7-fugat chiqarish patrubkasi.

keltiruvchi kuchi deb ataladi. Ushbu kuch ta'sirida aralashma filtrlovchi material va rotor devorida hosil bo'lgan cho'kma qatlamidan o'tib tozalanadi. Bunday sentrifugalarda jarayon uch bosqichda o'tadi: a) cho'kma hosil qilish va filtrlash; b) cho'kma qatlamining zichlanishi; d) cho'kmadan suyuq faza-

ni ajratish. Jarayonda hosil bo'lgan fugat shtuser 5 dan tashqariga chiqariladi. Jarayon tamomlangandan so'ng, cho'kma suv bilan yuviladi. Hamma bosqichlar tugagandan keyin sentrifuga to'xtatiladi, so'ng esa konus 6 tepaga ko'tariladi va cho'kma to'kiladi.

Uzluksiz ishlaydigan, cho'kmani shnekda to'kuvchi gorizontal cho'ktiruvchi sentrifuga (NOGSH). Ushbu qurilma rotor 2 va qobiq 1 da o'rnatilgan shnekli moslama 3 lardan tarkib topgan (3.10-rasm). Suspenziya markaziy truba 5 orqali g'ovak o'q 4 ga uzatiladi. Ushbu trubadan chiqishda suspenziya markazdan qochma kuch ta'sirida rotor bo'shlig'ida taqsimlanadi. Qobiqdagi g'ovak sapfalarda rotor 2 aylanib turadi. Shnek esa, rotor ichidagi sapfalarda aylanadi. Markazdan qochma kuch ta'sirida qattiq zarrachalar rotor devoriga qarab harakat qiladi, suyuqlik esa ichki halqa hosil qiladi. Bu suyuqlik halqasining qalinligi rotor yon tomonidagi to'kish teshiklarining joylashishi bilan aniqlanadi. Rotor bo'ylab cho'kma harakat qilganda yo'l - yo'lakay zichlanib boradi. Texnologik zaruriyat bo'lsa, cho'kma yuvilishi ham mumkin.

Fugat esa, to'kish teshiklar orqali fugat kamerasiga yig'iladi va patrubka 7 dan tashqariga chiqariladi.

NOGSH tipidagi sentrifuga katta ish unumdorlikka ega va yuqori konsentratsiyali mayin, dispers suspenziyalarni ajratish uchun qo'llaniladi. Bunday sentrifugalarning suspenziya bo'yicha ish unumdorligi ushbu formuladan topiladi:

$$V = \frac{3{,}5D_T^2 \cdot L_T(\rho_3 - \rho)d^2n^2}{\mu} \qquad (3.37)$$

bu yerda, D_T, L_T – to'kish silindrining diametri va uzunligi, m; ρ_3, ρ – zarracha va muhit zichliklari, kg/m^3; d – zarrachaning eng kichik diametri, m; n – rotorning aylanish chastotasi, min^{-1} ; μ – dinamik qovushoqlik koeffitsiyenti, Pa•s.

Cho'ktiruvchi sentrifugalar ish unumdorligi esa ushbu formuladan hisoblanadi:

$$V = \eta F w_x \qquad (3.38)$$

bu yerda, η – proporsionallik koeffitsiyenti; $F = 2\pi R_0 L$ – rotordagi suspenziya ko'zgusi maydonining yuzasi (bu yerda R_0 – suspenziya halqasimon qatlamining ichki radiusi, m; L – rotor uzunligi, m) m^2; $ws = w_{cho'k} \cdot K$ – markazdan qochma kuch ta'siridagi cho'kish tezligi, m/s (bu yerda $w_{cho'k}$ – og'irlik kuchi ta'sirida cho'kish tezligi, m/s; K – ajratish koeffitsiyenti).

(3.38) tenglama yordamida cho'kmani pichoq bilan kesib oladigan cho'ktiruvchi sentrifuga ish unumdorligini hisoblash formulasini keltirib chiqarish mumkin:

$$V = 25{,}3 \cdot \eta L n^2 R_0^2 w_{cho'k} \cdot k \qquad (3.39)$$

bu yerda, k – suspenziya o'zatish vaqtining sentrifuga umumiy ishlash vaqtiga nisbati.

Tarelkali separator. Bu turdagi qurilmalar qobiq 1 ichida joylashgan rotor va tarelkalar dastasi 8 lardan tarkib topgan (3.11-rasm).

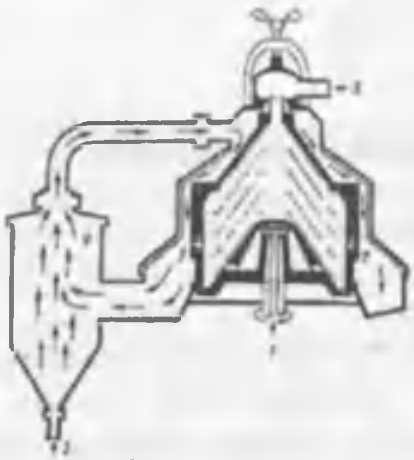
Separatorga suspenziya berilishi tashqi halqasimon truba orqali amalga oshiriladi (3.11b-rasm). Suspenziya ko'p teshikli tarelka ostiga uzatiladi va markazdan qochma kuch ta'sirida qisman ajratiladi. Undan so'ng, suspenziya 2 yuqorida joylashgan tarelkalar orasiga ko'tariladi. Tarelkalar dastasi zarrachalar erkin cho'kish masofasini kamaytirish hisobiga separatsiya jarayonining samaradorligini oshiradi. Agar ajratib olingan zarrachalar tarelkaning pastki yuzasiga yetib kelgan bo'lsa, unda ular butun aralashmadan ajratib olingan deb hisoblasa bo'ladi.

Cho'kkan zarrachalar ichki soplolardan halqasimon trubaga o'tadi va separatordan chiqarib yuboriladi. Tozalangan suyuqlik chetdagi trubadan chiqariladi.

3.11-rasm. Tarelkali separator.

a - umumiy ko'rinish; b - tarelkalar ishlash sxemasi. 1-qobiq; 2-ichki soplo; 3-uzatma; 4-rom; 5-ishchi valning almashinish vtulkasi; 6-rostlovchi truba; 7-yuvish sistemasi klapani; 8-tarelkalar dastasi.

Soploli separatorlarning bir turi bo'lib **baktofuga** hisoblanadi (3.12-rasm). Baktofuga germetik, yuqori tezlikda aylanuvchi soploli separator bo'lib, aralashmalarni tozalash uchun mo'ljallangan. Ushbu separator tarkibida sovitish g'ilofi va konsentratni deaeratsiya qilish sikloni ham bo'ladi.



3.12-rasm. Baktofuga sxemasi.

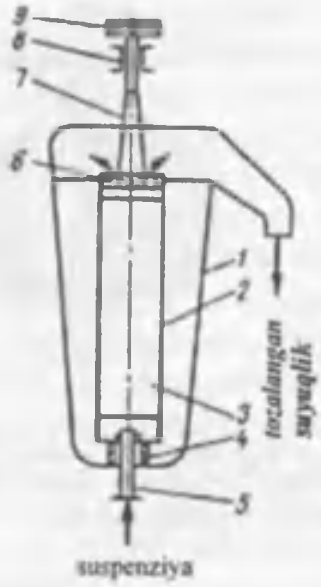
1-g'ovak o'q orqali boshlang'ich suyuqlik kirishi; 2-soplo orqali konsentrat chiqishi; 3-siklondan deaeratsiya qilingan konsentrat chiqishi uchun shtuser; 4-siklonda sirkulatsiya qilingan havo oqimi; 5-baktofugada tozalangan suyuqlik chiqish shtuseri.

Baktofugalar afzalliklari: yuqori ajratish koeffitsiyenti; konsentrat qattiq zarrachalari uzluksiz ravishda to'kilib turadi; texnologik va tozalangan suyuqliklar kirishi va chiqishining germetikligi, separatsiya jarayonida uning sovitilishi; ifloslangan havo sirqib ketish oldini oluvchi moslama borligi.

Hosil bo'layotgan cho'kmani uzluksiz to'kib turish uchun chetda joylashgan 2 ta soplo mo'ljallangan. Texnologik suyuqlik g'ovak o'q 1 ning pastki qismiga yuboriladi va markazdan qochma kuch ta'sirida hamma tarelkalarga bir xilda taqsimlanadi. Og'ir faza uzluksiz ravishda ozgina miqdordagi suyuq faza bilan soplo orqali chiqariladi. Tozalangan suyuqlikning asosiy qismi shtuser 5 orqali chiqariladi. Soplodan chiqayotgan nam konsentrat sentrifuga qopqog'ida yig'iladi, so'ng esa deaeratsiya uchun siklonga yuboriladi.

Tayyor konsentrat siklonning shtuseri 5 dan to'kiladi. Ifloslangan havo siklon va baraban qopqog'i orqali sirkulatsiya qiladi. Bunday baktofugalar sut tarkibidagi bakteriyalarni tozalash (99% gacha), farmatsevtika sohasida cho'kib qolgan oqsillar (gamma – globulin) va turli fermentlarni ajratib olish uchun qo'llaniladi.

O'ta samarali sentrifuga rotorining kichik diametri d < 200 mm bo'lib, katta tezlikda (< 4500 min^{-1}) aylanadi. Bu qurilmalarning ajratish koeffitsiyenti 15000 ga teng (3.13-rasm).



3.13-rasm. O'ta samarali sentrifuga.
1 - qobiq; 2 - rotor; 3 - parrak; 4 – pod-nyatnik; 5- truba; 6 - tozalangan suyuqlik chiqish teshigi;

Bu turdagi sentrifugalarda juda mayin dispers suspenziya va emulsiya (yog'sizlantirilgan sut) lar ajratiladi.

3.8.1. Cho'ktirish qurilmalarini hisoblash

Tindirgichni hisoblash. Suvli suspenziyaning (ρ_2=1000 kg/m^3) qattiq zarralarini cho'ktirish uchun uzluksiz ishlovchi qurilma hisoblansin. Cho'kayotgan zarralarning eng kichik diametri d=36 mkm. Qattiq zarralarning massaviy konsentratsiyasi V=5% bo'lganda cho'ktirgichning unumdorligi suspenziya bo'yicha V=30000 kg/soatni tashkil etadi. Qattiq fazaning nisbiy massasi $\Delta_{q.f.}$=3,2. Quyuqlashish zonasidagi o'rtacha aralashish nisbati $Q:S$=1:3. Suspenziya temperaturasi 30°C. Shlamning namligi 70%, ya'ni cho'kmadagi qattiq zarralarning konsentratsiyasi V=30% (mass). t=30°C temperaturada suvning kinematik qovushqoqligi ν_2=0,805·10^{-6} m^2/s.

Cho'kuvchi qattiq zarralarning minimal o'lchami d<100 mkm bo'lgani uchun, ularning cho'kishi Stoks qonuniga bo'ysunadi. Shuning uchun cho'kishning nazariy tezligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$w_{ch} = \frac{gd^2(\rho_1 - \rho_2)}{18\nu_2\rho_2} = \frac{9,81(36\cdot10^{-6})^2\cdot(320-100)}{18\cdot0,805\cdot10^{-6}\cdot100} = 0,002m/s$$

Yuqoridagi formuladan Re≤0,2 bo'lganida foydalanish mumkin.

$$\mathrm{Re} = \frac{w_{ch}\cdot d}{\nu_2} = \frac{0,002\cdot36\cdot10^{-6}}{0,805\cdot10^{-6}} = 0,08 < 0,2$$

Demak, tezlikni aniqlashda yuqoridagi formuladan o'rinli foydalanganmiz.
Qattiq zarralar cho'kishining haqiqiy tezligi:

$$w_{qz} = 0,5w_{ch} = 0,5\cdot0,002 = 0.001m/s$$

Suspenziyani dastlabki holidagi suyuq faza miqdori:

$$V_s = 30000\left(\frac{100-5}{100}\right) = 28500kg/soat = 28,5m^3/soat$$

Qattiq faza miqdori:

$$V_k = 30000 - 28500 = 1500 kg / soat = 1,5 m^3 / soat$$

Tindirgichga kirayotgan suspenziyadagi qattiq zarralar konsentratsiyasi:

$$x_\delta = \frac{B}{100 - B} = \frac{5}{100 - 5} = 0,053$$

Quyuqlashgan suspenziyadagi qattiq zarrachalar konsentratsiyasi:

$$x_{qs} = \frac{5}{100 - 15} = 0,177$$

Tindirgichning maydoni:

$$F = 1,33 \cdot V_c \cdot \frac{x_{qs} - x_\delta}{3600 \omega_{cho'k} x_{qs}} = 1,33 \cdot 28,5 \frac{0.177 - 0.053}{3600 \cdot 0,001 \cdot 0,177} = 7,4 m^2$$

Tindirgichning diametri:

$$D = \sqrt{1,27 \cdot F} = \sqrt{1,27 \cdot 7,4} = 3,06 m \approx 3,0 m$$

Quyuqlanish zonasidagi suspenziyaning nisbiy massasi:

$$\Delta_{qs} = \frac{\Delta_{qf}(n+1)}{\Delta_{qf}(n+1)} = \frac{3,2 \cdot (3+1)}{3,2 \cdot 3 + 1} = 1,2$$

bu yerda, $n=C/Q=3,0$ – suspenziyani suyuqlanish zonasida o'rtacha aralashish kattaligi; S, Q – mos ravishda suyuq. qattiq fazalarning quyuqlanish zonasidagi nisbiy miqdori.

Quyuqlanish zonasidagi suspenziya konsentratsiyasi:

$$x_{qs} = \frac{1}{1+n} = \frac{1}{1+3.0} = 0.25$$

1 m^3 quyuqlashgan suspenziyadagi qattiq faza miqdori:

$$g_{qf} = g \rho \Delta_c x_{qf} = 9,81 \cdot 100 \cdot 1,2 \cdot 0,25 = 300 kg / m^3$$

Tindirgichning 1 m^2 erkin yuzasida τ=1soat vaqt davomida hosil bo'luvchi qattiq faza miqdori:

$$G_{qf} = \frac{4 G_k \tau}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 1500 \cdot 1}{3,14 \cdot 3,0^2} = 212 kg / m^2$$

Cho'kma uzluksiz chiqarilib turilgani uchun quyuqlanish zonasining balandligini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$h_2 = \frac{G_{qf}}{g_{qf}} = \frac{212}{300} = 0,71 m$$

Tindirgichda ajratilgan suspenziyani suyulishini ($Q:S$=1:10) e'tiborga olib erkin cho'kish zonasining balandligini h_1=0,5 m deb qabul qilamiz.

Aralashtirgich parraklarining joylashish zonasini balandligi:

$$h_3 = 0,146 \frac{D}{2} = 0,146 \frac{3}{2} = 0,22 m$$

Shunday qilib, tindirgichning umumiy balandligi:

$$H = 0,5 + 0,71 + 0,22 = 1,43 m$$

Tindiruvchi sentrifugani hisoblash. Soatiga 15 m^3 suspenziyani uzlukli ishlaydigan tindiruvchi sentrifuga hisoblansin. Solishtirma og'irligi γ_1=2700 kg/m^3 va tarkibida qattiq faza miqdori C_c=25%. Suspenziya solishtirma og'irligi γ_2=1000

kg/m^3 , qovushqoqlik koeffitsiyenti $\mu = 1 \cdot 10^{-6}$ kg·s/ m^2 , qattiq kristallar o'lchami $d = 10$ *mkm*. Katalog-spravochnikdan cho'kmani pichoq bilan kesib oladigan AOG - 800 rusumli avtomatik sentrifugani tanlaymiz.

AOG -800 sentrifuga texnik xarakteristikasi:

Rotor ichki diametri D..... 800 *mm*
Rotor uzunligi L..... 400 *mm*
Rotor aylanishlar soni ..... 1700 *ayl/min.*

$$V_o = \pi R^2 \cdot L = 3,14 \cdot 0,4^2 \cdot 0,4 = 0,2m^3$$

Rotor 50% ga to'ldirilgan holatda suspenziya qatlamining ichki diametri quyidagiga teng:

$$r_1 = 0,71 \cdot R = 0,71 \cdot 0,4 = 0,285m$$

Suspenziyaning o'rtacha radiusi :

$$r_{o'r} = 0,85 \cdot R = 0,85 \cdot 0,4 = 0,34m$$

Rotordagi suspenziyaning hajmi:

$$V_o = \pi(R^2 - r_1^2) = 3,14 \cdot (0,4^2 - 0,2^2) \cdot 0,4 = 0,1m^3$$

Sentrifuganing ajratish omili :

$$\Phi_p = \frac{0,85 \cdot n^2 \cdot R}{900} = \frac{0,85 \cdot 1700^2 \cdot 0,4}{900} = 1100$$

Markazdan qochma maydonda qattiq zarrachalarning cho'kishi Stoks qonuniga bo'ysunadi deb hisoblasak, unda cho'kish tezligi ushbu formuladan topiladi:

$$w_o = \frac{d^2 \cdot (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot \Phi_p}{18\mu} = \frac{(10 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (2700 - 1000)}{18 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 10,4m/s$$

Unda, cho'kish jarayoning davomiyligi quyidagidan aniqlanadi:

$$\tau_{oc} = \frac{R - r_1}{w_o} = \frac{0,4 - 0,285}{10,4} = 0,11s$$

Tajriba ma'lumotlariga tayanib, sentrifugani ishga tushirish davri $\tau_p = 1,5$ *min* = 90 *s* , to'xtatish davomiyligini $\tau_m = 1$ *min* = *60 s* va cho'kmani mashinadan to'kish vaqtini $\tau_r = 0,5$ *min* = 30 *s* deb qabul qilamiz. Unda, to'liq siklli sentrifugalash jarayonining umumiy davomiyligining

$$\sum \tau = \tau_{oc} + \tau_{\Pi} + \tau_{M} + \tau_p = 0,011 + 90 + 60 + 30 = 180,011s$$

Sentrifuga unumdorligi:

$$V = \frac{1800V_b}{\Sigma\tau} = \frac{1800 \cdot 0,2}{180,011} = 2m^2 / soat$$

Shunday qilib, soatiga 15 m^3 suspenziyani ajratish uchun AOG-800 rusumli sentrifugadan 8 dona o'rnatish zarur.

Baraban massasi inersiyasini yengish uchun sarflanadigan quvvat ushbu formuladan aniqlanadi:

$$N_1 = \frac{G_b\omega^2}{2g \cdot 102 \cdot \tau_n} = \frac{500 \cdot 71^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 102 \cdot 90} = 14,1kVt$$

bu yerda, G_b=500 – yuklanmagan baraban og'irligi; ω – barabanning aylanish tezligi:

$$w = \omega R = \frac{\pi nR}{30} = \frac{3,14 \cdot 1700 \cdot 0,4}{30} = 71m/s$$

Material massasining inersiyasini yengish uchun sarflanadigan quvvat ushbu formuladan aniqlanadi:

$$N_2 = \frac{0,19V_b\gamma_c w^2}{g \cdot 102 \cdot \tau_n} = \frac{0,19 \cdot 0,2 \cdot 1190 \cdot 71^2}{9,81 \cdot 102 \cdot 90} = 2,53kVt$$

bu yerda, V_b – suspenziyaning hajmiy og'irligi:

$$\gamma_c = \frac{100\gamma_1 \cdot \gamma_2}{100\gamma_1 - (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot C_c} = \frac{100 \cdot 2700 \cdot 1000}{100 \cdot 2700 - (2700 - 1000) \cdot 25} = 1190kg/m^3$$

O'qni podshipniklarda ishqalanishini yengishga sarflanadigan quvvat quyidagi formuladan topiladi:

$$N_3 = \frac{f \cdot G_b \cdot w_v}{102} = \frac{0,1 \cdot 700 \cdot 5,35}{102} = 36,6kVt$$

bu yerda G=700 kg – yuklangan material va sentrifuganing hamma aylanuvchi qismlarining umumiy og'irligi; w_v – o'q sapfasining aylanma tezligi.

$$w_v = \omega R = \frac{\pi nd_v}{30} = \frac{3,14 \cdot 1700 \cdot 0,06}{30} = 5,35m/s$$

Barabanni havoga ishqalanishini yengishga sarflanadigan quvvat ushbu tenglamadan topiladi:

$$N_4 = 10^{-8} \cdot R^5 \cdot n^3 = 10^{-8} \cdot 0,4^5 \cdot 1700^3 = 0,5031kVt$$

Sentrifugani ishga tushirish paytida iste'mol qilayotgan quvvati:

$$N_n = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 = 14,1 + 2,53 + 3,66 + 0,5031 = 20,793kVt$$

Unda, sentrifuga elektr yuritkichining quvvati:

$$N_{dv} = \frac{N_n}{0,9} = \frac{20,793}{0,9} = 23,1 kVt$$

Filtrlovchi sentrifugani hisoblash. Soatiga 70 m^3 suspenziyani uzlukli ishlaydigan filtrlovchi sentrifuga hisoblansin. Solishtirma og'irligi γ_1=2700 kg/m^3 va tarkibida qattiq faza miqdori S_s=30 %. Suspenziya solishtirma og'irligi γ_2=1000 kg/m^3 , qovushqoqlik koeffitsiyenti μ= $1 \cdot 10^{-6}$ kg s/ m^2 . Ushlanayotgan qattiq kristallarning minimal o'lchami d= 10 *mkm.* Cho'kmaning oxirgi namligi W=10% , fugatdagi qattiq faza miqdori C_ϕ=5%.. Katalog-spravochnikdan cho'kmani pichoq bilan kesib oladigan AG -800 rusumli gorizontal avtomatik sentrifugani tanlaymiz.

AG-1800 rusumli sentrifuganing texnik xarakteristikalari

Rotor ichki diametri ..... D=1800mm
Rotor tashqi diametri ..... D_1=1848 mm
Halqasimon dnishche ichki diametri..... d_o=1300 mm
Rotorning ichki uzunligi..... L=700 mm
Rotorning tashqi uzunligi ..... L_1=780 mm
Rotorning ishchi hajmi..... V_n=1050 m^3
Rotor hajmini cho'kma b-n to'ldirilish koeffitsiyenti... ψ_1=0,8
Rotor aylanishlar soni..... n=720 ob/min
Yuklash davomiyligi .....τ_p=2 min
Kesish davomiyligi .....τ_p=2 min
Pichoqning kesish uchining uzunligi..... b=680 mm

Laboratoriya sentrifugasida olingan tajriba ma'lumotlari :

Rotor diametri ..... D_1=200 mm
Rotor uzunligi..... l=75 mm
Rotorning foydali hajmi ..... V_p=1,2 l
Ajratish omili ..... F_r=425

shuni ko'rsatdiki, 9% li cho'kma hosil qilish uchun uni 5 daqiqa davomida siqish kerak. Shu bilan birga, cho'kma qatlamining qalinligi sezilarli ravishda sentrifugalash jarayoniga ta'sir etmadi.

Cho'kmani to'kish davomiyligi τ_v=1 min. bo'lgani uchun sanoat qurilmasining sentrifugalash jarayonining to'liq sikli ushbu tenglamadan hisoblab topiladi:

$$\tau_1 = \tau + \tau_s = 5 + 1 = 6 \min.$$

$\tau_{cp} = \tau_1$=6 min. bo'lganda sentrifugalash siklining to'liq davomiyligi ushbuga teng bo'ladi:

$$\tau_0 = \tau_1 + \tau_{o'r} = 6 + 6 = 12 \min.$$

Filtrlash bosimi o'zgarmas qilib ushlab turilganda va τ_1'= 10 min. bo'lganda 8 l fugat olingan.

Rotorning burchak tezligi:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 720}{30} = 75,4 s^{-1}$$

Ajratish omili esa,

$$\Phi_p = \frac{\omega^2 \cdot D}{2g} = \frac{75,4 \cdot 1,8}{2 \cdot 9,81} = 522$$

Unda, rotorning foydali hajmi V_n= 1050 l va ajratish omili F_r=700 bo'lgan AG-180 rusumli sentrifuganing o'rtacha unumdorligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$V_{o'r} = V_x \cdot \sqrt{\frac{D \cdot L \cdot \Phi_p \cdot V_n \cdot \tau_1}{D_e \cdot l \cdot \Phi_n \cdot V_n \cdot \tau_1'}} = \frac{8 \cdot 60}{10 \cdot 10^3} \cdot \sqrt{\frac{1,8 \cdot 0,7 \cdot 700 \cdot 1050 \cdot 6}{0,2 \cdot 0,075 \cdot 425 \cdot 1,2 \cdot 10}} = 12,9 m^3 / soat$$

Shunday qilib, soatiga 70 m^3 suspenziyani ajratish uchun AG-1800 rusumli 7 ta sentrifuga o'rnatilishi zarur.

Suspenziyaning hajmiy og'irligi

$$\gamma_c = \frac{100\gamma_1 \cdot \gamma_2}{100\gamma_1 - (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot C_c} = \frac{100 \cdot 2700 \cdot 1000}{100 \cdot 1000 - (2700 - 1000) \cdot 30} = 1230 kg / m^3$$

Cho'kmaning hajmiy og'irligi

$$\gamma_{oc} = \frac{100\gamma_1 \cdot \gamma_2}{100\gamma_2 + (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot W} = \frac{100 \cdot 2700 \cdot 1000}{100 \cdot 1000 + (2700 - 1000) \cdot 10} = 2308 kg / m^3$$

Suspenziyadagi suyuq fazaning hajmiy ulushi:

$$\alpha = \frac{\gamma_1 - \gamma_c}{\gamma_1 - \gamma_2} = \frac{2700 - 1230}{2700 - 1000} = \mathbf{0,865}$$

Nam cho'kmadagi suyuq faza ulushi:

$$\beta = \frac{\gamma_1 - \gamma_{oc}}{\gamma_1 - \gamma_2} = \frac{2700 - 2308}{2700 - 1000} = \mathbf{0,230}$$

Ishchi hajmning to'liq hajmga nisbati:

$$\psi = 1 - \frac{d_o^2}{D^2} = 1 - \frac{1,3^2}{1,8^2} = 0,48$$

Ajratilayotgan suspenziyaga kinetik energiya berish uchun sarflanadigan quvvat:

$$N_1 = \frac{\psi_1 \cdot \Phi_p \cdot V_n \cdot D}{300 \cdot \tau} \cdot \left[\left(1 - \frac{\psi_1 \cdot \psi}{2} \right) \cdot \gamma_{oc} + (\alpha - \beta) \cdot \gamma_2 \right] =$$

$$= \frac{0,8 \cdot 700 \cdot 1050 \cdot 1,8}{300 \cdot 2 \cdot 60} \cdot \left[\left(1 - \frac{0,8 \cdot 0,48}{2} \right) \cdot 2308 + (0,865 - 0,230) \cdot 1000 \right] = 75,33 o.k.$$

bu yerda, $\tau = \tau_n \cdot 60$, sekund.

Yuklanmagan rotor og'irligi G_p=3200 kg,

Cho'kma og'irligi

$$G_{oc} = V_n \cdot \psi_1 \cdot \gamma_{oc} = 1,05 \cdot 0,8 \cdot 2300 = 1932 kg$$

Yuklanayotgan xomashyo va rotor og'irligi :

$$G = G_p + G_{oc} = 3200 + 1932 = 5132 kg$$

Podshipnikka ta'sir etayotgan dinamik yuklama ushbu usulda hisoblanadi:

$$P = Q \cdot \left(1 + 0,002 \cdot \Phi_p \right) = 12317 kg$$

Podshipnikdagi ishqalanishni yengish uchun sarflanadigan quvvat ushbu tenglamadan topiladi:

$$N_2 = \frac{Pd\omega}{150} = \frac{0,01 \cdot 9750 \cdot 0,16 \cdot 75,4}{150} = 7,8 o.k.$$

bu yerda, $d = d_1 = d_2$=0,16 m.

Rotor va suspenziyadagi ishqalanishni yengish uchun sarflanadigan quvvat quyidagi tenglikdan aniqlanadi:

$$N_3 = 15,4 \cdot 10^{-6} \cdot \gamma \cdot L^1 \cdot \omega^3 \cdot \left(r^4 + R^4 \right) = 15,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,3 \cdot 0,78 \cdot 75,4^3 \left(0,65^4 + 0,924^4 \right) =$$

$$= 6,15 o.k.$$

Agar cho'kma qalinligi quyidagiga teng bo'lsa,

$$\Delta = R - r_n = R - \sqrt{R^2 - \frac{V_n}{\pi L}} = 0,9 - \sqrt{0,9^2 - \frac{0,84}{3,14 \cdot 0,7}} = 0,244 m$$

$$V_n = V_n \cdot \psi_1 \cdot 10^{-3} = 1,05 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,84 m^3$$

Uni qirqish uchun sarflanadigan quvvat ushbu formuladan topiladi,

$$N_4 = \frac{\pi \cdot b \cdot \Delta \cdot \left(R - \frac{\Delta}{2}\right) \cdot k \cdot 10^5}{225\tau_{sr}} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}68 \cdot 0{,}244\left(0{,}9 - \frac{0{,}244}{2}\right) \cdot 0{,}4 \cdot 10^5}{225 \cdot 2} =$$

$36 o.k.$

Shunday qilib, sentrifugani normal ishlashi uchun zarur bo'lgan quvvat quyidagiga teng:

a) xomashyoni yuklash davrida

$$N_{yuklash} = N_1 + N_2 + N_3 = 75{,}33 + 9{,}9 + 6{,}15 = 91{,}4 o.k.$$

b) mahsulotni qirqish vaqtida

$$N_{qirqish} = N_2 + N_3 + N_4 = 9{,}9 + 6{,}15 + 36 = 52{,}05 o.k.$$

3-bob. Gidromexanik jarayonlar bo'yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

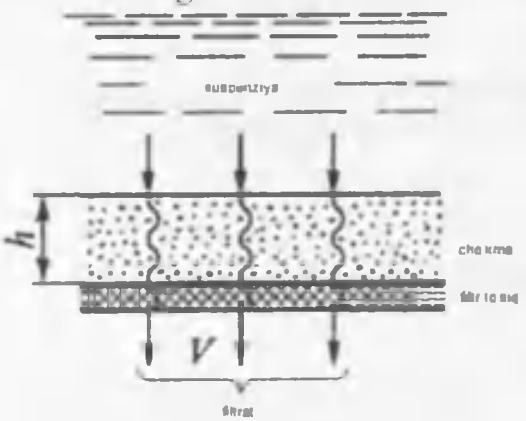
1. Turli jinsli sistema nima?
2. Dispers va dispersion fazalar nima?
3. Turli jinsli sistema qanday guruhlarga bo'linadi?
4. Suspenziya nima?
5. Emulsiya nima?
6. Ko'pik nima?
7. Changning ta`rifini bering.
8. Tutun gazlari ta'rifini bering.
9. Tumanlar ta'rifini bering.
10. Turli jinsli sistemalarni qanday ajratish usullari mavjud?
11. Qattiq jismni suyuqlikda cho'kish mexanizmi va cho'kish tezligi formulasini yozing.
12. Qattiq jismni gazda cho'kish mexanizmi va cho'kish tezligi formulasini yozing.
13. Arximed kriteriysining fizik ma'nosi va formulasini yozing.
14. Markazdan qochma kuch ta'sirida cho'ktirishning mexanizmi.
15. Markazdan qochma kuch va uning formulasini yozing.
16. Ajratish koeffitsiyentining ma'nosi va nimani aniqlash imkonini beradi?
17. Qiya to`siqli tindirgich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
18. Eshkak aralashtirgich tindirgich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
19. Emulsiyalarni ajratuvchi tindirgich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
20. Cho'ktiruvchi sentrifuga konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
21. Filtrlovchi sentrifuga konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.

FILTRLASH

3.9. Umumiy tushunchalar

Turli jinsli sistemalarni g'ovak filtr to'siqlar yordamida fazalarga ajratish jarayoniga **filtrlash** deyiladi. Filtr to'siqlar aralashmaning qattiq (dispers) fazasini ushlab qoladi, suyuq (dispersion) fazasini o'tkazib yuborish qobiliyatiga ega. Filtr to'siqlar yoki bundan buyon filtrlar sifatida g'ovakli materiallar qo'llaniladi (masalan, to'r pardalar, karton, gazlamalar, sochiluvchan materiallar, shag'al, qum, g'ovak polimer materiallar, keramika, metallokeramika va boshqalar).

Filtrlash jarayoni bosimlar farqi yoki markazdan qochma kuchlar maydoni ta'sirida amalga oshiriladi.



Filtr to'siq va cho'kma qatlami orqali suyuqlikning o'tish sxemasi.

Filtrlash intensivligi suspenziya sifati, ya'ni dispers faza cho'kmasi qarshiligining miqdoriga, karton, shilimshiq va kolloid moddalar bor-yo'qligiga bog'liqdir.

Turli jinsli sistemalarni ajratish paytida filtr konstruksiyasi yoki filtrlovchi sentrifuga, filtr to'siq va filtrlash rejimlarini tanlash zarurati tug'iladi.

Kimyo, oziq - ovqat va boshqa sanoatlarda cho'kma hosil qilish yo'li bilan filtrlash keng tarqalgan.

Masalan, shakarpazlikda filtrlash qiyomlarni tozalash, cho'kmani saturatsion sharbatdan ajratish uchun qo'llaniladi. Pivo pishirishda esa, ushbu jarayon suslodan ***qattiq fazani*** ajratish va tayyor mahsulotni tindirish uchun ishlatiladi. Undan tashqari, vinopazlik, liker – aroq va sharbatlar ishlab chiqarish sanoatlarida filtrlash jarayonidan keng miqyosda foydalaniladi.

Kimyo, non pishirish, tegirmon va spirt sanoatlarida gazlarni tozalash uchun filtrlash jarayoni ishlatiladi.

Filtrlash jarayonida siqiluvchi va siqilmaydigan cho'kmalar hosil bo'ladi. Siqiluvchi cho'kma zarrachalari bosim ortishi bilan qatlam deformatsiyaga uchraydi va uning o'lchami kamayadi. Siqilmaydigan cho'kmada bosim ko'payishi bilan qatlam shakli va o'lchami o'zgarmaydi.

Amalda filtrlashdan keyin quyidagi qo'shimcha jarayonlar qo'llaniladi:

a) cho'kmani yuvish;

b) cho'kmani havo yoki inert gazlar oqimi bilan tozalash;

d) cho'kmani quritish;

Filtrlash jarayonining unumdorligi va olingan filtratning tozaligi filtr to'siqlar xususiyatlariga bog'liq. Filtr to'siqlar g'ovak, teshiklari katta va gidravlik qarshiligi kichik bo'lishi kerak. Filtr to'siqlar tuzilishiga qarab egiluvchan va egilmas bo'ladi.

Filtr to'siqlar tepa va ostki qismidagi bosimlarning farqi filtrlash jarayonining harakatlantiruvchi kuchi deb hisoblanadi.

Harakatlantiruvchi kuchlar turiga qarab filtrlash jarayoni ikki guruhga bo'linadi:

a) bosimlar farqi ta'sirida ajratish (filtrlash);

b) markazdan qochma kuch ta'sirida ajratish (sentrifugalash).

3.10. Filtrlash turlari

Turli jinsli sistemalarni ajratish paytida filtr to'siq turi va suspenziya xossalariga qarab, filtr to'siq yuzasida cho'kma hosil qilish, filtr kovaklarini to'ldirish va ham birinchi, ham ikkinchi hodisalar birgalikda kelgan (oraliq) holatlarda filtrlash jarayoni sodir bo'lishi mumkin.

Filtr to'siq yuzasida cho'kma hosil qilib filtrlash jarayoni qattiq jism zarrachalarining diametri d_e, kovak diametri d dan katta bo'lganda ro'y beradi (3.14a-rasm).

Bu usul suspenziya tarkibidagi qattiq faza konsentratsiyasi 1% (mass) dan ortiq bo'lganda qo'llaniladi, chunki bunda filtr to'siq kovagiga kirish joyida gumbazchalar hosil bo'lishi uchun qulay sharoitlar yaratiladi. Gumbazchalar hosil bo'lishi, cho'kish tezligi va suspenziya konsentratsiyasining ortishiga imkoniyat tug'diradi.

Kovaklarni to'ldirish usulida filtrlash (3.14b-rasm) filtr to'siq kovaklariga qattiq zarrachalar kirib to'ldirganda ro'y beradi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, filtrlash jarayonining boshlang'ich davridayoq, qattiq zarrachalar to'siq kovaklarini to'ldira boshlaydi. Bu hodisa, albatta filtr qurilmalar ish unumdorligini pasaytiradi. Jarayonni kerakli darajada ushlab turish uchun filtr to'siqni birinchi holatini tiklash, ya'ni filtrlashga yaroqli qilish kerak. Buning uchun to'siqlar suyuqlik oqimi bilan yuviladi yoki to'siq metalldan yasalgan bo'lsa, qizdirib kuydiriladi.

3.14-rasm. Filtrlash sxemasi.
1 - cho'kma hosil qilib filtrlash;
2 - to'siq kovaklarini to'ldirib filtrlash.

Oraliq filtrlash usuli bir vaqtning o'zida ham filtr to'siq yuzasida cho'kma hosil qilish, ham kovaklarni to'ldirib, filtrlash usullari ro'y berganda amalga oshadi.

Ushbu usulda kichik konsentratsiyali suspenziyalarni filtrlash jarayoni tezligini oshirish uchun qo'shimcha moddalar ishtirokida olib boriladi. Jarayondan avval filtr to'siq yuzasi qo'shimcha modda bilan qoplanadi. Qo'shimcha moddalardan qilingan qoplama to'siq kovaklarini to'lib qolishdan saqlaydi. Qo'shimcha moddalar sifatida o'ta mayin ko'mir, perlit, asbest, kizelgur, fibroflo, askanit va boshqa materiallar qo'llanilishi mumkin.

Xulosa qilib aytganda, filtrlash jarayoni intensivligi va filtr qurilmaning ish unumdorligi filtrlash tezligiga bog'liqdir.

3.11. Filtrlash jarayonining nazariy asoslari

Filtr to'siqning pastki va tepa qismlaridagi bosimlar farqiga yoki markazdan qochma kuchga filtrlash jarayonini harakatga keltiruvchi kuchi deb aytiladi.

Bosimlar farqini turli usullar: filtr to'siqning tepa bo'shlig'ida ortiqcha bosim barpo etish yoki pastki qismini vakuum trubaga ulash yo'li bilan hosil qilish mumkin.

Bunday holatlarda filtrlash o'zgarmas bosimlar farqida boradi va jarayon tezligi bosimlar farqiga to'g'ri va cho'kma qatlami qarshiligiga teskari proporsionaldir.

Filtrlash jarayoni esa quyidagi kinetik tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta p}{\mu\left(R_{ch} + R_{fl}\right)} \tag{3.40}$$

bu yerda, V – filtrat hajmi, m^3 ; F – filtrlash yuzasi, m^2; τ – filtrlash vaqti, s; Δp – bosimlar farqi, N/m^2; μ – dinamik qovushoqlik, Pa·s; R_{ch} R_{fl} – cho'kma va filtr to'siqlar qarshiligi, m^{-1}.

1 m^3 filtrat olinganda x_{ch} (m^3) miqdorda cho'kma hosil bo'ladi deb qabul qilamiz. Unda,

$$x_{ch} \cdot V = h_{ch} F \tag{3.41}$$

bu yerda, h_{ch} – cho'kma qatlami balandligi, m.

Bu formuladan:

$$h_{ch} = \frac{x_{ch} \cdot V}{F}$$

Cho'kma qatlamining qarshiligi uning balandligiga proporsional deb faraz qilamiz.

$$R_{ch} = r_{ch} h_{ch} = \frac{r_{ch} x_{ch} V}{F} \tag{3.42}$$

bu yerda, r_0 – cho'kmaning solishtirma qarshiligi, m^{-2}.

Agar (3.42) ni (3.40) ga qo'ysak, ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta p}{\mu \cdot \left(\frac{r_{ch} x_{ch} V}{F} + R_{fl}\right)} \tag{3.43}$$

(3.43) tenglik filtrlash jarayonining asosiy tenglamasi deb ataladi.

Filtr to'siq qarshiligi hisobga olinmasa, quyidagi tenglama holatiga kelamiz

$$r_{ch} = \frac{\Delta p}{\mu h_{ch} \cdot w} \tag{3.44}$$

bu yerda, w – filtrlash tezligi.

Filtrlash jarayonining boshlang'ich fursati uchun, ya'ni $V = 0$ da, $R_{fl} = \Delta p / (\mu w)$.

$\Delta p = const$ bo'lgan holat uchun (3.43) tenglamani integrallasak (0 - V va 0 - τ oraliqda), ushbu tenglama kelib chiqadi:

$$V^2 + 2\frac{R_{fl} \cdot F}{r_0 x_0} \cdot V = 2\frac{\Delta p F^2}{\mu r_{ch} x_{ch}} \cdot \tau \tag{3.45}$$

Olingan ushbu tenglama siqiladigan va siqilmaydigan cho'kmalar uchun qo'llasa bo'ladi va u filtrat hajmi ortishi bilan filtrlash tezligi kamayishini ko'rsatadi.

(3.45) tenglamani filtrlash vaqti τ ga nisbatan yechsak, ushbu ifodaga erishiladi:

$$\tau = \frac{\mu x_{ch} r_{ch}}{2\Delta p}\left(\frac{V}{F}\right)^2 + \frac{R_{fi} \cdot V}{\Delta p \cdot F} \tag{3.46}$$

yoki (3.41) ni hisobga olsak

$$\tau = \frac{\mu r_{ch}}{2\Delta p x_{ch}} h_{ch}^2 + \frac{R_{fi}}{\Delta p x_{ch}} h_{ch} \tag{3.47}$$

Shunday qilib, filtrlash vaqti olingan filtrat hajmi kvadratiga to'g'ri proporsionaldir.

Oxirgi tenglamani filtrning solishtirma ish unumdorligi ($V_f = V/F$) ga nisbatan yechsak, quyidagi ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$V_f = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\mu x_{ch} r_{ch}}\tau + \left(\frac{R_{fi}}{\mu x_{ch} r_{ch}}\right)^2} - \frac{R_{fi}}{\mu x_{ch} r_{ch}} \tag{3.48}$$

O'zgarmas tezlik $w = const$ holat uchun (3.43) dan ushbu tenglamani olamiz:

$$V^2 \mu x_{ch} r_{ch} + R_{fi} V F \mu = \Delta F^2 \tau \tag{3.49}$$

yoki

$$V^2 + \frac{R_{fi} \cdot F}{r_{ch} x_{ch}} V = \frac{\Delta p F^2}{\mu r_{ch} x_{ch}} \tau$$

bu tenglamadan:

$$\Delta p = \mu x_{ch} r_{ch}\left(\frac{V}{F}\right)^2 \frac{1}{\tau} + \mu R_{fi}\left(\frac{V}{F}\right)\frac{1}{\tau} \tag{3.50}$$

yoki

$$\Delta p = \mu x_{ch} r_{ch} w^2 + \mu R_{fi} w$$

Shunday qilib, filtrlash vaqti ortishi bilan bosimlar farqi ko'payadi:

$$\tau = \frac{\mu x_{ch} r_{ch}}{\Delta p}\left(\frac{V}{F}\right)^2 + \frac{R_{fi}}{\Delta p}\frac{V}{F} \tag{3.51}$$

ya'ni olingan filtrat hajmi kvadratiga to'g'ri proporsional.

Filtrning solishtirma ish unumdorligi (m^3/m^2):

$$V_f = \sqrt{\frac{\Delta p}{\mu x_{ch} r_{ch}}\tau + \left(\frac{R_{fi}}{2\mu x_{ch} r_{ch}}\right)^2} - \frac{R_{fi}}{2\mu_{ch} \kappa_{ch}} \tag{3.52}$$

Amalda cho'kma hajmining filtrat hajmiga nisbati x_{ch}, cho'kma qatlamining solishtirma hajmiy qarshiligi r_{ch} va filtr to'siq qarshiliklari tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

Agar $F = 1\ m^2$ bo'lgan hol uchun (3.45) tenglamani ushbu ko'rinishda yozish mumkin:

$$V^2 + 2CFV = 2KF^2\tau \tag{3.53}$$

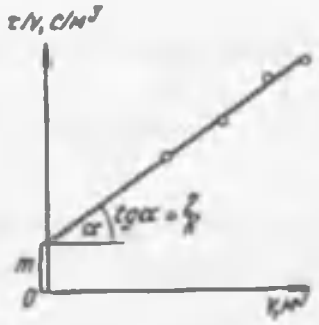
bu yerda, C – filtr to'siq gidravlik qarshiligini xarakterlovchi filtrlash konstantasi, m^3/m^2; K – filtrlash rejimi va suyuqlikdagi cho'kmaning fizik-kimyoviy xossalarini hisobga oluvchi filtrlash konstantasi, m^2/s.

$$C = \frac{R_f}{r_{ch} \cdot x_{ch}} \tag{3.54}$$

$$K = \frac{2\Delta p}{\mu r_{ch} x_{ch}} \tag{3.55}$$

Agar (3.53) tenglamaga o'zgartirish kiritsak. ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\frac{\tau}{V} = \frac{2V}{K} + \frac{2C}{K} \tag{3.56}$$

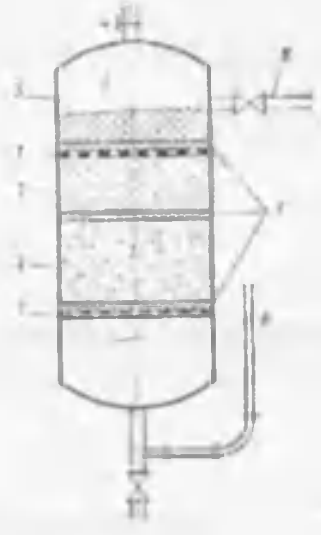


3.15-rasm. Filtrlash konstantasini aniqlashga doir.

Ko'rinib turibdiki, (3.56) tenglik abssissaga α qiya burchak ostida joylashgan to'g'ri chiziq tenglamasi. Ushbu burchak tangensi $tg\,\alpha = 2/K$ teng va u ordinata o'qida $m = 2C/K$ kesmani ajratadi (3.15-rasm).

Ushbu to'g'ri chiziqni qurish uchun abssissa o'qiga o'lchangan V_1, V_2, ..., V_n qiymatlari, ordinata o'qiga esa - τ_1/V_1, τ_2/V_2, ..., τ_n/V_n larning tegishli qiymatlari qo'yiladi.

So'ng, aniqlangan K va C qiymatlar yordamida (3.54) va (3.55) tenglamalardan r_{ch} va R_f lar topiladi. Cho'kma va filtrat hajmlarini o'lchash natijasida esa – x_{ch} qiymati topiladi.



3.16-rasm. Qumli filtr.
1 - turli disklar; 2 - qum;
3 - qobiq; 4 - havo jo'mragi;
5 - suspenziya kirish trubasi; 6 - paxta;
7 - filtrlovchi to'qima; 8 - filtratni chiqarish trubasi.

3.12. Filtrlar

Ishlash prinsipiga qarab, filtrlar quyidagilarga bo'linadi: o'zgarmas bosimlar farqi yoki o'zgarmas filtrlash tezligida ishlaydigan filtrlar; filtr to'siqda hosil qiladigan bosimlar farqiga qarab, vakuum yoki ortiqcha bosim ostida ishlaydigan qurilmalar; jarayonni tashkil etishga qarab, uzlukli yoki uzluksiz ishlaydigan qurilmalar.

Bosim ostida ishlaydigan qurilma bir necha turga, ya'ni gidrostatik bosim, nasos yoki kompressor yordamida hosil qilingan, vakuum va markazdan qochma kuch ta'sirida hosil bo'lgan bosimlarda ishlaydigan filtrlarga bo'linadi.

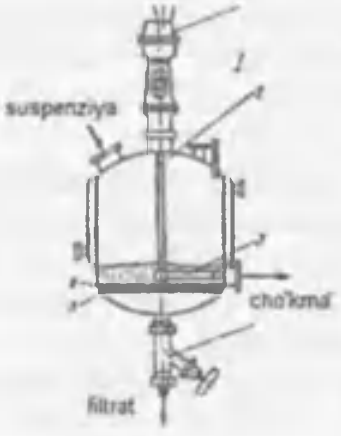
Texnologik maqsadlarga qarab, qurilmalar ikki turga bo'linadi: a) suyuqliklarni tozalash filtrlari; b) gazlarni tozalash filtrlari.

Filtr to'siqlarning turiga qarab, donasimon materiallar, turli gazlamalar va qattiq materiallar (keramika, to'r) yordamida turli jinsli sistemalarni tozalaydigan **filtrlarga** bo'linadi.

Qumli filtr. Bu qurilma donasimon materialli filtrlar guruhiga oid (3.16-rasm).

Bu turdagi filtrlar suspenziya tarkibida qattiq faza miqdori kam bo'lgan hollarda, ya'ni oziq-ovqat sanoatida suvni filtrlash va liker-aroq korxonalarida keng ko'lamda ishlatiladi.

Filtrning silindrik qobig'ida ikkita to'rli disk bo'lib, ular qurilmani 3 qismga ajratadi: yuqori - suspenziya oqib kiruvchi, o'rta - filtrlovchi va quyi - yig'uvchi. Ikkala disk orasida filtrlovchi qum qatlami joylashgan bo'lib, u yirik va mayda fraksiyalardan iborat bo'ladi. Fraksiyalar filtr to'qima bilan ajratilgan. Yuqori va quyi disklar ham filtr to'qima bilan qoplangan bo'ladi. Filtrlanuvchi suyuqlik 0,02....0,03 MPa bosimda qurilma tepasidan yuboriladi, filtrat esa pastki qismdan chiqariladi. Filtrlash tezligi 250...750 kg/(m^2· soat).



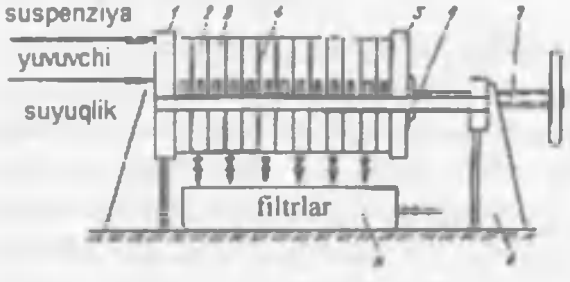
3.17-rasm. Aralashtirgichli nutch - filtr.
1-uzatma; 2-filtr qobig'i;
3-aralashtirgich;
4-to'kish jo'mragi; 5-filtr to'siq;
6-filtrlovchi to'qima.

Ushbu filtr tuzilishi sodda, filtrlash sifati esa – yuqori.

Lekin hajm birligida filtrlovchi yuza kam va jarayon tezligi past bo'lgani uchun, filtrning ish unumdorligi juda kichik. Undan tashqari, filtr - qumni almashtirish qiyin va ko'p vaqt talab qiladi.

Nutch - filtr vakuum yoki ortiqcha bosim ostida ishlashi mumkin (3.17-rasm). Cho'kmani chiqarib tashlash uchun filtrga bir parrakli aralashtirgich o'rnatilgan.

Suspenziya va siqilgan havo alohida shtuserlar orqali uzatiladi. Olingan filtrat esa, to'kish jumragi 4 orqali chiqariladi. Undan tashqari, filtrga saqlovchi jo'mrak ham o'rnatilgan. Filtrning ish sikli quyidagi bosqichlardan iborat: suspenziya bilan to'ldirish; bosim ostida filtrlash; filtr to'siqdan cho'kmani tushirish; filtr to'siqni qayta tiklash. Bunday filtrlarda cho'kmani yuvish jarayonini ham bir vaqtda o'tkazsa bo'ladi.



3.18-rasm. Romli filtr-press.
1 - tayanch plita, 2 - rom;
3 -plita; 4 - filtr to'siq;
5 - harakatchan plita;
6 - gorizontal yo'naltiruvchi;
7 - vint; 8 - stanina; 9 - tarnov.

Suspenziyalarni filtrlash paytida filtr to'siq sifatida karton, belting va sintetik tolalarni qo'llash mumkin. Sintetik tolalarning afzalligi shundaki, ular yuqori mexanik mustahkamlik, termik va kimyoviy chidamlilikka ega. Sintetik tolalardan, zichligi asta - sekin o'zgaradigan, filtr to'siqlar tayyorlash mumkin.

Bunday filtr qattiq faza miqdori kam bo'lgan suspenziyalarni filtrlashda juda qo'l keladi, chunki zarrachalar uning butun balandligi bo'ylab cho'kadi. Filtrning tashqi qatlamida yirik, ichki qatlamlarida esa mayda zarrachalar ushlanib qoladi. Bunday selektiv filtrlash jarayon tezligi yuqori bo'lishi, kovakchalar yuzasini to'lib qolish oldini oladi va filtrning xizmat muddatini uzaytiradi.

Romli filtr - press. Bunday filtrlar suspenziyalar (masalan: vino, pivo, sut mahsulotlar) ni tozalash uchun qo'llaniladi (3.18-rasm).

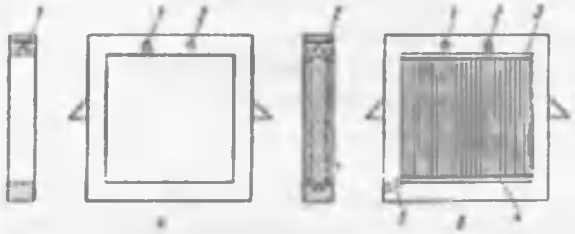
Filtrlovchi blok orasida filtr to'qima yoki karton joylashgan almashuvchi rom va plitalardan tashkil topgan. Rom va plitalar yo'naltiruvchi 6 da siquvchi vint 7 yordamida qisib qo'yiladi. Odatda filtr metall stanina 8 da o'rnatiladi.

Har bir rom va plitada suspenziyani kiritish va yuvish suyuqligini chiqarish kanallari bor (3.19-rasm).

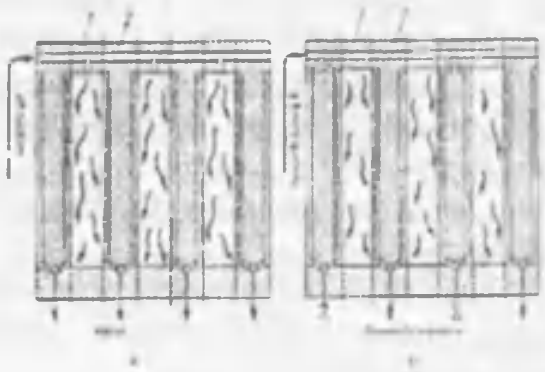
Plitalarning ikkala tomonida yig'uvchi kanallar 4 bo'lib, yuqori qism drenaj va pastki qismi esa, aylanma kanallar bilan ulangan.

Suspenziya bosim ostida kanal orqali romning ichkarisiga filtr materialdan o'tadi (3.20a-rasm), keyin esa yuzasidagi kanalchalar orqali pastga tushadi.

Filtrat plitaning pastki qismida joylashgan kanalcha orqali chiqib, umumiy tarnovga tushadi. Romning ikkala tomoni cho'kma bilan to'lganda, filtrlash jarayoni



3.19-rasm. Filtr-press romi (a) va plitasi (b).
1, 2 - suspenziya va yuvish suyuqligi kirish kanallari; 3 - drenaj kanali; 4 - yig'ish kanali; 5 - aylanma kanal.



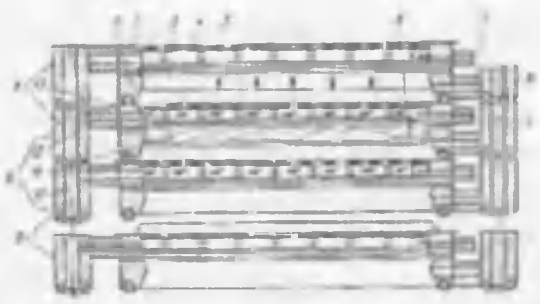
3.20-rasm. Romli filtr-press ishlash sxemasi.
a - filtrlash; 6 - cho'kma yuvish; 1 - rom; 2-plita.

to'xtatiladi va teskari yo'nalishda yuqori bosimli suyuqlik yuborilib, cho'kma yuviladi va aylanma kanallar orqali chiqariladi. Shundan keyin yuvish uchun suv yuboriladi va jarayon tugagach plita chapga surilib, cho'kma to'kiladi (3.20b-rasm).

Filtr - pressning ish sikli ushbu jarayonlardan iborat: ishga tayyorlash; filtrlash; yuvish; cho'kmani to'kish. Davriy ishlaydigan filtr qurilmalarda yordamchi jarayonlarni bajarish uchun ish siklining 30% ga yaqin vaqti sarflanadi va cho'kmani to'kish ko'p mehnat talab qiladi. Bu turdagi filtrlarda filtr to'qimalar sarfi katta va ularni almashtirish qiyin. Uzluksiz ishlaydigan qurilmalarda ushbu kamchiliklar bartaraf etilgan, chunki bu filtrlarda filtrlash, cho'kmani quritish, yuvish, ajratish jarayonlari bir vaqtda sodir bo'ladi.

Filtr - press (FPAKM). Bunday filtrda cho'kmani to'kish mexanizatsiyalashgan. Ushbu qurilma kamerali, avtomatlashtirilgan filtr bo'lib, temperaturasi 80°C, konsentratsiyasi 10...500 kg/m^3 li mayin dispers suspenziyalarni ajratish uchun qo'llaniladi. Bu turdagi filtr davriy ishlaydigan bo'ladi.

Ko'pincha bu filtr - presslarda bir - biriga zich joylashgan bir qator to'rtburchak shakldagi filtrlardan iborat (3.21-rasm).



3.21-rasm. Gorizontal kamerali filtr - press (FPKAM).
1-pastki plita; 2-tepa plita; 3-suspenziya va cho'kma uchun bo'shliq; 4-teshikli disk; 5-filtrat uchun bo'shliq; 6-egiluvchan diafragma; 7, 9, 12-kanallar; 8-suspenziya uchun kollektor; 10-filtratni chiqarish kollektori; 11-suv uchun bo'shliq; 13-filtr to'qima.

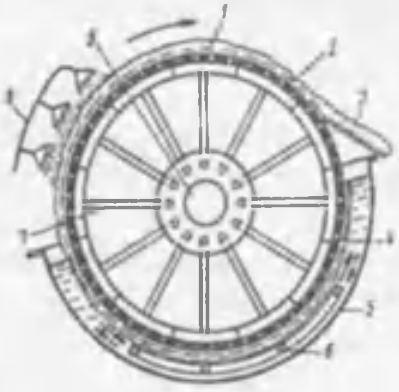
To'rtburchak filtrlarning bunday joylashishi solishtirma filtrlash yuzasining ko'payishiga olib keladi.

Agar filtr *A* holatda bo'lsa, kollektor 8 dan kameraga ajratish uchun suspenziya, yuvish uchun suyuqlik va cho'kmani qisman quritish uchun siqilgan havolar ketma - ket keladi. So'ng filtrat, yuvish suyuqligi va havo kanallar 12 orqali kollektor 10 ga chiqariladi.

Filtrning *B* holatida kanallar 9 orqali bo'shliq 11 ga bosim ostida suv uzatiladi. Natijada egiluvchan elastik diafragma *G* yordamida cho'kma siqiladi. Undan keyin, *V* holatda plitalar suriladi va hosil bo'lgan tirqishlardan cho'kma to'kiladi.

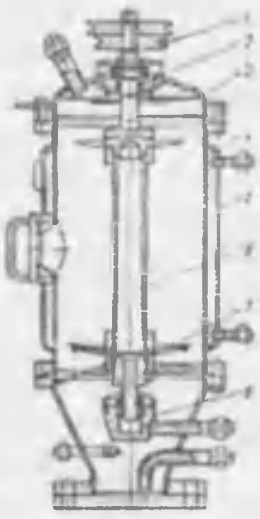
Barabanli vakuum - filtr. Bu turdagi filtrlar konsentratsiyasi 50 ... 500 kg/m^3 bo'lgan suspenziyalarni uzluksiz ravishda ajratish uchun ishlatiladi (3.22-rasm). Qattiq zarrachalar kristall, tolali amorf va kolloid tuzilishga ega bo'lishi mumkin. Filtr ish unumdorligi qattiq zarrachalar tuzilishiga bog'liq va yuqorida keltirilgan ketma - ketlikda pasayib boradi.

Filtrning asosiy qismi gorizontal baraban bo'lib, u elektr yuritkich yordamida asta - sekin aylantiriladi. Odatda uning 0,3...0,4 qismi suspenziyali tog'oraga tushib turadi. Tog'ora ichida silkinib turuvchi aralashtirgich suspenziya tarkibini bir xil bo'lishini ta'minlaydi, ya'ni uning tarkibidagi zarrachalarni cho'kmaga tushishiga to'sqinlik qiladi. Baraban ikkita silindrdan tuzilgan bo'ladi. Tashqi silindr elaksimon bo'lib, uning ustiga sim to'r tortilgan.



3.22-rasm. Barabanli vakuum-filtr.
1-teshikli baraban; 2-filtr to'qima; 3-cho'kmani kesib turuvchi pichoq; 4-seksiya; 5-tog'ora; 6-aralashtirgich; 7-truba; 8-suyuqlik purkagich; 9-bosh taqsimlagich.

Sim to'rning usti esa, filtr to'qima bilan qoplangan. Barabanning filtrlovchi to'siqlaridan filtrat vakuum ostida so'rib olinadi. Filtrning ustida suspenziyadagi qattiq zarrachalar cho'kma qatlamini hosil qiladi. Bu cho'kma pichoq yordamida barabanning ustki qismidan uzluksiz ravishda kesib olinadi. Barabanning ichki qismi to'siqlar yordamida alohida sektorlarga bo'lingan. Kanallar esa filtrlash jarayonining hamma sikllarini bevosita filtr ishlashini boshqaruvchi bosh taqsimlagich bilan biriktirilgan. Bosh taqsimlagichda ikkita disk bo'lib, biri aylanma harakat qilsa, ikkinchisi – qo'zg'almasdir. Qo'zg'almas diskdagi teshiklar trubalar orqali vakuum-nasos hamda filtratni ajratib oluvchi va yuvuvchi suyuqlik bilan cho'kmani ajratish va filtr to'qimani tozalash uchun siqilgan havo beruvchi kompressor bilan ulangan bo'ladi.



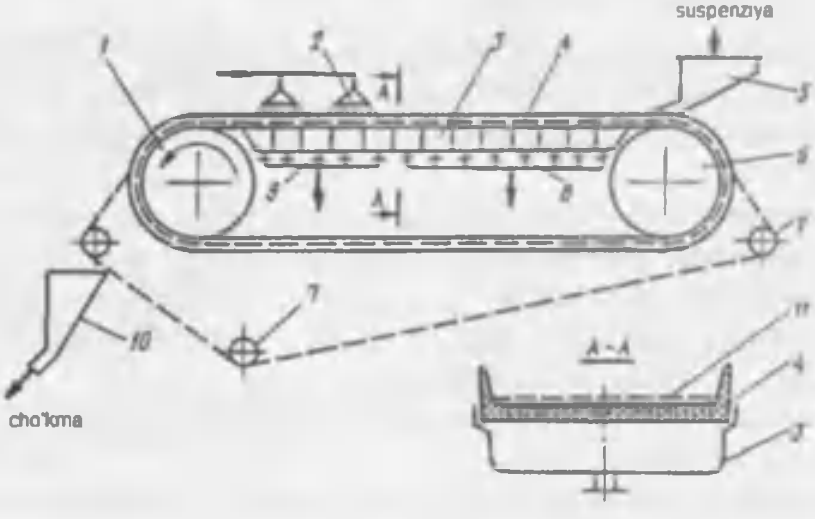
3.23-rasm. Diskli filtr.
1 - shkiv; 2 – salnikli qistirma;
3 - qopqoqlar; 4 - filtr qobiq;
5 - g'ilof; 6 - g'ovak o'q;
7 - filtrlovchi element;
8 - podpyatnik.

Aylanuvchi diskning har bir teshigi birin-ketin qo'zg'almas diskning teshiklari bilan ulanadi. Shuning uchun baraban bir marta aylanganida, filtrlash jarayonining hamma bosqichlari bajariladi. Birinchi bosqichda baraban seksiyalari vakuum-nasos bilan ulanadi va filtrat idishga tushadi. Keyingi bosqichda baraban seksiyalari yuvuvchi suyuqlik bilan ulanadi va cho'kma yuviladi. Oxirgi bosqichda baraban seksiyalari siqilgan havo trubalari bilan ulanib, cho'kma quritiladi va filtrlash yuzasi tozalanadi.

Bu turdagi filtrlarning ishchi yuzasi 5...150 m^3 bo'ladi. Kamchiliklari: filtrlash yuzasi katta bo'lgani uchun ko'p joy egallaydi; filtrning narxi qimmat bo'ladi.

Diskli filtr. Bu filtrlar mayin dispers suspenziyalarni ajratish uchun mo'ljallangan bo'lib, qo'shimcha moddalar o'tirindi qatlami bilan bosim ostida ishlaydi. Isitiladigan g'ilofli vertikal idish ko'rinishiga ega bo'lgan diskli filtrlarda ishchi bosim - 0,5 MPa, g'ilof ichidagi bosim esa – 0,3 MPa. Filtr ichida g'ovak o'q 6 bo'lib unga metalldan yasalgan teshikli disk filtr element 7 lar o'rnatilgan (3.23-rasm). Disklar, o'z navbatida, polipropilen yoki boshqa filtr to'qima bilan qoplanib, halqasimon qisqichlar yordamida mahkamlanadi.

Diskli filtrlarda qisman quritilgan cho'kmani markazdan qochma kuch

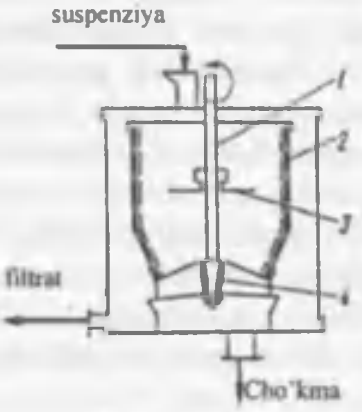


3.24-rasm. Lentali vakuum - filtr.
1 - uzatuvchi baraban; 2 - purkagich;
3 - vakuum-kamera; 4 - rezina lenta;
5 - nov; 6 - taranglovchi baraban; 7 - taranglovchi g'ildirakchalar; 8 - filtrat chiqarish kollektori;
9 - yuvuvchi suvni chiqarish kollektori;
10 - cho'kma yig'gich;
11- filtr to'qima.

yordamida to'kish imkoniyati bor. Filtrlovchi disklar o'rnatilgan ichi bo'sh o'q elektr yoki gidravlik yuritkich yordamida aylantiriladi. O'qning aylanish chastotasi 250 min^{-1} bo'lib. teflon salnik yordamida zichlanadi.

Filtrlashdan avval suspenzatorda qo'shimcha moddalardan suspenziya tayyorlanadi va filtrlovchi elementlarga o'tirindi cho'kma hosil qilinadi. Buning uchun, filtrlovchi elementlarda 15...30 mm qalinlikda o'tirindi cho'kma paydo bo'lmaguncha, nasos yordamida tayyor suspenziya uzatiladi.

Filtrat filtrlovchi diskdan o'tib, g'ovak o'qdagi teshiklar orqali ichi bo'sh o'qqa tushadi va filtrdan suspenzatorga chiqariladi. Xuddi shu yo'sinda suspenziya filtrlanadi. Jarayon tugagandan so'ng, cho'kma yuviladi va havo yordamida qisman quritiladi.



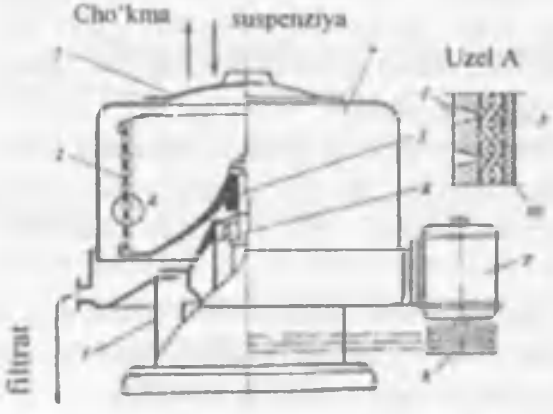
3.25-rasm. Davriy ishlaydigan filtrlovchi sentrifuga.
1 - stanina; 2 - teshikli baraban;
3 – qopqoq; 4 -qobiq; 5 - gupchak;
6 - podshipnik; 7 - elektr yuritkich;
8 - kamar uzatmali shkiv; 9 - drenaj;
10 - filtr to'qima.

Lentali filtr. Bu filtr rom, uzatuvchi 1 va taranglovchi 6 barabanlardan hamda ikki baraban orasiga tortilgan teshikli, cheksiz uzunlikdagi rezina lenta 4 dan tarkib topgan (3.24-rasm).

Teshikli rezina lenta ostida vakuum - kamera 3 bo'lib, u pastki qismi bilan filtrat 8 va yuvuvchi suyuqlik chiqarish kollektorlari 9 bilan ulangan. Hosil qilinayotgan vakuum hisobiga lenta vakuum – kameraning tepa qismiga yopishib turadi.

Filtr to'qima esa, taranglovchi g'ildirakchalar 7 yordamida cheksiz rezina lentaga siqib qo'yiladi.

Filtr to'qimaga nov 5 dan suspenziya uzatiladi. Filtrat vakuum ostida kameralarga va kollektor orqali yig'gichga yuboriladi. Hosil bo'lgan cho'kmaga purkagich 2 dan yuvuvchi suv beriladi va kameralarga so'rib olinib, so'ng kollektor 9 orqali yig'gich 10 ga chiqariladi.



3.26-rasm. Cho'kmani gravitatsion kuch ta'sirida to'kadigan sentrifuga.
1 - o'q; 2 - baraban;
3 –taqsimlovchi disk;
4 - tayanch vtulka.

Uzatuvchi barabanda filtr to'qima rezina lentadan ajraydi va yo'naltiruvchi g'ildirakchani aylanib o'tadi. Shunda, cho'kma filtr to'qimadan sirpanib tushadi va cho'kma yig'gichga to'kiladi. Filtr to'qima ikkita g'ildirakcha 7 lar orasidan o'tguncha yuviladi, quritiladi va tozalanadi.

Filtrlovchi sentrifugalar davriy va uzluksiz ishlaydigan bo'lib, o'qining joylashiga qarab vertikal va gorizontal bo'ladi. Jarayon mobaynida hosil bo'ladigan cho'kmani to'kishiga qarab - qo'lda to'kadigan, gravitatsion, markazdan qochma va uzlukli to'kadigan sentrifugalarga bo'linadi.

Davriy ishlaydigan filtrlovchi sentrifugada suspenziya baraban tepasidan yuklanadi (3.25-rasm). Suspenziya yuklangandan so'ng baraban harakatga keltiriladi, ya'ni aylantirib boshlanadi. Markazdan qochma kuch ta'sirida suspenziya baraban devoriga uloqtiriladi. Suyuq

dispersion faza filtr to‘siq orqali o‘tadi, cho‘kma esa unda ushlanib qoladi. Filtrlash sikli tugaganda so‘ng, cho‘kma qopqoq 3 orqali qo‘l yordamida olib tashlanadi.

Cho‘kmani o‘zi to‘kadigan sentrifugada cho‘kma gravitatsion kuch ta’sirida qurilmadan chiqarib yuboriladi (3.26-rasm).

Oda ›unday sentrifugalar teshikli baraban o‘rnatilgan vertikal o‘qli qilib yasaladi. Baraban kichik chastota bilan aylanganda suspenziya yuklovchi diskka beriladi. Barabanning pastki qismi konussimon shaklda bo‘lib, konuslik burchagi cho‘kmaning tabiiy qiyalik burchagidan ortiq qilinadi. Filtrlash sikli tamom bo‘lganda va baraban to‘liq to‘xtaganidan so‘ng og‘irlik kuchi ta’sirida cho‘kma baraban devoridan sirpanib tushadi va qurilma tubidagi shtuser orqali chiqariladi.

Uzluksiz ishlaydigan, markazdan qochma kuch ta’sirida cho‘kmani to‘kadigan sentrifuga konussimon teshikli baraban va uning ichida aylanuvchi shneklardan tarkib topgan. Shnekning aylanish tezligi barabannikidan ozgina kam bo‘ladi. Shnek aylanishi davrida uning o‘ramlari barabanda o‘tirib qolgan cho‘kmani pastga olib tushadi. Cho‘kmani to‘kish markazdan qochma kuch ta’sirida amalga oshiriladi. Shuni alohida ta’kidlash kerakki, markazdan qochma kuch ta’sirida to‘kish paytida cho‘kma maydalanmaydi va yaxlitligi buzilmaydi.

3.13. Filtrlash jarayonini intensivlash

Xalq xo‘jaligida turli sanoatlar tayyor mahsulotining salmog‘i ortib borishi va yuqori gidravlik qarshilikka ega cho‘kmalarning turi, miqdorining ko‘payishi, filtrlar ish unumdorligini oshirishni taqozo etadi. Bu muammoni hal etish uchun filtrlarning filtrlash yuzasi va jarayon tezligini oshirish yo‘llari bilan erishish maqsadga muvofiqdir.

Hozirgi kunda barabanli vakuum - filtrlarning yuzasi 140 m^2, disklilarniki 300 m^2, lentali filtrlarniki 25 m^2 gacha yetkazilgan.

Suspenziyalar ajratishda optimal sharoitlarni yaratish uchun konstruktiv, texnologik va fizik - kimyoviy usullardan foydalaniladi.

Konstruktiv guruh usullariga quyidagilar kiradi: filtrlash jarayonini avtomatlashtirish; reversiv (cho‘kma qalinligi kam bo‘lganda), dinamik (cho‘kma uzluksiz yuvilib turiladigan hollarda), turli tarkibli (silindrik yuzalarda egrilik radiusi kichik cho‘kma qatlamlari hosil bo‘lganda) va tebranma filtrlash.

Texnologik guruh usullariga quyidagilar kiradi: cho‘kma qatlami, bosimlar farqi, suspenziya konsentratsiyalarining optimal qiymatlarini hamda uning tarkibidagi qattiq zarrachalarni oldingan mayin va dag‘al dispers fraksiyalarga dastlabki klassifikatsiyalash.

Fizik - kimyoviy guruh usullariga ega quyidagilar kiradi: cho‘kma solishtirma qarshiligini kamaytirish maqsadida suspenziyaga fizik - kimyoviy ta’sir etish. Ushbu tadbirlarni suspenziya olish jarayonida yoki undan keyin ham o‘tkazish mumkin.

Birinchi holatda suspenziya hosil qilishda tegishli sharoitlarni (temperatura, konsentratsiya va boshqalar) amalga oshirish maqsadida qattiq zarrachalar o‘lchamini kattalashtirish, kristallik zarrachalar (amorf zarrachalar o‘rniga) olish imkoniyati va kolloid, yopishqoq aralashma hosil bo‘lish oldini olish mumkin. Natijada ayrim suspenziya cho‘kmalarining solishtirma qarshiligi 10 va undan ortiq marta pasaytirilishi mumkin.

Ikkinchi holatda, ya’ni suspenziyaga agregirlovchi yoki qo‘shimcha moddalar qo‘shish, suspenziya solishtirma qarshiligini keskin kamayishga olib keladi.

3.14. Filtrlarni hisoblash

Suspenziyalarni filtrlash jarayoniga ko'pgina omillar ta'sir etganligi sababli filtrlarni hisoblash juda murakkab masaladir. Shuning uchun, quyida keltirilgan hisoblash sxemalari bir qator taxminlar va suspenziyalarni ajratish qonuniyatlarini soddalashtirishlar asosida ishlab chiqilgan. Shunday taxminlardan biri, og'irlik kuchi ta'sirida qattiq zarrachalar cho'kmaydi deb, faraz qilinadi. Amaliyotda zarrachalar cho'kmasligi uchun suspenziya aralashtirilib turiladi.

Hisoblashlarda esa tajriba yo'li bilan topilgan filtr to'siq va cho'kma gidravlik qarshiliklarining o'rtacha qiymati ishlatiladi.

Uzluksiz ishlaydigan filtrlar hisobi. Boshlang'ich ma'lumotlarda filtr ish unumdorligi berilgan bo'ladi. Undan tashqari, filtrlash yuzasi berilishi mumkin yoki qabul qilinadi. Demak, yuqorida ko'rsatilgan parametrlar ma'lum bo'lsa, ya'ni filtrning berilgan yuzasi bo'yicha filtrlar soni, filtrat miqdori va filtrlash jarayoni davomiyligi aniqlanadi.

Barabanli vakuum - filtrni (filtr to'siq gidravlik qarshiligini hisobga olmaymiz) hisoblashning umumiy ketma - ketligini ko'rib chiqamiz.

Filtr qurilmaga eng yuqori ish unumdorlik ta'minlash uchun cho'kma qatlam qalinligining ruxsat etilgan eng kichik qiymati qabul qilinadi. Masalan, barabanli vakuum - filtr uchun taxminan 5 mm (cho'kma xossalariga qarab) deb, qabul qilinsa bo'ladi.

$X_{ch} = h_{ch} \cdot F/V$ tenglamadan V ni topamiz:

$$V = \frac{h_{ch} \cdot F}{x_0} \tag{3.57}$$

$R_{fm} = 0$ deb qabul qilib, V ning qiymatini (3.45) formulaga qo'yib va uni τ ga nisbatan yechib, zarur qalinlikdagi cho'kma hosil qilish vaqtini aniqlaymiz:

$$\tau = \frac{\mu \cdot r_{ch} \cdot h_{ch}^2}{2\Delta p x_{ch}} \tag{3.58}$$

Hisoblash tenglamalaridan foydalanib yoki tajriba yo'li bilan yuvish bosqichining davomiyligi τ_{yu} ni topamiz.

Baraban seksiyalari umumiy soni n dan: a - suvsizlantirish zonasida n_c^1 ta seksiya; b - suvsizlantirish zonasida n_c^2 ta seksiya, cho'kmani to'kish va filtr to'qimani tiklash zonasida n_{TT} ta seksiya band deb qabul qilamiz.

Har bir bosqichning davomiyligi ushbu tenglamalardan aniqlanadi:

a - suvsizlantirish:

$$\tau_c^1 = \left(\tau + \tau_{yu}\right)\frac{n_c^1}{n_{fyu}} \tag{3.59}$$

bu yerda, $n_{fyu} = n - \left(n_c^1 + n_c^2 + n_{TT}\right)$ – filtrlash va yuvish zonalaridagi baraban seksiyalarining soni:

b – suvsizlantirish:

$$\tau_c^2 = \left(\tau + \tau_{yu}\right)\frac{n_c^2}{n_{fyu}} \tag{3.60}$$

cho'kmani to'kish va filtr to'qimani tiklash:

$$\tau_{TT} = \left(\tau + \tau_{yu}\right)\frac{n_{TT}}{n_{fyu}} \tag{3.61}$$

Ushbu tenglikdan siklning umumiy davomiyligi τ_u *(s)* hisoblanadi:

$$\tau_s = \tau + \tau_c^1 + \tau_c^2 + \tau_{yu} + \tau_{TT} \tag{3.62}$$

Barabanning aylanish tezligi w (ayl/min) esa, quyidagi nisbatdan topiladi:

$$w = \frac{60}{\tau_s} \tag{3.63}$$

Filtrlash zonasining markaziy burchagi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\theta = \frac{360 \cdot \tau}{\tau_s} \tag{3.64}$$

Filtrning ish unumdorligi Q (m^3/sutka):

$$Q = \frac{3600 \cdot 24 \cdot V}{\tau_s} \tag{3.65}$$

Agar filtrat bo'yicha umumiy ish unumdorlik Q_{um} ma'lum bo'lsa, zarur barabanli vakuum - filtrlar soni ushbu nisbatdan aniqlanadi:

$$N_\phi = \frac{Q_{um}}{Q} \tag{3.66}$$

3.14.1. Vakuum-filtrlarni hisoblash

Filtr-press. Filtrlanadigan suspenziya: soda ishlab chiqarishdagi cho'kma.

Berilgan kattaliklar: c_1=0,300 kg/kg; ρ_f=1,3·10^3 kg/m^3; c_2=0,650 kg/kg, ρ_c=2,8·10^3 kg/m^3; p=p_{yuv}=3,5·10^4 kg·k/m^2; μ=μ_{yuv}=0,915·10-6 kgk·min/m^2; Q=0,147 m^3/min; R_o=1,065·10^{10} 1/m; s=0,887; r'_m=8,44·10^7; k=3,0; σ_1=10%; σ_2=2,5%; τ_v=10 min; a=0,050 so'm/soat; x=2000 so'm; i=10 yil; z=345 sutka; n_1=23 soat/sutka; d=0,275 so'm/soat; F_1=50 m^2.

Cho'kmaning nisbiy qarshiligi:

$$r_m = r_m^{'} \cdot p^3 = 8,44 \cdot 10^7 \cdot 35000^{0,887} = 0,9 \cdot 10^{12}\, m/kg$$

1 m^3 filtratga to'g'ri keluvchi filtrda ajraluvchi qattiq faza miqdori:

$$C = \frac{\rho_\phi}{\frac{1}{c_1} - \frac{1}{c_2}} = \frac{1,3 \cdot 10^3}{\frac{1}{0,3} - \frac{1}{0,65}} = 0,726 \cdot 10^3\, kg/m^3$$

1 m^3 filtratga to'g'ri keluvchi nam cho'kma hajmi:

$$U = \frac{C}{\rho_o c_2} = \frac{1 - c_2\left(1 - \frac{\rho_\phi}{\rho_c}\right)}{\frac{c_2}{c_1} - 1} = \frac{1 - 0{,}650\left(1 - \frac{1{,}3 \cdot 10^3}{2{,}8 \cdot 10^3}\right)}{\frac{0{,}650}{0{,}300} - 1} = 0{,}557 m^3 / m^3$$

Filtrlash va yuvish tenglamalarining konstantalari:

$$b_1 = \frac{\mu r_m c}{2p} = \frac{0{,}915 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}90 \cdot 10^{12} \cdot 0{,}726 \cdot 10^3}{2 \cdot 3{,}5 \cdot 10^4} = 0{,}85 \cdot 10^4 \text{ min}/m^2;$$

$$b_2 = \frac{\mu_{yuv} r_m c \cdot U \cdot n^2}{A \cdot p_{yuv}} = \frac{0{,}195 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}90 \cdot 10^{12} \cdot 0{,}726 \cdot 10^3 \cdot 0{,}557 \cdot \ln\frac{10}{2{,}5} 2^2}{3{,}0 \cdot 3{,}5 \cdot 10^4} =$$

$$= 1{,}76 \cdot 10^4 \text{ min}/m^2$$

$$k_1' = b_1 + b_2 = 0{,}85 \cdot 10^4 + 1{,}76 \cdot 10^4 = 2{,}61 \cdot 10^4 \text{ min}/m^2;$$

$$k_2' = 2b_1 + b_2 = 2 \cdot 0{,}85 \cdot 10^4 + 1{,}76 \cdot 10^4 = 3{,}46 \cdot 10^4 \text{ min}/m^2;$$

$$V_o' = \frac{R_o}{r_m c} = \frac{1{,}065 \cdot 10^{10}}{0{,}9 \cdot 10^{12} \cdot 0{,}726 \cdot 10^3} = 1{,}63 \cdot 10^{-5} m^3 / m^2$$

Filtr-pressning filtrat bo'yicha maksimal unumdorligi:

$$Q_{max} = \frac{F_1}{2\sqrt{k_1' \tau_b + k_2' V_o'}} = \frac{50}{2\sqrt{2{,}61 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 3{,}46 \cdot 10^4 \cdot 1{,}63 \cdot 10^{-5}}} =$$

$$= 4{,}9 \cdot 10^{-2} m^3 / \text{min} = 2{,}94 m^3 / soat$$

Filtr-press ish siklining minimal davomiyligi:

$$\tau_{s\min} = 2\tau_b + k_2' V_o \sqrt{\frac{\tau_b}{k_1'}} = 2 \cdot 10 + 3{,}46 \cdot 10^4 \cdot 1{,}63 \cdot 10^{-5} \sqrt{\frac{10}{2{,}61 \cdot 10^4}} \approx 20 \text{min}.$$

Filtrlash vaqtida olingan filtratning minimal nisbiy hajmi:

$$V_{min}' = \sqrt{\frac{\tau_b}{k_1'}} = \sqrt{\frac{10}{2{,}61 \cdot 10^4}} = 1{,}95 \cdot 10^{-2} m^3 / m^2$$

Filtrlash davomiyligi:

$$\tau = \frac{\tau_b b_1}{k_1'} = \frac{10 \cdot 0{,}85 \cdot 10^4}{2{,}61 \cdot 10^4} = 3{,}26 \text{min}$$

Yuvish davomiyligi:

$$\tau_{yuv} = \frac{\tau_b b_2}{k_1'} = \frac{10 \cdot 1,76 \cdot 10^4}{2,61 \cdot 10^4} = 6,74 \text{ min}$$

Filtr ramasidagi cho'kmani qalinligi:

$$\delta = 2UV'_{min} = 2 \cdot 0,557 \cdot 1,95 \cdot 10^{-2} = 2,18 \cdot 10^{-2} m = 22mm$$

Filtr ramasining qalinligi uning maksimal unumdorligida 25 mm dan oshmasligi shart.

Filtr-presslarning zaruriy sharti:

$$n_{min} = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{0,147}{4,9 \cdot 10^{-2}} = 3$$

Filtr-pressning optimal ishlash rejimida quyidagi kattaliklar aniqlanadi.

Filtr-pressni ishlatishdagi xarajatlar

$$в = \frac{x}{izn_1} = \frac{2000}{10 \cdot 345 \cdot 23} = 0,025 \text{ so'm/soat}$$

Ish jarayonlarining narxi

$$A = a + в = 0,050 + 0,025 = 0,075 so'm / soat$$

Yordamchi jarayonlarning narxi

$$B = в + d = 0,025 + 0,275 = 0,30 so'm / soat$$

Siklning optimal davomiyligi

$$\tau_{s\,opt} = \tau_в \left(1 + \frac{B}{A}\right) + \kappa_2' V_o' \cdot \sqrt{\frac{\tau_B}{k_1'} \cdot \frac{B}{A}} = 10\left(1 + \frac{0,30}{0,075}\right) +$$

$$+3,46 \cdot 10^4 \cdot 1,63 \cdot 10^{-5} \sqrt{\frac{10 \cdot 0,30}{2,61 \cdot 10^4 \cdot 0,75}} = 50 \text{ min}.$$

Filtrlashning optimal davomiyligi

$$\tau_{opt} = \frac{B \cdot в_1 \cdot \tau_B}{\kappa_1' \cdot A} = \frac{0,30 \cdot 0,85 \cdot 10^4 \cdot 10}{2,61 \cdot 10^4 \cdot 0,075} = 13 \text{ min}.$$

Yuvishning optimal davomiyligi

$$\tau_{yuv} = \frac{B \cdot в_2 \cdot \tau_B}{\kappa_1' \cdot A} = \frac{0,30 \cdot 1,76 \cdot 10^4 \cdot 10}{2,61 \cdot 10^4 \cdot 0,075} = 27 \text{ min}$$

Bir ish sikliga to'g'ri keluvchi minimal xarajatlar

$$T_{min} = 2 \cdot \tau_B B + A \cdot k_2' \cdot V_o' \sqrt{\frac{\tau_B B}{k_1' A}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 10 \cdot 0,3 + 0,075 \cdot 3,46 \cdot 10^4 \cdot 1,63 \cdot 10^{-5} \sqrt{\frac{10 \cdot 0,3}{2,61 \cdot 10^4 \cdot 0,075}}}{60} = 0,1 so'm$$

Filtrning optimal unumdorligi

$$Q_{opt} = \frac{F_1}{(A+B)\sqrt{\frac{k_1' \tau_B}{AB}} + k_2' V_o'} =$$

$$\frac{50 \cdot 60}{(0,075+0,3)\sqrt{\frac{2,61 \cdot 10^4 \cdot 10}{0,075 \cdot 0,3}} + 3,46 \cdot 10^4 \cdot 1,63 \cdot 10^{-5}} = 2,36 m^3 / soat$$

Unumdorliklar nisbati

$$\frac{Q_{opt}}{Q_{max}} = \frac{2,36}{2,94} = 0,8$$

Filtrlarni optimal soni

$$m_{opt} = \frac{Q}{F_1}\left[(A+B)\sqrt{\frac{k_1' \cdot \tau_b}{AB}} + k_2' V_0'\right] =$$

$$\frac{0,147}{50}\left[(0,075+0,30) \cdot \sqrt{\frac{2,61 \cdot 10^4 \cdot 10}{0,75 \cdot 0,3}} + 3,46 \cdot 10^4 \cdot 1,63 \cdot 10^{-5}\right] = 3,8 \approx 4$$

Filtr-press qurilmasining ishlash vaqtidagi minimal xarajatlar

$$D_{min} = \frac{Q}{F_1}\left[2\sqrt{ABk_1' \cdot \tau_b} + Ak_2' V_0'\right] =$$

$$= \frac{0,147}{50}\left[2 \cdot \sqrt{2,61 \cdot 10^4 \cdot 0,075 \cdot 0,3 \cdot 10} + 0,075 \cdot 3,46 \cdot 10^4 \cdot 1,63 \cdot 10^{-5}\right] =$$

$$= 0,45 so'm / soat$$

Olinayotgan filtratning optimal nisbiy hajmi

$$V_{opt}' = \sqrt{\frac{\tau_B B}{A k_1'}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 0,30}{0,075 \cdot 2,61 \cdot 10^4}} = 3,9 \cdot 10^{-2} m^3 / m^2$$

Press ramasidagi cho'kmaning optimal qalinligi

$$\delta'_{opt} = 2V\sqrt{\frac{\tau_b B}{Ak'_1}} = 2 \cdot 0{,}557\sqrt{\frac{10 \cdot 0{,}30}{0{,}075 \cdot 2{,}61 \cdot 10^4}} = 4{,}4 \cdot 10^{-2} m = 44mm$$

Qurilmaning maksimal unumdorligida uning ishlash uchun sarflanadigan xarajatlar

$$D_{max} = \frac{Q}{F_1}\left[(A+B)\sqrt{k'_1 \cdot \tau_b} + Ak'_2 V'_0\right] =$$

$$= \frac{0{,}147}{50}\left[(0{,}075+0{,}3) \cdot \sqrt{2{,}61 \cdot 10^4 \cdot 10} + 0{,}075 \cdot 3{,}46 \cdot 10^4 \cdot 1{,}63 \cdot 10^{-5}\right] = 0{,}565 so'm / soat$$

Filtr-presslarning maksimal unumdorlikdagi soni

$$m_{min} = \frac{Q}{F_1}\left[2\sqrt{k'_1 \cdot \tau_b} + k'_2 V'_0\right] =$$

$$= \frac{0{,}147}{50}\left[2 \cdot \sqrt{2{,}61 \cdot 10^4 \cdot 10} + 3{,}46 \cdot 10^4 \cdot 1{,}63 \cdot 10^{-5}\right] = 3$$

U holda

$$D_{Q_{max}} = \frac{(A+B)m_{min}}{2} = \frac{0{,}075+0{,}3}{2}3 = 0{,}565 so'm / soat$$

Barabanli-vakuum filtr. Oldingi misolda berilgan suspenziya va c_1, c_2, ρ_ϕ, ρ_c, μ, Q, ρ_o, r'_m, s kattaliklar qiymatlarida hisoblashni bajaramiz. Qo'shimcha kattaliklar: $p=p_{yuv}$=5500 kg·k/sm^2; h=0,008 m, μ_{yuv}=0,685·10^{-6} kg·k·min/m^2; v=1,05; α_o=0,0005 m^3/kg

Seksiyalarning umumiy soni n_c=20, quritish, chiqarish, cho'ktirish seksiyalarining va «foydasiz» zonalarning soni: n'_c=5; φ'_1= 45°; φ_m=3°.

Cho'kmaning o'rtacha nisbiy qarshiligi:

$$r_m = r'_m p^s = 8.44 \cdot 10^7 \cdot 5500^{\cdot 0.887} = 1{,}76 \cdot 10^{11} m / kg$$

Nam cho'kma zichligi:

$$\rho_o = \frac{1}{\frac{c_2}{\rho_c} + \frac{1-C_2}{\rho_\phi}} = \frac{1}{\frac{0{,}65}{2{,}8 \cdot 10^3} + \frac{1-0{,}65}{1{,}3 \cdot 10^3}} = 2 \cdot 10^3 kg / m^3$$

Filtrlash tenglamasining konstantalari:

$$b_1 = \frac{\mu \cdot r_m \cdot C}{2p} = \frac{0,915 \cdot 10^{-6} \cdot 1,76 \cdot 10^{11} \cdot 0,726 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 5500} = 1,060 \cdot 10^4 \text{ min}/m^2$$

$$V_o' = \frac{R_o}{r_m \cdot C} = \frac{1,065 \cdot 10^{10}}{1,76 \cdot 10^{11} \cdot 0,726 \cdot 10^3} = 0,834 \cdot 10^{-4} m^3 / m^2$$

$$V' = \frac{h_2}{V} = \frac{0,008}{0,557} = 0,0144 m^3 / m^2$$

Filtrlash vaqti

$$\tau = \frac{b_1 h_2 (h_2 + 2UV_0')}{U^2} =$$

$$= \frac{1,06 \cdot 10^4 \cdot 0,008(0,008 + 2 \cdot 0,557 \cdot 0,834 \cdot 10^{-4})}{0,557^2} = 2,2 \text{ min}$$

Yuvish tenglamasining konstantasi

$$b_2' = \frac{\alpha_o \rho_o \mu_{yuv} C \cdot r_m}{P_{yuv}} =$$

$$= \frac{0,005 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 0,685 \cdot 10^{-6} \cdot 0,726 \cdot 10^3 \cdot 1,76 \cdot 10^{11}}{5500} = 1,59 \cdot 10^4 \text{ min}/m^2$$

Yuvish vaqti

$$\tau_{yuv} = \frac{b_2' h_2 (h_2 + UV_0')}{U} =$$

$$= \frac{1,59 \cdot 10^4 \cdot 0,008(0,008 + 0,557 \cdot 0,834 \cdot 10^{-4})}{0,557} = 1,84 \text{ min}$$

Haqiqiy yuvilish maydonining nazariyga nisbatini e'tiborga olib,

$$\tau_{yuv}' = \nu \cdot \tau_{yuv} = 1,05 \cdot 1,84 = 1,93 \text{ min}$$

Quritish, cho'kmani chiqarish va «foydasiz» zonada bo'lish vaqti

$$\tau' = \frac{\left(\tau + \tau_{yuv}'\right) n_c'}{n_c - n_c'} = \frac{(2,2 + 1,93)5}{20 - 5} = 1,37 \text{ min}$$

Ish siklining umumiy davomiyligi

$$\tau_{um} = \tau + \tau_{yuv}' + \tau' = 2,2 + 1,93 + 1,37 = 5,5 \text{ min}$$

Purkash va cho'kmani chiqarish sektorlarining burchagini φ_1, hamda «foydasiz» zona sektorining burchagini φ_m qabul qilib:

$$\varphi' = \varphi_1' + \varphi_m + \frac{360}{2n_c} = 45 + 3 + \frac{360}{2 \cdot 20} = 57^0$$

Cho'kmani quritish vaqti

$$\tau_k = \tau' - \frac{\phi'}{360}\tau_{um} = 1{,}37 - \frac{57}{360} \cdot 5{,}5 = 0{,}5 \text{ min}$$

Filtrlashning umumiy yuzasi

$$F_{um} = \frac{\tau_{um} \cdot Q' \cdot U}{h_2} = \frac{5{,}5 \cdot 0{,}147 \cdot 0{,}557}{0{,}008} = 56{,}2 m^2$$

Filtr barabanining aylanish chastotasi

$$n = \frac{1}{\tau_{um}} = \frac{1}{5{,}5} = 0{,}182 ayl / \text{min}$$

Filtr barabanining burchak tezligi

$$\omega = 360n = 360 \cdot 0{,}182 = 65{,}5\,^o/\text{min}$$

Filtrlash sektorining burchagi

$$\varphi = \omega \cdot \tau = 65{,}5 \cdot 2{,}2 = 144^0$$

Yuvish sektorining burchagi

$$\phi'_{yuv} = \omega \cdot \tau'_{yuv} = 65{,}5 \cdot 1{,}93 = 126{,}5^0$$

Quritish zonasi sektorining burchagi

$$\varphi_k = \omega \cdot \tau_k = 65{,}5 \cdot 0{,}5 = 33^0$$

«Foydasiz» zonalar sektorining burchagi

$$\varphi_2' = \varphi_m + \frac{360}{2n_c} = 3 + \frac{360}{2 \cdot 20} = 12^0$$

Barabanni suyuqlikka botish sektorining burchagi

$$\varphi = \varphi_2' + \varphi = 12 + 144 = 156^0$$

Qurilmadagi filtrlar sonini aniqlash uchun baraban diametrini D=3 m va uzunligini l=4,4 m deb qabul qilamiz. Bu baraban yuzasining maydoni F_1=40 m^2 bo'lgan standart filtrdir; berilgan unumdorlik uchun bunday filtrdan 2 ta o'rnatish zarur.

Barabanni suspenziyaga botish chuqurligi

$$H = \frac{D_6}{2}\left[1 - \cos(\phi_2' + \phi)\right] = \frac{3}{2}\left(1 - \cos\frac{156}{2}\right) = 1{,}19 m$$

Suspenziya zichligi

$$\rho_{sus} = \frac{1}{\frac{c_1}{\rho_s} + \frac{1-c_1}{\rho_f}} = \frac{1}{\frac{0,30}{2,8\cdot10^3} + \frac{1-0,3}{1,3\cdot10^3}} = 1,55\cdot10^3 kg/m^3$$

Filtrga berilayotgan suspenziya miqdori

$$G = \frac{Qc}{c_1} = \frac{0,147\cdot0,726\cdot10^3}{0,3} = 0,356\cdot10^3 m^3/\min$$

Vannaga kirayotgan suspenziya miqdori

$$Q_{sus} = \frac{G}{\rho_{sus}} = \frac{0,356\cdot10^3}{1,55\cdot10^3} = 0,230 m^3/\min$$

Filtr vannasining foydali hajmi

$$V_B = Q_{sus}\cdot\tau_0 = 0,23\cdot5,5 = 1,26 m^3$$

Filtr birlik yuzasiga to‘g‘ri keluvchi havo sarfi

$$Q_x = \frac{k'\mu\cdot V'}{2b_1(V'+V_0')\mu_x} =$$

$$= \frac{5\cdot0,915\cdot10^{-6}}{2\cdot1,06\cdot10^4(0,0144+0,834\cdot10^{-4})3,05\cdot10^{-8}} = 0,5 m^3/(m^2\cdot\min)$$

3-bob. Filtrlash bo‘yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Filtrlash jarayonining turlari va mohiyati nimada?
2. Qanday kuch filtrlash jarayonini harakatga keltiradi?
3. Filtrlash jarayonining tezligi ifodalovchi formulani yozing va izohlang.
4. Teshikli panjara va cho‘kma gidravlik qarshiligini hisoblash formulasi.
5. Filtrlash konstantasi nima?
6. Qumli filtr konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
7. Romli filtr-press konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
8. Diskli vakuum-filtr konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
9. Barabanli vakuum-filtr konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
10. Lentali vakuum-filtr konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.

GAZLARNI TOZALASH

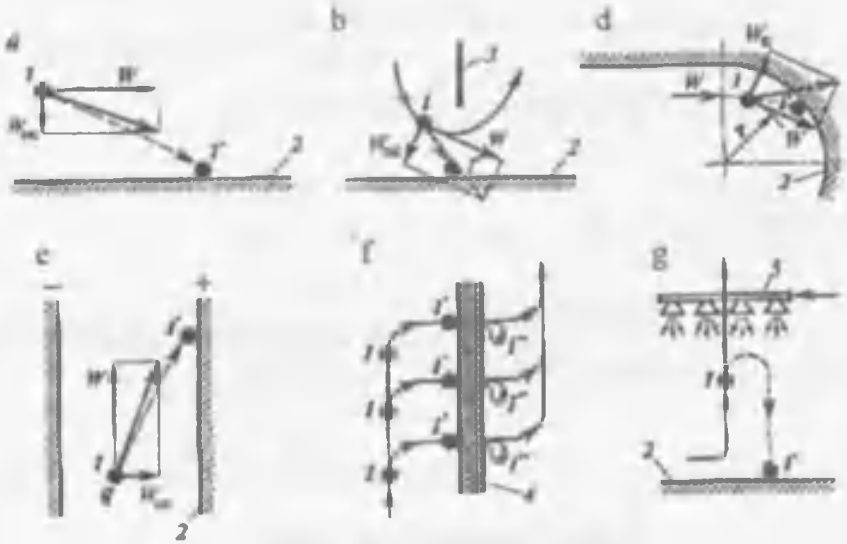
3.15. Umumiy tushunchalar

Gaz aralashmalar tarkibidagi qattiq yoki suyuq zarrachalarni sanoat miqyosida ajratishdan maqsad havo iflosligini kamaytirish, qimmatbaho mahsulotlarni ajratib olish yoki texnologiyaga salbiy ta'sir etuvchi zararli hamda qurilmalarni buzilishga olib keluvchi moddalarni chiqarib tashlashdir.

Kimyo, yengil, neft-gaz, tog'-kon va oziq-ovqat sanoatlarning asosiy texnologik jarayonlaridan biri ifloslangan gazlarni tozalashdir. Shuning uchun, turli jinsli gaz sistemalarni ajratish kimyoviy texnologiyaning dolzarb va eng keng tarqalgan asosiy jarayonlaridan biridir.

Sanoat miqyosida chang hosil bo'lishining manbalari: qattiq jismlarni mexanik maydalash (chaqish, ezish, arralash, yedirilish va ularni uzatish), yoqilg'ilar yonishida (kul hosil bo'lish), bug'lar kondensatsiyalanishida, hamda gazlarning o'zaro kimyoviy ta'siri natijasida qattiq mahsulotlar hosil bo'lish jarayonida.

Odatda, changlar tarkibida o'lchami 3...100 mkm bo'lgan qattiq zarrachalar mavjud bo'ladi. Bug'lar kondensatsiyalanishi natijasida 0,001...1 mkm o'lchamli mayda suyuqlik tomchilari hosil bo'ladi.



Gaz oqimidagi zarrachalarni ajratib olishning asosiy usullari.
a-og'irlik kuchi ta'sirida cho'ktirish; b-inersion kuchlar ta'sirida cho'ktirish; d-markazdan qochma kuch ta'sirida cho'ktirish; e-elektr maydoni ta'sirida cho'ktirish; f- filtrash; g-yuvib tozalash; 1-gaz tarkibidagi zarracha; 1'(1'')- gazdan ajratib olingan zarracha; 2-cho'ktirish yuzasi; 3- to'siq; 4-filtr-to'siq; 5-suyuqlikni purkash moslamasi.

Gazlarni quyidagi tozalash usullari ma'lum:

1. og'irlik kuchi ta'sirida cho'ktirish (gravitatsion tozalash);
2. inersiya kuchlari ta'sirida cho'ktirish, ya'ni markazdan qochma kuchlar;
3. filtrlash;
4. suyuqlik bilan yuvib tozalash;
5. elektrostatik kuchlar ta'sirida cho'ktirish (elektr maydon ta'sirida).

Birinchi ikkita usulda, ya'ni og'irlik va markazdan qochma kuchlar ta'sirida tozalash natijasida yirik zarrachalarni, qolgan usullarda esa - 20 mkm va undan o'lchami kichik bo'lgan zarrachalarni ajratib olish mumkin.

Har doim ham bitta gaz tozalash qurilmasida gazlarni kerakli yuqori darajada tozalab bo'lmaydi. Shuning uchun, amaliyotda ikki va ko'p bosqichli tozalash qurilmalari qo'llaniladi.

Gazni tozalash darajasi η quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\eta = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100\% = \frac{V_1 x_1 - V_2 x_2}{V_1 x_1} \cdot 100\% \qquad (3.67)$$

bu yerda, G_1 va G_2 – boshlang'ich va tozalangan gazdagi qattiq zarrachalar massasi, kg/soat; V_1 va V_2 – boshlang'ich va tozalangan gazlarning hajmiy sarflari, m^3/soat; x_1 va x_2 – boshlang'ich va tozalangan gazda qattiq zarrachalar konsentratsiyasi, kg/m^3.

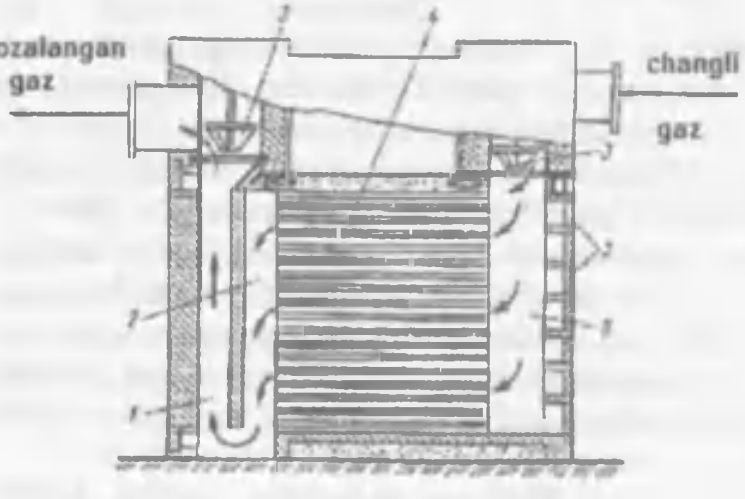
Gazsimon turli jinsli sistemalarni tozalash jarayonining nazariy asoslari 3.1... 3.13 paragraflarda bayon etilgan.

3.16. Og'irlik kuchi ta'sirida gazlarni tozalash

Cho'ktirish jarayonini hisoblashda 3.4 paragrafda keltirib chiqarilgan, ya'ni qattiq zarrachalarni suyuqliklarda cho'kishini ifodalovchi tenglama va qonuniyatlar qo'llaniladi.

Changlarni (dag'al tozalash uchun) tozalash uchun davriy va uzluksiz ishlaydigan qurilmalardan foydalaniladi. Chang cho'ktirish kamerasi bu turdagi asosiy qurilmalardan biridir.

Chang cho'ktirish kamerasi ichida gorizontal tokchalar joylashtirilgan bo'lib, to'g'ri to'rtburchak shakldagi asosiy qismdan iborat (3.27-rasm).



3.27-rasm. Chang cho'ktirish kamerasi.
1-chiqish kanali; 2-yig'uvchi kanal; 3-klapanlar;
4-gorizontal tokcha; 5-eshikchalar;
6-so'rish kanali.

Chang, rostlovchi klapan 3 orqali so'rish kanali 6 ga kiradi va gorizontal tokchalar 4 orasiga taqsimlanadi. Tokchalar orasidagi masofa 100...400 mm bo'ladi.

Tokchalarning asosiy vazifasi chang zarrachalarining cho'kish masofasini qisqartirishdir. Undan tashqari, tokchalar borligi cho'kish yuzasini ko'payishiga olib keladi. Tokchalar orasida chang harakat qilganda, chang oqimining yo'nalishi o'zgaradi, bu esa uning tezligini kamayishiga olib keladi. Natijada qattiq zarrachalar ularning yuzasida cho'kib qoladi. Tozalangan gaz esa, chiqish kanali orqali tashqariga yo'naladi. Qurilma kamerasida chang gaz oqimining tezligi cho'kish vaqti bilan chegaralanadi.

Cho'ktirish kamerasida chang gaz oqimining harakati vaqtida qattiq zarrachalar tokchalar yuzasiga cho'kib ulgurishi kerak.

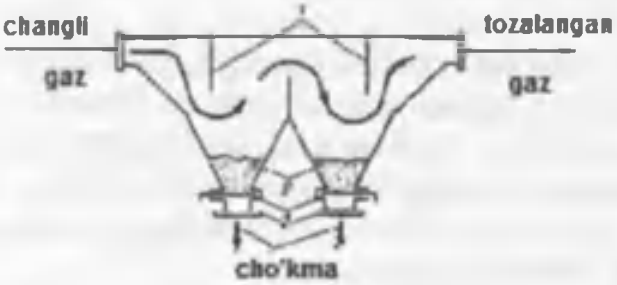
Tokchalarga yig'ilib qolgan changlar vaqti-vaqti bilan kurakchalarda olib tashlanadi yoki suv bilan yuviladi. Chang cho'ktirish kamerasi navbatma-navbat ishlaydigan ikki bo'limdan iborat. Birinchi bo'lim chang (qattiq zarrachalar)dan tozalansa, ikkinchisida esa, shu vaqtda gazni tozalash jarayoni boradi va natijada qurilmaning uzluksiz ishlashiga erishiladi.

Chang cho'ktirish kamerasining ishchi yuzasi (3.41) tenglama yordamida hisoblanadi. Bunda $x_{ch} = 1$ deb qabul qilish mumkin.

Chang cho'ktirish kamerasida faqat gazlardan yirik zarrachalarni ajratish mumkin, ya'ni dag'al tozalash uchun qo'llash maqsadga muvofiqdir. Shuning uchun, bu turdagi qurilmalar dastlabki tozalash uchun, ya'ni qattiq zarrachalar o'lchami 100 mkm dan katta bo'lgan gazsimon turli jinsli sistemalarni ajratish uchun mo'ljallangan. Qurilmaning tozalash darajasi - 30...40%.

Hozirgi kunda ushbu turdagi qurilmalar qo'polligi va samaradorligi past bo'lgani uchun zamonaviy va mukammal tozalash qurilmalari bilan almashtirilmoqda.

3.17. Inersion va markazdan qochma kuchlar ta'sirida gazlarni tozalash

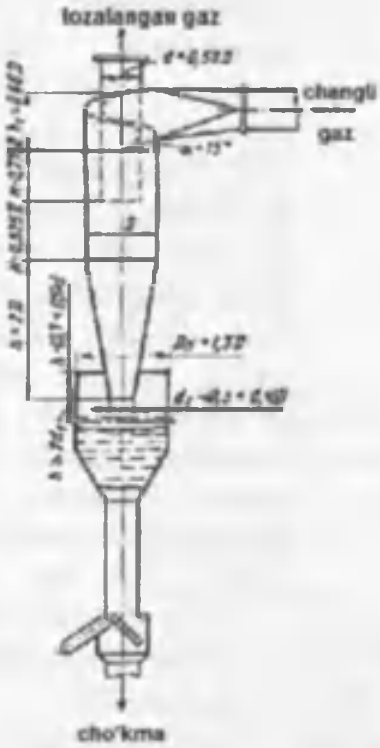


3.28-rasm. Qaytaruvchi to'siqli tindirgich.
1 - qaytaruvchi to'siqlar;
2 - chang yig'gich; 3 - shiberlar.

Inersiya kuchlari ostida gazlarni tozalash qaytaruvchi to'siqli tindirgich va markazdan qochma kuchlar ta'sirida ishlaydigan siklonlar konstruksiyasi asosida yotibdi.

Qaytaruvchi to'siqli tindirgich yirik dispersli changlarni ajratish uchun mo'ljallangan (3.28-rasm).

Qaytaruvchi to'siqlar gaz oqimini uyurmalanishi uchun xizmat qiladi. To'siqlardan o'tish paytida hosil bo'ladigan inersiya kuchlari qattiq zarrachalarni intensiv cho'kishiga sababchi bo'ladi. Yig'gich 2 ga to'plangan qattiq zarrachalar shiber 3 yordamida chiqarib yuboriladi. Bunday qurilmalar gaz o'tkazish sistemalarida o'rnatiladi. Inersiya kuchlari asosida ishlaydigan chang tozalash qurilmalarining tuzilishi sodda va ixcham. Tozalash darajasi 60%, cho'ktirilayotgan zarrachalar o'lchami 25 mkm va undan yuqori.



3.29-rasm. NIIOGaz sikloni.

Siklonlar markazdan qochma kuchlar maydonida changlarni tozalash imkonini beradi. Mashinasozlik korxonalarida qobig'ining diametri 100...1000 mm li siklonlar tayyorlanadi. Ularning ishlash samaradorligi ajratish koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi. Changlarni tozalash darajasi siklon konstruksiyasi, zarracha o'lchami va zichligiga bog'liq.

Masalan, 25 mkm li zarrachalar cho'ktirilayotgan bo'lsa, siklonning f.i.k. 95% ni tashkil etadi, lekin zarracha diametri 10 mkm bo'lsa, f.i.k. 70% gacha kamayadi.

Siklon kichik gidravlik qarshilik va nisbatan yuqori tozalash darajasiga ega bo'lgan silindrik va konussimon qismlardan iborat qurilmadir (3.29-rasm).

Changli gaz tangensial yo'nalishda 10...40 m/s tezlikda siklonning kirish patrubkasi

orqali kiritiladi. Tangensial kirish va qurilmaning ichida markaziy chiqarish trubasi borligi uchun gaz oqimi pastga spiralsimon aylanma harakat qiladi. Bu esa o'z navbatida markazdan qochma kuch hosil bo'lishiga olib keladi. Ushbu kuch ta'sirida gaz oqimidagi qattiq zarrachalar siklonning ichki devoriga uloqtirib tashlanadi, devorga urilib kinetik energiyasini yo'qotadi va og'irlik kuchi ta'sirida qurilma tubiga qarab to'kiladi. Siklonning pastki konussimon qismida gaz oqimi inersiya kuchi ta'sirida spiralsimon harakat yo'nalishini davom ettiradi va konus diametri kamayib borishi sababli yuqoriga qarab yo'nalgan oqim paydo bo'ladi. Bu oqim tozalangan gaz bo'lib, markaziy truba orqali siklondan tashqariga chiqib ketadi.

Siklonlarning aniq hisobi juda murakkab bo'lgani uchun gidravlik qarshilik Δp parametri bo'yicha soddalashtirilgan hisoblar qilinadi.

Siklonning silindrik qismidagi gazning soxta tezligi w_ϕ (m/s) quyidagi formula yordamida aniqlanishi mumkin:

$$w_\phi = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_r \cdot \xi}} \tag{3.68}$$

bu yerda, $\Delta p/\rho_r$ – ajratish faktori; ξ – gidravlik qarshilik koeffitsiyenti.

3.30-rasmda keltirilgan siklonlar uchun $\Delta p/\xi = 500...700$ m^2/s^2.

Siklon diametri D (m) ushbu formuladan topiladi:

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot w_\phi}} \tag{3.69}$$

Siklonning silindrik qismi diametri D aniqlangandan so'ng, qolgan o'lchamlari hisoblanadi, chunki hamma o'lchamlar siklon diametri D ning funksiyasidir.

Gazlarni tozalash darajasini oshirish uchun siklon diametrini kamaytirish yoki gaz oqimi tezligini oshirish zarur.

NIIOGaz siklonida gazsimon turli jinsli sistemalarni tozalash darajasi 30...85% ga teng. Lekin gaz tarkibidagi zarrachalar o'lchami ortishi bilan gazlarning tozalanish darajasi 90...95% gacha o'sishi mumkin.

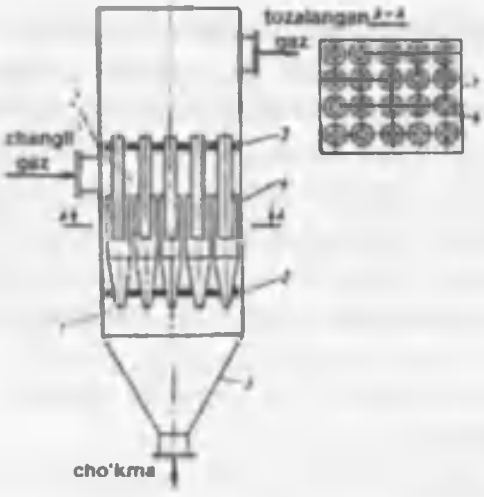
Markazdan qochma tipdagi chang ushlagichlar mayda dispers zarrachalar (~5 mkm) ni ajratish samaradorligini oshirish maqsadida gaz oqimining harakati o'rganilgan va f.i.k. ni aniqlash uchun quyidagi formula olingan [45]:

$$\bar{\eta} = \sum_{i=1}^{N} \varepsilon_i \cdot \eta(\delta_i) \tag{3.69a}$$

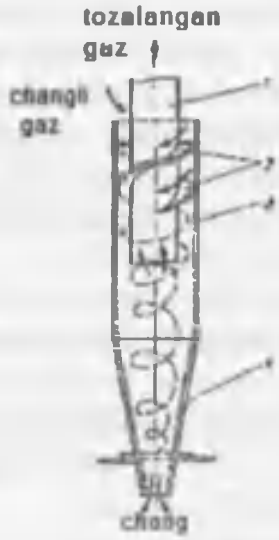
bu yerda, N–raksiyalar soni. Agar zarrachalar o'lchami 5 mkm dan ko'p bo'lsa, ajratish 100%, 5 mkm dan kichik zarrachalar uchun esa $\eta(\delta)=20\,\delta$ tenglikdan topish mumkin.

Batareyali siklon bir qancha parallel ulangan kichik diametrli (150...250mm) siklonlardan tashkil topgan (3.30-rasm). Siklon elementlari diametrining kichikligi, markazdan qochma kuch va cho'kish tezligini oshirish imkonini beradi. Kichik o'lchamli siklonlar qurilmadagi ikkita to'siqqa mahkamlanadi.

Qurilmaga kirish patrubkasi orqali yuborilgan chang gaz taqsimlash kamerasiga kiradi va u yerdan barcha siklon elementlarga bir xilda tarqaladi. So'ng, elementlarga gaz tangensial yo'nalishda emas, balki ularning tepasidan siklon qobig'i va markaziy chiqish trubasi orasidagi halqasimon bo'shliqqa yuboriladi. Ushbu halqasimon bo'shliqda oqimga spiralsimon aylanma harakat yo'nalishini ta'minlash uchun u yerga vintli parraklar o'rnatiladi (3.31-rasm).



3.30-rasm. Batareyali siklon.
1 - qobiq; 2 - gaz taqsimlash kamerasi;
3 - panjara; 4 - siklon elementi; 5 -bunker.



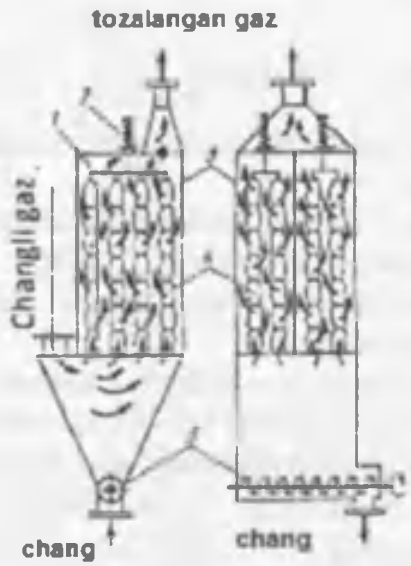
3.31-rasm. Batareyali siklon elementi.
1 - markaziy chiqish trubasi;
2 – vintli parraklar; 3 - qobiq;
4 - konussimon tub.

Siklon elementlaridan o'tib tozalangan gazlar markaziy truba 1 orqali umumiy kameraga yig'iladi va chiqish shtuseridan tashqariga uzatiladi.

Hamma siklon elementlarida ushlanib qolingan qattiq zarrachalar batareyali siklonning pastki qismi 5 da to'planadi va undan so'ng tashqariga to'kiladi.

Agar bir nechta katta siklonlarni iqtisodiy jihatdan qo'llash maqsadga muvofiq bo'lmasa, gazlar sarfi katta jarayonlarda batareyali siklonlar ishlatiladi. Siklonlarda o'lchami 10 mkm va undan kam bo'lgan qattiq zarrachalarni cho'ktirish tavsiya etiladi. Batareyali siklonlarning tozalash darajasi 65...85% (d = 5 mkm li zarrachalar uchun), 85...90% (d = 10 mkm li zarrachalar uchun) va 90...95% (d = 20 mkm zarrachalar uchun).

3.18. Gazlarni g'ovakli to'siqlarda tozalash



3.32-rasm. Yengli filtr.
1 - rom; 2 – silkituvchi mexanizm;
3 – qobiq; 4 - yeng; 5 - shnek.

Filtrlovchi to'siq turiga qarab egiluvchan, yarim qattiq, qattiq g'ovak to'siqli va donador qatlamli filtrlar bo'ladi.

Yumshoq filtrlovchi to'siqli filtrlarga yengli yoki qopli filtrlar kiradi va ular gazlami tozalash uchun keng miqyosda qo'llaniladi. Filtrlovchi to'siq sifatida tabiiy, sintetik va mineral tolalar (to'qima materiallar), g'ovak listli materiallar (g'ovakli rezina, penopoliuretan) va metall to'qimalar ishlatiladi.

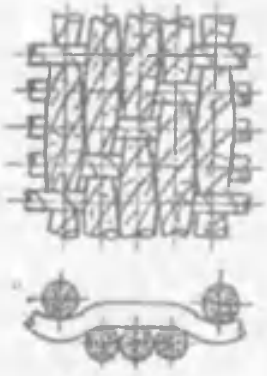
Batareyali yengli filtr. Bu turdagi qurilmalarning filtrlovchi elementi to'qima materialdan yasaladi (3.32-rasm). Filtrlovchi yeng 4 va qoplar to'rtburchak shaklidagi qobiq 3 ning umumiy romi 1 ga osilib qo'yiladi. Pastdan yuqoriga qarab harakat qilayotgan changli gaz filtrlovchi yenglarning uchidagi ochiq teshikdan ichiga kiradi. So'ng,

silindr yenglarining yon tomon yuzasidan o'tayotganida gaz tozalanib chiqib ketadi, qattiq zarrachalar esa yengning ichki devorida ushlanib qoladi.

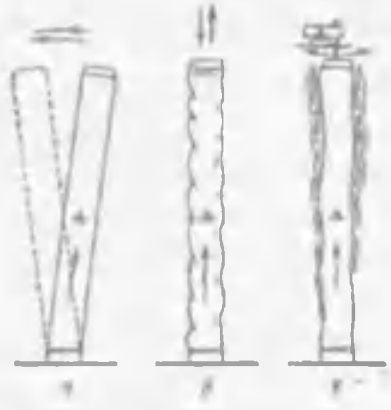
Foydalanish jarayonida chang qatlami ortib boradi va filtrning qarshiligi kattalashadi. Filtr yenglarini qayta tiklash uchun vaqti-vaqti bilan mexanizm 2 yordamida silkitib turish zarur. Shunda, yenglar yuzasida o'tirib qolgan changlar to'kiladi va shnek 5 yordamida tashqariga chiqariladi. Ba'zi bir hollarda yenglarni qayta tiklash uchun filtr elementlar siqilgan havo yoki gaz yordamida qarama - qarshi yo'nalishda puflab tozalanadi. Ba'zi hollarda seksiyali filtrlar ham ishlatiladi. Bunda har seksiya o'zining silkituvchi mexanizmiga ega bo'ladi. Bu esa filtr seksiyalarni ketma-ket tozalash imkonini beradi, ya'ni filtr qurilmani to'xtatmasdan filtr elementlarini qayta tiklash jarayonini amalga oshirsa bo'ladi.

Uzluksiz ishlaydigan yengli filtrlarning filtrlash tezligi 0,007...0,017$m^3/(m^2 s)$ ga teng. Lekin filtrlovchi to'qimalar uzluksiz ravishda qayta tiklanishi tufayli filtrlash tezligi 0,05...0,08 $m^3/(m^2 s)$ gacha ortadi.

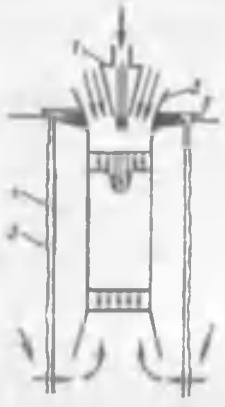
Eng keng tarqalgan yengli filtrlarning gidravlik qarshiligi 1,5...2,5 kN/m^2 (150...250 mm. suv ust.).



3.32a-rasm. Filtr to'qima yengni tuzilishi.



3.32b-rasm. Filtr yengni qoqish. a-gorizontal yo'nalishda qoqish; b - vertikal yo'nalishda bo'shatish va taranglash.



3.32d-rasm. Filtr puflab tozalash ejektori.

Filtr elementlarining balandligi 600..1200 mm, chuqurligi 300...500 mm va qalinligi 25...50 mm bo'lishi mumkin.

Filtr to'qimalarda asos (diametri 300...700 mkm) va iplar orasida teshiklar 100...200 mkm ni tashkil etadi. 3.23a-rasmdan ko'rinib turibdiki, matoning tuzilishi bir xil emas. Undan tashqari, ipning tuklari teshiklar ustini berkitib turibdi.

Agar yengli filtrlardan to'g'ri foydalanilsa, gazlarni mayin, dispers changlardan tozalash darajasi 98....99% ni tashkil etadi.

Yenglar tabiiy, sintetik va mineral materiallardan tayyorlanadi. Masalan, 80°C dan past temperaturalarda paxta, bo'zdan, 110°C dan past temperaturalarda jundan, 130...140°C da poliamid, polietilen, poliakrilnitril tolalaridan, 275°C gacha politetraftoretilen va ftoroplastdan, 400°C gacha shisha tolalaridan yasalgan filtrlovchi yenglar ishlatiladi.

Kamchiliklari: yenglar tez ishdan chiqadi va kanallari to'lib qoladi; yuqori temperaturali va nam gazlarni tozalash mumkin emas.

Filtr to'qimalarni regeneratsiya qilishning asosan 2 ta usuli mavjud:

1) Filtr elementlarni qoqish – mexanik, aerodinamik, ya'ni tebratish yoki oqimlar harakat yo'nalishlarini keskin o'zgartirish, tovush tebranishlarini ta'sir ettirish yo'li bilan va h.k.

2) Filtrli elementlarni teskari havo yoki tozalangan gaz yordamida puflash – har bir yengni alohida puflash, atmosfera havosini so‘rib olish, katta hajmdagi gazlarni seksiyaga yuborish yo‘li bilan va h.k.

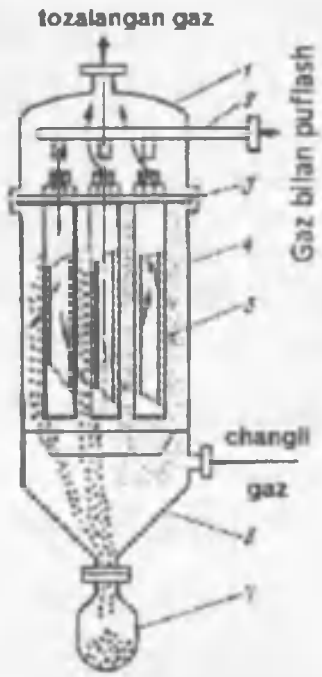
Ko‘pchilik yenglarni qoqishda ikkala usul bir paytning o‘zida aerodinamik ta’sirdan foydalanib qo‘llaniladi (3.32d-rasm). Bunda Venturi trubasi ko‘rinishidagi ejektor orqali filtrlovchi element ichiga siqilgan havo **impulsli** yuboriladi.

Yarim qattiq, filtrlovchi to‘siqli filtrlar kassetalardan tarkib topgan bo‘ladi. Gaz tarkibidagi qattiq zarrachalarni ushlab qolish uchun kassetada ikkita to‘r orasida shisha tolalar, metall qirindi yoki boshqa materiallar qatlami joylashtirilgan bo‘ladi.

Seksiyalarga biriktirilgan kassetalar past konsentratsiyali 0,001...0,005 g/m^3 changlarni tozalash uchun mo‘ljallangan.

Qattiq filtrlovchi to‘siqli filtrlar odatda changli gazlarni mayin tozalash uchun ishlatiladi. Filtrlovchi to‘siqlar g‘ovakli keramika, presslangan yoki qizdirib biriktirilgan kukunlar hamda plastmassalardan yasalishi mumkin.

Silindrik filtrlovchi elementli, patronli filtrlar. Temperaturasi yuqori bo‘lgan changli gazlarni tozalash uchun qo‘llaniladi. Bu qurilmalarning filtrlovchi elementi g‘ovakli qilib metallokeramikadan yasaladi va ular patronlar deb nomlanadi (3.33-rasm). Filtrlovchi elementlar silindrik halqasimon yoki tekis shaklda bo‘lishi mumkin.



3.33-rasm. Patronli filtr.
1 - qopqoq; 2 - kollektor; 3 - truba panjarasi; 4- qobiq; 5 - filtrlovchi element; 6 - tub; 7 - changyig‘gich.

Chang filtrlovchi elementdan o‘tib, tozalangan gaz qurilmaning yuqori qismidagi shtuserdan chiqib ketadi. Changlar esa filtrlovchi patronning tashqi yuzasi va g‘ovaklarida ushlanib qoladi. Patronlar tashqi yuzasi va g‘ovaklari chang bilan to‘lib qolsa, jarayon tezligi keskin ravishda pasayadi.

Shuning uchun ular siqilgan gaz yoki havo yordamida puflab qayta tiklanadi. Undan keyin, yana qaytadan gazni tozalash jarayoni davom ettiriladi.

Qayta tiklash paytida patrondan puflab chiqarilgan changlar konussimon tub 6 dan changyig‘gich 7 ga to‘kiladi.

Metallokeramik filtr elementli filtrlarda zarrachalarning o‘lchami 5 mkm dan yuqori bo‘lgan changli gazlarni tozalash mumkin.

Patronli filtrlovchi elementlar qattiqligi, yuqori mexanik mustahkamligi, kimyoviy va temperaturaning keskin tebranishlariga chidamliligi bilan ajralib turadi. Shuning uchun ham, ushbu filtrlovchi elementlar kimyoviy agressiv va issiq changlarni tozalash uchun ishlatiladi.

Gazlarni tozalash filtrlarning hisobini o‘tkazishdan maqsad, uning umumiy filtrlash yuzasini aniqlashdir, ya’ni

$$F = \frac{V}{V_{sol}} \qquad (3.70)$$

bu yerda V – changli gazning hajmiy sarfi, m^3/s; V_{sol} – filtrlarning solishtirma tezligi, m^3/(m^2 s);

Filtrlovchi elementlar soni esa ushbu tenglikdan topiladi:

$$n = F(\pi dl) \tag{3.71}$$

bu yerda d va l – yengning diametri va uzunligi.

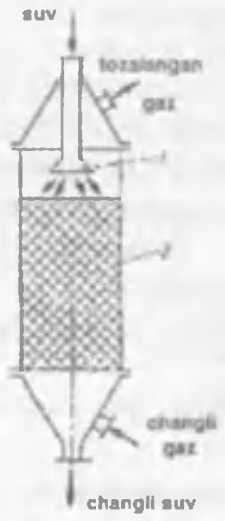
Donador qatlamli filtrlar. Bunday filtrlarda davriy, qo'zg'almas yoki uzluksiz harakatdagi filtrlovchi qatlam sifatida maydalangan koks, kvars qum, shlak, shag'al va boshqa materiallar qo'llanishi mumkin.

Filtrlovchi qatlam panjara yoki to'r orasidagi seksiyada, gorizontal yoki vertikal holatda o'rnatilishi mumkin.

3.16-rasmda uzluksiz ishlaydigan qumli filtr konstruksiyasi keltirilgan. Bu turdagi filtrlar gazlarni mayin tozalash uchun qo'llaniladi. Masalan, siqilgan gazlarni moylardan, qorakuyadan va sintez gazlarini changdan tozalash uchun ishlatilishi mumkin.

3.19. Gazlarni suyuqlik bilan yuvib tozalash

Changli gazlarni tozalash uchun ularni suv yoki boshqa suyuqliklar yordamida yuvib, qattiq zarrachalardan tozalanadi. Bu usul gazlarni sovitish va namlash ruxsat etilgan hamda qattiq zarrachalar qimmati bo'lmagan hollarda qo'llaniladi. Ma'lumki, gazlar sovutilganda suv bug'lari kondensatsiyalanib, zarrachalar namlanadi va ularning zichligi ortadi. Natijada qattiq zarrachalar gazdan oson ajraladi. Bunda, zarrachalar kondensatsiyalanish markazlari vazifasini bajaradi. Agar zarrachalar suyuqlik bilan ho'llanmasa, unda bu turdagi qurilmalarda gazlarni tozalash samarasizdir. Bunday hollarda gazlarni tozalash darajasini oshirish uchun suyuqlik tarkibiga spirt – sirtiy faol moddalar qo'shiladi, ya'ni suyuqlikning ho'llash qobiliyati oshiriladi.



3.34a-rasm. Nasadkali skrubber.
1 - purkagich; 2 - nasadka.

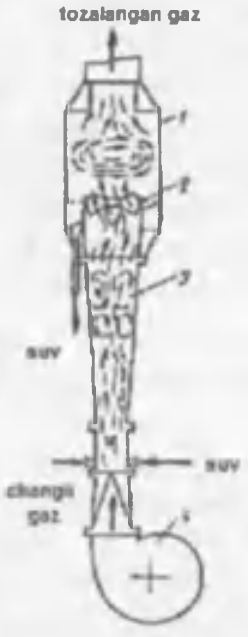
Suyuqlik bilan yuvib tozalovchi qurilmalarda, ularning konstruksiyasiga qarab, gazlarni tozalash darajasi 60 dan 85% gacha bo'ladi. Bu turdagi qurilmalarning asosiy kamchiligi shundaki, tozalash jarayoni o'tkazilishi natijasida oqava suvlar hosil bo'lishidir. Ma'lumki, oqava suvlar ham o'z navbatida tozalanishi kerak.

Skrubberlar ichi bo'sh yoki nasadkali, ko'ndalang kesim yuzasiga qarab esa, silindrsimon yoki to'g'ri to'rtburchak shakldagi kolonnalar ko'rinishida bo'ladi.

Ichi bo'sh skrubberlarga changli gaz qurilmaning pastki qismidan 0,8...1,0 m/s tezlikda kiritiladi. Gaz o'z yo'nalishini o'zgartirib, yuqoriga qarab harakat qiladi. Skrubberning tepa qismidagi purkagichdan suv yoki boshqa suyuqlik sochilib, og'irlik kuchi ta'sirida mayda tomchilar pastga qarab yo'naladi. Natijada gaz va suv tomchilari qarama - qarshi yo'lli harakatida bir - biriga ko'p marta uriladi. Bu o'zaro ta'sir tufayli gaz tarkibidagi qattiq zarrachalar suyuqlik bilan yuviladi, og'irlashadi va oqova suv hosil qilib, pastga tushadi. Tozalangan gaz skrubberning tepa qismidagi shtuserdan chiqib ketadi. Oqova suv qurilmaning tubidagi shtuser orqali tozalashga chiqarib yuboriladi.

Ichi bo‘sh skrubberda gazlarning tozalanish darajasi 60...75% ni tashkil etadi. Nasadkali skrubberlarda qobig‘ning ichiga nasadkalar ma’lum bir tartibda yoki tartibsiz o‘rnatiladi (3.34a-rasm).

Tozalash jarayoni intensivligi va tezligini oshirish uchun skrubberlarga albatta nasadkalar joylashtiriladi. Nasadkalar qo‘llanilishi natijasida gaz va suyuq fazalar o‘rtasida urinishlar ortadi, ya’ni to‘qnashuv yuzasi oshadi. Odatda skrubberlarga halqasimon yoki xordali nasadkalar o‘rnatiladi. Ayrim hollarda esa, koks yoki kvars bo‘laklaridan hosil qilingan qatlam, nasadka sifatida ishlatilishi mumkin. Nasadkali skrubberlarda gazlarning tozalanish darajasi 75...85%.



3.34b-rasm. Venturi skrubbri.
1-ajratgich; 2-oqimni uyurmalantiruvchi moslama; 3-venturi trubasi; 4-ventilator.

Venturi skrubberlari. Bu turdagi skrubber ikki qismdan (3.34b-rasm): Venturi trubasi 3 va ajratgich 1 dan tarkib topgan bo‘ladi. Venturi trubasi 3 da gaz tozalansa, ajratkich 1 da esa - suv tomchilari gaz oqimidan ajratiladi.

Tozalanishi zarur bo‘lgan gaz, qurilmaning pastki qismidan patrubkaga uzatiladi. Ma’lumki, Venturi trubasining diffuzor qismida konuslik ortib boradi. Bu esa, diffuzorda bosim kamayishiga, ya’ni vakuum hosil bo‘lishiga olib keladi. Ushbu vakuum hisobiga idishdan kollektor orqali Venturi trubasiga suv so‘rib olinadi. Suyuq faza gaz bilan to‘qnashishi natijasida mayda tomchilarga (~10 mkm) ajralib ketadi. Gaz va mayda tomchilarning o‘zaro urilishi paytida suyuqlik tomchilari qattiq zarrachalarni o‘ziga tortib oladi va yiriklashadi. So‘ng esa, ushbu tomchilar gaz oqimi bilan birga diffuzor orqali o‘tadi va natijada tezligi pasayadi. Gaz oqimini suyuqlik zarrachalaridan ajratish uchun uyurmalantiruvchi moslama xizmat qiladi. Ajratgichda ajratib olingan suyuqlik yig‘gichga oqib tushadi. Tozalangan gaz esa, skrubberning tepa qismidagi patrubkadan atmosferaga chiqarib yuboriladi.

Venturi skrubberida gazlarning tozalanish darajasi 98...99%, tuzilishi sodda va mexanik harakatlanuvchi qismlari yo‘q.

Kamchiliklari: gidravlik qarshiliklari katta (1500...7500 Pa) va qurilma qo‘shimcha tomchi ushlagich bilan jihozlanishi lozim.

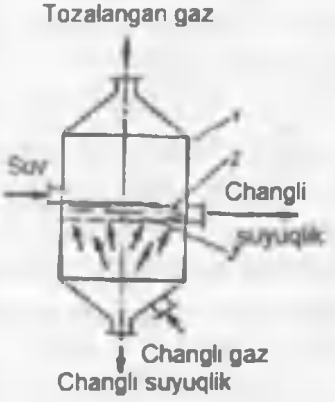
Ko‘pikli (barbotajli) chang ushlagichlar tarkibida, qattiq zarrachalar ko‘p va juda katta hajmdagi changli gazlarni tozalash uchun mo‘ljallangan (3.35-rasm).

Ko‘pikli (barbotajli) chang ushlagichlar tarelkali skrubber ko‘rinishida bo‘ladi.

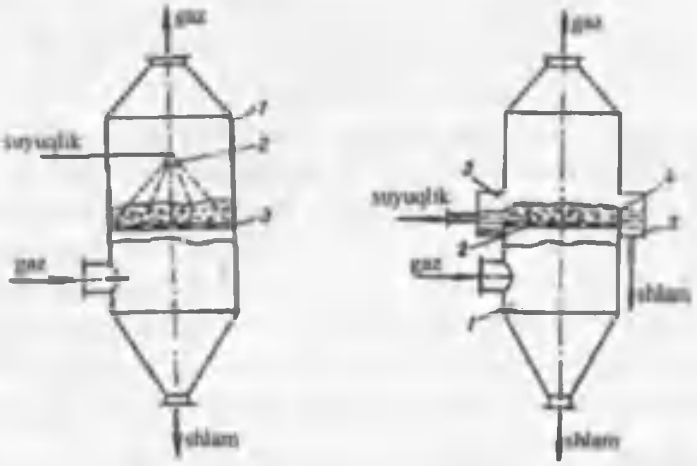
Gaz oqimining tezligi ortishi bilan suyuqlik va gaz oqimlarining o‘zaro ta’siri intensivlashadi va natijada yuqori turbulentli ko‘pik qatlami hosil bo‘ladi. Ushbu qatlamda uzluksiz ravishda yangi ko‘piklar hosil bo‘ladi, bir-biriga qo‘shiladi va buziladi. Shuning uchun ham bu turdagi qurilmalar ko‘pikli deb nomlanadi (3.35-rasm, 3.35a-rasm va 3.35b-rasm).

Changli gaz qurilmaning pastki qismidagi shtuser orqali yuboriladi va u tepaga qarab harakat qiladi. Qurilma silindrik qobiq 1 ning o‘rtasida joylashgan shtuser orqali yuvuvchi suv (yoki suyuqlik) teshikli tarelka ustiga yuboriladi. Pastdan kelayotgan changli gaz oqimi suyuqlikni barbotaj qiladi va natijada harakatchan ko‘pikli qatlam hosil bo‘ladi. «Gaz – suyuqlik» aralashmasidan iborat ko‘piklarda to‘qnashuv yoki urilish yuzasi katta va zarrachani ilintirish imkoniyati yuqori. Shuning uchun ham,

ko'pikli chang ushlagichlarda changli gazlarning tozalanish darajasi yuqori. Gazning tozalanish darajasiga qarab qurilmadagi teshikli tarelkalar soni aniqlanadi.



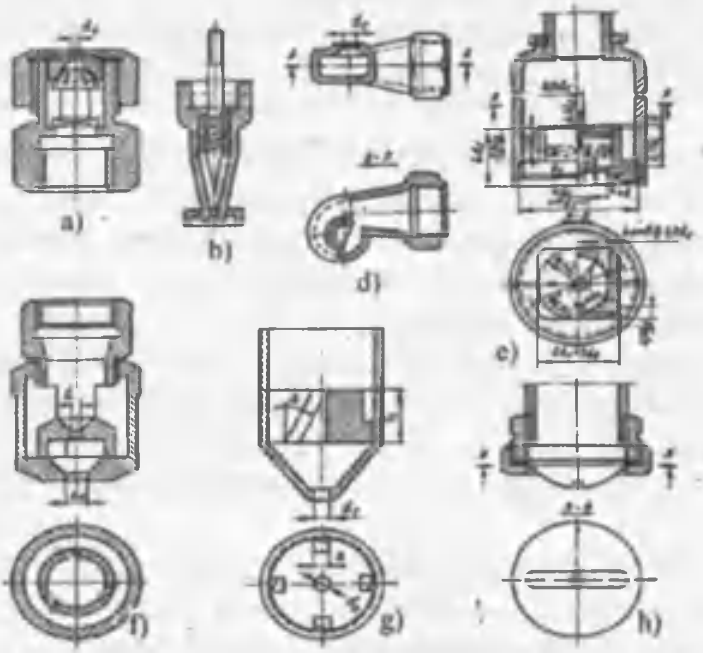
3.35-rasm. Ko'pikli skrubber. 1-qobiq; 2-rostlovchi ostona; 3-teshikli tarelka



3.35a-rasm. Elaksimon (a) va quyilish (b) tarelkali ko'pikli skrubber. a) 1-qobiq; 2-purkash moslamasi; 3-tarelka. b)1-qobiq; 2-tarelka; 3-kirish patrubkasi; 4-ostona; 5-chiqish patrubkasi.

Ko'pikli qatlamda changning asosiy miqdori (~80%) suyuqlik bilan ushlanadi va ko'pik bilan birga rostlovchi ostona 2 orqali chiqariladi (3.35-rasm). Suyuqlikning qolgan qismi (~20%) tarelka teshiklari orqali pastga oqib tushadi va uning ostidagi bo'shliqda changli gaz tarkibidagi yirik zarrachalarni ushlab, pastga olib ketadi. Hosil bo'lgan oqava suv konussimon tubdagi shtuser orqali chiqariladi. Ko'pikli qurilmalarda gazlarning tozalanish darajasi 95...99% va undan yuqori bo'ladi. Qurilmaning tuzilishi sodda va ixcham hamda kam kapital va ekspluatatsion sarflar talab etadi.

Yuvilib turuvchi chang ushlash qurilmalarida ko'pikcha markazdan qochma va oqimchali mexanik purkagichlar qo'llaniladi (3.35d-rasm). Ayrim hollarda pnevmatik purkagichlar ham ishlatiladi.

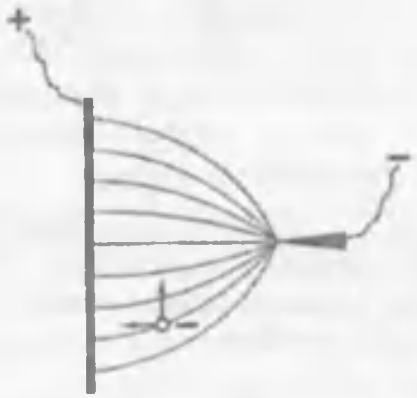


3.35d-rasm. Mexanik purkagichlar. *a-d*-markazdan qochma purkagichlar; *e*-evolvent purkagich; f-g-oqimchali-markazdan qochma; (g-VTI; d-vkladish silindrik vkladish va gorizontal kanalli; g-silindrik yassi vkladishli va chetida vintsimon kanalli); h - yassi favvorali, oqimchali purkagich.

3.20. Elektr maydon ta'sirida gazlarni tozalash

Jarayonning fizik asoslari. Elektr maydon ta'sirida gazlarni tozalash elektr razryadi yordamida gaz molekulalarining ionizatsiya qilinishiga asoslangan.

Agar yuqori kuchlanishli o'zgarmas tokka ulangan ikki elektrod orasida hosil bo'lgan elektr maydoniga gaz yuborilsa, uning molekulalari ionizatsiyaga uchraydi, ya'ni musbat va manfiy zaryadlangan zarrachalarga ajraydi. Natijada ular kuch chiziqlar yo'nalishida harakat qilib boshlaydi. Zaryadlangan zarracha tezligining vektor yo'nalishi, uning musbat yoki manfiyligiga bog'liq bo'lsa, harakat tezligi esa – elektr maydoni kuchlanganligi bilan belgilanadi.



Elektr maydon kuch **chiziqlarining sxemasi.**

Agar elektr maydon kuchlanganligini 10000V dan oshirsak, ion va elektronlar kinetik energiyasi shunchalik kattalashadiki, harakat yo'lida uchragan gazning barcha neytral molekulalarini **musbat ion** va erkin **elektron**larga parchalaydi. Yangidan hosil bo'lgan zaryadlar ham o'z harakat yo'nalishida gazlarni ionizatsiyaga duchor qiladi. Natijada to'xtovsiz ravishda ion hosil bo'ladi va hamma gaz ionizatsiyalanadi. Bunday jarayon **zarbali ionizatsiya** deb nomlanadi.

Gaz to'liq ionizatsiyaga uchraganda, elektrodlar orasida elektr razryadi paydo bo'lishi uchun sharoitlar yaratiladi. Agar elektr maydon kuchlanganligi yanada oshirilsa, uchqun sakrab o'tishi, keyin esa elektr o'tishi va elektrodlar qisqa tutashuvi bo'lishi mumkin. Bunday hodisalar oldini olish uchun turli jinsli elektr maydoni hosil qilinadi.

Buning uchun, truba o'qidan yoki ikki parallel plastinalar orasida tortilgan ingichka simlar ko'rinishida elektrod yasaladi.

Sim oldida elektr maydon kuchlanganligi juda yuqori bo'lib, truba yoki plastina tomonga yaqinlashgan sari kamayib boradi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, truba yoki plastina oldidagi maydon kuchlanganligi shundayki, uchqun va elektr o'tish hodisalari ro'y bermaydi.

To'liq ionizatsiyaga oid maydon kuchlanganligida elektrodlar orasida «tojli» razryad hosil bo'ladi. Bunda butunlay ionizatsiyaga uchragan gaz qatlami cho'g'lanib, nur va charsillagan ovoz chiqaradi. «Toj» hosil qiladigan elektrod **«tojli» elektrod** deb nomlanadi. Truba yoki plastina ko'rinishidagi qarama - qarshi zaryadlangan elektrod - **cho'ktiruvchi elektrod** deb ataladi.

«Tojli» elektrod manfiy, cho'ktiruvchi esa musbat qutbga ulanadi. Bunday holatlarda elektrodlarga juda yuqori kuchlanish berish mumkin. «Toj» hosil bo'lishi bilan ikkala ishorali ion va erkin elektronlar paydo bo'ladi. Elektr maydon kuchlanganligi ta'sirida ionlar «tojli» elektrod tomon harakat qiladi va unda neytrallanadi.

Manfiy ion va erkin elektronlar cho'ktiruvchi elektrod tomon yo'naladi. Yo'l-yo'lakay chang va tomchilar bilan to'qnashib, ularga o'z zaryadini o'tkazadi va cho'ktiruvchi elektrod tomon olib ketadi. Natijada chang yoki tuman zarrachalari shu elektrodda cho'kadi. **Gazdagi chang zarrachalarining asosiy qismi manfiy zaryadlanadi**, chunki musbat ionlarga qaraganda harakatchan manfiy elektron va ionlar cho'ktiruvchi elektrodga yetguncha katta masofani bosib o'tadi. Shuning uchun ham.

gazdagi zarrachalar bilan ularning to‘qnashish ehtimoli katta. Faqat «tojli» elektrod atrofidagi musbat zaryadlangan ionlar bilan to‘qnashganda, chang yoki tuman zarrachalarining kichik bir qismi «tojli» elektrodda cho‘kadi. Manfiy zaryadlangan ionlar chang yoki tuman zarrachalari cho‘ktiruvchi elektrodga yetganda, unga o‘z zaryadini beradi va og‘irlik kuchi ta’sirida cho‘kadi. Bunday cho‘ktirish jarayoni elektrofiltrda olib boriladi.

Elektrodlarga o‘tirib qolgan chang zarrachalarining zararli ta’sirini kamaytirish maqsadida, vaqti-vaqti bilan elektrodlarga o‘tirib qolgan zarrachalar silkitib tushiriladi yoki elektrofiltrga kiritilishdan avval changli gaz namlanadi (o‘tkazuvchanligini oshirish uchun). Lekin gazning temperaturasi shudring nuqtasidan pasayib ketishi mumkin emas.

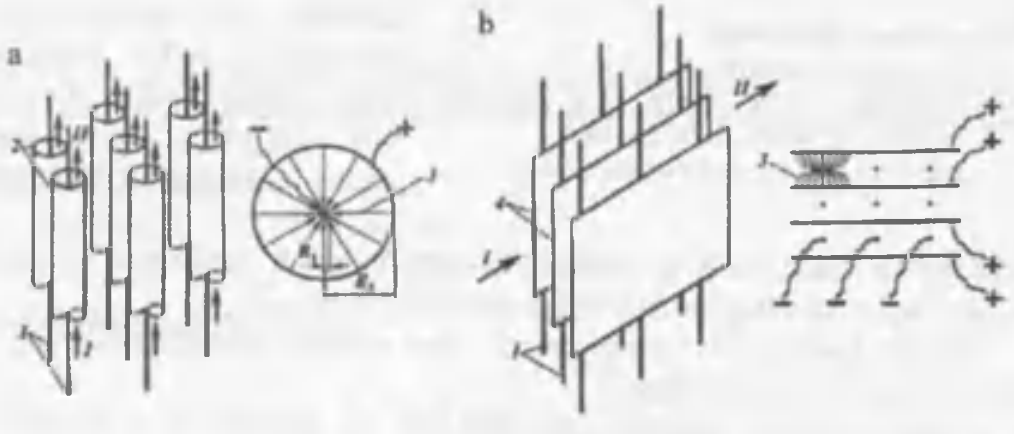
Changli gazlar tarkibidagi qattiq zarrachalarni elektr maydoni ta’sirida tozalash, boshqa usullarga qaraganda ko‘pgina afzalliklarga ega. Cho‘ktirish qurilmalarida, ya’ni siklon, yengli filtr, skrubberlarda og‘irlik va markazdan qochma kuch ta’sirida mayda zarrachalarni ajratib bo‘lmaydi.

Turli jinsli gaz aralashmalarini elektr maydon ta’sirida ajratish elektrodlarda amalga oshiriladi. Chang va tutunlarni tozalash uchun quruq, tumanlarni tozalash uchun esa ho‘l elektrofiltrlar qo‘llaniladi.

Oddiy elektrofiltr – ikkita elektroddan iborat bo‘lib, bittasi – anod- truba yoki plastina, ikkinchisi esa – katod - sim ko‘rinishida tayyorlanadi. Katod – sim truba ichiga yoki plastina anodlar orasiga tortiladi. Anodlar har doim yerga ulanadi.

Elektrodlar o‘zgarmas tok manbasiga ulanganda 4...6 kV/sm ga teng potensiallar farqi hosil bo‘ladi. Bu qiymat katodning 1 m uzunligida 0,05...0,5 mA tok zichligini ta minlaydi.

Gazli aralashma trubali-elektrod ichiga yoki plastinalar orasiga uzatiladi. Elektrodlardagi yuqori potensiallar farqi va elektr maydonining turli jinsliligi tufayli manfiy elektrod-katod atrofidagi gaz qatlamida anodga qarab yo‘nalgan elektronlar oqimi hosil bo‘ladi. Natijada gaz neytral molekulalarining elektronlar bilan to‘qnashuvi tufayli gaz ionizatsiyaga uchraydi. Ionizatsiya o‘z navbatida gazni musbat va manfiy ionlar ajralishiga olib keladi. Musbat ionlar katod, manfiylari esa katta tezlikda anod tomon harakat qiladi. Odatda, chang va tuman zarrachalari anodga cho‘kadi va uni cho‘kma qatlami bilan qoplaydi. Elektr maydoni ta’sirida cho‘ktirish tezligi sekundiga bir necha santimetrdan bir necha o‘nlab santimetrgacha oraliqda bo‘ladi. Cho‘ktirish tezligi zarracha o‘lchami va gazning gidravlik qarshiligiga bog‘liq.



Trubali (a) va plastinali (b) elektrodlar.
1- «tojli» elektrod; 2-cho‘ktiruvchi trubali elektrod;
3-kuch yo‘nalishlari; 4-cho‘ktiruvchi, plastinali elektrod.
I - changli gaz; II - tozalangan gaz.

Elektr maydonida zarrachalarning cho'kish tezligini aniqlash uchun jarayon laminar rejimda amalga oshadi deb qabul qilamiz.

Elektr maydoni zaryadlangan zarrachaga $F = ne_0 E_x$ (bu yerda, n – zarracha olgan zaryad; e_0 – elementar zaryad kattaligi; Yex – katod o'qidan x masofadagi elektr maydon potensiali gradiventi) kuch bilan ta'sir etadi.

Elektr maydon ta'sirida zarrachaning cho'kish tezligi ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$w_{ch} = \frac{ne_0 E_x}{3\pi d\mu} \tag{3.72}$$

Undan tashqari, zarracha cho'kish tezligi (3.72a) tenglamadan aniqlanishi mumkin:

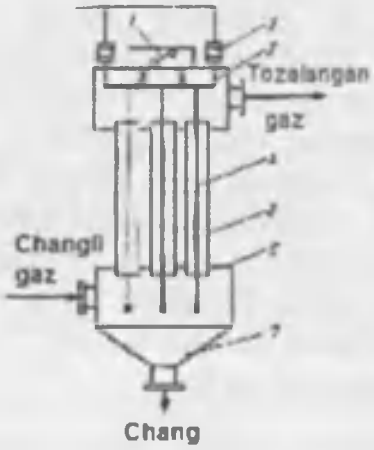
$$w_{ch} = \frac{dx}{d\tau} \tag{3.72a}$$

Zarrachaning cho'kish davomiyligi:

$$\tau_{ch} = \int_r^R \frac{dx}{w_{ch}} \tag{3.73}$$

bu yerda, R – katod o'qidan anod o'qigacha bo'lgan masofa; r – katod radiusi.

Elektr maydon potensiali gradiyenti E_x katodgacha bo'lgan masofa x ga bog'liq. Shuning uchun, zarrachalarning cho'kish vaqti (3.73) tenglamani grafik integrallash usuli bilan aniqlanadi.



3.36-rasm. Trubali elektrofiltr.
1 - silkituvchi moslama;
2-izolator; 3-rom; 4-«toj» hosil qiluvchi elektrod; 5-trubali elektrod - anod;
6-teshikli panjara; 7- chang yig'gich.

Trubali elektrofiltrlar. Chang va tutun gazlari qurilmaning pastki qismi bo'lmish elektrodlar mahkamlangan teshikli panjara (6) tagiga uzatiladi va trubali elektrod (anod)lar ichiga taqsimlanadi (3.36-rasm).

Trubali elektrodlar ichiga «toj» hosil qiluvchi elektrodlar-katodlar o'rnatilgan. Elektrodlar izolatorga tayanib turuvchi umumiy romda mahkamlanadi. Elektr maydoni ta'sirida gaz tarkibidagi zarrachalar cho'kadi. Anodga cho'kib, qatlam hosil qilgan zarrachalar vaqti-vaqti bilan silkitib turiladi va qurilmaning pastki qismidagi konussimon tubda yig'iladi. Yig'ilgan chang zarrachalardan iborat cho'kma pastki shtuserdan to'kiladi, tozalangan gaz esa filtrning tepa qismidagi shtuserdan atrof-muhitga chiqarib yuboriladi.

Hozirgi kunda, bir nechta ketma - ket ulangan seksiyalardan gaz o'tadigan seksiyali elektrofiltrlar yaratilgan.

Odatda, trubalar diametri 150...300 mm va uzunligi 3...4 m qilib yasaladi. Trubalar ichida tortilgan simlar diametri 1,5...2,0 mm.

Gazlarning tozalanish darajasi 99%, ayrim hollarda 99,9% ni tashkil etadi.

Plastinali elektrofiltrlarda anod vazifasini plastinalar, katodni esa - plastinalar orasiga tortilgan simlar bajaradi. Elektrofiltrlarda gazlarni tozalanish darajasi changlarning elektr o'tkazuvchanligiga bog'liq.

Agar zarrachalar elektr tokini yaxshi o'tkazsa, unda zarrachalar zaryadini bir zumda beradi va elektron zaryadini egallaydi. Bunda, bir - biridan qochish Kulon kuchi hosil bo'lib, filtrdan gaz bilan zarrachalar uchib ketishga olib keladi va tozalanish darajasini kamayadi.

Agar zarrachalar elektr tokini yomon o'tkazsa, unda elektrodda manfiy zaryadlangan zarrachalardan iborat zich qatlam hosil bo'lib, asosiy elektr maydonga qarshi ta'sir qiladi.

Gaz tarkibidagi zarrachalar konsentratsiyasi yuqori bo'lganda ham, gazning tozalanish darajasi past bo'ladi. Chunki, ionlarning zarrachalarda cho'kishi, olib o'tilgan zaryadlar sonini kamayishiga sababchi bo'ladi. Demak, tok kuchi ham pasayadi.

Gaz tarkibidagi zarrachalar konsentratsiyasini pasaytirish uchun elektrofiltrdan oldin qo'shimcha gaz filtrlar o'rnatiladi.

Plastinali elektrofiltr elektrodlariga cho'kkan changlar trubali filtrnikidan osonroq tozalanadi va sim uzunligi birligiga kamroq energiya ishlatadi. Undan tashqari, bu filtrlar ixcham, kam metall sarflaydi va yig'ilishi oson.

Agar elektrodlar soni va qurilmaning ko'ndalang kesimi ma'lum bo'lsa, elektrofiltrlarni hisoblash uning «tojli» elektrodining uzunligini aniqlashdan iborat bo'ladi.

Elektrofiltrdagi tok miqdori $I = iL$ ga teng bo'lib, bu yerda i – tok zichligi; L – elektrod uzunligi.

Quyida keltirilgan tenglamadan potensialning kritik gradiyenti topiladi:

$$E_{kr} = 31 + 9{,}54\sqrt{\frac{\sigma}{r}} \qquad (3.74)$$

bu yerda, σ – bosim 0,1 MPa da ushbu sharoitdagi havo zichligining 25°C temperatura va bosimi 10^5 Pa dagi zichligiga nisbati.

Agar elektrodlar orasidagi masofani bilsak, elektrodlardagi potensiallar farqini topish mumkin.

Gazlarni tozalanish darajasi ushbu umumiy formula yordamida aniqlanishi mumkin:

$$\eta_э = 1 - \frac{x_2}{x_1} = 1 - e^{-w_э f} \qquad (3.75)$$

bu yerda, x_1 va x_2 – elektrofiltrlarga kirayotgan va undan chiqayotgan gazlarda qattiq zarrachalar konsentratsiyasi, kg/m^3; $w_э$ – elektrod yuzasiga qarab harakat qilayotgan zaryadlangan zarracha tezligi, m/s; f – solishtirma cho'kish yuzasi, m^2/(m^3/s).

Trubali elektrofiltrlar uchun:

$$f = \frac{2l}{rw} \qquad (3.76)$$

Plastinali elektrofiltrlar uchun:

$$f = \frac{l}{hw} \qquad (3.77)$$

bu yerda, l – truba yoki plastina uzunligi, m; r – cho'ktirish elektrodi trubasining radiusi, m; h – cho'ktiruvchi va «tojli» elektrodlar orasidagi masofa, m; w – elektrofiltrlarda gazning tezligi, m/s.

Elektrofiltrlarda tok bilan ta'minlovchi ko'tarib-to'g'rilovchi agregat quvvati N (kVt) ushbu formuladan topiladi:

$$N = \frac{0{,}707 \cdot 10^{-5} V \cdot I \cdot m + 0{,}5}{\eta}$$

bu yerda, V – elektrodlarda ishchi potensiallar farqi, kV; m=1,5...2,2 – to‘g‘rilangan tok egri chizig‘ining shakl koeffitsiyenti; η=0,7...0,8 – agregat f.i.k.

3.21. Gazlarni tozalash jarayonini intensivlash

Turli xil qurilmalarda gazlarni tozalash darajasini oshirish mumkin. Buning uchun tozalash jarayonidan avval gaz tarkibidagi qattiq zarrachalar o‘lchami kattalashtirilishi kerak.

Bu maqsadga erishish uchun akustik koagulatsiya* qo‘llanishi mumkin, ya’ni gaz aralashmasiga akustik tebranma tovush va ultra tovush chastotalarini ta’sir ettirish kerak. Tovush va ultratovushlarning keskin o‘zgarishi o‘ta mayda zarrachalarni intensiv tebranishiga sababchi bo‘ladi. Natijada, zarrachalarning o‘zaro to‘qnashuvi va o‘lchami keskin ortadi.

Gazlarga tovush balandligi 145...150 dB va tebranish chastotasi 2...50 kGs bo‘lgan akustik ta’sir beriladi.

Zarrachalar o‘lchamini kattalashtirishning boshqa usullari ham bor. Masalan, qattiq zarrachalarda suv bug‘larini kondensatsiyalash. Buning uchun, issiq gaz oqimiga o‘ta mayda sovuq suv tomchilarini purkash, sovuq gaz oqimiga sovuq suv purkash kabi yo‘llar bilan erishish mumkin.

Gaz tozalash qurilmalarini tanlashda ularning texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlarini inobatga olish zarur. Asosiy ko‘rsatkichlar qatoriga quyidagilar kiradi: gazning tozalanish darajasi; qurilmaning gidravlik qarshiligi; tozalash uchun elektr energiya, bug‘ va suv sarflari; qurilma va gazning tozalash narxlari. Bulardan tashqari, tozalash samaradorligiga ta’sir etuvchi omillarni ham inobatga olish kerak, ya’ni gazning namligi va konsentratsiyasi, temperaturasi va kimyoviy agressivligi, changning xossalari (gigroskopikligi, tolaligi, yopishqoqligi, quruqligi), zarracha o‘lchamlari, uning fraksiya tarkibi va hokazo.

Quyidagi 3-2 jadvalda gaz tozalash qurilmalarining ayrim o‘rtacha xarakteristikalari keltirilgan.

Jadvaldagi ma’lumotlardan ko‘rinib turibdiki, siklon va inersion chang ushlagichlar gazlarni faqat o‘lchamlari katta zarrachalardan dag‘al ajratish uchun qo‘llanishi mumkin. Albatta, bu gazlar quruq va tarkibidagi zarrachalar yopishqoq va tolali bo‘lmasligi zarur. Shu bilan birga, bu qurilmalar katta kapital va ekspluatatsion sarflar talab etmaydi.

Shuning uchun, bu turdagi qurilmalar gazsimon turli jinsli sistemalarni dag‘al, dastlabki tozalash uchun, so‘ng esa elektrofiltr va yengli filtrlarda to‘liq tozalash maqsadida ishlatiladi. Undan tashqari, bunday dag‘al tozalash ventilator parraklarini yemirilishdan saqlaydi.

Siklon va batareyali siklonlarni yuqori konsentratsiyali gazlarni tozalash uchun, batareyali siklonlarni gazsimon turli jinsli sistemalarning sarfi katta bo‘lganda qo‘llash tavsiya etiladi.

* coagulatio (lotincha) – ivib yiriklashishi va og‘irlashishi.

3-2 jadval

Qurilma	Gazdagi changning maksimal miqdori, kg/m^3	Ayrim zarrachalar o'lchami, mkm	Tozalanish darajasi, %	Gidravlik qarshilik, N/m^2
Chang cho'ktirish kamerasi	chegaralanmagan	> 100	30...40	-
Siklon	0,4	> 10	70...95	400...700
Batareyali siklon	0,1	> 10	85...90	500...800
Markazdan qochma skrubberlar	0,05	> 2	90...95	400...800
Yengli filtr	0,02	> 1	98...99	500...2500
Ko'pikli chang ushlagich	0,3	> 0,5	95...99	300...900
Venturi skrubberi	0,05	> 1	95...99	1500...7000
Elektrofiltr	0,01...0,05	> 0,005	99...99,9	100...200

Zarracha o'lchamlari 1 mkm dan ortiq, quruq va qiyin ho'llanadigan changlarni mayin tozalash uchun yengli filtrlardan foydalaniladi. Lekin bu turdagi filtrlarni yopishqoq va nam changlarni tozalash uchun ishlatib bo'lmaydi.

Mayda dispers changli gazlarni to'liq tozalash uchun skrubber, ko'pikli chang ushlagich va elektrofiltrlar qo'llaniladi. Tozalanayotgan gaz sovitilishi va namlanishi ruxsat etilgan hamda ajratilayotgan zarrachalar qimmatbaho mahsulot bo'lgan hollarda, skrubber va ko'pikli chang ushlagichlar qo'llanishi maqsadga muvofiqdir. Bu qurilmalar sodda, narxi va ekspluatatsion sarflari elektrofiltrnikidan ancha kam.

Ushbu usulda changli gazlarni ajratish jarayonida juda ko'p suv sarf bo'ladi. Shu sababli, qurilma korroziyasining tezligi yuqoridir. Agar dispers zarrachalar atrof-muhitni ifloslantirish xavfi bo'lgan hollarda, ularni suyuq fazadan ajratib olish uchun qo'shimcha qurilma talab etiladi.

Elektr maydon ta'sirida changli gazlarni tozalash yuqori ko'rsatkichlarga erishish imkonini beradi. Elektrofiltrlarning gidravlik qarshiligi kichik va energiya sarfi kam bo'ladi. Soatiga 1000 m^3 gazni tozalash uchun 0,2...0,3 kVt·soat elektr energiya sarflanadi. Quruq gazlarni tozalash uchun ko'pincha plastinali, tuman va qiyin ushlanadigan changlarni tozalash uchun esa trubali elektrofiltrlar ishlatiladi. Bu turdagi qurilmalar qimmat turadi va ekspluatatsiya qilish ancha murakkabdir. Undan tashqari, gaz tarkibidagi zarrachalar solishtirma elektr qarshiligi kichik bo'lsa, elektrofiltrlarni qo'llash yetarli samara bermaydi.

Gazsimon turli jinsli sistemalarni tozalash qurilmalarining tahlili shuni ko'rsatadiki, ular samaradorligining ortishi, odatda energetik sarf va qurilma o'lchamlarining o'sishi bilan bog'liq. Masalan, yengli va elektr filtrlar changli gazlarning tezliklari kichik bo'lganda yuqori samara beradi, ya'ni katta o'lchamli qurilmalarda jarayon tashkil etilganda.

Siklonlar va Venturi skrubberlarning gidravlik qarshiliklari qanchalik yuqori bo'lsa, ular changli gazlarni shunchalik samarali fazalarga ajratadi, lekin changli gazni uzatish uchun energiya sarfi ham shunchalik ko'p bo'ladi.

Shuning uchun, har bir aniq holatda qurilmani tanlash ko'pgina ko'rsatkichlarni hisobga olishni taqozo etadi.

3.21.1. Siklon, skrubber va elektrfiltrlarni hisoblash

Tokchali cho'ktirish kamerasi. Mayda chang zarralari bilan ifloslangan 4000m^3/soat gazni dastlabki tozalash uchun mo'ljallangan tokchali cho'ktirish kamerasi hisoblansin. Kameradan o'tuvchi gazni o'rtacha temperaturasi t_2=300°C. Tutib qolinuvchi zarralarning eng kichik o'lchami d=12·10^{-6} m, zichligi ρ_1=380 kg/m^3. Gazning zichligi ρ_2=0,0617 kg/m^3, kinematik qovushqoqligi ν=45,81·10^{-6} m^2/s.

Berilgan temperaturada changni cho'ktirish kamerasiga kirayotgan gazning hajmiy sarfi

$$V_{sek} = \frac{V(t_g + 273)}{3600 \cdot 273} = \frac{4000(3000 + 273)}{3600 \cdot 273} = 2,35 m^3 / s$$

Gazning ruxsat etilgan maksimal tezligi

$$w_{max} = 3,6\sqrt{\frac{d(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_2}} = 3,6\sqrt{\frac{12 \cdot 10^{-6} \cdot 380}{0,0617 \cdot 3,6}} = 0,98 m / s$$

Gazning haqiqiy tezligi

$$w = 0,25 w_{max} = 0,25 \cdot 0,98 = 0,245 m / s$$

Changni cho'ktirish kamerasining uzunligi L=4 m deb qabul qilamiz.

U holda gazni kamerada bo'lish vaqti

$$\tau = \frac{L}{w} = \frac{4}{0,245} = 16,4 s$$

Tutib qolinayotgan zarralarning eng kichik o'lchami d<100 mkm bo'lgani uchun, ularni cho'kish jarayoni Stoks qonuniga bo'ysunadi.

Shuning uchun, ρ_2 kattalik ρ_1 ga nisbatan juda kichik bo'lgani sababli uni kasr suratida e'tiborga olmay cho'kishning nazariy tezligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$w_{ch} = \frac{gd^2(\rho_1 - \rho_2)}{18\nu^2 \cdot \rho_2} = \frac{9,81(12 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 380}{18 \cdot 45,81 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0617} = 0,0089 m / s$$

w_{ch} ni aniqlashda formula to'g'ri tanlanganligini tekshiramiz

$$\mathrm{Re} = \frac{w_{ch} \cdot d}{\nu_2} = \frac{0,0089 \cdot 12 \cdot 10^{-6}}{45,81 \cdot 10^{-6}} = 0,0023 < 0,2$$

Demak, w_{ch} ni hisoblash uchun formula to'g'ri tanlangan.

Zarralarni tokchalarga cho'kish haqiqiy tezligini quyidagiga teng deb olamiz.

$$w_{cho'k} = 0,5 \cdot \omega_{ch_1} = 0,5 \cdot 0,0089 = 0,0044 m / s$$

U holda, tokchalar orasidagi masofa quyidagiga teng bo'ladi.

$$h = w_{cho'k} \cdot \tau = 0,0044 \cdot 16,4 = 0,072 \approx 0,08 m$$

Cho'ktirish yuzasining zaruriy maydoni.

$$F_{ch} = \frac{V_{sek}}{w_{cho'k}} = \frac{2,35}{0,0044} = 530 m^2$$

Kameraning enini B=3 m deb olamiz. U holda tokchalarning zaruriy soni:

$$n = \frac{F}{B \cdot L} = \frac{530}{3 \cdot 4} = 44$$

Changni cho'ktirish kamerasining balandligi

$$H = n(h + h_{\Pi}) = 44(0,08 + 0,01) \approx 4,0m$$

bu yerda h_n=10 mm – tokchaning qalinligi.

NIIOGAZ sikloni. Havodagi mayda, zichligi ρ_1= 300 kg/m^3 bo'lgan, qattiq chang zarralarini tutish uchun siklon hisoblansin. Qattiq zarralarning eng kichik diametri d=5 mkm. Siklonga kirayotgan havoning temperaturasi t_1=20°C, sarfi V=3600 m^3/soat. Havoning berilgan temperaturadagi zichligi ρ_2=0,1205 kg/m^3, kinematik qovushqoqligi ν=15,06 10^{-6} m^2/s .

NIIOGAZ siklonini hisoblaymiz. Havoning siklonga kirish tezligi w_{kir}= 20 m/s da qurilmaning kirish temperaturasining ko'ndalang kesim maydoni.

$$f = 3,14b^2 = \frac{V_{sek}}{w_{kir}}; \qquad f = bh = \frac{V_{sek}}{w_{kir}} = \frac{3600}{3600 \cdot 20} = 0,05m^2$$

Tanlab olingan siklon uchun $h=3.14b$ [114]; u holda,

$$b = 0,565\sqrt{\frac{V_{sek}}{w_{kir}}} = 0,565\sqrt{f} = 0,565\sqrt{0,05} = 0,126m$$

Siklonning taxminiy diametri [114]

$$D = 4,75 \cdot b = 4,75 \cdot 0,126 = 0,6m$$

Gazning burchak tezligi w_u=12 m/s deb qabul qilamiz va ajralish kattaligining taxminiy qiymatini hisoblaymiz

$$\Phi_{aj} = \frac{2 \cdot w_{ch}^{\ 2}}{gD} = \frac{2 \cdot 12^2}{9,81 \cdot 0,6} = 49$$

Berilgan o'lchamdagi changning qattiq zarrachalarini cho'kishi Stoks qonuniga bo'ysunadi deb, zarralarning cho'kish tezligini hisoblaymiz.

$$w_{ch} = \frac{d^2\left(\rho_1 - \rho_2\right)g\Phi_{aj}}{18\nu_{2\rho_2}} = \frac{\left(5 \cdot 10^{-6}\right)^2\left(300 - 0,1205\right) \cdot 9,81 \cdot 49}{18 \cdot 15,06 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1205} = 0,113m/s$$

Bu formula Reynolds kriteriysining ma'lum qiymatlarida o'rinlidir.

$$\mathrm{Re} = \frac{w_{ch}d}{\nu_2} = \frac{0,113 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{15,06 \cdot 10^{-6}} = 0,038 < 0,2$$

Demak, formula to'g'ri ishlatilgan.

Gazning otilib chiqish trubasidagi tezligini w_T=5 m/s deb qabul qilib, uning ichki diametrini aniqlaymiz

$$d_T = 1,13\sqrt{\frac{V_{sek}}{w_T}} = 1,13\sqrt{\frac{3600}{3600 \cdot 5}} = 0,5m$$

Tashqi diametri esa

$$D_1 = 0,5 + 2 \cdot 0,005 = 0,51m$$

bu yerda δ=0,005m.

Siklonning diametri

$$D = \frac{D_1}{1 - 10\frac{w_{cho'k}}{w_g}} = \frac{0,51}{1 - 10\frac{0,113}{12}} = 0,57m$$

Siklonning oldinroq qabul qilingan qiymatini qabul qilsa D=0,6 m bo'ladi.

Tavsiyalarga asosan siklon silindrik va konus qismi balandliklarini hisoblaymiz:

$$h_1 = 7,6 \cdot b = 7,6 \cdot 0,126 = 0.96m$$

$$h_2 = 9,5 \cdot b = 9,5 \cdot 0,126 = 1,2m$$

Siklonning gidravlik qarshiligi

$$\Delta p = \xi_{ch} \frac{w_{kir}^2 \cdot \rho_2}{2} = 7 \cdot 0,1205 \frac{20^2}{2 \cdot 9,81} = 172kg \cdot k / m^2$$

Batareyali siklon. Oldingi misol shartlari uchun batareyali siklon hisoblansin. Kirayotgan havo miqdori V=7400 m^3/soat hisoblanuvchi batareyali siklon ko'p hollarda normal yuklamada ishlaydi deb, d_{el}=200 mm da dastlabiga Δp=53 mm.suv. ust. deb qabul qilamiz.

Batareyali siklonning zaruriy elementlari soni

$$n = 28,75 \cdot 10^{-2} \frac{V_{sek}}{d_{el}^2 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\Sigma \xi \rho_2 g}}} =$$

$$= 28,75 \cdot 10^{-2} \frac{7400}{3600 \cdot 0,2^2 \sqrt{\frac{53}{85 \cdot 0,1205 \cdot 9,81}}} = 20,1$$

Elementlar sonini n=20 (n_1=4 ta va n_2=5 ta) deb qabul qilamiz. U holda qurilmaning eni

$$B = d_{el} \cdot n_1 + 0,04(n_1 + 1) = 0,2 \cdot 4 + 0,04(4 + 1) = 1,0m$$

Qurilma uzunligi

$$L = d_{el} \cdot n_2 + 0,04(n_2 + 1) = 0,2 \cdot 5 + 0,04(5 + 1) = 1,24m$$

Element kesim maydoni

$$f_{el} = \frac{\pi \cdot d_{el}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} = 0,0314m^2$$

Siklon elementidagi gazning shartli tezligi

$$w_{shart} = \frac{V_{sek}}{f_{el} \cdot n} = \frac{7400}{3600 \cdot 0,0314 \cdot 20} = 3,25m / s$$

Batareyali siklonning haqiqiy gidravlik qarshiligi

$$\Delta p = \Sigma \xi \cdot \frac{w_{shart}^2 \cdot \rho_2}{2} = 85 \cdot \frac{3,25^2 \cdot 0,1205}{2} = 55mm.suv.ust.$$

Siklon elementi otilib chiqish trubasidagi gaz tezligini w_1=16 m/s deb qabul qilamiz. Trubaning ichki diametri

$$d_T = 1{,}13\sqrt{\frac{V_{sek}}{w_T^n}} = 1{,}13\sqrt{\frac{7400}{3600 \cdot 16 \cdot 20}} = 0{,}09m$$

Trubaning tashqi diametri

$$d_{tash} = d_T + 2\delta = 0{,}09 + 2 \cdot 0{,}0025 \approx 0{,}1m$$

Siklonning birinchi qator elementlaridagi gaz o'rtacha tezligi w_{kir}=14 m/s deb qabul qilib, taqsimlash kamerasiga kiritish kanalining balandligini aniqlaymiz:

$$h = \frac{V_{sek}}{w_{kir}\left(B - n_1 \cdot d_{tash}\right)} = \frac{7400}{3600 \cdot 14(1{,}0 - 4 \cdot 0{,}1)} = 0{,}245m$$

Elektrofiltr. Nurlanuvchi elektrod diametri D_1=2,5·10^{-3} m, ular orasidagi masofa d=0,24 m va ularning faol uzunligi l=924 m bo'lganida kesim yuzasi F=7,5 m^2 li gorizontal plastinali elektrofiltrdagi gazning tozalanish darajasini hisoblang. Elektrofiltr ishchi yuzasining umumiy maydoni S=242 m^2, cho'ktiruvchi elektrodlar soni n=16, cho'ktiruvchi va nurlanuvchi elektrodlar tekisliklari orasidagi masofa H=0,15 m. Elektr maydonning umumiy uzunligi L=4,8 m, o'rtacha kuchlanishi $U_{o'r}$=46 kV.

Elektrofiltrga tarkibida z_1=40 g/m^3 miqdor (standart sharoitlarda) qattiq zarralar bo'lgan gaz kirmoqda. Gaz tarkibida quyidagi komponentlar mavjud: 13% CO_2, 65% O_2, 8,5% H_2O va 72% N_2.

Sistemadagi bosim p_z=200 kgk/m^2 bo'lganida gazning temperaturasi t_z=150°C. Qattiq zarralarning tarkibi (r radiusli Φ, zarralar) quyida keltirilgan:

3-3 jadval

r, mm	0,5	2,5	5,0	10	15	20	25
Φ_i, %	5,0	10,0	10,0	15,0	20	20	20

Gaz oqimining nisbiy zichligi

$$\beta = \frac{B \pm P_T}{1{,}03 \cdot 10^4} \cdot \frac{293}{(t_T + 273)} = \frac{1{,}03 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^2}{1{,}03 \cdot 10^4} \cdot \frac{293}{(150 + 273)} = 0{,}68$$

Elektr maydonining kritik kuchlanishi

$$E_o = 3{,}04\left(\beta + 0{,}0311\sqrt{\frac{2\beta}{D_1}}\right)10^6 = 3{,}04\left(0{,}68 + 0{,}0311\sqrt{\frac{2 \cdot 0{,}68}{25 \cdot 10^{-3}}}\right)10^6 =$$

$$= 4{,}26 \cdot 10^6\, B/m$$

Nurlanuvchi elektrodning kritik kuchlanishi

$$U_o = E_o \frac{D_1}{2}\left(\frac{\pi H}{d} - \ln\frac{\pi D_1}{d}\right) = 4{,}26\cdot 10^6 \frac{2{,}5\cdot 10^{-3}}{2}\cdot$$

$$\cdot\left(\frac{3{,}14\cdot 0{,}15}{0{,}24} - \ln\frac{3{,}14\cdot 2{,}5\cdot 10^{-3}}{0{,}24}\right) = 28{,}5\cdot 10^3\, B$$

$$\frac{H}{d} = \frac{0{,}15}{0{,}24} = 0{,}625$$

R_o=2,1·10^{-4} m^2/(V·s) va v=7,7·10^{-2} [114] bo'lganida nurlanish tokining chiziqli zichligini quyidagicha aniqlaymiz.

$$i_o = \frac{4\pi^2 \cdot R \cdot v \cdot U}{d^2 \cdot 9\cdot 10^9\left(\frac{\pi H}{d} - \ln\frac{\pi D_1}{d}\right)}(U - U_o) =$$

$$= \frac{4\cdot 3{,}14^2 \cdot 2{,}1\cdot 10^{-4}\cdot 7{,}7\cdot 10^{-2}\cdot 46\cdot 10^3}{0{,}24^2 \cdot 9\cdot 10^9\left(\frac{3{,}14\cdot 0{,}15}{0{,}24} - \ln\frac{3{,}14\cdot 2{,}5\cdot 10^{-3}}{0{,}24}\right)}\cdot\left(46\cdot 10^3 - 28{,}5\cdot 10^3\right) =$$

$$= 0{,}185\cdot 10^{-3}\, A/m$$

Gaz oqimining dinamik qovushqoqligi uning komponentlari uchun quyidagicha aniqlanuvchi qovushqoqliklar yig'indisiga teng

$$\mu = \mu_o \frac{273 + C}{t_\Gamma + C}\left(\frac{t_\Gamma}{273}\right)^{\frac{3}{2}}$$

Ayrim gazlar uchun dinamik qovushqoqlikning standart sharoitdagi qiymatlari va S konstanta 3-4 jadvalda berilgan.

U holda

$$\mu_{CO_2} = 13{,}7\cdot 10^{-6}\frac{273+254}{423+254}\left(\frac{423}{273}\right)^{\frac{3}{2}} = 0{,}22\cdot 10^{-4}\, kg/(m\cdot s);$$

$$\mu_{O_2} = 20{,}3\cdot 10^{-6}\frac{273+131}{423+131}\left(\frac{423}{273}\right)^{\frac{3}{2}} = 0{,}27\cdot 10^{-4}\, kg/(m\cdot s);$$

$$\mu_{H_2O} = 9{,}0\cdot 10^{-6}\frac{273+673}{423+673}\left(\frac{423}{273}\right)^{\frac{3}{2}} = 0{,}149\cdot 10^{-4}\, kg/(m\cdot s);$$

$$\mu_{N_2} = 17{,}0\cdot 10^{-6}\frac{273+114}{423+114}\left(\frac{423}{273}\right)^{\frac{3}{2}} = 0{,}231\cdot 10^{-4}\, kg/(m\cdot s);$$

3-4 jadval

Gaz	$\mu_0 \cdot 10^7$ kgk·s/m^2	S
Azot	17,0	114
Havo	17,5	124
Suv bug'i	9,0	673
Oltingugurt ikki oksidi	11,7	396
Uglerod ikki oksidi	13,7	254
Kislorod	20,3	131
Uglerod oksidi	16,6	100

Gaz oqimining nisbiy molekular massasini a miqdori va komponentlarning molekular massasi

$$M = a_{CO_2} \cdot M_{CO_2} + a_{O_2} \cdot M_{O_2} + a_{H_2O} \cdot M_{H_2O} + a_{N_2} \cdot M_{N_2} =$$
$$= 0{,}13 \cdot 44 + 0{,}065 \cdot 32 + 0{,}085 \cdot 18 + 0{,}72 \cdot 28 = 29{,}35$$

bo'yicha hisoblaymiz.

$$\frac{\dot{M}}{\mu} = \frac{a_{CO_2} M_{CO_2}}{\mu_{CO_2}} + \frac{a_{O_2} M_{O_2}}{\mu_{O_2}} + \frac{a_{H_2O} M_{H_2O}}{\mu_{H_2O}} + \frac{a_{N_2} M_{N_2}}{\mu_{N_2}} =$$

$$\frac{0{,}13 \cdot 44}{0{,}22 \cdot 10^{-4}} + \frac{0{,}065 \cdot 32}{0{,}27 \cdot 10^{-4}} + \frac{0{,}085 \cdot 18}{0{,}149 \cdot 10^{-4}} + \frac{0{,}72 \cdot 28}{0{,}231 \cdot 10^{-4}} = 130{,}9 \cdot 10^4 \frac{kg}{kmol}$$

Gaz oqimining dinamik qovushqoqligi

$$\mu = \frac{M}{130{,}4 \cdot 10^4} = \frac{29{,}35}{130{,}9 \cdot 10^4} = 0{,}225 \cdot 10^{-4}\, kg/(m \cdot s)$$

Turli diametrdagi zarralarning cho'ktirish elektrodiga sochilish tezligini quyidagi formuladan aniqlaymiz:

agar $0{,}1 \le r \le 25$ mkm, $\quad w_p = \dfrac{0{,}118 \cdot 10^{-11} E^2 g}{\mu} r$

agar $0{,}05 \le r \le 1{,}0$ mkm, $\quad w_p = \dfrac{0{,}118 \cdot 10^{-11} E^2 g}{\mu} r\left(1 + \dfrac{A_s}{r}\right)$

$w_{P1}=1{,}25 \cdot 10^{-2}$ m/s $\quad w_{P5}=31{,}2 \cdot 10^{-2}$ m/s $\quad w_{P2}=5{,}2 \cdot 10^{-2}$ m/s

$w_{P6}=41,6\cdot10^{-2}$ m/s $w_{P3}=10,4\cdot10^{-2}$ m/s $w_{P7}=52,0\cdot10^{-2}$ m/s
$w_{P4}=20,8\cdot10^{-2}$ m/s
Cho'kishning nisbiy yuzasi

$$f=\frac{S}{F\cdot w_G}=\frac{242}{0,8\cdot7,5}=40,5\frac{m^2}{m^3/s}$$

Elektrofiltrning elektr maydonida zarralar sochilishining haqiqiy tezligi nazariy hisoblanganidan 2 barobar kichik bo'ladi, shuning uchun gazlar tozalik darajasini hisoblash formulasning darajasini 2 marta kamaytiramiz:

$$\frac{f\cdot w_{n1}}{2}=\frac{40,5\cdot1,25\cdot10^{-2}}{2}=0,253$$

Katta zarrachalar uchun bu kattalik mos ravishda 1,055; 2,100; 4,220; 6,320; 8,430; 10,540 ga teng. Bu holda gazning tozalik darajasi quyidagicha

$$\eta_{\Phi1}=1-e^{-wf}=1-e^{-0,253}=22\%;$$

Boshqa o'lchamli zarrachalar uchun bu kattalik mos ravishda 65; 87,8; 98,6; 99,8; 99,98; 99,99%. Elektrofiltrda gazning umumiy tozalanish darajasi:

$$\eta=\frac{\eta_{\Phi1}\Phi_1}{100}+\frac{\eta_{\Phi2}\Phi_2}{100}+\frac{\eta_{\Phi3}\Phi_3}{100}+\frac{\eta_{\Phi4}\Phi_4}{100}+\frac{\eta_{\Phi5}\Phi_5}{100}+\frac{\eta_{\Phi6}\Phi_6}{100}+\frac{\eta_{\Phi7}\Phi_7}{100}=$$

$$\frac{22\cdot5}{100}+\frac{65\cdot10}{100}+\frac{87,8\cdot10}{100}+\frac{98,6\cdot15}{100}+\frac{99,8\cdot20}{100}+\frac{99,98\cdot20}{100}+\frac{99,99\cdot20}{100}\approx93,1\%$$

3-bob. Gazlarni tozalash bo'yicha

Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Gazsimon turli jinsli sistemalarni tozalash usullari.
2. Gazlarni tozalash darajasini aniqlovchi formulani yozing va izohlang.
3. Chang cho'ktirish kamerasining konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
4. Qaytargich to'siqli tindirgich konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
5. NIIOGaz sikloni konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
6. Batareyali sikloni konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
7. Yengli filtr konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
8. Patronli filtr konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
9. Gazlarni suyuqlik bilan yuvib tozalash asoslari.
10. Ichi bo'sh skrubber konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
11. Nasadkali skrubber konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
12. Venturi skrubberi konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
13. Ko'pikli skrubber konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
14. Elektr maydon ta'sirida gazlarni tozalash mexanizmi.
15. Qanday tok yordamida jarayon tashkil etiladi?
16. «Tojli» va cho'ktiruvchi elektrodlar nima?
17. Trubali elektr filtr konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
18. Plastinali elektr filtr konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.

QO‘ZG‘ALMAS VA MAVHUM QAYNASH QATLAMLARI GIDRODINAMIKASI

3.22. Umumiy tushunchalar

Kimyo, neft-gaz, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarining texnologik jarayonlarida ayrim elementlardan tarkib topgan qo‘zg‘almas qatlam materiallari orqali tomchili suyuqlik yoki gazlar oqib o‘tadi.

Donador qatlam elementlarining shakli va o‘lchami turli - tuman ko‘rinishga ega: masalan, filtrlar cho‘kma qatlamining mayda zarrachalari; granula; tabletka, katalizator yoki adsorbent bo‘laklari; absorbsion va rektifikatsion kolonnalardagi yirik nasadkalar.

Biror qatlam zarrachalarining o‘lchami bir xil yoki turlicha bo‘lishiga qarab, donador qatlamlar **monodispers** yoki **polidispers** bo‘lishi mumkin.

Donador qatlam orqali suyuqlik harakati davrida qatlam zarrachalari orasidagi bo‘shliqlar suyuqlik bilan to‘lib turadi. Bunda, suyuqlik qatlamning zarrachalarini, elementlarini yuvib va noto‘g‘ri shaklli kanallar orqali oqib o‘tadi. Bunday harakat gidrodinamikaning aralash masalasini tashkil etadi.

3.23. Qo‘zg‘almas donador va g‘ovak qatlamlar orqali suyuqlik harakati

Gaz energiyasi hisobiga qattiq zarrachalarning bir - biriga nisbatan tartibsiz harakatiga, ya’ni qatlam xuddi qaynayotgandek bo‘lib ko‘rinishiga «qattiq jism – gaz» ikki fazali sistemaning mavhum qaynashi deb ataladi. Ishchi eltkich ta’sirida hosil bo‘lgan mavhum qaynash sistemasining mavhum qaynash yoki qaynash qatlami deb nomlanishining kelib chiqish sabablaridan biri, ushbu qatlamga tomchili suyuqliklar ko‘p xossalarining mosligidir.

Agar qattiq material qatlamining mavhum qaynash holatini ta’minlovchi tezlik bilan yuqoriga qarab ishchi eltkich harakat qilsa, mavhum qaynash qatlami hosil bo‘ladi.

Oxirgi vaqtda kimyo, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarning barcha korxonalarida mavhum qaynash jarayonlari keng ko‘lamda qo‘llanilmoqda. Ushbu jarayon aralashtirish, uzatish, sochiluvchan materiallarni klassifikatsiyalash, issiqlik almashinish, quritish, adsorbsiya, absorbsiya, granullash, kristallanish va boshqa jarayonlarda yuqori natijalar bermoqda. Bunday ijobiy natijalar mavhum qaynash jarayonining quyidagi afzalliklari bilan belgilanadi:

1. Qattiq zarrachalar intensiv aralashishi, qurilmaning butun hajmi bo‘ylab material temperaturasi va konsentratsiyalarining tekislanishiga olib keladi. Bu hol o‘z navbatida jarayonni optimal tashkil etishga xalaqit beruvchi qattiq zarrachalarni lokal o‘ta qizib ketish oldini oladi.

2. Mavhum qaynash qatlamining yuqori oquvchanligi materialni beto‘xtov uzatuvchi va tayyor mahsulotni to‘kuvchi, ya’ni uzluksiz ravishda ishlaydigan qurilmalarni yaratish imkonini beradi.

3. Kichik o‘lchamli, katta solishtirma yuzali zarrachalar qayta ishlanganda issiqlik va massa almashinish yuzalari keskin ortadi hamda diffuzion qarshilik kamayadi. Bu hol o‘z navbatida qurilmaning ish unumdorligini oshirishga olib keladi.

4. Issiqlik almashinish jarayonlari intensivlashadi, bu esa issiqlik almashinish qurilmalari ishchi hajmlarini kamaytirish imkonini yaratadi.

5. Mavhum qaynash qatlamli qurilmalar gidravlik qarshiligi kichik bo‘ladi va gaz oqimining tezligiga bog‘liq emas.

6. Qattiq zarrachalar va ishchi eltkichlar xossalari juda keng oraliqda o'zgaradigan hamda suspenziya va pastasimon materiallar ham mavhum qaynash jarayonida qayta ishlanishi mumkin.

7. Mavhum qaynash qatlamli qurilmalar tuzilishi sodda, ixcham va oson avtomatlashtiriladi.

Yuqorida qayd etilgan afzalliklar bilan birga, mavhum qaynash jarayonining quyidagi kamchiliklari bor:

– bir seksiyada zarracha va ishchi eltkichlarning bo'lish vaqti bir xil emas;

– mavhum qaynash qatlamida zarrachalar bir - biriga urilishi natijasida yediriladi;

– zarrachalarni yedirilishi natijasida hosil bo'lgan chang qurilmadan uchib ketadi. Bu hol, albatta qo'shimcha chang ushlagichlar o'rnatilishini taqozo etadi;

– dielektrik material zarrachalari mavhum qaynash qatlamli qurilmalarda ishlov berilganda, statik elektr zaryadlar hosil qiladi. Bu esa, portlash xavfini tug'diradi.

Qayd etilgan mavhum qaynash jarayonining kamchiliklari salmoqli emas va ular qisman yoki butunlay bartaraf qilinishi mumkin.

Sochiluvchan, donador materiallar qatlami gidravlik qarshilik, zarrachalar o'lchami, solishtirma yuza va bo'sh hajm ulushi bilan xarakterlanadi.

Solishtirma yuza - a (m^2/m^3) qatlamning hajm birligida joylashgan hamma zarrachalar yuzasini ifodalaydi.

Donasimon zarrachalar orasidagi bo'shliq hajmining qatlam hajmiga nisbati **bo'sh hajm** yoki **g'ovaklilik** (ε) deyiladi va u o'lchamsiz kattalikdir:

$$\varepsilon = \frac{V - V_0}{V}$$

bu yerda, V – donasimon qatlam hajmi, m^3; V_0 – qatlam zarrachalari egallagan hajm, m^3.

Agar biror qurilmada donasimon materiallar balandligi H (m) ko'ndalang kesim yuzasi F (m^2) bo'lsa, unda qatlam hajmi $V = FH$ va zarrachalar egallab turgan hajm $V_0 = FH(1-\varepsilon)$ ga teng bo'ladi. Tegishli qatlamning bo'sh hajmi $V_{bx} = FH\varepsilon$, zarrachalar yuzasi esa – FHa ga teng.

Qatlam kanallarining ko'ndalang kesimlar yig'indisi yoki qatlamning bo'sh ko'ndalang kesimini topish uchun V_{bx} ni kanal uzunligiga bo'lish kerak. Agar kanallarning o'rtacha uzunligi qatlam balandligidan α_k marta ortiq bo'lsa, kanallar uzunligi $\alpha_k N$ va qatlamning bo'sh ko'ndalang kesimi $FH\varepsilon/\alpha_k H = F\varepsilon/\alpha_k$ (bu yerda α_k – kanallarning egrilik koeffitsiyenti).

Bo'sh ko'ndalang kesimning ho'llangan perimetri kanallar umumiy yuzasini ularning o'rtacha uzunligiga bo'lish yo'li bilan topiladi, ya'ni $\Pi = FHa/\alpha_k H = Fa/\alpha_k$

Agar qatlamning bo'sh ko'ndalang kesimi va ho'llangan perimetri ma'lum bo'lsa, ekvivalent diametrni ushbu tenglamadan aniqlasa bo'ladi:

$$d_э = \frac{4F}{\Pi} = \frac{4 \cdot \left(\frac{F\varepsilon}{\alpha_K}\right)}{\frac{Fa}{\alpha_K}} = \frac{4\varepsilon}{a} \qquad (3.78)$$

Ekvivalent diametr $d_э$ qatlam zarrachalari o'lchamlari orqali ham ifodalanishi mumkin. Agar qatlam hajmi 1 m^3, zarrachalari soni n ta bo'lsa, ularning hajmi $(1-\varepsilon)$ va

yuzasi a ga teng deb hisoblaymiz. Unda, bitta zarrachaning o'rtacha hajmi:

$$V_z = \frac{1-\varepsilon}{n} = \frac{\pi d^3}{6}$$

yuzasi esa:

$$F_z = \frac{a}{n} = \frac{\pi d^2}{f}$$

bu yerda, d – zarracha hajmiga teng ekvivalent sharning diametri; f – shakl koeffitsiyenti (shar uchun $f = 1$).

Unda, zarracha yuzasining hajmiga nisbati ushbu ko'rinishdan topiladi:

$$\frac{a}{1-\varepsilon} = \frac{6}{df}$$

bundan

$$a = \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{fd} \tag{3.79}$$

Agar (3.79) ni (3.78) tenglamaga qo'ysak, quyidagi formulani olamiz:

$$d_e = \frac{2f\varepsilon d}{3 \cdot (1-\varepsilon)} \tag{3.80}$$

Polidispers zarrachalardan tarkib topgan qatlam uchun diametr d ushbu nisbatdan hisoblab topiladi:

$$d = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{d_i}} \tag{3.81}$$

bu yerda, x_i - d_i diametrli zarrachalarining hajmiy yoki massaviy ulushi.

Donasimon qatlam zarrachalari orasidagi kanallarda harakatlanayotgan oqimning haqiqiy tezligi w ni aniqlash juda qiyin. Shuning uchun, avval suyuqlikning mavhum tezligi w_0 topiladi. Haqiqiy va mavhum tezliklar orasida quyidagi bog'liqlik bor:

$$w = \frac{w_0}{\varepsilon} \tag{3.82}$$

Suyuqlik donasimon qatlamga harakat qilganda, (ishqalanish qarshiligi) gidravlik qarshilikni, bosim yo'qotilishini hisoblash formulasi (2.48) dan topish mumkin:

$$\Delta P_{iq} = \lambda \frac{l}{d_e} \frac{\rho w^2}{2} = \lambda \frac{H}{\left[\frac{2fed}{3 \cdot (1-\varepsilon)}\right]} \frac{\rho \cdot \left(\frac{w_0}{\varepsilon}\right)^2}{2}$$

yoki

$$\Delta P = \frac{3 \cdot (1-\varepsilon)}{2\varepsilon^3 f} \cdot \lambda \cdot \frac{H}{d} \cdot \frac{\rho w_0^2}{2} \tag{3.83}$$

Ma'lumki, gidravlik qarshilik koeffitsiyenti λ gidrodinamik rejimga bog'liq bo'lib, Reynolds kriteriysi qiymati bilan belgilanadi.

Agar (3.82) dan w va (3.80) dan d_e laming qiymatlarini Re qo'ysak, ushbu ko'rinishdagi Reynolds kriteriysini olamiz:

$$\mathrm{Re} = \frac{w d_e \rho}{\mu} = \frac{4 w_0 \varepsilon \rho}{\varepsilon a \mu}$$

yoki

$$\mathrm{Re} = \frac{4 w_0 \rho}{a \mu} = \frac{4W}{a\mu} \tag{3.84}$$

bu yerda, W – qurilmaning 1 m^2 ko'ndalang kesimiga to'g'ri keladigan suyuqlikning massaviy tezligi, $kg/(m^2 s)$.

Olingan formuladagi solishtirma yuza a o'miga (3.79) tenglamadagi qiymatni yoki Re formulasiga d_e ning qiymatini (3.80) dan to'g'ridan to'g'ri qo'ysak, quyidagi ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\mathrm{Re} = \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{1-\varepsilon} \cdot \frac{w_0 d \rho}{\mu} = \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{1-\varepsilon} \cdot \mathrm{Re}_0 \tag{3.85}$$

bu yerda:

$$\mathrm{Re}_0 = \frac{w_0 d \rho}{\mu} \tag{3.86}$$

Gidravlik qarshilik koeffitsiyenti λ ni hisoblash uchun bir qator formulalar keltirib chiqarilgan. Suyuqliklarning sochiluvchan, donador qatlamlarda harakat qilishidagi hamma rejimlar umumiy gidravlik qarshilik koeffitsiyentini hisoblash quyidagi formula yordamida amalga oshiriladi:

$$\lambda = \frac{133}{\mathrm{Re}} + 2{,}34 \tag{3.87}$$

Ushbu formuladagi Re kriteriysi (3.86) formula orqali aniqlangan.

Shuni alohida qayd etish kerakki, gaz donador qatlam orqali harakat qilganda turbulent rejim, suyuqlik truba ichida harakat paytidagidan, avvalroq boshlanadi. Lekin laminar va turbulent rejimlar orasida keskin o'tish holati yo'q. Laminar rejim $Re < 50$ dan qiymatlarda amalga oshadi. Ushbu rejimda donador qatlam uchun $\lambda = A/Re$.

Agar $Re < 1$ bo'lganda (3.87) formuladagi qo'shiluvchi hisobga olinmaydi, ya'ni λ quyidagi formuladan topiladi:

$$\lambda = \frac{133}{\mathrm{Re}} \tag{3.88}$$

Agar $Re > 700$ bo'lganda, donador qatlamda turbulent rejimning avtomodel

sohasi boshlanadi, ya'ni jarayon tezlikka bog'liq bo'lmaydi. Unda, (3.87) formuladagi birinchi qo'shiluvchini tushirib qoldirish mumkin, ya'ni:

$$\lambda \approx 2{,}34 = const \qquad (3.88a)$$

Donador qatlam bo'sh hajmi yoki g'ovakliligi ε qurilmaga materialni yuklash uslubiga bog'liq. Masalan, sharsimon materiallar erkin to'kib yuklanganda qatlamning g'ovakliligi o'rtacha $\varepsilon \approx 0{,}4$ ga teng. Lekin amaliyotda ε ning qiymati 0,35 dan 0,45 gacha bo'ladi.

Undan tashqari, donador qatlamning ε kattaligi zarracha diametri d va qurilma diametri D orasidagi nisbatga bog'liqdir. Bunga sababchi devor oldi effektidir, ya'ni devor yaqinida zarrachalar zichlanishi har doim kam bo'ladi. Shuning uchun, devor oldida qatlamning g'ovakliligi qurilma markazi g'ovakligidan har doim yuqoridir. Ushbu farq d/D ortishi bilan ko'payib boradi.

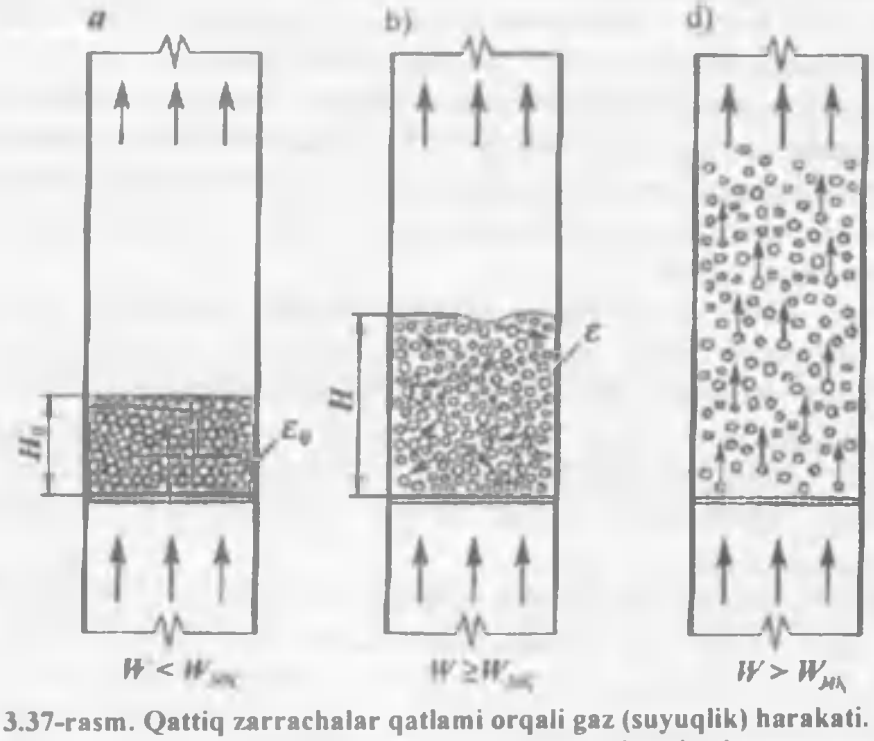
Sanoat donador qatlamli qurilmalarini modellashtirishda model qurilma diametri material zarrachalari diametridan eng kamida 8...10 marta katta bo'lishi shart.

3.24. Mavhum qaynash jarayoni asoslari va gidrodinamikasi

Suyuqlik oqimi istalgan tezliklarda, faqat pastdan yuqoriga harakat qilgandagina, donador qatlam orqali suyuqlik harakati qonuniyatlari ushbu jarayon uchun taalluqlidir. Suyuqlik oqimining yuqori chegarasi qatlam qo'zg'almas holati bilan belgilanadi.

3.37-rasmda qattiq zarrachalar qatlamining pastdan yuqoriga ko'tariluvchi oqim tezligiga bog'liqlik 3 holati tasvirlangan.

Gaz taqsimlash to'g'ri pastdan yuqoriga qarab kichik tezlik bilan gaz yoki suyuqlik oqimi yuborilsa, donador qatlam qo'zg'almas holatida qoladi (3.37a-rasm).



3.37-rasm. Qattiq zarrachalar qatlami orqali gaz (suyuqlik) harakati.
a-qo'zg'almas qatlam; b-mavhum qaynash qatlami;
d - qattiq zarrachalarning oqim bilan chiqib ketishi.

Bunda oqim tezligi o'zgarishi bilan qatlam (solishtirma yuza, g'ovaklilik va hokazo) ning xarakteristikalari o'zgarmaydi. Qatlam orqali o'tayotgan gaz (yoki suyuqlik) oddiy, filtrlanib harakatlanadi.

Lekin gaz (yoki suyuqlik) oqimining tezligi asta - sekin oshirib borilsa, tezlikning ma'lum bir kritik qiymatida qatlamdagi zarrachalar og'irligi bilan oqimning gidrodinamik bosim kuchi tenglashadi. Bunda qatlamning qo'zg'almas holati buziladi va uning g'ovakliligi, balandligi ko'payib boradi. Shu vaqtda qatlam zarrachalari siljiy boshlaydi va qatlam oquvchanlikka ega bo'lib boradi. Agar gaz oqimi tezligi yanada oshirilsa, qatlam kengayadi, zarrachalar harakati faollashadi, lekin gidrodinamik muvozanat hali ham buzilmaydi. Bu hol qatlamning mavhum qaynash jarayoniga o'tganligini ko'rsatadi, ya'ni butun qatlam xuddi qaynayotgandek bo'lib ko'rinadi (3.37b-rasm). Qatlamning bunday holatida qattiq zarrachalar intensiv, tartibsiz, turli yo'nalishlarda harakat qiladi.

Agar gaz oqimining tezligi yanada oshirilsa, qatlam g'ovakliligi va balandligi keskin ko'payib boradi. Gaz tezligi ma'lum bir kritik qiymatga yetganda mavhum qaynash qatlami buziladi. Bunda gidrodinamik bosim kuchlari qatlam zarrachalari og'irlik kuchidan oshib ketadi va qattiq zarrachalar gaz oqimi bilan birga uchib chiqa boshlaydi (3.37d-rasm). Gaz oqimi bilan qattiq zarrachalarning yoppasiga uchib chiqa boshlash hodisasi **pnevmotransport** deb nomlanadi va sanoatda sochiluvchan materiallarni uzatish uchun ishlatiladi.

3.38-rasmda donador qatlam balandligi va gidravlik qarshiligining oqim **soxta** (qurilma ko'ndalang kesim yuzasiga nisbatan hisoblangan tezlik) **tezligidan** bog'liqlik grafiklari keltirilgan.

Qatlam qo'zg'almasligi buzilib, mavhum qaynash holatiga o'tish paytidagi tezlik **mavhum qaynashning boshlanish tezligi yoki birinchi kritik tezlik** deb nomlanadi va w_{mk} harfi bilan belgilanadi.

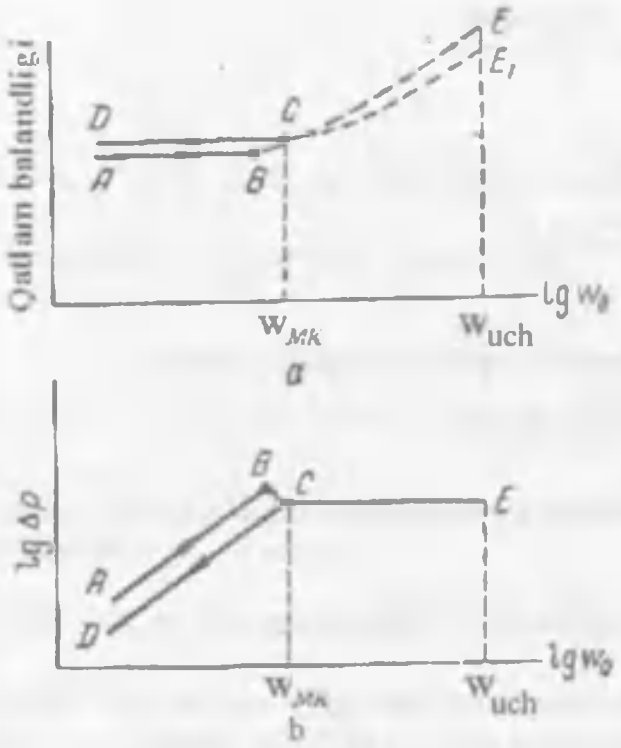
Agar gaz oqimi tezligini w_{mk} gacha oshirib borilsa, donador qatlam gidravlik qarshiligi ortib boradi (3.38b-rasm). Lekin w_0 qiymati oshishi bilan qatlamning balandligi umuman o'zgarmaydi (3.38a-rasm ABC chiziq).

Oqimning gidrodinamik bosim kuchi qattiq zarrachalar qatlami og'irlik kuchiga teng bo'lganda mavhum qaynash jarayoni boshlanadi. Lekin amalda V nuqtadagi tegishli bosimlar farqi bevosita mavhum qaynash boshlanishiga (C nuqta) oid ΔP dan, ya'ni qatlamni mavhum qaynash holatida ushlab turish uchun zarur gidrodinamik bosim kuchidan ko'proq bo'ladi.

Bunga sabab, qo'zg'almas qatlam holatidagi zarrachalar orasidagi tortishish kuchidir. Gaz oqimi tezligi w_{mk} bo'lganda, zarrachalar orasidagi tortishish kuchlarini yengadi va gidrodinamik bosim kuchi (ΔP) qatlam zarrachalari og'irligiga tenglashadi.

3.38b-rasmdan ko'rinib turibdiki, yuqorida aytilgan shartlar mavhum qaynash jarayonining hamma oralig'ida (CE chiziq) bajarilmoqda. Mavhum qaynash boshlanishi bilan oqimning gidrodinamik bosim kuchlari qatlamdagi qattiq zarrachalar og'irligini muvozanatda ushlaydi.

Gaz oqimi tezligi ortishi bilan qatlam zarrachalari og'irligi o'zgarmaydi. Demak, qatlamni mavhum qaynash holatida ushlab turish uchun zarur bo'lgan ΔP ham bir xil bo'ladi. Bu holat 3.38b-rasmda CE chizig'i bilan ifodalanadi. Agar tezlik yana oshirilsa, mavhum qaynash muvozanati buzilib, qurilmadan gaz oqimi bilan zarrachalar yoppasiga uchib chiqa boshlaydi. Ushbu holatga oid tezlik **uchib chiqish tezligi** yoki **ikkinchi kritik tezlik** deb yuritiladi va w_{uch} belgi bilan ifodalanadi.



3.38- rasm. Donador zarrachalar qatlami balandligi (a) va gidravlik qarshiligining (b) oqim tezligiga bog'liqligi.

Bu holatda qatlamning g'ovakliligi juda katta bo'ladi, ya'ni ε ni qiymati 1 yaqinlashib boradi. Agar ishchi tezlik w_0 qiymati w_{yu} dan ozgina ortsa, zarrachalarning qurilmadan yoppasiga uchib chiqishi boshlanadi.

Agar gaz oqimi tezligi asta - sekin kamaytirib borilsa, jarayon egri chizig'i *ABC* chiziq emas, balki *CD* chizig'i bilan ifodalanadi (3.38b-rasm). Ushbu hodisa **gisterezis** deb nomlanadi. Gisterezis hodisasining paydo bo'lishiga sabab, zarrachalar o'rtasidagi o'zaro tortishish kuchi, ya'ni ushbu kuchni yengishga qo'shimcha energiya sarf bo'lishidir. Undan tashqari, mavhum qaynash jarayoni tugagandan so'ng, qo'zg'almas qatlam g'ovakliligi yoki balandligi mavhum qaynash jarayoni boshlashdan avvalgi qatlamnikidan biroz ko'p bo'ladi (3.38-rasm). Buning isboti rasmdagi *CD* chiziqning *AB* dan tepada joylashganligidir.

Agarda jarayon yana qaytadan boshlansa, ya'ni gaz oqimi tezligi ortishi bilan qatlamning gidravlik qarshiligi *AB* chizig'i emas, balki *CD* chizig'i bilan ifodalanadi. Xulosa qilib aytganda, gisterezis hodisasi namoyon bo'lmaydi.

Mavhum qaynash jarayoni egri chizig'ining shakli qatlam holatini ifodalaydi. Mavhum qaynash jarayoni w_{mk} va w_{uch} tezliklar oralig'i bilan chegaralanadi.

Ishchi tezlik w ning mavhum qaynash boshlanishi tezligi w_{mk} ga nisbati **mavhum qaynash soni** K_w deb ataladi va u quyidagi ko'rinishga ega:

$$K_w = \frac{w_0}{w_{mk}} \tag{3.89}$$

Mavhum qaynash soni zarrachalarning aralashish intensivligi va qatlam holatini ifodalaydi.

Ko'pchilik holatlarda zarrachalarning intensiv aralashishi $K_w \approx 2$ da bo'lishi tajriba yo'li bilan aniqlangan. Aniq texnologik jarayon uchun K_w ning optimal qiymati keng oraliqda o'zgaradi va u tajriba yo'li bilan topiladi.

Sharsimon shaklli ($f \approx 1$), g'ovakliligi $\varepsilon \approx 0{,}4$ bo'lgan qatlam mavhum qaynashining boshlanish tezligi prof. O.M.Todes formulasi yordamida aniqlanishi mumkin:

$$\mathrm{Re} = \frac{Ar}{1400 + 5{,}22\sqrt{Ar}} \tag{3.90}$$

bu yerda.

$$\mathrm{Re}_{mq} = \frac{w_{mq} \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

Mavhum qaynash boshlanish tezligi:

$$w_{mq} = \frac{\mathrm{Re}_{mq} \cdot \mu}{d\rho}$$

(3.90) formuladagi Arximed (*Ar*) kriteriysi ushbu formuladan topiladi:

$$Ar = \frac{g d_z^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_k - \rho}{\rho}$$

bu yerda, d_z – zarracha ekvivalent diametri, m; ν – muhit kinematik qovushoqligi, m^2/s; ρ va ρ_k – muhit va zarracha zichliklari, kg/m^3.

$w_o > w_{mq}$ bo'lgan holatda tezlik ortishi bilan qatlam kengayadi va g'ovakliligi (bo'sh hajmi) ko'payadi.

Mavhum qatlam muvozanati buzilishi va zarrachalarning yoppasiga uchib chiqish tezligini ifodalovchi ikkinchi kritik tezlik ham prof. O.M.Todes tomonidan keltirib chiqarilgan formula yordamida hisoblash mumkin:

$$\mathrm{Re}_{uch} = \frac{Ar}{18 + 0{,}575\sqrt{Ar}} \qquad (3.91)$$

bunda

$$\mathrm{Re}_{uch} = \frac{w_{uch} d \rho}{\mu}$$

Uchib chiqish tezligi esa:

$$w_{uch} = \frac{\mathrm{Re}_{uch} \cdot \mu}{d\rho}$$

Qatlam g'ovakliligi $0{,}4 < \varepsilon < 1$ oraliqda bo'lganida *Re* ni hisoblash uchun quyidagi umumlashtirilgan formula taklif etiladi:

$$\mathrm{Re}_0 = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4{,}75}}{18 + 0{,}6\sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4{,}75}}} \qquad (3.92)$$

Agar w ma'lum bo'lsa, εni (3.92) formulada topish mumkin:

$$\varepsilon = \left(\frac{18\,\mathrm{Re}_0 + 0{,}36\,\mathrm{Re}_0^2}{Ar} \right)^{0{,}21} \qquad (3.93)$$

Qo'zg'almas qatlam H_q va mavhum qaynash qatlami balandliklari H_{mq} o'rtasida quyidagi bog'liqlik bor.

$$H_{mq}(1 - \varepsilon mq) = H_q(1 - \varepsilon_k) \qquad (3.94)$$

bu yerda, ε_q va ε_{mq} – qo'zg'almas va mavhum qaynash qatlamlarining g'ovakliligi.

Qatlamdagi bosimlar farqi ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$\Delta p = g\rho(1-\varepsilon)H \qquad (3.95$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_к}{\rho_3} \qquad (3.96$$

bu yerda, $\rho_к$ – qatlam zichligi, kg/m^3; ρ_3 – qattiq zarrachalar zichligi, kg/m^3.

Qo'zg'almas qatlam g'ovakliligi esa:

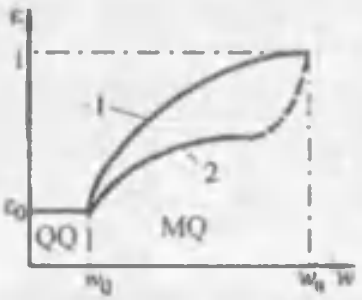
$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{\rho_T}{\rho_3}$$

bu yerda, ρ_T – materialning «to'kma» zichligi, kg/m^3.

Qattiq zarrachalar qatlamidagi bosimlar farqini hisoblash uchun Ergan formulasini qo'llash mumkin:

$$\Delta P = 150\frac{(1-\varepsilon_0)^2}{\varepsilon_0^3}\frac{\mu w}{d_э^2}H + 1{,}75\frac{1-\varepsilon_0}{\varepsilon_0^3}\cdot\frac{\rho_в w^2}{d_э}H \qquad (3.97$$

G'ovaklilik ε va Reynolds soni ***Re*** orasidagi bog'liqlik (3.92) formula bilan ifodalanadi va uning grafik tasviri 3.39-rasmda keltirilgan. (3.92) formula zarrachaning aniq o'lchami va boshqa xossalari ma'lum bo'lganda uning uchish tezligi w ni yuqori aniqlikda hisoblash imkonini beradi.



3.39-rasm. Mavhum qaynash qatlamining kengayishi.
1-bir jinsli mavhum qaynash; 2-turli jinsli mavhum qaynash.

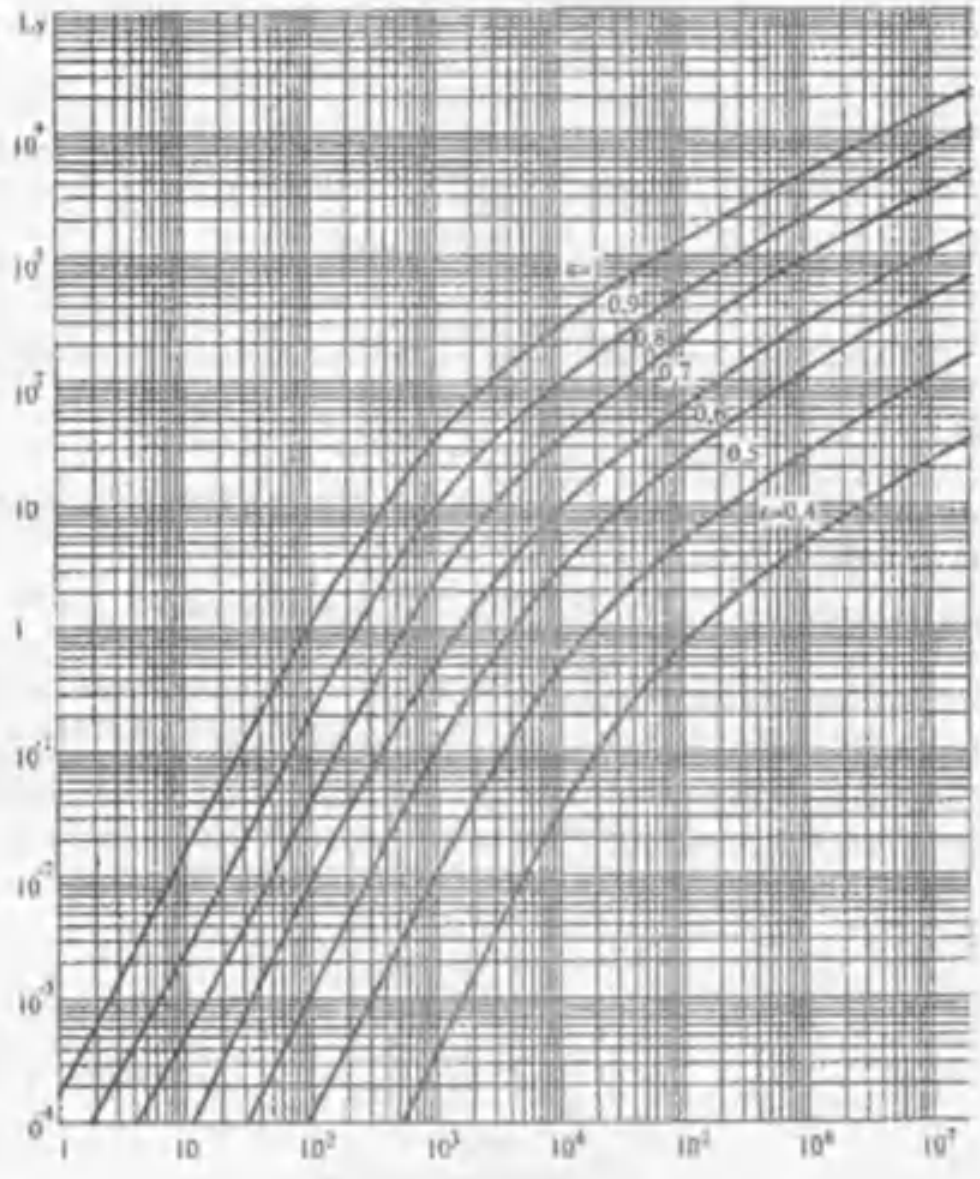
Ammo zarracha diametri d ni aniqlashda ma'lum qiyinchiliklar mavjud, chunki ushbu o'lcham ham Reynolds soni ***Re***, ham Arximed soni ***Ar*** larga kiradi.

Bunday hollarda o'lchamsiz kriteriy Lyashchenko soni ***Ly*** dan foydalanish ancha qulay va to'g'ri:

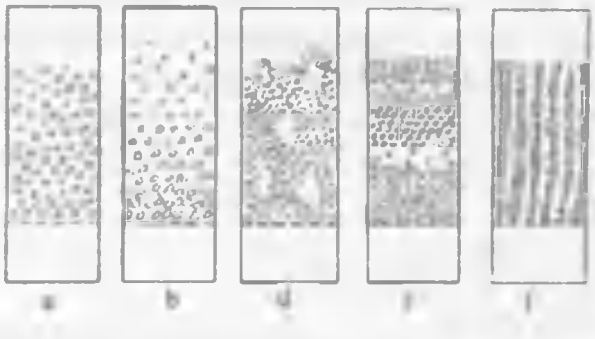
$$Ly = \frac{\mathrm{Re}^3}{Ar} = \frac{w^3\cdot\rho}{g\cdot\nu(\rho_к-\rho)} \qquad (3.97a$$

chunki, ushbu kriteriyda w bor, ammo d kirmaydi.

Umumiy hollarda ***Ly*** va ***Re*** sonlarining g'ovaklilik ε bilan bog'liqlikdan foydalanish maqsadga muvofiq: shunda qattiq zarracha o'lchami (***Ar***) va ε ma'lum bo'lsa, ***Ly*** kriteriysini va uchib chiqish tezligi w_{uch} oson aniqlash mumkin. Xuddi shunday g'ovaklilik ε va w_{uch} (***Ly***) ma'lum bo'lsa, ***Ar*** kriteriysi va zarracha diametri d ni oson aniqlash mumkin. Bir jinsli mavhum qaynash qatlami uchun ***Ar***, ***Ly*** va ε larni bog'lovchi formula juda katta va muhandislik hisoblashlarda foydalanish uchun noqulay. Ushbu bog'liqlikning grafik tasviri 3.40-rasmda keltirilgan.



3.40-rasm. Bir jinsli mavhum qaynash qatlamining egri chiziqlari *Ly=f(A)*.
1-bir jinsli mavhum qaynash; 2-turli jinsli mavhum qaynash.



3.41-rasm. Mavhum qaynash qatlamining turlari.
a - bir jinsli; b - turli jinsli; d – barbotajli;
e - porshenli; f - kanalli.

Mavhum qaynash qatlami bir va turli jinsli bo'lishi mumkin.

Bir jinsli mavhum qaynash amalda faqat tomchili suyuqlik oqimida qattiq zarrachalar mavhum qaynash jarayonida sodir bo'ladi.

Bunda oqim tezligi w_{mq} dan ko'payib ketganda qatlam balandligi ortsa ham uni tepa chegarasi sezilarli darajada tebranmaydi (3.41a-rasm).

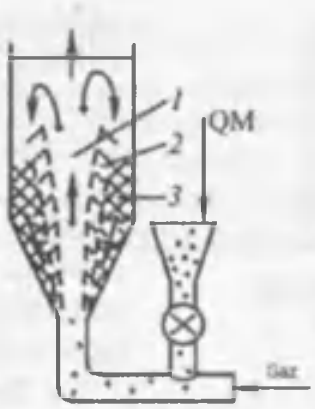
Ammo sanoat korxonalarida asosan «qattiq jism - gaz» sistemasida mavhum qaynash jarayoni ishlatiladi (3.41б-rasm). Odatda, bu sistema ko'pincha, turli jinsli bo'ladi. Ba'zi hollarda gaz pufakchalariga ega bo'lgan mavhum qaynash jarayoni sodir

bo‘ladi. Bu pufakchalar qatlam tepa qismiga yetganda yoriladi va natijada qatlam balandligining tebranishiga olib keladi (3.38a-rasm). ***CE*** va ***CE$_1$*** nuqtali chiziqlar mavhum qaynash qatlami tebranish oralig‘ini bildiradi.

Turli jinsli qatlamning mavhum qaynash jarayoni uchun qatlamda har xil o‘lchamli pufakchalar mavjudligi xarakterlidir. Agar mavhum qaynash soni kichik bo‘lsa, qatlamning turli jinsli ekanligi uning xarakteristikalariga ta’sir etmaydi. Aksincha, harakatlanuvchi pufakchalar qatlamdagi zarrachalar aralashishini jadallashtiradi. Lekin K_w o‘sishi bilan qatlamning turli jinsliligi ortadi, ya’ni pufakchalar o‘lchami kattalashadi va qatlam tepa chegarasidan qattiq zarrachalar intensiv ravishda uloqtiriladi. Pufakchalar ko‘ndalang o‘lchami qurilma o‘lchamigacha yiriklashib boradi. Natijada **porshenli rejim** hosil bo‘ladi (3.41-rasm). Bu rejimda qattiq jism va gaz o‘rtasidagi o‘zaro ta’sir yomonlashadi.

Agar nam yoki juda mayda hamda yopishqoq zarrachalar mavhum qaynash holatiga keltirilganda **kanalli** mavhum qaynash jarayoni paydo bo‘ladi (3.41d,e-rasm). Kanal hosil qiluvchi qatlamning eng so‘nggi holati bo‘lib favvora qatlam hisoblanadi. Bunda, qurilma o‘qi atrofidagi kanal orqali gaz oqimi qatlamdan otilib chiqadi.

Yuqorida ko‘rib chiqilgan qattiq fazali dispers sistemalar mavjud bo‘lgan ular modifikatsiyalarining xilma-xilligining hammasi emas. Shu kungacha ma’lum bo‘lgan sistemalarning bir nechtasini o‘z ichiga qamrab olgan sochiluvchan material qatlamlarining holatlari ham bor. Misol tariqasida favvorasimon qatlamni keltirish mumkin (3.42-rasm). Bunday qatlamlarda dispers sistema, mavhum qaynash qatlam (jarayon yaxshi tashkil etilmagan – konussimon qurilma qiyalik burchagi katta – qo‘zg‘almas qatlam) hamda pnevmotransport sistema bir vaqtning o‘zida mavjud bo‘lishi mumkin.



3.42-rasm. Favvorasimon qatlam.
1-pnevmostransport sohasi; 2-mavhum qaynash qatlamli soha; 3-harakatchan qatlam sohasi.

Donador-tolali materiallarning mavhum qaynashi. Ma’lumki, Vatanimizning eng asosiy texnik xomashyosi - paxta chigitidir. Paxta chigiti ko‘p qatlamli, noto‘g‘ri shaklli, geterogen sistema bo‘lib, uning yadrosi – kolloid - kapillar g‘ovakli gel, qobig‘i-yog‘ochsimon tuzilishli va tashqi yuzasi - quyuq paxta tolalari bilan qoplangandir.

Shuni alohida ta’kidlash kerakki, har bir qatlam o‘zaro fizik - mexanik va diffuzion – issiqlik xossalari bilan bir - biridan keskin farq qiladi. Umuman olganda esa, paxta chigitini donador sochiluvchan materiallar guruhiga qo‘shib bo‘lmaydi, chunki

3.43-rasm. Tuksizlangan (a) va tukli (b) paxta chigiti.

zarrachalar orasidagi tortishish kuchi donador materiallarnikidan ancha katta va bu guruhga keltirib chiqarilgan asosiy qonuniyatlarga bo'ysunmaydi.

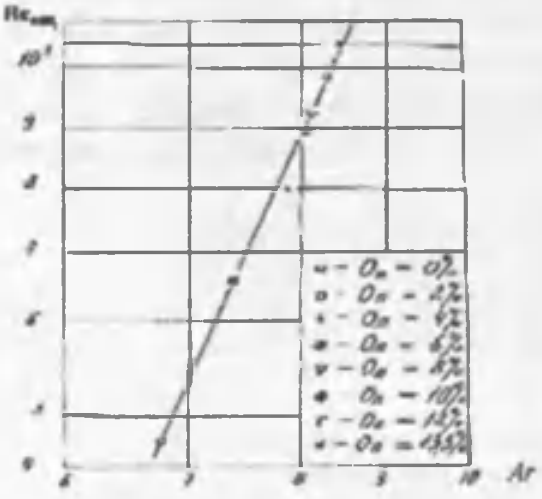
Shuning uchun, ko'pincha ilmiy tadqiqotlar va nazariy tahlil asosida, paxta chigiti alohida donador - tolali materiallar guruhiga ajratib olindi.

Undan tashqari, paxta chigitining yana bir necha o'ziga xos xususiyatlari borligi ham unga alohida yondashish kerakligini taqozo etadi. 3.43-rasmdan ko'rinib turibdiki, chigitning tukliligi ortishi bilan uning ekvivalent diametri ortadi va keltirilgan zichligi kamayadi.

Bunday murakkab tuzilish va shaklli paxta chigitining shakl koeffitsiyenti ushbu empirik tenglamadan aniqlanadi [5,6,13]:

$$f = 1,063 + 5,5 \cdot 10^{-2} Q_m$$

bu yerda, Q_m – paxta chigiti tukliligi, %.



3.44-rasm. Donador-tolali materiallar uchun *Re* sonining *Ar* kriteriysiga bog'liqligi.

Chigitning fizik-mexanik xossalarini o'rganish shuni ko'rsatadiki, uning tukliligi ortishi bilan qatlamdagi zarrachalar orasida tortishish kuchi ko'payadi. Buning yaqqol isboti mavhum qaynash boshlanishning material tukliligiga bog'liqlik grafigida ko'rish mumkin (3.44-rasm). Agar chigit tukliligi Q_m = O dan Q_m = 13% gacha ortsa, unda mavhum qaynash boshlanish tezligi 1,2 m/s dan 2,16 m/s gacha ko'payadi. Bu albatta chigitning tukliligi va ular orasidagi tortishish kuchlari hamda materialning noksimon, noto'g'ri shakli bilan bog'liqdir.

Donador-tolali materiallar uchun mavhum qaynash tezligi bo'yicha ma'lumotlar umumlashtirish natijasida ushbu ko'rinishdagi kriterial formula keltirib chiqarildi.

$$\mathrm{Re}_{mq} = 0,456 \cdot \left(\frac{Ar}{10^6} \right)^{3,63} \qquad (3.98)$$

yoki

$$\mathrm{Re}_{mq} = \frac{\eta\, Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}$$

bu yerda, η – paxta chigitining tuklilik koeffitsiyenti.

Ushbu koeffitsiyent esa quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\eta = \frac{\mathrm{Re}_{mq}}{\mathrm{Re}^{0}_{mq}} \qquad (3.99)$$

yoki

$$\eta = 1 + 0{,}43 \cdot O_{\Pi}^{0{,}44}$$

bu yerda, Re_{mq}^{0} – tukliligi $O_n = 0$ % bo'lgan chigitning mavhum qaynash boshlanish tezligi.

Donador-tolali material qo'zg'almas qatlamining g'ovakliligini ushbu formuladan foydalanib topsa bo'ladi:

$$\varepsilon_0 = 0{,}355 + 0{,}059\eta \qquad (3.100)$$

Qatlamning gidravlik qarshiligi anomal o'zgarganligi sababli va yuqori aniqlikdagi hisoblash formulasini keltirib chiqarish uchun $\lambda = f\ (Re)$ funksiya 3 ta zonaga bo'lingan.

Donador - tolali qatlamning gidravlik qarshilik koeffitsiyenti quyidagi formulalardan topiladi:

1-zona uchun ($Re < 350$):

$$\lambda_1 = \frac{312 \cdot p^{-0.57} \cdot \exp(0{,}46 \cdot \eta)}{(1{,}8 \lg \mathrm{Re}_m - 1{,}64)^2} \qquad (3.101)$$

2-zona $Re > 350$ da boshlanadi va uning yuqori chegarasi Re_{kr} ni ushbu tenglamadan aniqlash mumkin:

$$\mathrm{Re}_{kr}' = 184{,}3 \cdot \exp(0{,}53 \cdot \eta - 0{,}0248 p_0) \qquad (3.102)$$

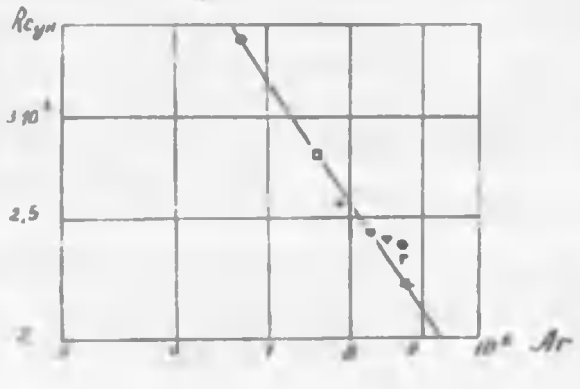
$$\lambda_2 = 0{,}86 \cdot p_0^{-0{,}34} \cdot \mathrm{Re}_m^{0{,}516 \exp(0{,}082\eta)} \qquad (3.103)$$

3-zona uchun esa ($Re_{kp} < Re < 4000$):

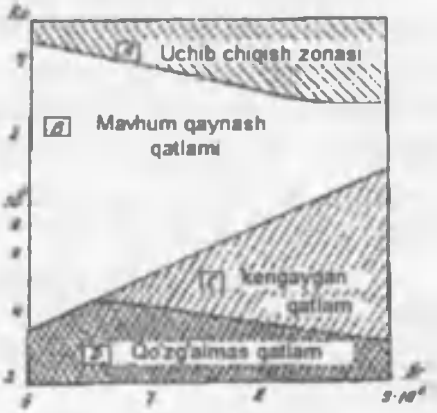
$$\lambda_3 = 6185 \mathrm{Re}_m^{-0{,}9} \cdot p_0^{-0{,}6} \cdot \exp(0{,}77\eta) \qquad (3.104)$$

bu yerda, $p_o = p/p_{atm}$ – nisbiy solishtirma massaviy yuklama; Re_m – Reynoldsning modifikatsiyalashgan kriteriysi, qatlam kanallari ekvivalent diametri d_e orqali hisoblanadi.

Dastlabki tajribalardan ma'lumki, chigitning tolaligi ortishi bilan zarrachaning ekvivalent diametri ortadi, zichligi esa kamayadi. Shuning uchun, donador - tolali qatlam zarrachalarining uchib chiqish tezligi ham klassik qonuniyatlarga bo'ysunmaydi.



3.45-rasm. Donador - tolali materiallar uchun *Re* sonining *Ar* kriteriysiga bog'liqligi.



3.46-rasm. Donador-tolali materiallarning qo'zg'almas, kengaygan va mavhum qaynash qatlam holatlarining chegaralari.

Tajriba natijalari (3.45-rasm) ni umumlashtirish orqali donador-tolali materiallarning uchib chiqishi tezligina aniqlash uchun quyidagi ko'rinishda formula olindi:

$$\mathrm{Re}_{uch} = \frac{\eta^{-0,4} \cdot Ar}{20,16 + 0,683\sqrt{Ar}} \qquad (3.105)$$

Re_{mq} va Re_{uch} qiymatlari ma'lum bo'lgan donador-tolali materiallar uchun qatlam holatlarining mavjud bo'lish chegaralarini topish oson (3.46-rasm).

Donador - tolali kengaygan qatlamning yuqori chegarasi mavhum qaynash boshlanish tezligi Re_{mq} bilan aniqlansa, pastki chegarasi esa quyidagi tenglama yordamida topiladi:

$$\mathrm{Re}_{ch} = 111\,(3,9-\eta)\cdot p_0^{\,0,18} \qquad (3.106)$$

Yuqorida keltirilgan ma'lumotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, donador-tolali materiallar gidrodinamikasi chigit tuklilik koeffitsiyenti η ga bog'liqdir. Undan tashqari, η ushbu materiallar qatlam holatlarining mavjud bo'lish chegaralariga ham ta'sir ko'rsatadi. Donador, sochiluvchan materiallar uchun mavhum qaynash qatlami chegaralari Ar kriteriysi ortishi bilan ko'paysa, donador - tolali materiallar qatlaminiki esa kamayadi.

3.25. Oqimchali mavhum qaynash

Hozirgi kunda ko'pgina dolzarb muhandislik muammolarni hal etish turli muhitlarda gaz oqimchalari (tizillagan oqimlar) ning tarqalishi bilan uzviy bog'liqdir.

Oqimchali mavhum qaynash jarayoni qo'zg'almas, mavhum va favvorasimon qaynash qatlamli qurilmalarda gaz taqsimlovchi teshikli panjara moslamalarining ustida qattiq va gaz fazali sistemalarida amalga oshadi. Ushbu jarayon mavhum qaynash qatlamli granulyator va quritgichlarda, pnevmatik aralashtirgichlarda hamda qatlamga turli - tuman puflab havo yo'naltiradigan moslamali qurilmalarda ishlatiladi.

Oqimchali mavhum qaynash jarayoni qatlamni tashkil qilish usuli bo'yicha klassik (an'anaviy) mavhum qaynashdan oqimchali harakat potensiali imkoniyatlaridan foydalanishga sistemali yondashishi bilan farqlanadi.

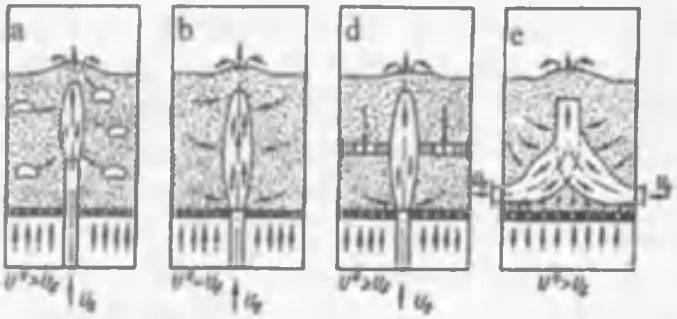
Oqimchali mavhum qaynash qatlamlarida issiqlik va massa almashinish jarayonlarini salmoqli intensivlashga erishish va klassik mavhum qaynash jarayoniga xarakterli kamchiliklarni bartaraf qilish mumkin. Undan tashqari, sanoat qurilmalariga masshtabli o'tish, gaz oqimlarini taqsimlash va qatlam tuzilishini boshqarish masalalari osonlashadi. Ayrim jarayonlar (kolchedanni flotatsiya qilish, ohaktoshni kuydirish va boshqalar) da aynan oqimchali mavhum qaynash qatlamli qurilmalardan ishonchli foydalanishni ta'minlaydi.

Oqimchali mavhum qaynash jarayoni «gaz - qattiq zarracha» sistemasida fazalar o'zaro ta'sirini tashkil etishning yangi usullarini yaratish imkoniyatini tug'diradi. Bu usullardan eng asosiy va samaralisi-qurilma reaksion zonasini parallel – oqimchali seksiyalashdir.

Qatlamga kiritilayotgan oqimchalar soni va shakli turlicha bo'lishi mumkin: dumaloq va yassi, soni esa bir va undan ortiq.

Oqimchalarni qo'llashdan asosiy maqsad, mavhum qaynash sifatini yaxshilash va bir jinsli qatlam hosil qilish. Ushbu usulni tatbiq etishda texnik qiyinchiliklar yo'q. Odatda oqimchalarda havo sarfi mavhum qaynash jarayonidagi umumiy sarfning 6...15% ni tashkil etadi. Oqimchalarning minimal tezligi zarrachalar uchib chiqish tezligidan 10 va undan ortiq marta ko'p bo'ladi.

3.47-rasmda «gaz - qattiq zarracha» sistemasida fazalar o'zaro ta'sirini tashkil etish usullar sxemasi keltirilgan:



3.47-rasm. «Gaz - qattiq zarrachalar» sistemasida fazalar o'zaro ta'sirini tashkil etishning prinsipial sxemalari.

a-turli jinsli mavhum qaynash qatlamining o'rta va yuqori qismiga oqimcha uzatish; b-minimal mavhum qaynash tezligida qatlamga oqimcha uzatish; d-perforatsiyali disk teshigi orqali oqimcha uzatish; e-bir-biriga yo'nalgan oqimchalar mavhum qaynash qatlamida.

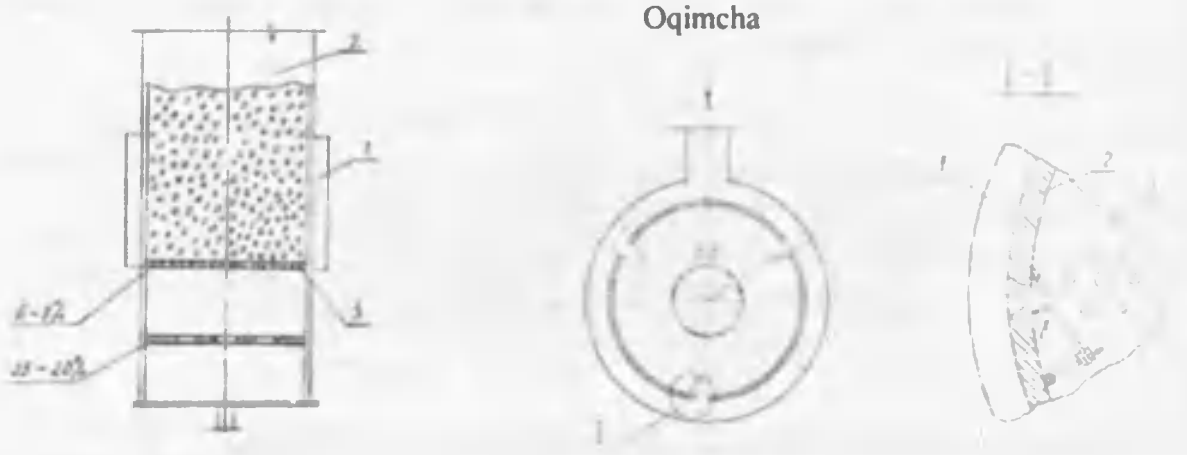
Gidrodinamik faol oqimcha qatlamning turli jinsli yuqori qismini yaxshi aralashtirilgan qatlam holatiga olib kelishi mumkin (3.47a-rasm). Agarda minimal mavhum qaynash holatidagi qatlamga oqimcha (3.47б-rasm) kiritilsa, jarayon intensivlashadi. Lekin shuni alohida ta'kidlash kerakki, ikkala holatda ham qurilmaning gidravlik qarshiligi pasayadi. Agar oqimcha 3.47d-rasmda ko'rsatilgandek, ya'ni qatlamda joylashtirilgan teshikli panjara o'qidagi katta teshik orqali uzatilsa, qattiq zarracha sirkulatsiya tezligi ortadi. Ushbu holatda qattiq zarrachalar tartibli, sirkulatsiyali qatlam hosil qiladi. 3.47e-rasmda bir-biriga yo'nalgan gorizontal oqimchalar yordamida mavhum qaynash jarayonini barpo etish mumkin. Bunda ikkala oqimcha bir-biri bilan to'qnashib, tartibli qatlam tashkil qilinadi. Sanoat miqyosida bunday sistemalar mikrobiologik sintez mahsulotlarini granullash uchun qo'llaniladi.

Ikki oqim (asosiy va oqimcha) yordamida mavhum qaynash qatlamini tashkil etish, donador qatlamli qurilmalarni loyihalashda yangi yo'nalish ochib berdi. Bunday qurilmalar gidrodinamik faol oqimchalar harakati natijasida intensiv sirkulatsiyali bo'ladi va sulfat ammoniy, xamirturush ishlab chiqarish sanoati qoldiqlari, kunjara va boshqa materiallarni granullash uchun ishlatiladi. Yana shuni alohida aytib o'tish kerakki, klassik mavhum qaynash qatlamli qurilmalarga qaraganda oqimchali mavhum qaynash qatlamli qurilmalarda issiqlik va massa almashinish jarayonlar tezligi 3...6 marta intensiv bo'ladi.

Shuni aytish kerakki, yuqorida keltirilgan hamma usul va qurilmalar donador, sochiluvchan materiallar uchun to'g'ri keladi.

Lekin donador - tolali materiallar (masalan, paxta chigiti va uning natijasida hosil bo'lgan ikkilamchi mahsulotlar) uchun ko'rib chiqilgan usullar yaxshi natija bermaydi [5,6]. Bunga sabab, paxta chigitining momiqligidir. Ma'lumki, chigit tashqi yuzasidagi paxta tolalari (~8...12%) zarrachalar o'rtasida tortishish kuchlarini haddan tashqari ko'payishiga olib keladi. Undan tashqari, paxta chigitining tomchisimon, noto'g'ri shaklga egaligi uni mavhum qaynash holatiga qiyin o'tishining sababchisidir.

Yuqorida taklif etilgan usullarning birortasi ham paxta chigitini mavhum qaynash holatiga o'tkazish bo'yicha ijobiy natijalar bermadi. Shuning uchun ushbu darslik mualliflari tomonidan paxta chigitini turg'un, sifatli mavhum qaynash holatiga o'tkazish uchun yassi oqimchalardan foydalanish tavsiya etildi (3.48-rasm).



3.48-rasm. Donador - tolali materiallar uchun oqimchali mavhum qaynash qatlamli qurilma.

1 - qobiq; 2 – oqimcha uzatish halqasi; 3 - teshikli panjara;
4 – oqimcha kirish shtuseri; 5 - umumiy oqim kirish shtuseri.

Donador - tolali materiallarni mavhum qaynash holatiga o'tkazish uchun qo'zg'almas, kengaygan qatlamga yassi oqimcha kiritildi. Natijada, mavhum qaynash soni $K_w < 1{,}4$ da mavhum qaynashga erishildi. Bu esa, havo oqimi sarfini 30...40% gacha tejash imkonini yaratadi. Kengaygan ($H/H_0 > 1$ bo'lgan) qatlamga gidrodinamik faol yassi oqimcha yuborish natijasida quyidagi masalalarni hal etsa bo'ladi:

– energiya sarfi kam rejimlarda donador - tolali qatlamlarni mavhum qaynash holatiga o'tkazish mumkin;

– yassi oqimchani devor yaqinidagi zonaga yo'naltirish natijasida klassik mavhum qaynash qatlamining asosiy kamchiliklari bartaraf qilinadi;

– materialning tolalik koeffitsiyentiga qarab, $K_w < 1{,}4$ gacha bo'lgan oraliqda mavhum qaynash jarayonini tashkil etish mumkin.

Oqimchali mavhum qaynash jarayonida donador - tolali qatlamning g'ovakliligi ushbu formula yordamida aniqlanadi:

$$\varepsilon = A \cdot \mathrm{Re}^{x} \cdot \exp(0{,}122 \cdot \eta) \qquad (3.107)$$

bu yerda, A va x ning qiymatlari gaz oqimining tezligiga bog'liq. Bunda koeffitsiyent $A = 0{,}127...0{,}265$ va daraja ko'rsatkichi $x = 0.103...0{,}212$ ga teng.

3.26. Mavhum qaynash qatlamli qurilmalar

Texnologik jarayonlar borish sharoitlarini, ishlab chiqarilayotgan mahsulot sifatiga qo'yiladigan talablarni o'zaro ta'sirda bo'lgan moddalarning o'ziga xos xususiyatlarini hisobga oluvchi juda ko'p mavhum qaynash qatlamli qurilmalar konstruksiyalari yaratilgan. 3.46-rasmda mavhum qaynash qatlamli qurilmalarning ayrim konstruksiyalari ko'rsatilgan.

Ishlash prinsipiga qarab davriy va uzluksiz ishlaydigan qurilmalar bo'ladi. Uzluksiz qurilmalarda gaz oqimi va donador material o'zaro ta'sir qilib, unga uzluksiz ravishda yuklanadi va qurilmadan to'kiladi.

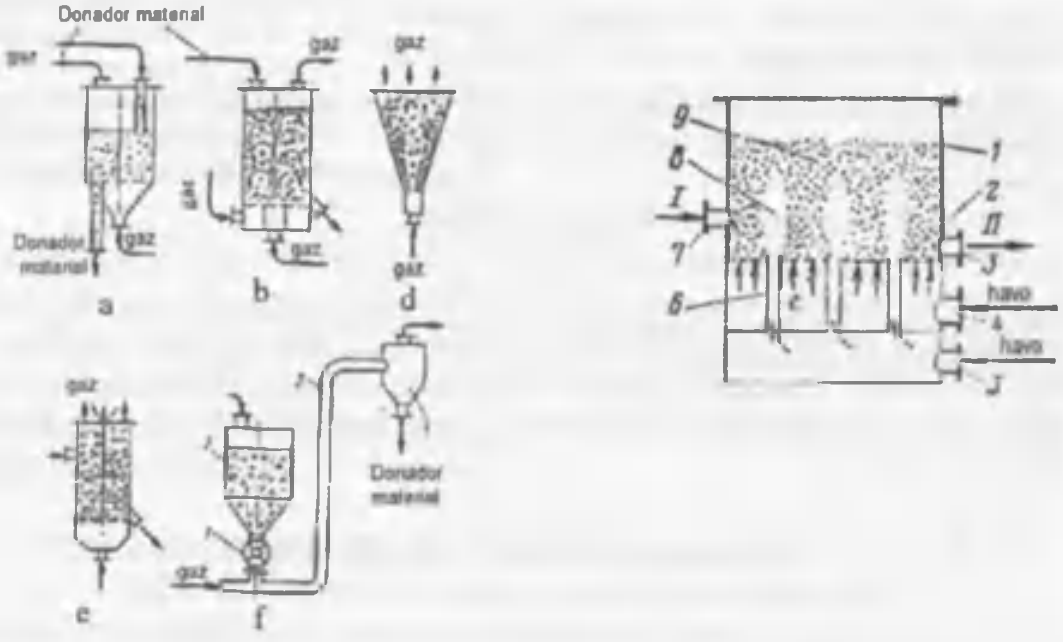
Jarayonda qatnashuvchi qattiq material va gaz oqimining harakat yo'nalishi bir xil, qarama - qarshi va kesishgan yo'lli bo'lishi mumkin.

Uzluksiz ishlaydigan, qarama - qarshi yo'lli silindrik qurilmalarda gaz oqimi taqsimlovchi teshikli panjara ostiga uzatilsa, material esa qurilmaning tepa qismidan

yuklanadi (3.49a-rasm). Gaz taqsimlovchi teshikli panjara ustida donador materialning bir xil sathini ta'minlash va qurilmadan chiqarish uchun oqib o'tuvchi patrubkalar xizmat qiladi.

Vertikal silindrsimon qurilmalar katta miqdordagi don-dunlarni yig'ib qo'yish uchun ishlatiladi (3.496-rasm). Gaz taqsimlash kamerasi yassi tub va teshikli panjaralar orasida joylashgan ikkita silindrdan iborat. Bu konstruksiyali kameralarda konsentrik to'siq uni ikkita, ya'ni ichki va tashqi halqalarga bo'ladi. Tashqi halqa bo'shlig'iga, ichkarisiga qaraganda 2 marta ko'p gaz yuboriladi. Turli miqdorda gaz uzatilgani sababli, qurilmada don mahsulotining yo'naltirilgan sirkulatsiyali harakati paydo bo'ladi. Natijada material intensiv aralashadi va zarrachalar harakati qurilma o'qidan silindrik devor tomonga yo'nalgan bo'ladi.

Konussimon qurilmalarda pastdan yuqoriga qarab tezlikning pasayishi polidispers materiallarni mavhum qaynatish imkonini yaratadi (3.49d-rasm). Gaz oqimi katta tezlikda qurilma tubidagi shtuser orqali yuboriladi.



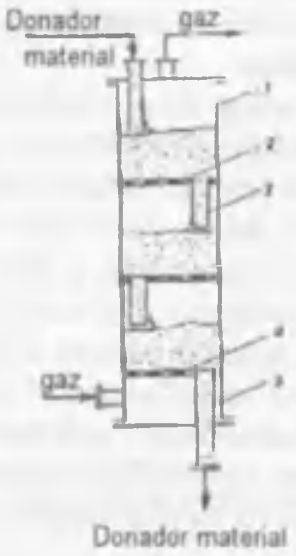
3.49-rasm. Mavhum qaynash qatlamli qurilmalar sxemalari.
a-silindrik uzluksiz ishlaydigan, qarama - qarshi yo'lli; b -yo'naltirilgan sirkulatsiyali;
d - konussimon; e - aralashtirgich moslamali; f-pnevmotransport moslamali:1 - shlyuzli tamba;
2 - bunker; 3 - past bosimni havo quvuri; 4 - siklon; e – faol oqimchali: 1- qobiq;
2- to'r parda; 3,5,7- shtuserlar; 6- soplo; 8- faol oqimcha; 9- mavhum qaynash qatlami.

Ushbu holatda qurilmaga gaz taqsimlovchi teshikli panjara ham o'rnatilmasa bo'ladi. Teshikli panjarasiz qurilmalarda yopishqoq materiallarni ham mavhum qaynash jarayonidan foydalanib quritsa bo'ladi. Agar konuslik burchagi katta bo'lsa, gaz oqimining qurilma devori yaqinida faolligi kamayadi va konus o'qi bo'ylab uzluksiz kanal barpo bo'lishi mumkin.

Ushbu kanal orqali katta tezlikda «gaz - qattiq zarracha» aralashmasi harakat qilib, qatlamdan otilib chiqib, qattiq zarrachalar favvoralarini hosil qiladi.

Bunday qatlam ***favvorasimon qatlam*** deb ataladi. Diametri 25...40 mkm o'lchamli yopishqoq va elektrolizatsiyaga moyil mayda zarrachalar mavhum qaynash jarayonida yaxshi aralashishini ta'minlash va harakatsiz zonalarni bartaraf qilish maqsadida hamda issiqlik va massa almashinish jarayonlarini intensivlash uchun gazomexanik mavhum qaynash usulidan foydalaniladi (3.49e,f-rasm). Qatlamga qo'shimcha energiya uzatish turli xil aralashtirgich va tebratgichlar yordamida amalga oshiriladi (3.49e-rasm).

Pnevmotransport usuli va moslamasi donador materiallarni truba quvurlari orqali ma'lum masofaga yoki balandlikka uzatish uchun mo'ljallangan (3.49d-rasm). Donador material shlyuzli tamba yordamida havo uzatish quvuriga qadoqlanib tushuriladi. Mavhum qaynash qatlami gaz va qattiq fazalarga siklonda amalga oshiriladi.



3.50-rasm. Uzluksiz ishlaydigan seksiyali qurilma.
1 - qobiq; 2 - gaz taqsimlovchi teshikli panjara; 3 - oqib o'tish moslamasi; 4 - donador qatlam; 5 - ishlatilgan adsorbentni to'kish trubasi.

Uzluksiz ishlaydigan seksiyali qurilma. Jarayonning harakatga keltiruvchi kuchini kamayishga olib keluvchi teskari aralashishni kamaytirish va jarayon temperaturasini bir xil qilish maqsadida qarama - qarshi yo'lli qurilmalarda seksiyalash qo'llaniladi (3.50-rasm). Buning uchun qu-rilma balandligi bo'ylab teshikli panjaralar yordamida donador material qatlami bo'linadi. Donador materialning yuqori seksiyalardan pastga qarab harakatlanishi, og'irlik kuchi ta'sirida amalga oshadi.

3-bob. Qo'zg'almas va mavhum qaynash qatlam gidrodinamikasi bo'yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Monodispers va polidispers donador qatlam nima?
3. Solishtirma yuza nima va uning o'lcham birligi?
4. G'ovaklilik nima va uning fizik ma'nosi?
5. Qo'zg'almas va mavhum qaynash qatlamining gidravlik qarshiligini aniqlash formulasini yozing.
6. Mavhum qaynash boshlanish va uchib chiqish tezliklari va formulalarini yozing.
7. Pnevmotransport hodisasining ta'rifini bering.
8. Sochiluvchan materiallar mavhum qaynash jarayonida gisterezis hodisasini tushuntirib bering.
9. Mavhum qaynash qatlamining turlari va ularning izohi.
10. Oqimchali mavhum qaynashga qanday erishiladi?
11. Donador-tolali materiallarning mavhum qaynash qatlamli qurilmasining konstruksiyasi.
12. Mavhum qaynash qatlamli qurilmalar konstruksiyalari, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.

ARALASHTIRISH

3.27. Umumiy tushunchalar

Suspenziya va emulsiyalar hosil qilish uchun suyuqlik muhitlarida aralashtirish jarayoni qo'llaniladi. Plastik va sochiluvchan materiallarni qorishtirishdan maqsad, tarkibida qattiq, suyuq va plastik qo'shimcha moddali, bir jinsli asosiy massa olishdir.

Aralashtirish paytida issiqlik, massa va biokimyoviy jarayonlar intensivlashadi. Aralashtirish jarayonini amalga oshirish uchun turli usullar va aralashtirgich konstruksiyalari qo'llaniladi.

Aralashtirish sifati fazalarni qorishtirish darajasi bilan xarakterlanadi.

Aralashtirish qurilmasining butun hajmidagi fazalarni qorishtirish darajasi I quyidagi tenglama yordamida aniqlanishi mumkin:

$$I = 1 - \frac{\sum_{1}^{m} \frac{\Delta x'}{100 - x_{ar}} + \sum_{1}^{n} \frac{\Delta x''}{x_{ar}}}{m + n} \qquad (3.108)$$

bu yerda, m – tahlil uchun olingan namuna, $\Delta x > 0$; $\Delta x'$ – aralashtirgichdagi musbat konsentratsiyalar farqi va u ushbu formuladan topiladi $\Delta x' = x - x_{ar}$; x_{ar} – ideal qorishtirishda aralashmadagi zarrachalar konsentratsiyasi bo'lib, u quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$x_{ar} = \frac{100 V_k \cdot \rho_k}{V_s \rho_s + V_k \rho_k}$$

bu yerda V_k – asosiy massada (suyuqlikda) taqsimlangan qattiq zarrachalar hajmi; ρ_k, ρ_s – aralashmadagi qattiq zarracha va suyuqlik zichliklari; V_s – suyuqlik hajmi; n – tahlil uchun olingan namunalar soni, $\Delta x'' < 0$; $\Delta x''$ – manfiy konsentratsiyalar farqi, $\Delta x'' = x - x_0$ formuladan hisoblab topiladi.

Fazalarni qorishtirish darajasi 0 dan 1 gacha o'zgarishi mumkin. Agar komponentlar ideal qorishtirilsa, $I = 1$ ga teng bo'ladi.

3.28. Suyuqlikni aralashtirish usullari

Suyuqliklarni aralashtirish pnevmatik, sirkulatsiyali, statik va mexanik usullarda olib boriladi.

Pnevmatik aralashtirish uchun siqilgan gaz (ko'pincha siqilgan havo) suyuqlik qatlami orqali o'tkazish yo'li bilan amalga oshiriladi. Suyuqlik qatlamida gazni bir tekisda taqsimlash uchun barboter ishlatiladi. Barboterning teshikchali trubalari aralashtirgich tubiga o'rnatiladi. Bu usul o'rtacha qovushoqlikka (~200 Pa·s) ega suyuqliklarni aralashtirish uchun ishlatiladi. Jarayon tezligi past va energiya sarfi ko'p bo'ladi.

Ayrim hollarda aralashtirishni injektorlar yordamida ham amalga oshiriladi. Siqilgan havo yordamida aralashtirish uchun erlift prinsipini ham qo'llasa bo'ladi.

Aralashtirgichda suyuqlik erkin yuzasi birligidan vaqt birligida o'tayotgan gaz miqdoriga aralashtirish intensivligi deb ataladi.

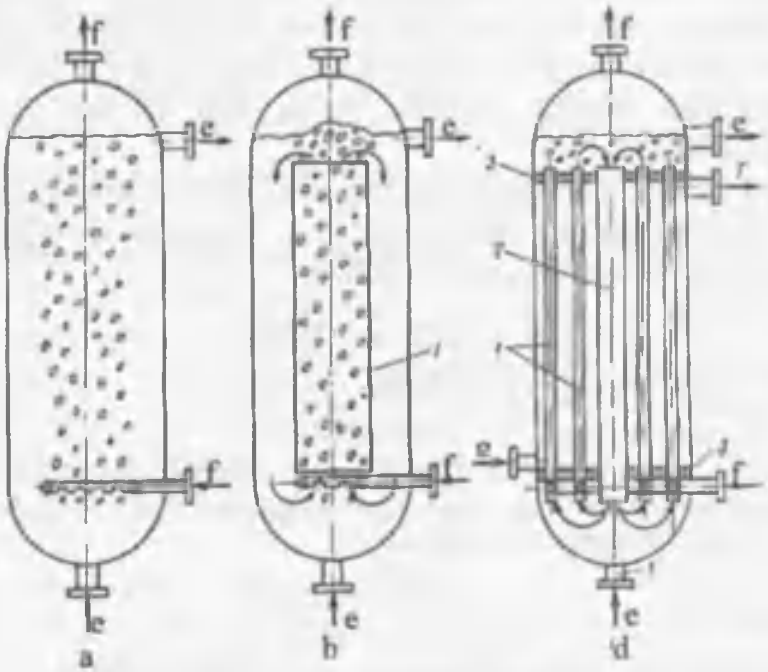
Sanoatda quyidagi gaz sarflari ishlatiladi:

3-3 jadval

t/r	Aralashtirish intensivligi	Gaz sarfi, $m^3/(m^2 \cdot min)$
1.	Past	0,4
2.	O'rtacha	0,8
3.	Yuqori	1,2

Pnevmatik aralashtirish usulining qo'llanishi cheklangan bo'ladi, chunki ayrim hollarda zararli jarayonlar, ya'ni oksidlanish yoki mahsulotning bug'lanishi yuz berishi mumkin. Shuning uchun, ushbu usul gaz va suyuq fazalar o'zaro to'qnashuvi ruxsat etilgan hollarda ishlatilishi maqsadga muvofiqdir.

3.51-rasmda pnevmatik aralashtirgichlarning ayrim konstruksiyalari keltirilgan.



3.51-rasm. Siqilgan havo yordamida aralashtirish.
a-markaziy barboterli; b-gazlift (erlift) trubali; d-gazlift va markaziy sirkulatsiya trubali qobiq - trubali qurilma.
1 - gazlift trubalari; 2 - sirkulatsiya trubasi;
3 -teshikli truba panjaralari;
e-suyuqlik; f-gaz; g-issiqlik eltkich

Agar siqilgan havo qurilmaning pastki qismiga yuborilsa, unda erlift hosil bo'ladi (3.51a-rasm). Havo qurilmaning qanchalik yuqori qismiga uzatilsa, shunchalik siqish uchun energiya sarfi kam bo'ladi. Shuning uchun, havoni balandligi kam qatlamlarga yuborish kerak, ya'ni pnevmatik aralashtirish uchun diametri katta, balandligi kichik bo'lgan qurilmalarni qo'llash maqsadga muvofiqdir.

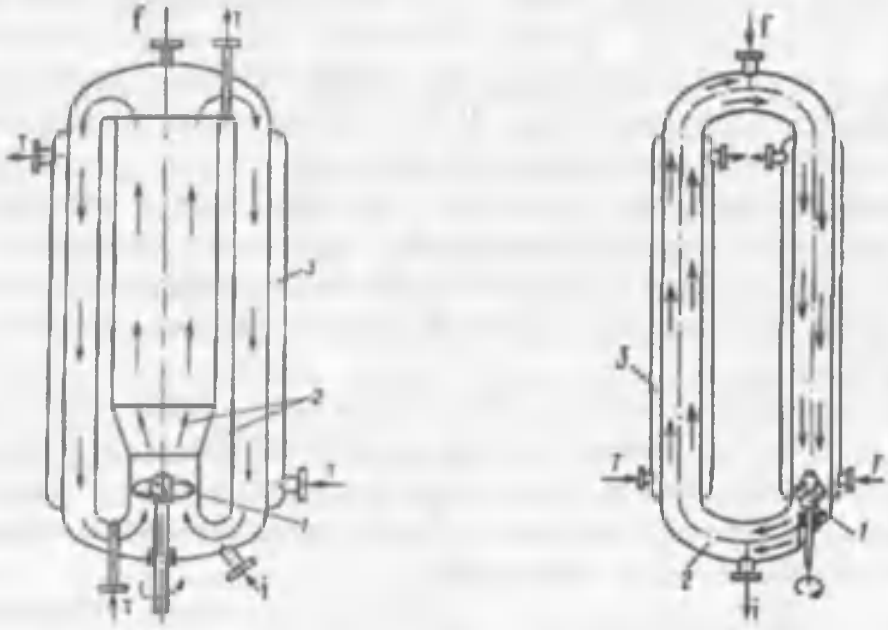
Pnevmatik aralashtirish jarayonini intensivlash uchun qurilmalarda gazlift (erlift) trubalari o'rnatiladi. Ushbu trubalar suyuqlikni ko'p marta sirkulatsiya qilishini ta'minlaydi (3.51b-rasm). Buning uchun, ikki tomoni ochiq gazlift truba qurilma markaziga joylashtiriladi. Siqilgan havo gazlift trubasi ichiga uzatiladi va ko'tariluvchi oqim qanchalik katta bo'lsa, aralashish shunchalik samarali bo'ladi.

Issiqlikni uzatish va ajratib olish uchun gazlift va markaziy sirkulatsiya trubali qurilmalar yaratilgan (3.51d-rasm).

Sirkulatsiyali aralashtirish, nasos yordamida amalga oshiriladi. Bunda, «aralashtirgich – nasos – aralashtirgich» yopiq sistemasida suyuqlik uzluksiz aylanib yuradi.

Aralashtirish jarayonining intensivligi, sirkulatsiya karraligiga, ya'ni vaqt birligida nasos ish unumdorligining, qurilma ichidagi suyuqlik hajmi nisbatiga bog'liq. Ayrim hollarda nasoslar o'rniga bug' injektorlari qo'llanishi ham mumkin.

Undan tashqari, turli sohalarda yo'naltiruvchi truba (diffuzor)li vintsimon aralashtirgichlar ham ishlatiladi (3.52-rasm).



3.52-rasm. Diffuzorli va vintsimon aralashtirgichli qurilma.
1 - vintsimon aralashtirgich; 2 – issiqlik almashinish kamerali diffuzor;
3 - g'ilof; τ – issiqlik eltkich; j - aralashtirilayotgan suyuqlik.

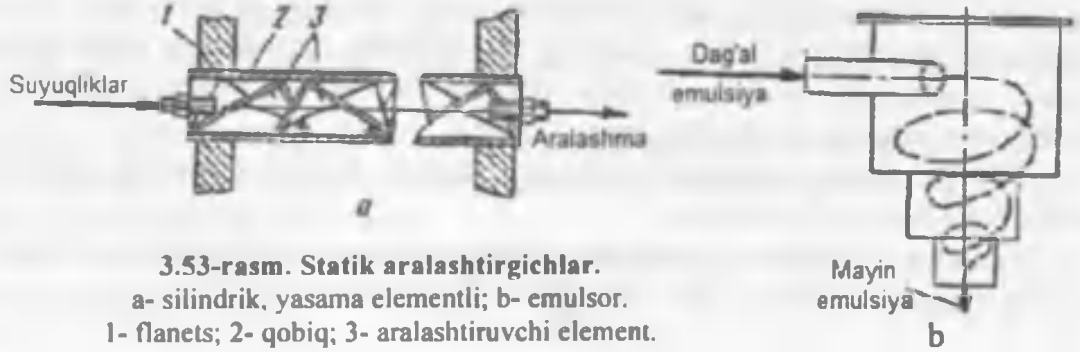
Bu turdagi qurilmalarda yopiq sirkulatsion kontur hosil qilinadi. Nasos vazifasini odatda uch parrakli vintsimon aralashtirgich bajaradi. Shuning uchun, bunday aralashtirgichlar hisobi o'qli nasoslar hisobiga o'xshashdir.

Statik aralashtirish. Qovushoqligi o'rtacha suyuqlik hamda gaz suyuqlik bilan aralashtirish birorta fazaning kinetik energiyasi hisobiga statik aralashtirgichlarda olib boriladi (3.53-rasm).

Odatda, statik aralashtirgichlar reaktorgacha bo'lgan truba quvuriga yoki bevosita reaktorning o'ziga o'rnatiladi.

3.53a-rasmda gaz va suyuqliklarni aralashtirish uchun mo'ljallangan nosimmetrik, legirlangan po'lat plastinalarni burash yo'li bilan olingan yasama elementli aralashtirgich tasvirlangan.

Har bir elementning geometrik xarakteristikalari burash burgachi va yo'nalishi hamda element diametrining uzunligiga nisbati bilan ifodalanadi. O'rnatilishi zarur bo'lgan elementlar soni suyuqlik qovushoqligiga hamda aralashtirilayotgan suyuqliklar qovushqoqligi nisbatiga bog'liqdir. Agar suyuqlik va fazalar o'rtasidagi qovushoqliklar



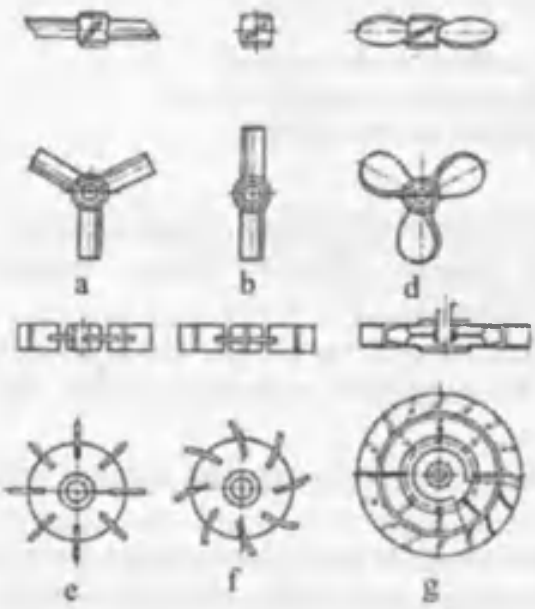
3.53-rasm. Statik aralashtirgichlar.
a- silindrik, yasama elementli; b- emulsor.
1- flanets; 2- qobiq; 3- aralashtiruvchi element.

farqi qancha katta bo'lsa, shunchalik ko'p elementlar o'rnatilishi zarur.

3.53b-rasmda yog' - fosfatidli emulsiyasini ishlab chiqarish uchun mo'ljallangan uyurmali emulsor ko'rsatilgan. Bosim 0,3...0.36 MPa bo'lganda, uyurmali emulsor yuqori samarali emulgatsiya qilishni ta'minlaydi. Bu turdagi qurilmalar sodda, tayyorlanishi oson va foydalanishda qulay. Ishlash prinsipi - markazdan qochma purkagich effektiga asoslangan. Olingan 3 mkm o'lchamli zarrachalardan tarkib topgan emulsiya 24 soat davomida ham qatlamlarga ajralmaydi.

Mexanik aralashtirish «suyuqlik - suyuqlik», «gaz - suyuqlik» va «gaz-suyuqlik - qattiq jism» sistemali gidromexanik, issiqlik va massa, hamda biokimyoviy jarayonlarni intensivlash turli xil aralashtirish moslama (aralashtirgich) lar yordamida amalga oshiriladi. Aralashtirgich, aylanuvchi o'qqa o'rnatilgan, turli xil parraklardan tarkib topgan moslama.

Kimyo va boshqa sanoatlarda qo'llaniladigan hamma aralashtirish moslamalarini 2 guruhga ajratsa bo'ladi: birinchi guruhga parrakli, turbinali va propellerli; ikkinchi guruhga maxsus - vintli, shnekli, lentali, romli, yakorli, pichoqli va boshqa moslamalar kiradi. Birinchi guruh suyuqliklar uchun bo'lsa, ikkinchisi esa - plastik va sochiluvchan materiallarni aralashtirish uchun xizmat qiladi.



3.54-rasm. Aralashtirgichlar turlari.
a - uch parrakli; b - ikki parrakli; d - propellerli; e - turbinali ochiq; f - qiya parrakli, turbinali, ochiq; g - turbinali yopiq.

Ishchi organining aylanish chastotasiga qarab aralashtirish moslamalari sekin va tez yurar guruhlarga bo'linadi.

Parrakli, lentali, yakorli va shnekli aralashtirgichlar sekin yurar moslamalar qatoriga kiradi (3.54a,b-rasm). Ularning aylanma chastotasi 30...90 min^{-1}, qovushoq muhitlarda parrak uchidagi aylanma tezligi - 2...3 m/s.

Parrakli aralashtirgichlar afzalliklari: moslama sodda va narxi qimmat emas.

Kamchiliklari – aylanish o'qi bo'ylab suyuqlik oqimi kichik bo'ladi, natijada aralashtirgich hajmida suyuqlik to'liq aralash-maydi. O'q bo'ylab suyuqlik oqimi harakatini jadallashtirish uchun parraklar og'ish burchagi 30° ga teng bo'lishi kerak.

Langarli aralashtirgichlar qurilma tubining shakliga mos bo'ladi. Bu turdagi moslamalar qovushoq va o'ta qovushoq suyuqliklarni aralashtirish uchun ishlatiladi. Yakorli moslamalar ishlash davrida qurilma devori va tubini yopishib qolgan ifloslikdardan tozalash qobiliyatiga ega.

Shnekli aralashtirgichlar vintsimon shaklli bo'lib, qovushoq suyuqliklarni qorishtirish uchun mo'ljallangan.

Propeller va turbinali aralashtirgichlar tez yurar moslamalar qatoriga kiradi. Ularning aylanish chastotasi 100...3000 min^{-1}, aylanma tezligi 3...20 m/s.

Propellerli aralashtirgichlar 2 yoki 3 parrakli qilib yasaladi (3.54d-rasm). Ushbu moslamalarga nasos effekti xos bo'ladi va suyuqlikning intensiv sirkulatsiyasini hosil qilish uchun ishlatiladi. Qovushoqligi 2 Pa·s bo'lgan suyuqliklarni aralashtirish uchun qo'llash mumkin.

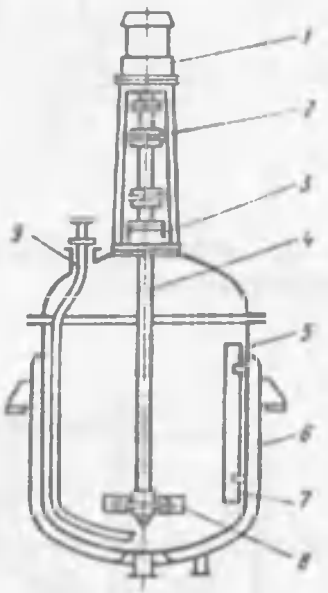
Turbinali aralashtirgichlar turbina g'ildiraklari shaklida bo'lib, parraklari yassi, qiya va egri chiziqli bo'lishi mumkin (3.54e,f,g-rasm). Ular ochiq va yopiq turli bo'ladi. Turbina g'ildiragining ishlash prinsipi markazdan qochma kuchlar ta'siriga asoslangan. Yopiq aralashtirgich ikkita diskdan iborat bo'lib, suyuqlik o'tishi uchun teshigi bor. Ham radial, ham turbina o'qi bo'ylab oqimlar hosil qilish uchun qiya parrakli, turbinali aralashtirgichlardan foydalaniladi. Turbinali moslamalar qurilmaning butun hajmida suyuqlikni intensiv aralashtiradi. Suyuqlikning aylana bo'ylab harakatini kamaytirish va qurilmada o'rama hosil bo'lishini bartaraf qilish uchun silindrsimon qaytaruvchi to'siqlar o'rnatiladi.

Turbinali aralashtirgichlar qovushoqligi 500 Pa·s gacha bo'lgan suyuqliklarni va dag'al suspenziyalarni aralashtirish uchun qo'llaniladi.

Qopqoqli qobiq, uzatma va aralashtirgichlardan tashkil topgan tipik qorishtirgich 3.55-rasmda ko'rsatilgan.

Ishchi g'ildirak 200...2000 ayl/min chastota bilan aylanma harakatlanadi. Turbina g'ildiragi markazdan qochma kuch ta'sirida suyuqlikka tegishli energiya beradi. Suyuqlik aralashtirgich markaziy teshigidan kirib, u yerda markazdan qochma kuch ta'sirida tezlanish olgan holda radial yo'nalishida chiqib ketadi. Turbinada suyuqlik vertikal yo'nalishdan gorizontalga o'tadi va undan katta tezlikda chiqib ketadi. Bu turdagi qurilmaning samaradorligi yuqori.

Turbinali aralashtirgich diametri qurilma qobig'i diametrining 0,15...0,35 ulushini tashkil etadi. Bu qurilmalar qovushoqligi 1...700 Pa·s ga teng suyuqliklarni aralashtirish uchun mo'ljallangan.



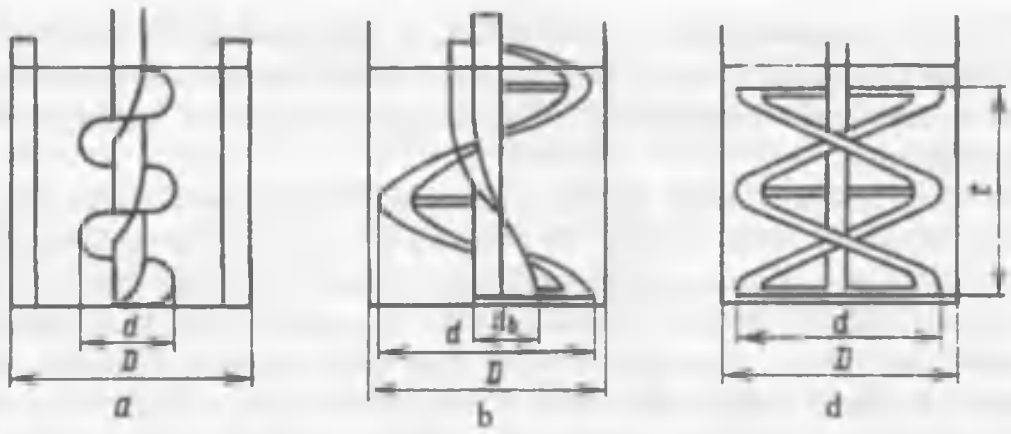
3.55-rasm. Aralashtirgichli qorishtirgich.
1 - uzatma; 2 - uzatma tayanchi; 3 - zichlagich; - o'q; 5 - qobiq; 6 -g'ilof; 7-qaytaruvchi to'siq; 8 - aralashtirgich; 9 - truba.

3.29. Plastmassalarni aralashtirish

Kimyo sanoatida plastik massalarni aralashtirishda, oziq-ovqat sanoatining turli mahsulotlarini ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Bu jarayonda nafaqat turli komponentlar qorishtiriladi, balki xamir ezib qorishtiriladi, havo bilan to'yintiriladi va ma'lum bir xossalarga ega bo'ladi.

Aralashtirish jarayoni davriy va uzluksiz qorishtirgichlarda olib borilishi mumkin. Bu turdagi qurilmalar ichida romli, shnekli yoki lentali aralashtirgichlar vertikal yoki gorizontal o'qda o'rnatiladi (3.56-rasm).

Shnekli aralashtirgich iste'mol qilayotgan quvvatni aniqlash uchun ushbu tenglama qo'llanishi mumkin:



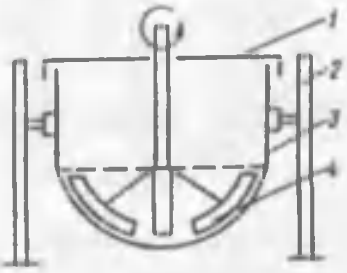
3.56-rasm. Shnekli (a) va lentali (b, d) aralashtirgichlar sxemasi.

$$Eu_м = \frac{71}{Re_м}$$

yoki

$$N = Ad_м \cdot n^2 \mu \qquad (3.109)$$

bu yerda, $d_м$ – aralashtirgich diametri; A – aralashtirgich moslamasining geometrik nisbatlari funksiyasi sifatida topiladigan koeffitsiyent.



3.57-rasm. Xamir tayyorlash qurilmasi.
1 - qopqoq; 2 - tayanch; 3 - qobiq;
4 - qorishtirish moslamasi.

Kam va yuqori qovushoqli qandolat mahsulotlar (vafli, biskvit va boshqa xamirlar) ni hamda qandolat massalarini sochiluvchan komponentlar (keks xamirlarini mayiz, oqsil massasini yong'oq) bilan qorishtirish uchun ikkita spiralsimon ishchi organli tog'orasimon shaklli aralashtirgichlar qo'llaniladi.

Aralashtirish jarayoni yupqa qatlamda olib borilgani sababli, yuqori darajada intensivlashga erishish mumkin.

Qurilma tubi shaklida yasalgan, 90° burchak ostida o'rnatilgan 4 parrakli qorishtirish moslamali aralashtirgichda shirinliklar xamiri tayyorlanadi (3.57-rasm).

Aralashtirgichning aylanish chastotasi 12 min^{-1}. Qorishtirish jarayoni tugagandan so'ng, qobiq 3 ag'dariladi, ya'ni qopqoq 1 ochiladi va xamir to'kiladi.

3.30. Sochiluvchan materiallarni aralashtirish

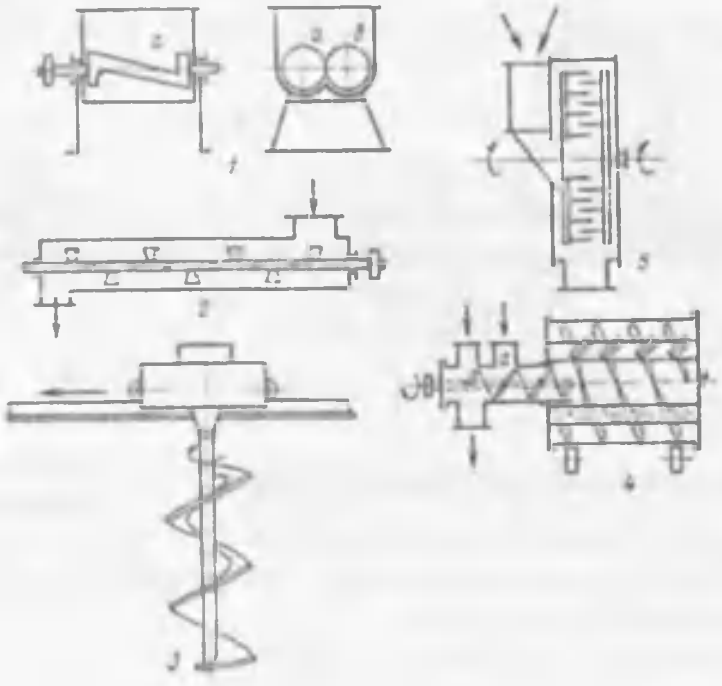
Odatda sochiluvchan materiallarni aralashtirish uchun mo'ljallangan qurilmalar ishlash prinsipi, tezlik xarakteristikalari va konstruktiv belgilariga qarab guruhlarga ajratiladi.

Ishlash prinsipiga qarab davriy va uzluksiz ishlaydigan aralashtirish qurilmalari bo'ladi. Davriy ishlaydigan qurilmalarga barabanli, lentali, markazdan qochma, aylanuvchi rotorli, chervyak - parrakli va mavhum qaynash qatlamli aralashtirgichlar

kiradi. Uzluksiz ishlaydigan qurilmalarga esa – barabanli, chervyak - parrakli, rotorli va boshqa turdagi aralashtirgichlar kiradi.

Tezlik xarakteristikalariga qarab tez va sekin yurar qurilmalar bo'ladi. Tez yurar aralashtirgichlar bir va ikki pog'onali bo'lishi mumkin. Birinchi pog'ona isitiladigan, ikkinchisi esa – sovutiladigan bo'lishi mumkin.

3.58-rasmda aralashtirgichlarning asosiy turlari keltirilgan.



3.58-rasm. Sochiluvchan materiallar aralashtirgichlarining asosiy turlari.

1 - parrakli; 2, 3 - shnekli; 4 - barabanli; 5 - zarbali.

Parrakli aralashtirgich qarama - qarshi yo'nalishda aylanadigan **z** - simon ***m*** va ***n*** parraklardan tarkib topgan.

Qurilmaga uzatilgan material parraklarning aylanishi tufayli samarali qorishtiriladi. Shnekli qurilmalarda bir vaqtning o'zida materiallar ham qorishtiriladi, ham ma'lum masofaga uzatiladi (3.58б-rasm).

3.58d-rasm shnekli aralashtirgichning yana bir turi keltirilgan bo'lib, unda bir qator vertikal shneklar harakatchan romlarga o'rnatilgan bo'ladi. Bunday qurilmalarda aylantiruvchi shnek romlar aralashtirilayotgan material bilan birga siljiydi.

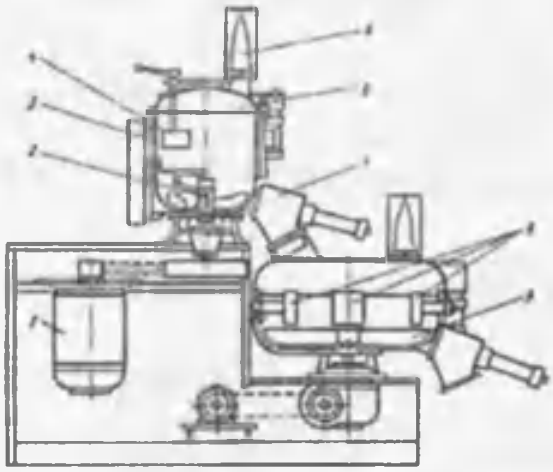
Barabanli qurilmalarda aralashtirish jarayoni barabanda amalga oshiriladi (3.58e-rasm).

Zarbali qurilmalarda jarayonning intensivligi aralashtirilayotgan materialga bulalarning ko'pdan-ko'p urinishi natijasida hosil bo'ladi (3.58f-rasm).

Ikki pog'onali, markazdan qochma turboqorishtirgichning umumiy ko'rinishi 3.59-rasmda tasvirlangan.

Bunday aralashtirgichlar kukunsimon, qovushoq va suyuq materiallarni qorishtirish uchun qo'llaniladi. Qurilmaning birinchi pog'onasi aralashmani gomogenlash uchun, ikkinchisi esa – uni sovitish uchun xizmat qiladi. Qorishtirgich ichida uch parrakli aralashtirgich va pichoqlar kombinatsiyasidan tarkib topgan tez yurar rotor aylanadi (3.60-rasm).

Rotor aylanishi paytida sochiluvchan material qurilma devoriga uloqtiriladi va yuqoriga qarab ko'tariladi. Natijada zarrachalarning sirkulatsiyali harakat oqimi vujudga keladi. Qurilma devori bo'ylab hosil bo'lgan ko'tariluvchi oqim nam materialni devorga yopishishiga xalaqit beradi. Qorishtirgich konstruksiyasi rotor parraklarini o'zini - o'zi tozalashini ta'minlaydi.



3.59-rasm. Kombinatsiyalangan turboqorishtirgich.
1 – elektr yuritkich; 2 - rotor; 3 - isitiladigan g'ilof; 4 - deflektor; 5 - filtr; 6 - buriluvchi qopqoq; 7 –oqib o'tish moslamasi; 8 – sovutiladigan segmentlar; 9- aralashtiruvchi moslama.

3.60-rasm. Turboqorish-tirgich ishchi organi.

Sochiluvchan va nam materiallarni aralashtirish uchun mo'ljallangan sekin yurar qorishtirgichlar silindr yoki tog'orasimon shaklli bo'lib, yon va tepa qopqoqlar bilan berkitiladi.

Qorishtirgich qobig'i ichida yassi lentali spiralsimon parrakli o'q joylashtiriladi. Materialni intensiv aralashtirish uchun parraklar chap va o'ng tomonga qarab o'raladi. Lentali qurilmalarda qorishtirish elementi 4 ta lentadan tarkib topgan bo'ladi. Tashqi lentaning aylanma tezligi 1,2 m/s ga tengdir.

3.31. Aralashtirgichlarini hisoblash

Aralashtirgich parraklari aylanishi paytida energiya asosan ishqalanish qarshiligini yengishga hamda uyurmalar hosil qilish va uzilishiga sarflanadi. Muhitning qarshilik kuchi qarshilik koeffitsiyenti ψ ga bog'liq.

Istalgan shakldagi parrak uchi uchun o'rtacha va aylanma tezliklari orasida quyidagi bog'liqlik bor va u ushbu ifodadan topiladi:

$$w_{o'rt} = a \cdot \omega$$

bu yerda, ω – parrak uchiga to'g'ri keladigan aylanma tezlik; a – proporsionallik koeffitsiyenti.

Agar $R = P$ ekanligini inobatga olsak, qarshilik koeffitsiyentini quyidagi tenglamadan aniqlash mumkin:

$$\psi = \frac{P}{\rho d^2 \cdot a^2 \cdot \omega^2}$$

bu yerda, P – aralashtirgich parragiga ta'sir etuvchi kuch.

Muhit qarshiligini yengish uchun aralashtirgich o'qiga ma'lum miqdorda energiya berish zarur.

Parrak aylanishi uchun kerakki quvvat miqdorini quyidagi formuladan hisoblab topiladi:

$$N = P \cdot w_{o'r} = P \cdot a \cdot \omega$$

Parrak uchidagi aylanma tezlik $\omega = \pi dn$ (bu yerda n – aralashtirgichning 1 s ichidagi aylanish soni). Agar oxirgi tenglamaga P va $w_{o'r}$ larni qo'ysak, ushbu ifodani olamiz:

$$N = \psi \rho d^2 a^3 \omega^3 = \psi \rho d^2 a^3 (\pi dn)^3$$

yoki

$$N = \psi \pi^3 \cdot a^3 \cdot \rho \cdot d^5 \cdot n^3$$

Agar $\psi \pi^3 a^3 = c$ deb belgilab olsak, unda:

$$N = c d^5 \cdot n^3 \rho$$

Koeffitsiyent c ning qiymati, tajribadan olinadi. Odatda, u idish va parrak shakliga hamda Re kriteriysiga bog'liq, ya'ni:

$$c = f(\mathrm{Re})$$

Aralashtirgichlar uchun Re kattaligi quyidagi ifodadan topiladi:

$$\mathrm{Re}_{aral} = \frac{w_{o'r} \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{(a\omega) \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{(a \cdot \pi \cdot d \cdot n) d \cdot \rho}{\mu} = a\pi \frac{\pi d^2 \rho}{\mu}$$

O'zgarmas ko'paytma $a\pi$ ni formuladan tushirib qoldirsa bo'lada. Unda:

$$\mathrm{Re}_{aral} = \frac{n d^2 \cdot \rho}{\mu}$$

Qorishtirish uchun sarflanadigan quvvatni aniqlashga olib keladi. Qorishtirishn jadal borishi tajriba natijasiga asoslangan holda belgilanadi.

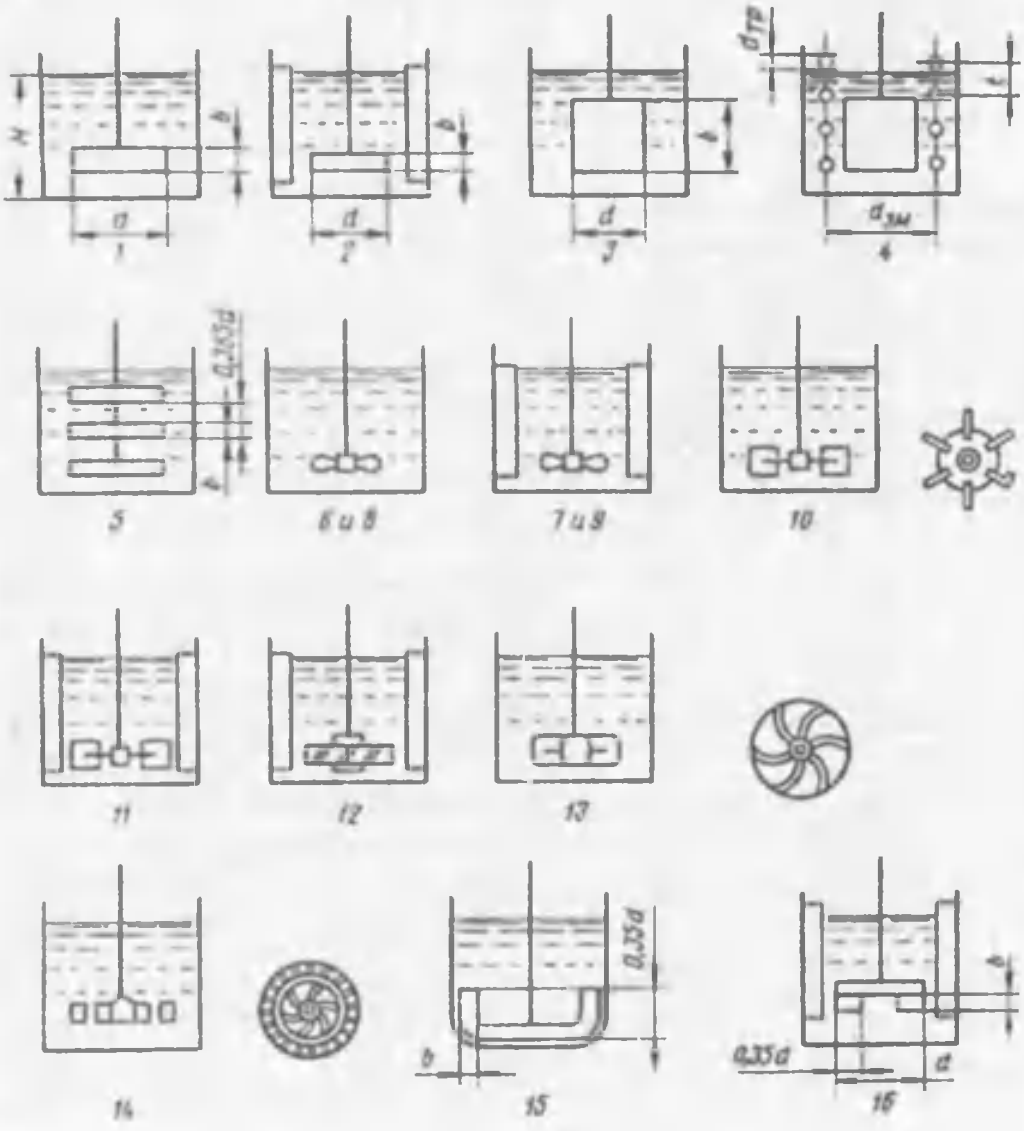
Qorishtirgich turini, o'lchamlarini va aylantirish chastotasi tanlangandan so'ng iste'mol quvvatini hisoblashga kirishiladi. Qorishtirgich ishlaganda qurilmada ma'lum holatda suyuqlikning yo'nalgan oqimlari paydo bo'ladi. Suyuqlikning jadal aralashish ikkilamchi oqimlar o'rama harakati hosil bo'lishi bilan amalga oshadi. Suyuqlik markazdan qochma kuch ta'sirida, markazdan devor tomonga harakatlanadi. Bunday harakat natijasida qorishtirgich markazida past bosim, zonasi va o'rama hosil bo'lib

C_2, C_3, C_4, C_5 – koeffitsiyentlarni hisobga olmasak, Eyler va Reynoldslarning modifikatsiyalashgan kriteriysini olish mumkin:

$$Eu_{ar} = \frac{N}{\left(\rho \cdot n^3 d_{ar}^5\right)}$$

$$\mathrm{Re}_{ar} = \frac{nd^2\rho}{\mu} \qquad (3.115)$$

bu yerda, ρ – suyuqlik zichligi. kg/m^3; μ – qovushoqlik, Pa·s.



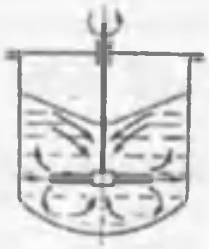
3.62-rasm. Aralashtirgichlar konstruksiyalari.

3.60-rasm. Turli turdagi aralashtirgichlar uchun Eu = f(Re) grafik bog'liqligi (grafikdagi egri chiziqlar tartib raqamlari 3-4 jadval va 3.59-rasmlardagi aralashtirgich raqami va turiga mos keladi).

Modifikatsiyalashgan kriteriylar orasidagi bog'liqlik tenglamasi ushbu ko'rinishga ega bo'ladi:

$$Eu_{ar} = f\left(\mathrm{Re}_{ar}, \Gamma_1, \Gamma_2, \ldots\right)$$

suyuqlik kurakning pastki va yuqori qismlaridan so'riladi. Suyuqlik ikkilamchi oqimi va aylanma harakati, murakkab tasviri 3.61-rasmda keltirilgan.



3.61-rasm. Qorishtirgichda suyuqlik sirkulatsiyasining sxemasi.

Suyuqlikni arashtirgichdagi sirkulatsiyasini murakkab shakldagi yopiq quvurdagi harakat deb tasavvur qilib, iste'mol quvvatini hisoblash uchun kriterial tenglamani $Eu = f(Re, Fr, G_1, G_2, ...)$ ko'rinishda olish mumkin. Suyuqlik harakatiga og'irlik kuchining ta'siri sezilarsiz bo'lgani uchun, uni hisobga olmaymiz. Bunda $Eu = f(Re, G_1, G_2, ...)$ bo'ladi, $Eu = \Delta p/(\rho w^2_{o'r})$; G_1, G_2 - parametrik kriteriy bo'lib, aralashtirgich va qorishtirgichning geometrik o'lchamlarini xarakterlaydi. Aniqlanadigan chiziqli o'lcham sifatida aralashtirgichning d_M diametri olinsa, suyuqlikning chiziqli tezligi o'rniga, o'xshashlik kriteriysida aralashtiruvchi kuraklar chetlaridagi aylanma tezlik qo'yiladi:

$$v_{ayl} = \frac{\pi d_{ar} \cdot n}{60}$$

bu yerda, n – aylanishlar soni, s^{-1}.

Kurakning oldi va orqa tekisliklaridagi bosimlar farqi, aralashtirgichning foydali quvvati N bilan ifodalanadi. Nasos quvvatiga mos bo'lgan va suyuqlikni uzatish uchun kerak bo'ladigan bosim:

$$\Delta p = \frac{N}{V_{sek}} \qquad (3.110)$$

bu yerda, V_{sek} – aralashtirilayotgan suyuqlikning hajmi, u suyuqlik hajmini sirkulatsiya karraligi ko'paytirilganiga teng, m^3/s.

$$V_{sek} = FHm \qquad (3.111)$$

bu yerda, F – qurilmaning ko'ndalang kesim yuzasi; H – qurilmadagi suyuqlik sathi balandligi, m; m – sirkulatsiya karraligi, s^{-1}.

Qurilma o'lchamlarini aralashtirgich diametriga bog'lab yozamiz, chunki ular o'zaro bog'liq.

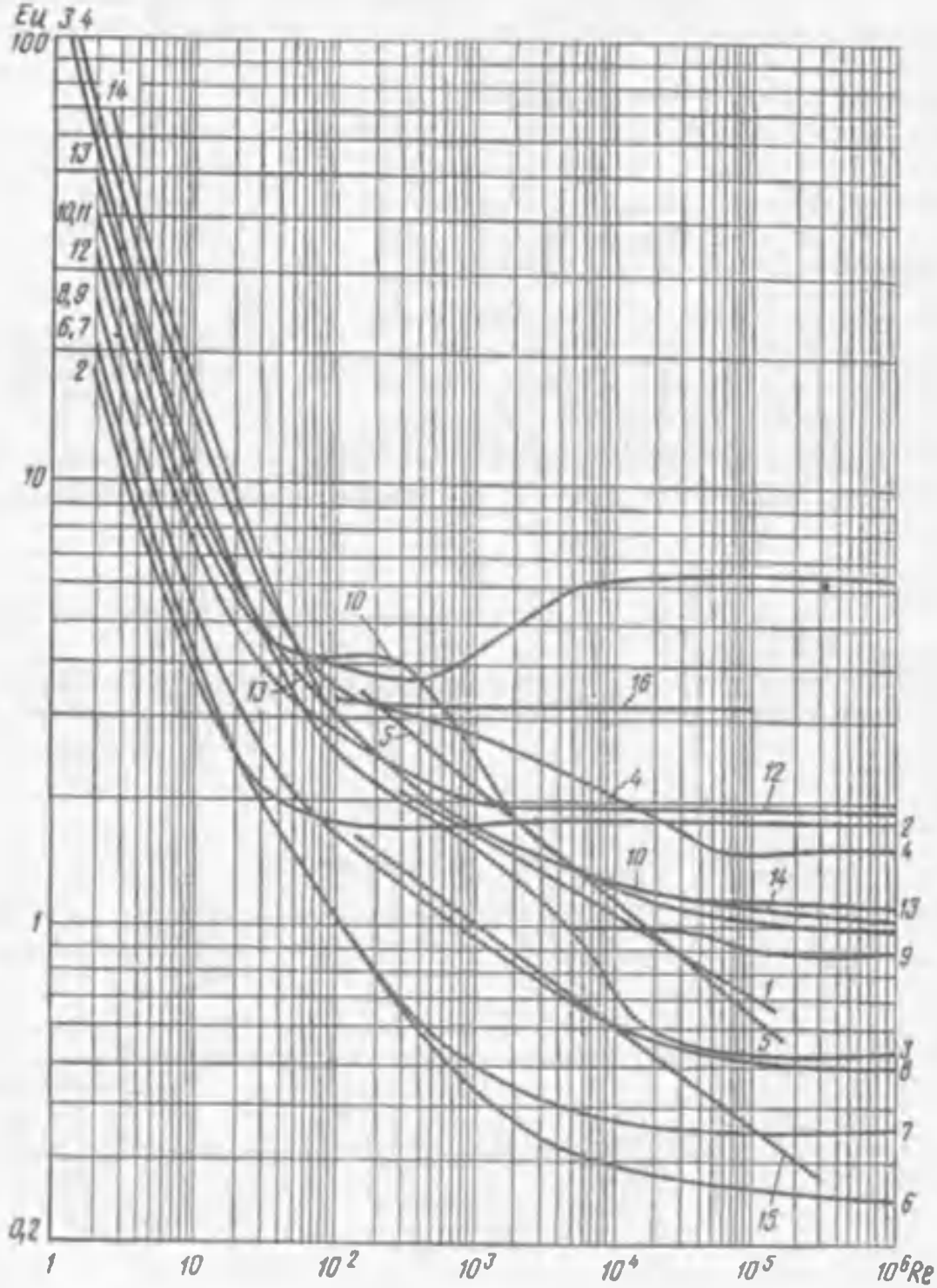
$$F = C_2 d_{ar}^2 \; ; \quad H = C_3 d_{ar} \qquad (3.112)$$

Sirkulatsiya karraligini aralashtirgich aylanish chastotasiga proporsional deb qabul qilsa bo'ladi:

$$m = C_4 \cdot n \qquad (3.113)$$

$\omega = C_1 \cdot \omega_{ayl} = C_1 \cdot \pi \cdot d_M \cdot n = C_5 \cdot d_M \cdot n$ – ekanligini hisobga olib, modifikatsiyalashgan Eyler kriteriysini olamiz:

$$Eu_{ar} = \frac{N}{\left(C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot \rho \cdot n^3 d_{ar}^5\right)} \qquad (3.114)$$



3.63-rasm. Turli turdagi aralashtirgichlar uchun Eu=f(Re) bog'liqligi. Raqamlar 3-4 jadvaldagi va 3.62-rasmlardagi aralashtirgich raqami va turiga mos keladi.

Qayta ishlangandan so'ng kriterial tenglama quyidagi $Eu_{ar} = A\,\mathrm{Re}_{ar}^{n} \cdot \Gamma_1^a \cdot \Gamma_2^o$ soddalashgan holatga keladi. Koeffitsiyent A ning qiymati darajalar ko'rsatkichi, aralashtiruvchining turi, konstruksiyasi va aralashish rejimiga bog'liq bo'lib, ular tajribadan aniqlanadi. Hisobni osonlashtirish uchun tajriba natijalari suyuqlikni reaktorga kirish va chiqishini hisobga olib, Eyler va Reynolds kriteriylar o'rtasida bog'liqlik grafigi ko'rinishida beriladi.

Normallashgan tipdagi aralashtirgichli qurilmalarning $Eu_{ar} = f(Re_{ar})$ bog'liqligi 3.63-rasmda; 3-4 jadvalda va 3.62-rasmda aralashtirgichlarning xarakteristikalari keltirilgan.

Aniqlangan qonuniy bog'liqliklardan xulosa qilish mumkinki, aralashtiruvchining iste'mol quvvati uning kubdagi aylanishlar chastotasiga va beshinchi darajali diametriga bog'liq bo'ladi.

Aralashtirgichning iste'mol quvvatiga, qurilmaning shakli, tuzilishi va moslamaning joylashishi ham ta'sir qiladi. Shakli silindrik bo'lmagan va aralashtirgichga to'siqlar o'rnatilgan hollarda (zmeyeviklar va boshqa moslamalar) aralashtirish jarayoni uchun ko'p quvvat talab etiladi.

Mexanik aralashtirgichlarda aralashtirish jarayonini laminar yoki turbulent rejimlarda olib borish mumkin. $Re_{ar} < 20$ da laminar rejim, $Re_{ar} > 100$ bo'lganda aralashish turbulent rejimda bo'ladi.

Kuchli turbulentlik oralig'ida, ($Re_{ar} > 10^5$), Eyler soni Reynolds kriteriysiga bog'liq bo'lmay qoladi. Ma'lumki, ushbu avtomodel sohada aralashtirgichning aylanish tezligini oshirish quvvat sarfining ko'payishiga olib keladi.

Agar aralashish jadalligi berilgan bo'lsa, 3.63-rasmda keltirilgan bog'liqliklar yordamida ketma-ket yaqinlashish uslubida aralashtirgich turi, uning o'lchamlari va aylanishlar chastotasini tanlash hamda aralashtiruvchi elektr yuritkichining quvvatini hisoblash mumkin.

Qurilma ishchi hajmi bo'yicha V_{ish} va talab etilayotgan aralashtirish jadalligi j (tezkorligi) bo'yicha kerakli quvvat miqdori aniqlanadi [N·m/(m^3·s)]:

$$N = j \cdot V_{ish} \qquad (3.116)$$

Undan so'ng aralashtiruvchining turi, o'lchamlari va aylanishlar soni tanlanadi.

Normallashgan aralashtirgichlarning xarakteristikalari

3-4 jadval

Aralashtirgichning 3.62-rasmda, 3.63-rasmda egri chiziq raqamlari	Aralashtirgich turi	Aralashtirgich xarakteristikasi				Idish xarakteristikasi
		D/d	H/D	b/d_{qp}	S/d_{qp}	
1	Ikki parrakli	3	1	0,25	-	to'siqsiz
2	Ikki parrakli	3	1	0,167	-	4 ta to'siqli, eni $0,1D$
3	Ikki parrakli	2	1	0,885	-	to'siqsiz
4	Ikki parrakli	2	1	0,885	-	Zmeyevikli ($d_{zm}=1,9d$; $d_{mp}=0,066d$; $t=0,12d$)
5	Olti kurakli	1,11	1	0,066	-	to'siqsiz
6	Propellerli	3	1	-	1	to'siqsiz

3-4 jadvalning davomi

7	Propellerli	3	1	-	1	4 ta to‘siqli, eni $0,1 \cdot D$
8	Propellerli	3	1	-	2	to‘siqsiz
9	Propellerli	3	1	-	2	4 ta to‘siqli, eni $0,1 \cdot D$
10	Ochiq turbinali 6 ta to‘g‘ri kurakli	3	1	0,25	-	to‘siqsiz
11	Ochiq turbinali 6 ta to‘g‘ri kurakli	3	1	0,2	-	4 ta to‘siqli, eni $0,1 \cdot D$
12	Ochiq turbinali 8 ta tekis egilgan kurakli	3	1	0,125	-	4 ta to‘siqli, eni $0,1 \cdot D$
13	Yopiq turbinali 6 ta kurakli	3	1	-	-	to‘siqsiz
14	Yopiq turbinali 6 ta kurakli va yo‘naltiruvchi moslamali	3	1	-	-	to‘siqsiz
15	Yakorli	1,11	1	0,066	-	to‘siqsiz
16	Diskli, 6 ta kurakli	2,5	1	0,1		4 ta to‘siqli, eni $0,1 \cdot D$

Eslatma: D – qurilma diametri; N – qurilmadagi suyuqlik qatlamining balandligi; b – aralashtirgich parragining eni; S – vint qadami; d, d_{ar}, d_{zm} – aralashtirgich, truba va zmeyevik diametrlari; t – zmeyevik qadami.

Aralashtiruvchining dastlabki tanlangan parametrlari bo‘yicha Eyler kriteriysi hisoblanadi, 3.63-rasmdan mos ravishda Re_{ar} kriteriysi aniqlanadi. Re_{ar} qiymati yordamida esa aralashtirgichning aylanish soni aniqlanadi:

$$n = \frac{\mathrm{Re}_{ar} \cdot \mu_c}{(d_{ar}^2 \cdot \rho)} \qquad (3.117)$$

Agar dastlab aniqlangan ushbu nisbatdan aylanishlar sonining qiymati ko‘p yoki kam bo‘lib qolsa, boshqa qiymatlar olinadi va hisoblash qaytariladi.

Hisoblar (3.117) formulada yordamida topilgan aylanish chastotasi, aralashtirgichning dastlab qabul qilingan aylanish chastotasi bilan teng bo‘lgunga qadar olib boriladi.

Yuqoridagi hisoblardan so‘ng aralashtirgichning aylanishlar soni yoki kamaytiriladi yoki ko‘paytiriladi. Buning uchun esa aralashtirgichning diametri ham mos ravishda o‘zgartiriladi.

Elektr yuritgich quvvati (Vt) ni quyidagi tenglama yordamida aniqlasa bo‘ladi:

$$N_{vu} = \frac{N}{\eta} \qquad (3.118)$$

bu yerda, η – uzatmaning f.i.k.

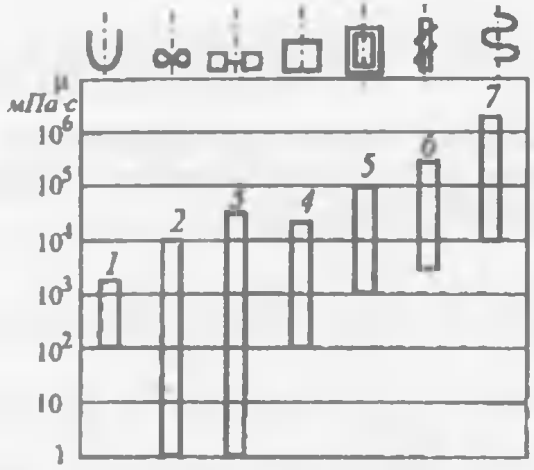
Aralashtirgichga sarflanadigan energiya (kVt soat) aralashtirish davomiyligiga bog'liq bo'ladi:

$$E = N_{yur} \cdot \tau \qquad (3.119)$$

Ishga tushirish vaqtida energiya faqat ishqalanish kuchini yengish uchungina emas, aralashtirgichni, suyuqlikni harakatga keltirish va inersiya kuchlarini yengish uchun sarflanadi. Buning natijasida qurilmaning iste'mol quvvati ortadi.

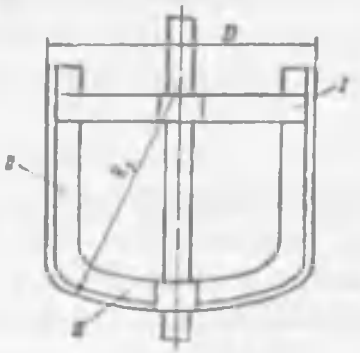
Aralashtirgichlarni ishlatish tajribasidan shu narsa ma'lum bo'ldiki, ishga tushirish vaqtida aralashtirish moslamasining kuraklariga suyuqlik ko'rsatadigan qarshilik ish paytidagiga nisbatan 2 dan 4,5 barobargacha ortib ketadi. Qisqa vaqt ichida ortiqcha yuklama 200...300% ga ortib ketishi munosabati bilan, asinxron elektr yuritkichlar qo'llaniladi.

3.64-rasmda ayrim aralashtirgichlarni qo'llash sohalari keltirilgan.



3.64-rasm. Ayrim turdagi aralashtirgichlarni suyuqlik qovushqoqligi bo'yicha qo'llash oralig'i.
1-7 - aralashtirgich turi: 1-langarli; 2-propellerli; 3-turbinali, yassi kurakchali; 4-parrakli; 5-romli; 6-shnekli; 7-lentali.

Romli aralashtirgich hisobi. Aralashtirilayotgan suyuqlik zichligi ρ=1084 kg/m^3, aylanish chastotasi n=30 ayl/min bo'lganda, romli aralashtirgich quvvati aniqlansin (3.65-rasm).



3.65- rasm. Romli aralashtirgich sxemasi.
I- gorizontal parrak; II- vertikal parraklar; III- sfera (tayanch) qism.

Aralashtirgich parraklari burchak va yassi po'latdan yasalgan. Aralashtirish qurilmasi simmetrik qismlardan iborat: 1000x50x5 mm o'lchamli gorizontal burchak

I dan; 1200x50x50 mm o'lchamli ikkita vertikal parraklar II dan; 50x50 mm o'lchamli buchak po'latdan yasalgan R_2=1000 mm radiusli sfera (tayanch) qism III dan.

Gorizontal parraklarni I aylantirishga sarflanayotgan quvvat.

Parrak old yuzasining maydoni:

$$F_{old} = b \cdot h = (0,5 \cdot 0,5) \cdot 0,5 = 0,0225 m^2$$

1. To'g'ri to'rtburchakli parraklar uchun ***b/h*** nisbatga bog'liq:

1.4-jadval

b/h	1	2	4	10	18	>18
Φ	1,10	1,15	1,19	1,29	1,40	2,00

b/h=450/50=9 bo'lganida φ koeffitsiyenti φ=1,28.

U holda quvvat

$$N_g = 60 \cdot 10^{-8} \frac{\phi \cdot z}{\eta} F_{old} D^3 n^3 \rho = 60 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1,25 \cdot 1}{0,75} \cdot 0,0225 \cdot 1^3 \cdot 30^3 \cdot 1084 = 0,117 кVt$$

2. Vertikal parraklarni II aylantirishga sarflanayotgan quvvat.

Parraklar bevosita valga tutashmagan va vertikal holatdagi hisoblashni quyidagi formula bilan amalga oshiramiz.

$$N_v = 18 \cdot 10^{-8} \frac{\phi \cdot z \cdot h}{\eta} (D_2^4 - D_1^4) n^3 \cdot \rho =$$

$$= 18 \cdot 10^{-8} \frac{1,1 \cdot 1 \cdot 1,2}{0,75} (1,0^4 - 0,9^4) \cdot 30^3 \cdot 1840 = 0,525 kVt$$

Bunda masala shartidan quyidagilar ma'lum:

$$D_2 = 1,0m; \quad D_1 = D_2 - 2 \cdot 0,05 = 1,0 - 0,1 = 0,9m;$$

b/h=0,05/1,2<1, shuning uchun φ=1,1; z=1.

3. Aralashmaning sferik (langarli) qismini SH aylantirishga sarflanuvchi quvvat.

Masala shartidan: ***b/h***=450/50=9 va φ=1,28 bo'lganida

$$R_2 = 1,0m; \qquad R_1 = R_2 - 0,05 = 1,0 - 0,05 = 0,95$$

holda,

$$N_l = 15,3 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\phi \cdot z}{\eta} (R_2^5 - R_1^5) n^3 \cdot \rho =$$

$$= 15,3 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1,28 \cdot 1}{0,75} (1,0^5 - 0,95^5) \cdot 30^3 \cdot 1840 = 3,0 kVt$$

4. Butun aralashtirgich uchun sarflanuvchi quvvat

$$N = N_g + N_v + N_l = 0,117 + 0,525 + 3,0 = 3,642 kVt$$

Parrakli aralashtirgich hisobi. Parrakli aralashtirgichning aylanish chastotasi va quvvati aniqlansin. Shartli sig'imi V=0,33 m^3 bo'lgan qurilmaga zichligi ρ=180 kg/m^3 bo'lgan aralashma quyilgan. Parrak diametri D_1=650 mm. Aralashtirish jadalligi shunday bo'lishi lozimki, suyuqlik diffuzordan 1 daqiqada 12 marta o'tsin, ya'ni aralashtirish karraligi k=12.

Parrakli aralashtirgichning yuvuvchi yuza maydoni

$$F_{yuv} = 0,8\frac{\pi D_1^2}{4} = 0,8\frac{3,14 \cdot 0,65^2}{4} = 0,265m^2$$

Suyuqlikning o'q bo'yicha yo'nalishdagi tezligi

$$w_y = \frac{kV}{60F_{yuv}} = \frac{12 \cdot 3,33}{60 \cdot 0,265} = 2,5m/s$$

Vint chizig'ining ko'tarilish burchagini θ=30° deb qabul qilib, aralashtirgichning aylanish chastotasini hisoblaymiz:

$$n = \frac{19,1w_y}{D_1 a_1} = \frac{19,1 \cdot 2,5}{0,65\sin 30^o \cos 30^o} = 170ayl/\min = 2,9ayl/s$$

Parrakli aralashtirgichni aylantirish uchun sarflanuvchi quvvat:

$$N = 0,2aD_1^5 n_c^3 \rho = 0,2 \cdot 0,108 \cdot 0,65^5 \cdot 2,9^3 \cdot 180 = 11,0kVt$$

3-bob. Aralashtirish bo'yicha

Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Suyuqliklarni aralashtirish usullari.
2. Pnevmatik aralashtirish usuli va qurilmalarining tuzilishi.
3. Sirkulatsiyali aralashtirish usuli va qurilmalarining konstruksiyalari.
4. Statik aralashtirish usulining mohiyati.
5. Mexanik aralashtirish usuli va moslamalarining konstruksiyalari.
6. Plastmassalarni aralashtirish asoslari va qurilmalari.
7. Sochiluvchan materiallarni aralashtirish qurilmalarining konstruksiyalari, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
8. Aralashtirgichlarni hisoblash ketma-ketligi.

TESKARI OSMOS VA ULTRAFILTRLASH

3.32. Umumiy tushunchalar

Suyuq va gaz aralashmalarni ajratish jarayonlari xalq xo'jaligining ko'p sohalarida muhim ahamiyatga ega. Bunday aralashmalarni ajratishda haydash, rektifikatsiya, ekstraksiya, adsorbsiya jarayonlari keng ishlatiladi. Lekin gaz va suyuq aralashmalarni ajratishning eng universal usuli, yarimo'tkazuvchan to'siq membranalar yordamida ajratishdir (3.66-rasm).

Kimyo va neftni qayta ishlash sanoatlarida membrana usullari azeotrop aralashmalarni ajratishda, eritmalarni tozalash va konsentratsiyasini orttirishda, yuqori molekulali birikmalarni eritmalaridan ajratib olishda; biotexnologiya va meditsina sanoatida vaksina, fermentlarni ajratish va tozalashda; oziq - ovqat sanoatida sabzavot va mevalar sharbatlari konsentratsiyasini oshirish uchun, suvni va suvli eritmalarni qayta ishlashda, oqava suvlarni tozalashda membrana jarayonlari keng ko'lamda qo'llaniladi.

Oxirgi yillarda gaz aralashmalarni ushbu usulda ajratish jadal ravishda rivojlanmoqda. Hozirgi kunda havodan kislorodni, geliyni va SO_2 ni tabiiy gazdan ajratib olishda ishlatilmoqda.

Hisobotlar va yig'ilgan tajriba natijalari shuni ko'rsatadiki, membranalarni qo'llash mavjud texnologiyalarda katta iqtisodiy samara berishi mumkin va yangi, sodda energetik tejamli va ekologik jihatdan toza texnologiyalar yaratishda keng imkoniyatlar tug'dirishi mumkin.

Sanoatning turli texnologiyalarida keng qo'llanilayotgan membrana usullariga teskari osmos, ultrafiltrlash, mikrofiltrlash, dializ, elektrodializ, membrana orqali bug'latish va gazlarni ajratishlarni keltirish mumkin.

Yangi membrana usullari, ya'ni membranali distillatsiya, elektr osmos, filtrlash va boshqalar ustida jadal izlanishlar olib borilmoqda.

Yuqoridan qayd etilgan usullardan har birida ajratiladigan aralashma yarim-o'tkazuvchan membrana yordamida amalga oshiriladi.

Yarimo'tkazuvchan to'siq - membranalarni xususiy xossalariga ko'ra, u orqali o'tgan modda bir yoki bir necha komponent bilan to'yinadi yoki shu komponentlar miqdoriga moddada kamayadi. Qator hollarda jarayon shunchalik to'liq o'tadiki, moddada deyarli dispers faza qolmaydi, chunki ular membranada ushlanib qoladi.

Membranali jarayonlar asosiy harakatlantiruvchi kuch turiga qarab klassifikatsiyalanadi. Odatda, ushbu jarayonlarning harakatlantiruvchi kuchi bo'lib kimyoviy yoki elektrokimyoviy potensial gradiyenti hisoblanadi. Lekin texnik hisoblarda, ushbu jarayonlarning tezligini xarakterlaydigan bosim, temperatura va h. gradiyenti qabul qilinishi mumkin.

Shunday qilib, membranali jarayonning harakatga keltiruvchi kuchi sifatida bosimlar gradiyenti - baromembranali jarayonlar (teskari osmos, nano-, ultra- va mikrofiltrlash), konsentratsiyalar gradiyenti - diffuzion - membranali jarayonlar (dializ, membrana orqali bug'lanish, membrana yordamida gazlarni ajratish va hokazo), elektr potensial gradiyenti - elektromembranali jarayonlar (elektrodializ, elektroosmos va hokazo), temperatura gradiyenti - termomembranali jarayonlar (membranali distillatsiya va hokazo) bo'lishi mumkin.

Membrana orqali o'tgan modda **permeat** deb nomlanadi, membranada qolgan aralashma esa - **retant** (yoki konsentrat) deb ataladi.

Membrana yordamida ajratish jarayonining selektivligi φ (%) quyidagicha aniqlanadi:

$$\varphi = \left(\frac{c_1 - c_2}{c_2}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{c_2}{c_1}\right) \cdot 100\% \qquad (3.120)$$

bu yerda, c_1 va c_2 – erigan moddaning aralashmadagi va permeatdagi konsentratsiyalari.

Membrananing solishtirma unumdorligi (o'tkazuvchanligi) G, ma'lum bir harakatlantiruvchi kuch ta'sirida, vaqt birligi τ ichida, ish yuzasi F birligidan olingan permeatning hajmi V (yoki massasi) orqali aniqlanadi [kg/(m^{2}s)]:

$$G = \frac{V}{F \cdot \tau} \qquad (3.121)$$

Membrana – bu suyuq yoki gaz aralashmadan bir yoki bir necha komponentni bir tomonlama o'tkazish qobiliyatiga ega bo'lgan yarimo'tkazuvchan to'siqdir.

Membranalar quyidagi talablarni qondirishi va xususiyatlarga ega bo'lishi kerak:

1) yaxshi ajratish qobiliyati (selektivlik);

2) katta solishtirma unumdorlik;

3) ajratilayotgan kimyoviy moddalarga chidamli;

4) montaj qilish, saqlash va transportirovka davriga yetarli mustahkamlik;

5) ishlatish davrida xossalari o'zgarmasligi kerak.

Membranalar turli polimer (selluloza, atsetat, poliamid, polisulfon), keramika, shisha, metall folga va boshqa materiallardan yasaladi.

Mexanik mustahkamligiga qarab membranalar zichlanuvchi (polimerli) va qattiq strukturali hamda g'ovakli va g'ovaksiz (diffuziyali) bo'lishi mumkin.

G'ovakli membranalar teskari osmos, mikro- va ultrafiltrlash jarayonlarini amalga oshirish uchun qo'llaniladi, gazlarni ajratishda esa, kamroq ishlatiladi. Bu membranalar xizmat muddati membrana materiali kimyoviy chidamliligi bilan belgilanadi.

Diffuziyali membranalar yordamida gaz va suyuqlik aralashmalarni tozalash membrana orqali bug'lanish va dializ usullarida amalga oshiriladi. Odatda, diffuziyali membranalar g'ovaksiz bo'ladi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, gel qatlamidagi ayrim bo'laklar polimer zanjiri o'zaro qanchalik sust bog'langan bo'lsa, diffuziya tezligi shunchalik yuqori bo'ladi. Demak, diffuziyali membranalarni tayyorlashda liofil polimer materiallarni qo'llash maqsadga muvofiq.

Molekulalarni diffuziyali membranalar orqali o'tish tezligi diffuziya koeffitsiyentiga to'g'ri proporsional va u esa o'z navbati molekulalarning o'lchami, shakliga qattiq bog'liq.

Bu turdagi membranalarning yaxshi xususiyatlaridan biri shundaki, ularning o'tkazuvchanligi vaqt o'tishi bilan umuman kamaymaydi. Diffuziyali membranalar gidravlik qarshiligi katta, shuning uchun ular yupqa qatlamli holatda qo'llaniladi.

Ko'pincha membranalar list yoki truba shaklida, yoki ichi bo'sh tolalar ko'rinishida yasaladi. Bu kanallar ichki diametri 20...100 mkm, devorining qalinligi 10...50 mkm bo'ladi. Bundan tashqari, membranalar turli shakldagi g'ovakli tashuvchilar ustida ham ishlatilishi mumkin. Bu membranalar **kompozit membranalar** deb ataladi.

3.33. Teskari osmos va ultrafiltrlash jarayonlarning fizik-kimyoviy asoslari

Turli membranali jarayonlar uchun umumiy bo'lgan mexanizm shu paytgacha ishlab chiqilmagan va har bir jarayonni alohida ko'rib chiqish kerak. Lekin har bir membranali jarayon tahlil qilinayotganda quyidagi uch asosiy omil va ularning o'zaro bog'liqligi ko'zda tutilishi kerak:

1) Membrananing qalinligi bo'yicha tarkibi (g'ovakli, g'ovaksiz, izotropli);

2) Ajratilayotgan sistemaning fizik - kimyoviy (gazlar uchun yana termodinamik) xossalari;

3) Ajratilayotgan aralashmaning membrana bilan o'zaro ta'siri.

Agar yuqorida qayd etilgan omillar inobatga olinmasdan qolsa, model mexanizmini yaratish va tahlil qilish paytida prinsipial xatolikka olib kelishi mumkin.

Membrana orqali ajratilayotgan moddalarning o'tishiga erituvchini tashkil etuvchi komponentlar xossalari (masalan, suvning) va ularning membrana bilan o'zaro ta'siri katta ahamiyatga ega. Ma'lumki, suyuqlik va qattiq jism to'qnashish zonasida sirtiy kuchlar (adgeziya, sirtiy taranglik, molekular tortishish) mavjuddir. Shuning uchun, membrana ustidagi suyuqlikning chegaraviy qatlamining fizik-kimyoviy xossalari qurilma hajmini to'ldirib turgan suyuqlik xossalaridan katta farq qiladi.

Agar eritma tarkibidagi suvning dielektrik o'tkazuvchanligi keskin ravishda kamaysa, uning molekulalari harakatchanligi susayadi. Bu hol o'z navbatida suvning eritish qobiliyatini pasaytiradi. Polyarmas suyuqliklar uchun chegaraviy qatlam va katta hajmdagi suyuqlikning xossalari sezilarli darajada farq qilmaydi.

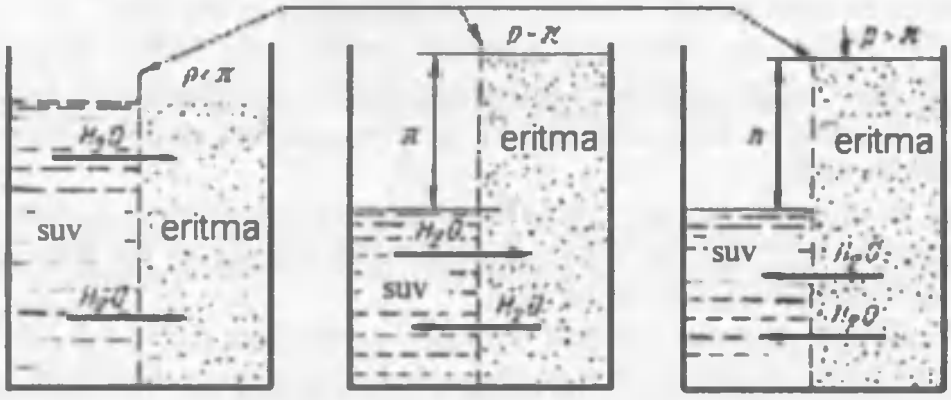
Baromembran jarayonlar

Teskari osmos – bu eritmaning erituvchisini o'tkazadigan va dispers faza molekula (yoki ionlar) larini ushlab qoladigan yarimo'tkazuvchan membranalar yordamida bosim ostida filtrlash jarayoni. Teskari osmos usuli osmos hodisasiga asoslangan, ya'ni bunda sistema muvozanat holatiga chiqmaguncha ($r = \pi$), erituvchi yarimo'tkazuvchan membrana orqali eritmaga o'z - o'zidan o'tadigan jarayon (3.66-rasm).

Muvozanat holatiga o'rnatilish paytidagi bosimga ***osmotik bosim*** (π) deyiladi. Agar eritmaga osmotik bosimdan ko'proq bosim ta'sir ettirilsa ($p>\pi$), massa o'tish jarayoni teskari yo'nalishda boradi (3.61d-rasm). Shuning uchun ham, jarayon nomi «teskari osmos» deb nomlangan. Membrana orqali o'tgan erituvchi **filtrat** deb ataladi.

Teskari osmos jarayonini harakatga keltiruvchi kuchi deb bosimlar farqi $\Delta p = p - \pi$ hisoblanadi, bu yerda r – eritma ostidagi ortiqcha bosim, π – eritmaning osmotik bosimi. Agar teskari osmos jarayonida membrana orqali ozgina dispers faza o'tib qolsa, unda Δp ni hisoblash paytida filtratning osmotik bosimi π ni ham inobatga olish zarur, ya'ni:

$$\Delta p = p - (\pi_1 - \pi_2) = p - \Delta\pi \qquad (3.122)$$



3.66-rasm. Teskari osmos usulida eritmalarni ajratish sxemasi.
a - osmos; b - muvozanat; d - teskari osmos.

Osmotik bosimni taxminiy hisoblash uchun Vant - Goff formulasidan foydalansa bo'ladi.

$$\pi = xRT \qquad (3.123)$$

bu yerda, x – eruvchi moddaning mol ulushi; R – o'zgarmas gaz doimiysi; T – eritmaning absolyut temperaturasi, K.

Eritmalarning osmotik bosimi 10 va undan ortiq megapaskal bo'lishi mumkin. Teskari osmos qurilmalaridagi bosim osmotik bosimdan ancha ko'p bo'lishi kerak, chunki jarayonni harakatga keltiruvchi kuch – bosimlar farqi. Masalan, 35% tuzlar bor dengiz suvining osmotik bosimi 2,45 MPa bo'lsa, tuzsizlantiradigan qurilmaning ishchi bosimi taxminan 7,85 MPa bo'lishi kerak.

Selektiv o'tkazuvchanlikning kapillar - filtrlashli modeliga binoan elektrolitga cho'ktirilgan liofil membrananing yuzasi va g'ovaklar ichida t_s qalinlikda bog'langan suvdan iborat sirtiy qatlam hosil bo'ladi. Ma'lumki, bog'langan suvning bo'lishi, ion (yoki molekula) larning membrana orqali o'tishiga to'sqinlik qiladi. Ushbu model prof. Y. I. Ditnerskiy tomonidan yaratilgan.

Agar membrana g'ovaklari diametri $d \leq 2t_c + d_{ri}$(bu yerda d_{ri} – gidratatsiyalangan ion diametri) bo'lsa, g'ovaklar orqali asosan suv o'tadi. Bu hol bunday membranalarning selektivlik xossasini ifodalaydi.

Odatda, membrana g'ovaklar diametri turlicha bo'ladi, jumladan, yirik va katta diametrli ham bo'ladi, ya'ni $d > 2t_c + d_{ri}$, bunday holda bog'langan suv oz miqdorda bo'lsa ham noorganik tuzlarni eritadi. Shuning uchun, qanchalik bog'langan suv qatlami qalinligi va ionning gidratatsiyalash qobiliyati katta bo'lsa, membrananing selektivligi shunchalik yuqori bo'ladi.

Ko'rib chiqilgan model tahlilidan quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

– membrana materiali liofil bo'lishi kerak, ya'ni o'tkaziladigan komponentga nisbatan membrana selektiv sorbsiya xususiyatli bo'lishi kerak;

– g'ovaklar diametri bog'langan suv qatlami qalinligi va gidratatsiyalangan ion diametrlar yig'indisining ikkiga ko'paytmasidan kichik bo'lishi zarur;

– membranalar gidravlik qarshiligini kamaytirish uchun ular anizotrop tuzilishli yoki kompozit (faol qatlam qalanligi minimal) qilib yasalishi maqsadga muvofiq.

Ultra- va mikrofiltrlash. Ultrafiltrlash – bu yuqori va past molekulali birikmali eritmalarni ajratish jarayoni hamda yuqori molekulali birikmalarni quyuqlashtirish va fraksiyalashdir. Ushbu jarayon bosimlar farqi yordamida amalga oshiriladi.

Ultrafiltrlash jarayoni erigan komponent molekular massasi erituvchi molekular massasidan ancha katta bo'lgan sistemalarni ajratish uchun qo'llaniladi.

Yuqori molekulali birikmalar osmotik bosimi juda kichik bo'lgani uchun ultrafiltrlash jarayonining harakatga keltiruvchi kuchini hisoblashda inobatga olmasa bo'ladi. Shuning uchun ham, ultrafiltrlash jarayoni nisbatan past bosimlar (0,2...1,0 MPa) da olib boriladi.

Agar membranali jarayon eritma tarkibidagi yirik kolloid zarrachalar (0,1...10 mkm)ni ajratish uchun ishlatilsa, unda u **mikrofiltrlash** deb ataladi. Bu jarayonning ham harakatga keltiruvchi kuchi – bosimlar farqi.

Mikrofiltrlash jarayoni o'ta past bosimlarda o'tkaziladi (0,01...0,5 MPa). Ushbu jarayon ultrafiltrlash va oddiy filtrlash jarayonlari o'rtasidagi oraliq holatni egallaydi. Mikrofiltrlash elektronika, meditsina, kimyo, mikrobiologiya, oziq - ovqat va boshqa sanoatlarda keng qo'llanilmoqda. Teskari osmos, nano- va ultrafiltrlash jarayonlarida eritmalarni ajratishdan avval mikrofiltrlash jarayonini amalga oshirish yuqori samara beradi.

Baromembran jarayonlarni shartli qo'llash chegaralari 3-5 jadvalda keltirilgan.

3-5 jadval

Jarayon / Parametr	Teskari osmos	Nano filtrlash	Ultra-filtrlash	Mikro-filtrlash
Zarracha diametri, mkm	0,0001 ... 0,003	0,001 ... 0,005	0,005 ... 0,05	0,05 ... 10,0

Shunday qilib, nanofiltrlash teskari osmos va ultrafiltrlash o'rtasidagi oraliq jarayon.

Ushbu jarayon yordamida molekular massasi 300...3000 bo'lgan moddalarni ajratish va quyuqlashtirish (konsentrlash) hamda og'ir metallar ionlarini ajratib olish mumkin.

Ko'pincha sanoatda xossalari bir - biriga yaqin bo'lgan elektrolitlar, ionli suyultirilgan eritmalarini ajratishga to'g'ri keladi. Ko'p komponentli eritmalar tarkibidan kerakli elektrolitni ajratib olish uchun kombinatsiyalangan usuldan foydalanish zarur. Ushbu usul o'z ichiga kompleks hosil qilish va ultrafiltrlash (KOUF)ni oladi. Usulning asosi shundaki, elektrolit ionlari ajratuvchi eritma bilan polimer komplekslarini hosil qiladi. Polimer komplekslarning o'lchami bog'lanmagan ionlarnikidan katta bo'ladi. Shuning uchun ham, ultrafiltrlash jarayonida polimer kompleks retantda cho'kib qoladi, bog'lanmagan ionlar esa membranadan o'tib - permeat hosil qiladi.

3.34. Diffuzion - membranali jarayonlar

Diffuzion - membranali jarayonlar membranalarning qalinligi bo'yicha konsentratsiya yoki bosim gradiyentiga asoslangan bo'lib, gaz yoki suyuq aralashmalarni ajratishda qo'llaniladi. Bunda gazlarni membrana yordamida komponentlarga ajratish yoki biror komponentga to'yinishi yuz beradi.

G'ovaksiz membrana yordamida gazlarni ajratish, komponentlarning membrana orqali diffuziyasi turli tezlikda o'tishiga asoslangan. Bu jarayon uch asosiy bosqichda o'tadi: 1) gaz membrana yuzasida ajratilayotgan aralashma tomonida adsorbsiyalanadi: 2) gaz membrana orqali diffuziya hisobiga o'tadi; 3) membrananing boshqa tomonida desorbsiya yuz beradi. Odatda, ikkinchi bosqich jarayonning tezligiga asosiy hissa qo'shadi va o'tayotgan diffuziya jarayoni Fikning birinchi qonuni bilan ifodalanadi:

$$G = -DF\frac{dc}{dx} \tag{3.124}$$

Agar (3.124) tenglamani integrallasak va tegishli o'zgartirishlar kiritilsa:

$$G = D\frac{c_1 - c_2}{\delta} \cdot F \tag{3.125}$$

bu yerda, G – membrana orqali o'tgan gaz miqdori; D – diffuziya koeffitsiyenti; c_1 va c_2 – membrananing ikki tomonlaridagi konsentratsiyalar; x – membrana qalinligi bo'yicha masofa; F – membrana yuzasi; δ – membrana qalinligi.

Membrana yuzasidagi konsentratsiyalar s_1 va s_2 ni aniqlash yoki o'lchash qiyin. Shuning uchun gazni membrana materialida erishi deb hisoblab, c_1 va c_2 larni Genri qonuni bo'yicha aniqlash mumkin:

$$c_1 = SP_1 \; ; \quad c_2 = SP_2 \tag{3.126}$$

bu yerda, S – erish koeffitsiyenti; P_1 va P_2 – membrananing ikki tomon yuzalaridagi bosimlar.

(3.126) va (3.125) tenglamalarni (3.124) tenglamaga qo'ysak:

$$G = -DS\frac{P_1 - P_2}{\delta} \cdot F \tag{3.127}$$

bu yerda, $A = DS$ – membrananing gaz o'tkazuvchanligi (yoki o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti).

$$G = A\frac{P_1 - P_2}{\delta} \cdot F \tag{3.128}$$

ya'ni gaz yoki bug'ning membrana orqali o'tish tezligi membrananing yuzasi, bosimlar farqi va membrananing o'tkazuvchanlik koeffitsiyentiga to'g'ri proporsional va qalinligiga teskari proporsional.

Membrana orqali bug'lanish – usulida suyuq aralashmalar ajratiladi. Ushbu usul aralashma komponentlarining diffuziya koeffitsiyentlari turliligi tufayli komponentlarning membrana orqali o'tish tezligi har xilligiga asoslangan.

Aralashmadan membrana orqali inert gaz oqimi bilan yoki vakuum ta'sirida bug' o'tadi va keyin kondensatorda kondensatsiyalanadi.

Bu jarayon ham uch bosqichda o'tadi: 1) modda membrana yuzasida adsorbsiyalanadi; 2) membrana orqali diffuziya yordamida o'tadi; 3) membrananing boshqa tomonida desorbsiya yuz beradi. Membrana orqali massaning o'tishi Fikning ikkinchi qonuni bilan ifodalanadi. Bug'ning tarkibi temperatura, membrana materiali va aralashma tarkibiga bog'liq. Jarayon tezligini oshirish uchun aralashmani 30...60°C gacha isitiladi va bug' zonasida esa, vakuum hosil qilinadi.

Noorganik moddalar (masalan, keramika)dan g'ovakli membranalar tayyorlanadi. Bu jarayon polimer asosli, g'ovakli yoki g'ovaksiz membranalar (masalan, polipropilen, polietilen va h.)da olib borilishi mumkin va azeotrop aralashmalarni (izopropanol - suv, etanol-suv) ajratishda keng qo'llaniladi. Bu turdagi aralashmalarni rektifikatsiya usuli bilan ajratib bo'lmaydi, lekin rektifikatsiya va membranali ajratish usullarini birga qo'llash katta iqtisodiy foyda berishi mumkin.

Turli sinfdagi uglevodorodlarni, organik kislotalarning suvli eritmalarini, ketonlarni membrana orqali bug'lanish usulida ajratish yuqori iqtisodiy samara beradi.

Bundan tashqari, bu usul oqava suvlarni tozalashda qo'llanilishi mumkin.

Dializ – bu konsentrlangan va suyultirilgan eritmalarni diffuziya tezliklari turli xil bo‘lgan moddalarni yarimo‘tkazuvchan membranalar orqali o‘tkazib ajratish usulidir. Agar konsentratsiyasi yuqori va past bo‘lgan eritmalar orasiga membrana joylashtirilsa, eritmalar orasida konsentratsiya gradiyenti hosil bo‘ladi. Bu gradiyent ta’sirida eritilgan modda membrana orqali konsentratsiyasi kam bo‘lgan eritma tomon diffuziya orqali o‘ta boshlaydi.

Erituvchi (suv) esa teskari tomon harakat qila boshlaydi. Dializ tezligi Fikning birinchi qonuni yordamida topiladi. Dializ orqali o‘tgan modda miqdori esa, massa o‘tkazish tenglamasi orqali aniqlanadi. Dializ asosan, tuzilishi romli filtr - pressga o‘xshash bo‘lgan, tekis kamerali va ichi bo‘sh tolali membrana qurilmalarda amalga oshiriladi.

Termomembrana jarayonlari. Bu jarayon g‘ovakli membrana qalinligi bo‘yicha temperatura gradiyenti hosil bo‘lishiga asoslangan va membranali distillatsiya bunga misol bo‘lishi mumkin.

Jarayonning mohiyatini ko‘rib chiqamiz. Boshlang‘ich konsentratsiyali birorta bir eritma isitilib (30...70°C) mikrog‘ovakli suv o‘tmaydigan membrananing bir tomonida uzatiladi. Membrananing boshqa tomonida esa, sovuq erituvchi (suv) harakat qiladi. Membrana g‘ovaklarining diametri juda kichik va u suv o‘tkazmaydigan bo‘lgani uchun, suv molekulalari membrana orqali o‘tmaydi. Issiq eritmadan ajrab chiqqan bug‘ membrana g‘ovaklariga kirib membrananing sovuq tomonida kondensatsiyalanadi. Unda, g‘ovaklarda vakuum hosil bo‘ladi va bug‘latish jarayoni tezlashadi. Berilgan eritmaning temperaturasi uncha yuqori bo‘lmagani uchun membranali distillatsiyani o‘tkazishda chiqindi suvlar yoki gazlar (issiqlik almashinish qurilmalardan chiqqan) va quyosh energiyasidan foydalanish mumkin. Shuning uchun iqtisodiy jihatdan boshqa jarayonlarga qaraganda, termomembrana jarayonlar yaxshi natija beradi. Undan tashqari, bu jarayon atmosfera bosimida olib borilgani uchun qurilmalar arzon va qulay materiallardan (polimer) yasalishi mumkin.

Bu jarayon elektrolit eritmalar konsentratsiyasini oshirishda, dengiz suvlarini tozalashda, yuqori darajadagi toza suv olishda qo‘llanilishi maqsadga muvofiq.

3.35. Membranalarni tozalash usullari

Membranalarning samarali xizmat muddati, qurilmaning gidrodinamik sharoiti va uni yig‘ishdan avval membrana elementlari, maxsus eritma bilan qanchalik yaxshi ishlov berilganiga bog‘liq. Lekin membranalar ko‘rilgan chora va tadbirlarga qaramasdan, ifloslanadi va qurilmaning texnologik ko‘rsatkichlarini pasaytiradi. Shuning uchun membranalar xarakteristikalarini dastlabki holatiga keltirish uchun mexanik, gidrodinamik, fizik va kimyoviy tozalash usullari qo‘llaniladi.

Mexanik tozalash usuli samarali bo‘lib, faqat silindrik membrana elementli qurilmalarda qo‘llash mumkin. Buning uchun ifloslangan membrana yuzasi ko‘pikli material yoki boshqa moslama yordamida artiladi.

Gidrodinamik tozalash usulining mohiyati shundaki, membranaga pulsatsiyali eritma yoki suv oqimi, turbulent oqim ta’sir ettiriladi yoki u siqilgan havo yordamida teskari yo‘nalishda puflanadi. Undan tashqari, baromembran jarayonlarda bosimning keskin ravishda pasaytirish yo‘li bilan membranani tozalash mumkin.

Bu usullar eng sodda va arzon. Lekin bu usulda faqat yuzaki, yengil bog‘langan cho‘kmalargina tozalanadi.

Fizik tozalash membranaga elektr, magnit va akustik maydonlar ta'sir ettirish orqali amalga oshiriladi. Bu usulning eng asosiy afzalligi shundaki, membranalarni tozalash qurilmani to'xtatmasdan amalga oshirish mumkin.

Kimyoviy tozalash membranalarni reaktiv (masalan, limon, shavel kislotalari, soda, xlor vodorodli suyuq eritma va h.) lar yordamida yuvishdir. Ushbu usul juda qimmat, chunki reaktivlar sarfi katta va kimyoviy zararli oqava suyuqliklar hosil bo'ladi. Agar membrana materialining kimyoviy chidamliligi past bo'lsa, ushbu tozalash usulini umuman qo'llash mumkin emas.

3.36. Membranali qurilmalar tuzilishi va ishlash prinsipi

Teskari osmos va ultrafiltrlash jarayonlari uchun ishlatiladigan qurilmalar davriy va uzluksiz ishlaydigan bo'ladi. Davriy qurilmalar, odatda laboratoriya sharoitlarida tajribalar o'tkazish uchun qo'llaniladi. Sanoatda esa, asosan uzluksiz ishlaydigan qurilmalar ishlatiladi.

Membranali qurilmalar afzalliklari: juda katta solishtirma ajratish yuzali, yig'ilishi sodda, ishonchliligi yuqori va montaji oson.

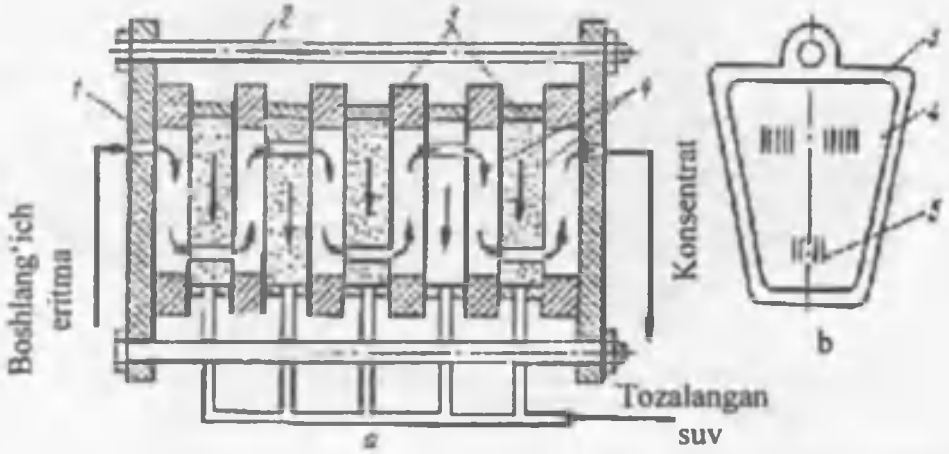
Teskari osmos qurilmalarining eng katta kamchiligi shundaki, qurilmada ishchi bosim yuqori bo'lishi kerak. Bu hol o'z navbatida yuqori bosimga hisoblangan va quvurlarni ulanish joyida flanetsli birikmalar va maxsus, chidamli qistirmalar qo'llashni talab qiladi.

Filtrlovchi membrana joylashish usuliga qarab yassi, silindr va o'ram shaklli hamda ichi bo'sh tolali membranali qurilmalar bo'ladi.

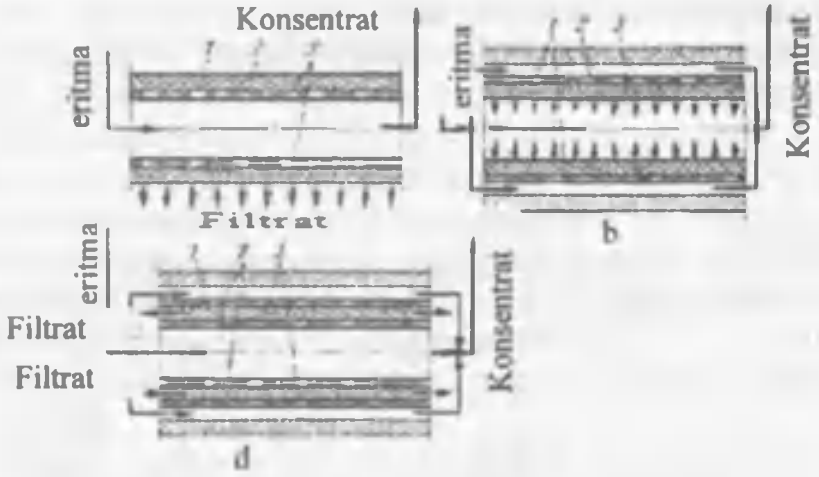
Ushbu qurilmalar alohida seksiya va modullardan tarkib topgan. Shuning uchun istalgan yuzali qurilmalar yig'ish oson.

Membranali qurilmalarga qo'yiladigan talablar: ishchi yuzasi katta, tuzilishi sodda va ixcham, suyuqlik oqimining tezligi yuqori va membrana bo'ylab bir tekisda taqsimlanishi, gidravlik qarshiligi kichik, mustahkamligi yuqori va germetik bo'lishi kerak.

Yassi yuza, membrana elementli qurilmalar. Odatda, bunday membranali qurilmalar oddiy filtr qurilmasiga o'xshash bo'lib, eng sodda qurilma deb hisoblanadi.



3.67-rasm. Yassi yuza membrana elementli qurilma.
1-plita; 2-tortuvchi bolt; 3-metall «patak»;
4-membrana; 5-teshik.



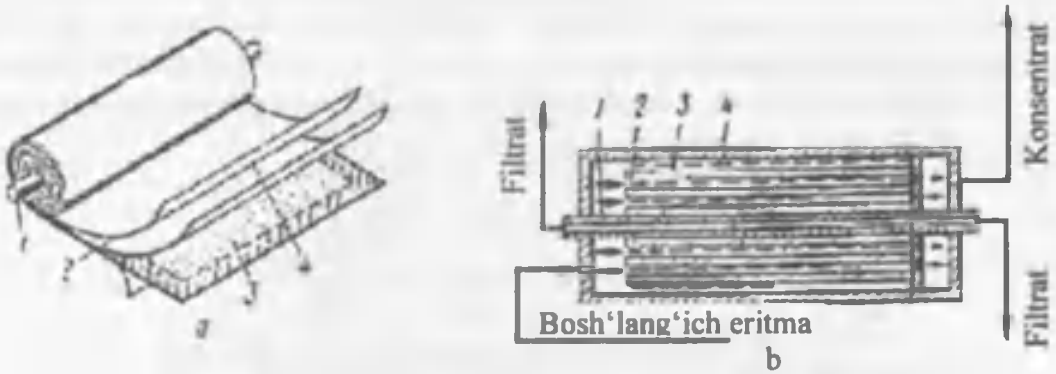
3.69-rasm. Membranasi turlicha joylashtirilgan silindrik filtrlovchi elementlar.
a-drenaj qobirg'aning ichki yuzasida; b-drenaj qobirg'aning tashqi yuzasida; d-kombinatsiyalashgan; 1-truba; 2-membrana; 3-metall «patak».

Membranalari kombinatsiyali joylashtirilgan silindrik filtr elementlarning solishtirma ishchi yuzasi yuqorida ko'rib chiqilgan qurilmalarnikidan 2 marta ko'p bo'ladi (3.69d-rasm). Lekin filtrat chiqarish kanallarining uzunligi kattaligi uchun, gidravlik qarshilik nisbatan katta bo'ladi.

Silindrik filtr elementli ultrafiltrlash qurilmalari meva va meva-rezavorlar sharbatlarini tinitib tozalash uchun keng ko'lamda qo'llaniladi. Sharbatlarni xira qilib turuvchi protein, kraxmal, pektin, selluloza zarrachalaridan ajratib olish mumkin. Tozalangan sharbatda faqat tabiiy tarkibli moddalar qoladi.

O'ram shakldagi membrana elementli qurilmalar truba shaklida yasalib, uning ichiga bir nechta o'ramli filtr element tiqiladi.

Membranani o'rash zichligi 300...800 m^2/m^3. Boshlangich eritma membranalararo bo'shliqda bo'ylama yo'nalishda harakat qilsa (3.70b-rasm), filtrat esa, spiralsimon drenaj qatlamdan o'tib, trubaga tushadi va qurilmadan chiqariladi.



3.70-rasm. O'ramli filtr element (a) va shunday elementli qurilma (b)
1-truba; 2-membrana; 3-metall «patak»; 4-t'r-separator.

Membrananing ishchi yuzasini oshirish uchun o'rash zichligi ko'paytiriladi.

Membrananing o'rash zichligi oshirilsa, uning ishchi yuzasi ortadi va yasalish narxi pasayadi. O'rash dastasining eng maksimal eni 900 mm gacha bo'ladi.

Bu qurilma ikki membranadan tarkib topgan filtrlovchi element konstruksiya asosini tashkil etadi (3.67-rasm). Filtrlovchi elementlar g'ovakli material (masalan, polimer)dan tayyorlanadi.

Suyuqlik o'tishi uchun metall «patak» listlarida teshiklar qilingan. Ushbu listlar 0,5...5 mm oraliqda o'rnatilib, eritmani ajratuvchi membranalararo bo'shliq hosil qiladi. Filtrlovchi elementlar dastasi ikkita plita orasida joylashtiriladi va tortuvchi boltlar bilan siqib qo'yiladi.

Eritma filtrlovchi elementlardan ketma-ket o'tadi va konsentrlanadi. Hosil bo'layotgan konsentrat va filtrat qurilmadan uzluksiz ravishda chiqarib turiladi.

Bu turdagi qurilmalar oqsillarni ajratib olish hamda yog'sizlantirilgan sut va tvoroglarni ultrafiltrlash uchun qo'llaniladi.

Yassi yuza, membrana elementli qurilmalar kamchiliklari: membranalar solishtirma yuzasi kichik 60...300 m^2; membranalarni almashtirish va yig'ish qo'lda amalga oshiriladi.

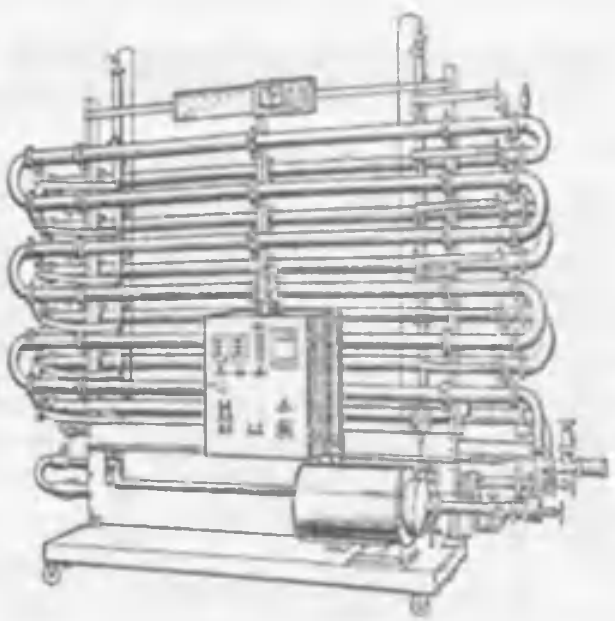
Silindrik membrana elementli qurilmalar alohida silindrik filtrlovchi modullardan yig'iladi (3.68-rasm).

Silindrik filtrlovchi elementlar 3 xilda: membrana drenaj qobirg'aning ichki va tashqi yuzasida hamda kombinatsiyali joylashtirilib tayyorlanadi.

Drenaj qobirg'aning ichki yuzasida o'rnatilgan membranali qurilmalar afzalliklari (3.69a-rasm): metall sarfi kam; gidravlik qarshiligi kichik; filtrlovchi elementlarni buzmasdan turib cho'kmadan tozalash oson; konstruksiya ishonchliligi yuqori.

Kamchiliklari: filtrlovchi membrananing solishtirma ishchi yuzasi kichik; elementlarni yig'ish yuqori talablarga javob berishi kerak.

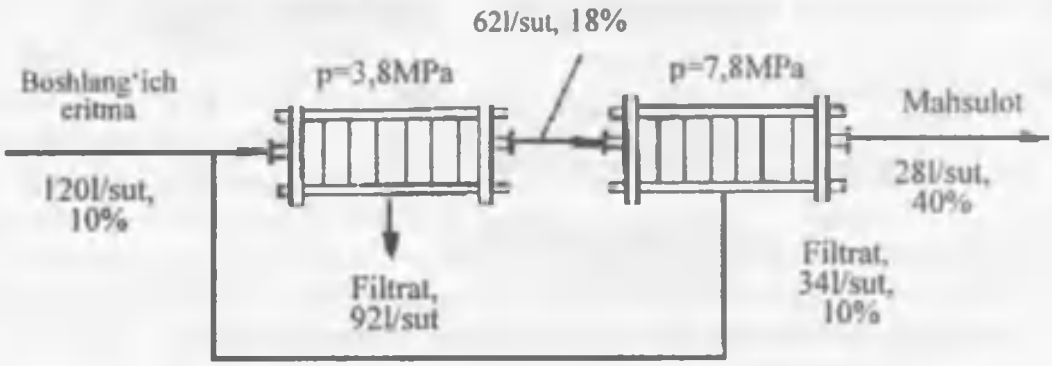
Odatda, drenaj qobirg'aning tashqi yuzasida o'rnatilgan membranali qurilmalar katta filtrlash solishtirma yuzali bo'ladi (3.64b-rasm). Lekin bu filtr elementlarga metall sarfi ko'p bo'ladi va ularni mexanik tozalash mumkin emas.



3.68-rasm. Silindrik membrana elementli qurilma.

Dastalarning uzunligi drenaj qatlamining filtrat harakatiga gidravlik qarshiligi bilan chegaralanadi va odatda 2 metrdan oshmaydi.

3.71-rasmda sut mahsulotlarini ishlab chiqarish uchun, uni qayta ishlash texnologik sxemasi keltirilgan.



3.71-rasm. Sutni qayta ishlash sxemasi.

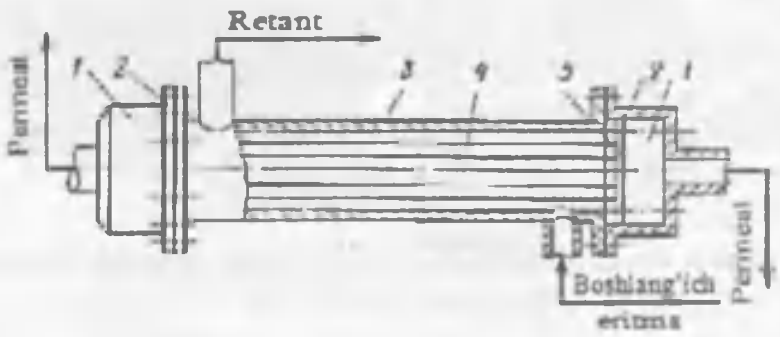
Ushbu sxemadan ko'rinib turibdiki, sutni separatsiya qilib yog' olish, yog'sizlantirilgan sutni ultrafiltrlash va teskari osmoslar texnologiyaning asosiy bosqichlaridir. Yog'sizlantirilgan sut konsentratidan turli xil sut mahsulotlarini olish mumkin. Sutni qayta ishlash texnologiyasida membranali qurilmalarni qo'llash oqava suvlarni tozalash muammosini hal etish imkonini beradi.

Ichi bo'sh tolali qurilmalar ultrafiltrlash va teskari osmos yordamida eritmalarni ajratish uchun keng miqyosda qo'llaniladi. Ichi bo'sh tolalarning tashqi diametri 45...200 mkm va devorining qalinligi esa 10...50 mkm, ultrafiltrlash uchun diametri - 200...1000 mkm, devori qalinligi - 50...200 mkm. Ushbu o'lchamli tolalar suyuqlik yoki gaz aralashmasining 10 MPa gacha bo'lgan bosimga chidamli va o'z mustahkamligini yo'qotmaydi.

Bu turdagi qurilmalarni quyidagi guruhlarga bo'lish mumkin: a - ichi bo'sh, tolalari parallel joylashtirilgan; b - silindrik membrana elementli; d - ichi bo'sh, tolalari U-simon qilib joylashtirilgan.

Ichi bo'sh tolali qurilmalar tayanchsiz va tayanch taqsimlovchi trubkali bo'lishi mumkin. Tayanchsiz qurilmalar tuzilishi sodda, lekin suyuqlikning taqsimlanishi, ya'ni gidrodinamik sharoiti yomon. Shuning uchun, ushbu qurilmalarda gidrodinamik sharoitlarni yaxshilash maqsadida taqsimlovchi moslama va turbulizatorlar o'rnatiladi.

3.72-rasmda ichi bo'sh, tolalari parallel o'rnatilgan membrana qurilma keltirilgan.



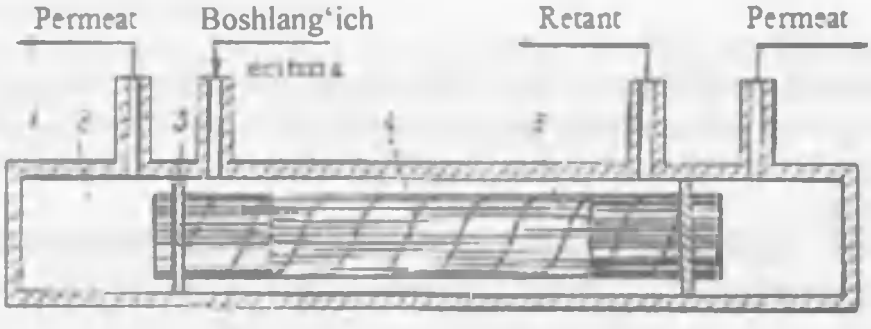
3.72-rasm. Ichi bo'sh, tolalari parallel joylashtirilgan, tayanchsiz membrana qurilma.
1-permeat yig'gich; 2-flanetslar; 3- qobiq; 4-ichi bo'sh tolalar; 5-teshikli panjara.

Qurilma, eritma kirish va chiqish shtuserlari o'rnatilgan qobiq 3 danb hamda permeat yig'gich 1 va teshikli panjara 5 larni mahkamlash uchun flanets 2 lardan tarkib topgan. Ichi bo'sh tolalar dastasi 4 qobiq 3 o'qiga parallel holda joylashtiriladi va epoksid yelimi yordamida teshikli panjara 5 ga mahkamlanadi. Ajratilayotgan eritma ichi bo'sh tolalar dastasi 4 ning tashqi yuzasi bo'ylab harakat qiladi va bosim ta'sirida tolalar devori orqali o'tadi va permeat kapillar kanallardan yig'gichga tushadi. Konsentrlangan eritma va retant-uzluksiz ravishda qurilmadan chiqarilib turadi.

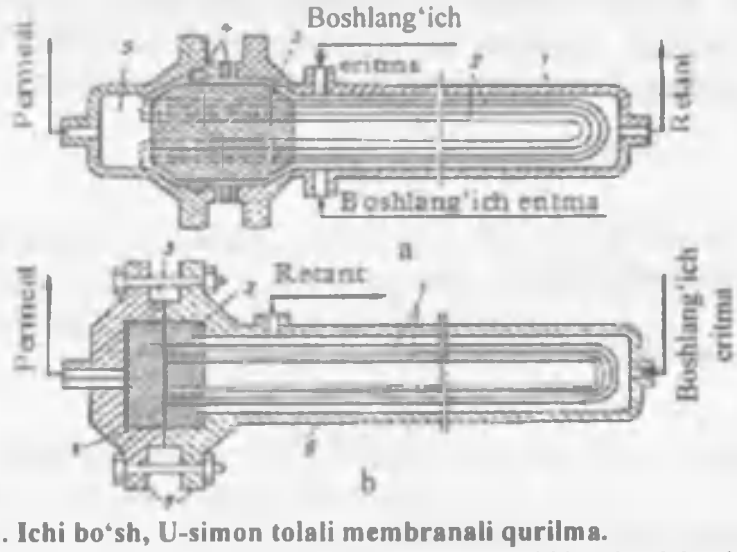
Ushbu turdagi qurilma eng asosiy kamchiligi shundaki, tolalar dastasini teshikli panjaraga mahkamlash va zichlash juda qiyin. Undan tashqari, eritma oqimini tolalar dastasi bo'ylab bir tekisda taqsimlash ham oson emas.

Qayd etilgan kamchiliklar bir dastali, membrana elementli qurilmalarda bartaraf qilingan (3.73-rasm).

Bu turdagi qurilmalarda eritmani aralashtirish jarayonini jadallashtirish uchun taqsimlovchi truba o'rnatiladi. Ushbu trubaning markaziy qismida eritmani tolalar dastasining ichiga uzatish uchun teshiklar qilingan bo'ladi.



3.73-rasm. Ichi bo'sh, bir dasta tolali qurilma sxemasi.
1- qobiq; 2-permeat yig'gich; 3-suyuqlik to'sgich;
4-spiralsimon chizimcha; 5-tolalar dastasi.



3.74-rasm. Ichi bo'sh, U-simon tolali membranali qurilma.
a-konussimon tayanch flanetsli: 1- qobiq; 2-ichi bo'sh tolalar dastasi;
3-shayba; 4-halqasimon qistirmalar; 5-permeat yig'gich:
b-g'ovakli tayanch «patak»li: 1-ichi bo'sh tolalar dastasi; 2-shayba;
3-g'ovakli «patak»; 4-qopqoq; 5-flanetsli birikma; 6-qobiq.

Bunday qurilmalarni yasash uchun metall kam sarflanadi. Lekin eritmaning aralashtirish jadalligi past bo'lganligi va ichi bo'sh tolalarning suyuqlik to'sgichda qattiq mahkamlanishi sababli. tarkibida qattiq zarrachalar bor eritmalarni ajratib bo'lmaydi.

Ichi bo‘sh, tolalari U-simon qilib joylashtirilgan qurilmalar tuzilishi sodda, yasash, yig‘ish va montaj qilish oson va metall sarfi kam. Shuning uchun bu turdagi qurilmalardan sanoatda ko‘p foydalaniladi (3.74-rasm).

Bu turdagi qurilmalar qobiq 1, permeat yig‘gich 5 va halqasimon qistirmalar 4 dan tarkib topgan bo‘ladi (3.74a-rasm). U-simon ichi bo‘sh tolalar dastasining uzunligi 1,5...2 metr bo‘lib, ularning ochiq uchlari shayba 3 ga epoksid yelimi yordamida yopishtirilgan.

Qurilmaning asosiy kamchiligi: ichi bo‘sh tolalarni shayba 3 ga mahkamlash qiyin va murakkab; shayba 3 qalin bo‘lganligi uchun ichi bo‘sh tolalarning yuzasi 5-10 % ga kamayadi.

Yuqorida qayd etilgan kamchiliklar 3.74b-rasmda ko‘rsatilgan qurilmada bartaraf qilingan, chunki shayba 3 qalinligi ancha kamaytirilgan, ya’ni 10...20 ım.

3.37 Membranali jarayon va qurilmalarni hisoblash

Membranali qurilmalarning hisobi texnologik, gidravlik va mexanik hisoblardan iborat. Eritma isitilsa yoki sovutilsa, jarayon issiqlik hisobi ham o‘tkazilishi kerak.

Texnologik hisoblashlarda membrananing ishchi yuzasi, suyuqliklar sarfi va tarkibi aniqlanadi.

Gidravlik hisoblashdan maqsad – qurilma va armaturalarning gidravlik qarshiliklarini aniqlashdir.

Mexanik hisob esa, qurilma qismlarining o‘lchamlarini aniqlash va ishchi bosim uchun to‘g‘ri keladigan armatura tanlashdan iborat.

Issiqlik hisoblashga esa, issiqlik almashinish yuzasini va issiqlik eltkichlar sarfini aniqlash kiradi.

Moddiy balans. Odatda membranali jarayonlar o‘zgarmas temperatura va bosimda olib boriladi. Boshlang‘ich eritmaning sarfi L_0 (kg/soat) va uning tarkibi c_0 (kg/kg) permeatning konsentratsiyasi c_2 (kg/kg) va qurilmadan chiqayotgan permeat miqdori a:

$$a = \frac{W}{L_0} \tag{3.129}$$

bu yerda, W – permeat sarfi, kg/soat.

Permeat a chiqishi bo‘yicha uning miqdori aniqlanadi:

$$W = a \cdot L_0 \tag{3.130}$$

Oqimlar bo‘yicha moddiy balans:

$$L_0 = L - W \tag{3.131}$$

L – retant (konsentrat) sarfi:

$$L = L_0 - W \tag{3.132}$$

Komponent bo'yicha moddiy balans:

$$L_0 c_0 = L c_1 - W c_2 \tag{3.133}$$

(3.132) tenglamani inobatga olganda, retant tarkibini ushbu formuladan topiladi:

$$c_1 = \frac{L_0 c_0 - W c_2}{L_0 - W} \tag{3.134}$$

$$c_1 = \frac{c_0 \left(\frac{W}{L_0}\right) \cdot c_2}{1 - \frac{W}{L_0}} \tag{3.135}$$

Keltirib chiqarilgan (3.134) va (3.135) tenglamalar boshqa turdagi membranalarni hisoblash uchun ham qo'llash mumkin.

Agar (3.129) tenglikni inobatga olsak, hisoblash formulasi quyidagicha bo'ladi:

$$c_1 = \left(c_0 - a c_2\right) \cdot \left(1 - a\right) \tag{3.136}$$

Membrana ustidagi ajratilayotgan eritmaning tarkibiga qarab membrananing solishtirma unumdorligi ushbu funksiya orqali aniqlanadi:

$$G = f\left(c_1\right) \tag{3.137}$$

Agar G va c_1 kattaliklar ma'lum bo'lsa va (3.130) tenglamani hisobga olsak (3.121) formuladan yarimo'tkazuvchan membrananing yuzasi F ni topish mumkin:

$$F = \frac{W}{G} = \frac{a L_0}{f\left(c_1\right)} \tag{3.138}$$

Membrana yuzasini hisoblash – massa o'tkazishning asosiy tenglamasi yordamida olib boriladi. Membrana orqali o'tayotgan moddaning miqdorini, massa o'tkazishning asosiy kinetik tenglamasidan aniqlash mumkin:

$$M = K F \Delta p_m \tau \tag{3.139}$$

bu yerda, K – massa o'tkazish koeffitsiyenti; F – membrana ishchi yuzasi; Δp_m – membranali ajratish jarayonining harakatga keltiruvchi kuchi; τ – jarayon davomiyligi.

(3.139) tenglamadan membrananing ishchi yuzasi topiladi:

$$F = \frac{M}{K \Delta p_m \tau} \tag{3.140}$$

bu yerda, M – membrana orqali o'tgan komponent miqdori, moddiy balans orqali aniqlanadi.

Membrana orqali modda o'tish paytida massa o'tkazish koeffitsiyenti K ni ushbu formuladan topiladi:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{\delta}{\lambda_M} + \frac{1}{\beta_2}} \qquad (3.141)$$

bu yerda, β_1 – ajratilayotgan oiimdan membrana yuzasiga massa berish koeffitsiyenti; δ – membrana qalinligi; λ_m – membrananing massa o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti; β_2 – membranadan permeat oqimiga massa berish koeffitsiyenti.

Massa o'tkazish koeffitsiyentining teskari qiymati massa o'tkazishga ko'rsatilgan qarshilikni ko'rsatadi:

$$\frac{1}{K} = R = r_1 + r_M + r_2 = \frac{1}{\beta_1} + \frac{\delta}{\lambda_m} + \frac{1}{\beta_2} \qquad (3.142)$$

bu yerda, $r_1=1/b_1$; $r_2=1/b_2$ – massa berishga ko'rsatilgan qarshiliklar; $r_m=\delta/\lambda_m$ – membranadagi massa o'tish jarayoniga qarshilik va $r >> (r_1+r_2)$ r_m ni aniqlash uchun ko'pincha tajriba o'tkazish kerak bo'ladi.

Undan tashqari Δp_{yp} ni aniqlash ham oson emas.

O'ramli filtr elementli qurilma hisobi. Unumdorligi 5,56 kg/s bo'lgan $SaSl_2$ ning suvli eritmasini 0,8% do 30% (mass.) gacha konsentrlash uchun qurilma hisoblansin va loyihalansin.

Dastlabki konsentrlash teskari osmos, yakunlovchisi esa bug'latish usulida o'tkaziladi. Filtr bilan tuzning yo'qotilishi 10% dan oshmasligi kerak.

Quyida har bir pog'onadagi ishchi sharoitlar keltiriladi.

Teskari osmos pog'onasi:

qurilma turi – o'rami filtrlovchi elementli;
membrana – atsetatselluloza;
membrana orqali bosimlar farqi – 5 MPa;
ishchi temperatura – 25^{0}C.

Bug'latish pog'onasi:

qurilma turi – yo'naltirilgan tabiiy sirkulatsiyali;
qurilmadagi bosim – 0,2 MPa.

Teskari osmos pog'onasida konsentrlash darajasini aniqlash

Past konsentratsiyali eritmalarni quyuqlashtirishda bug'latishga qaraganda teskari osmos jarayoni samaraliroq. Lekin eritmada erigan moddalar miqdori 0,2...0,4 mol/l suvdan boshlab teskari osmos jarayonining ko'rsatkichlari pasayadi [16, b.188]: membranalarning o'tkazuvchanlik qobiliyati va selektivligi salmoqli pasayadi. Bunday holat filtrat sifatini yomonlashtiradi va membrananing zarur yuzasini oshirishni taqozo etadi.

Shuning uchun teskari osmos pog'onasi uchun oxirgi konsentratsiyasini 0,3 mol/l suv deb qabul qilamiz. Eslatma 2 keltirilgan ma'lumotlar asosida [128], tanlangan qiymat massaviy konsentratsiya 3,3% ga to'g'ri keladi.

Shunday qilib, teskari osmos qurilmasida eritma boshlang'ich konsentratsiya x_{1b}= 0,8 % (mass.) dan oxirgi konsentratsiya x_{1k}= 3,2 % (mass.) gacha ko'tarish mumkin. Konsentrlash darajasi : $K = x_{1k} / x_{1b} = 3{,}2/0{,}8=4$.

Membrana tanlash

Membranani tanlashda filtrat sifatiga bo'lgan selektivlikni ta'minlovchi maksimal solishtirma o'tkazuvchanligi asosiy ko'rsatkich bo'lishi kerak.

Membranalarning haqiqiy selektivligi φ_i ni ushbu formuladan topish mumkin [16. b.207]:

$$\lg(1-\varphi_u) = a - b \cdot \lg f(\Delta H) \qquad (3.143)$$

Quyidagi jadvalda teskari osmos uchun atsetatsellulozali membran xarakteristikalari keltirilgan (bosimlar farqi ΔP = 5 MPa va ishchi temperatura t = 25^{0}C):

3-6 jadval.

Membrani turi	Suv bo'yicha o'tkazuvchanlik $G_0 \cdot 10^3$ g/(m^2 s)	Tenglama konstantalari (1)	
		a	*B*
MGA-100	1,11	7,342	3,024
MGA-95	1,67	5,780	2,400
MGA-90	2,78	5,179	2,093
MGA-80	4,17	4,323	1,729

Membranalarning haqiqiy selektivligi φ_i ni (3.143) formuladan aniqlashdan avval elektrolit ionlarining gidratatsiya issiqligi funksiyasi $f(\Delta H)$ ni aniqlash kerak:

$$f(\Delta H) = \frac{\Delta H_m \cdot \Delta H_b^m}{4{,}187^{1+m}} \qquad (3.144)$$

bu yerda, ΔH_m va ΔH_b – elektrolit ionlarining kichik va katta gidratatsiya issiqliklari; m – kation va anionlarning valentliklariga bog'liq konstantalar.

Δp = 5 MPa va t = 20...25^{0}C da tajribaviy usulda topilgan ma'lumotlar quyida keltirilgan:

Kation valentligi	1	1	2	2	3	3
Anion valentligi	1	2	1	2	2	1
m	0,51	0,47	0,47	0,33	0,33	0,40

Ayrim ionlarning gidratatsiya issiqliklari eslatma 1 da keltirilgan [130].

Ko'rilayotgan holat uchun

$$f(\Delta H)_{CaCl_2} = \frac{\Delta H_{Cl^-} \Delta H_{Ca^{2+}}^{0,47}}{4{,}187^{1,47}} = \frac{352 \cdot 1616^{0,47}}{4{,}187^{1,47}} = 1380$$

MGA-100 membrana uchun hisoblashni bajaramiz:

$$\lg(1-\phi_i) = 7{,}342 - 3{,}024 \cdot \lg 1380 = 3{,}847$$

$$1-\phi_i = 0,007 \qquad \phi_i = 0,993$$

Xuddi shu usulda qolgan membranalarning haqiqiy selektivligini aniqlaymiz.

Membrana	MGA-100	MGA-95	MGA-90	MGA-80
φ_i	0,993	0,982	0,959	0,927

Har bir membrana uchun filtratdagi erigan moddaning o'rtacha konsentratsiyasi $\overline{x_2}$ quyidagi formuladan aniqlaymiz [130]:

$$\overline{x_2} = x_{1b}\frac{1-K^{\frac{1-\phi}{\phi}}}{1-K^{\frac{1}{\phi}}} \tag{3.145}$$

Hisoblashni unumdorligi yuqori bo'lgan MGA-80 membrana uchun bajaramiz:

$$\overline{x_2} = 0,008\frac{1-4^{-(1-0,927)/0,927}}{1-4^{-1/0,927}} = 0,001066 kg\ tuz/kg\ eritma$$

Filtrat sarfi $L_f$ni aniqlaymiz:

$$L_f = L_b(1-K^{\frac{1}{\phi}}) \tag{3.146}$$

Boshlang'ich eritma sarfi L_b berilgan. Bundan

$$L_f = 5,56(1-4^{\frac{1}{0,927}}) = 5,56 \cdot 0,7759 = 4,31 kg/s$$

Boshlang'ich eritma bilan tuzning sarfi

$$L_b x_b = 5,56 \cdot 0,008 = 0,0445 kg/s$$

Filtrat bilan tuzning yo'qotilishi

$$L_f \overline{x_2} = 4,31 \cdot 0,001066 = 0,0046 kg/s$$

Boshlang'ich eritma tarkibidagi qattiq faza protsent hisobida:

$$\frac{0,0046}{0,0445} \cdot 100\% = 10,33\%$$

Ushbu qiymat 10% dan katta bo'lgani uchun unumdorligi bo'yicha keyingi membrana MGA-90 ni ko'rib chiqamiz:

$$\overline{x_2} = 0,008\frac{1-4^{-(1-0,959)/0,959}}{1-4^{-1/0,959}} = 0,000603kg\ tuz/kg\ eritma$$

$$L_f = 5,56(1-4^{-1/0,959}) = 4,25kg/s$$

$$L_f\overline{x_2} = 0,00256kg/s$$

Tuzning yo'qotilishi :

$$\frac{0,00256}{0,0445}\cdot 100\% = 5,75\%$$

Ushbu olingan qiymat ruxsat etilgan chegara ichida bo'lgani uchun keyingi hisoblashlar uchun MGA-90 membrana tanlaymiz. Uning xarakteristikalari: selektivligi $\varphi_i = 0,959$ va o'tkazuvchanligi $G_0 = 2,78\cdot10^{-3}$ kg/(m^2 s).

Membrana ishchi yuzasining taxminiy hisobi. Tuzli eritma bo'yicha membrananing o'tkazuvchanligi G ushbu formuladan topiladi:

$$G = A\cdot(\Delta p - \Delta\pi) = A[(\Delta p - (\pi_3 - \pi_2))] \qquad (3.147)$$

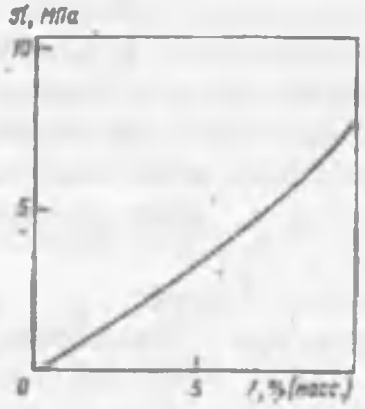
bu yerda, Δp – membrana uchun bosimlar farqi, MPa; π_3 – membrana yuzasida eritmaning osmotik bosimi, MPa; π_2 – filtratning osmotik bosimi, MPa; $A = G_0/\Delta r$ – suv bo'yicha membrana o'tkazuvchanlik konstantasi, kg/(m^2 s·MPa).

Membrana yuzasidagi osmotik bosim eritma hajmidagi osmotik bosimga teng, ya'ni $\pi_3 = \pi_1$.

Ushbu taxminlarni inobatga olgan holda (3.147) tenglamani quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$G = G_o\cdot(1-\pi_1/\Delta p) \qquad (3.148)$$

Eslatma 2 dagi ma'lumotlar asosida $CaCl_2$ uchun konsentratsiyaning osmotik bosimga bog'liqlik grafikini quramiz (3.75-rasm). Grafikdan $\pi_{1b} = 0,46$ MPa; $\pi_{1k} = 2.0$ MPa ekanligini topamiz.



3.75-rasm. Temperatura 25°C dagi $CaCl_2$ ning suvli eritmasi osmotik bosimining konsentratsiyaga bog'liqligi.

Eritmaning teskari osmos qurilmalariga kirishi va chiqishidagi o'tkazuvchanligi quyidagiga teng:

$$G_b = G_0(1 - \pi_{1b}/\Delta p) = 2{,}78 \cdot 10^{-3}\ (1 - 0{,}46/5) = 2{,}52 \cdot 10^{-3}\ \text{kg/(m}^2 \cdot \text{s)}$$

$$G_{ox} = G_0(1 - \pi_{1ox}/\Delta p) = 2{,}78 \cdot 10^{-3}\ (1 - 2/5) = 1{,}67 \cdot 10^{-3}\ \text{kg/(m}^2 \cdot \text{s)}$$

Birinchi taxminda membrananing o'rtacha o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini o'rtacha arifmetik qiymat deb olsa bo'ladi:

$$\overline{G} = \frac{G_b + G_{ox}}{2} = \frac{2{,}52 + 1{,}67}{2} \cdot 10^{-3} = 2{,}09 \cdot 10^{-3}\, kg/(m^2 \cdot s)$$

Unda, membrananing ishchi yuzasi F ushbu qiymatga teng bo'ladi:

$$F = \frac{L}{G} = \frac{4{,}25}{2{,}09 \cdot 10^{-3}} = 2032 m^2$$

Qurilmani tanlash. O'ramli konstruksiyali qurilmalar ichida eng istiqbollisi bo'lib bir nechta o'ramali filtrlovchi elementlardan tarkib topgan modulli qurilmalar hisoblanadi. [130]. Bu turdagi konstruksiyalar o'lchami kichik, ixcham va unumdorligi katta.

3.76-rasmda oltita filtrlovchi elementli qurilma tasvirlangan. Legirlangan po'latdan truba shaklida tayyorlangan qobiq 9 da ketma-ket birgalikda o'ralgan membranali modul 6 lar joylashtirilgan. Qobiqning zichlanishi tiqin 3 ariqchalaridagi halqasimon rezina qistirma 2 lar yordamida amalga oshiriladi.

Tiqin 3 lar qurilmaga halqa 1 orqali mahkamlanadi. Filtrat chiqaruvchi truba 10 lar o'zaro mufta 14 yordamida birlashtirilgan.

Eng chetki modul trubasi maxsus tiqin 8 yordamida berkitiladi. Trubaning boshqa uchi filtrat yig'ish kamerasi 4 ga chiqarilgan.

Har bir o'ramli filtrlovchi element drenaj qatlami 12 va ikkala tomonida joylashgan membrana 13 lardan iborat. Ushbu paket filtrat chiqaruvchi truba 10 mahkamlanadi va uning qirralarining zichlanishi membrana chetlarini o'zaro yelimlash orqali erishiladi. Membranalararo kanallar yopishib qolmasligi va oqimni turbulizatsiya qilish uchun paketlar orasiga to'r-separator 11 qo'yiladi.

Filtrat chiqaruvchi trubalar o'rami maxsus panjaralar 7 ga mahkamlanadi. Panjaralar o'zaro tortqich 5 yordamida tortilib turadi va yaxlit bir modul hosil qiladi.

Modulning ishchi uzunligi l_m ishlab chiqariladigan membrana matosining eni (0,450 m) bilan belgilanadi va u 0,4 m.

O'zgaruvchan parametrlar quyidagilar:

– birga o'ralgan elementlar soni - n (odatda 4...12);
– paket uzunligi - l_p (0,6...1,8m);
– qurilma qobig'idagi modullar soni - n_m (2...6);
– to'r-separator qalinligi - δ_c(0,3...1 mm);
– paket qalinligi (drenaj qatlamli ikkita membrana) δ_p (0,5...1,5 mm).

Paket uzunligi tanlashda filtrat oqimiga drenajning gidravlik qarshiligi juda katta bo'lmasligi kerak. Buning uchun kichik o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan membrana (MGA-100) uzunligi l_p = 1,8 m, katta o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan membrana (MGA-80) uchun l_p = 0,6 m bo'lishi darkor. Albatta, elementlar soni ham o'zgaradi, ya'ni birinchi holat uchun 4, ikkinchisi uchun esa - 12.

Tanlangan MGA-90 membrana uchun l_p = 1 m, n_3 = 6 deb qabul qilamiz.

Modullar soni ortishi bilan qurilma konstruksiyasi va uni yig'ish jarayoni murakkablashadi. Lekin shu bilan birga, u ixcham bo'ladi va katta unumdorlikka ega bo'lgan qurilmalar uchun bu juda muhim ko'rsatkich. Shuning uchun, n_m =6 deb qabul qilamiz. To'r-separator qalinligi va drenaj qatlam qalinligini kamayishi gidravlik qarshilik pasayishiga olib keladi. Keyingi hisoblashlar uchun δ_c=0,5 mm deb olamiz.

Hisoblashlarda δ_p ni ushbu formuladan foydalanamiz:

$$\delta_p = \delta_o + 2\delta_1 + 2\delta_2 \qquad (3.149)$$

bu yerda, δ_o – drenaj materialining qalinligi (0,1-0.5 mm); δ_1 – «patak» qalinligi (0,1-0.4 mm); δ_2 – membrana qalinligi (0,1mm).

δ_o=0,4 mm va δ_1=0,2 mm deb qabul qilamiz. Unda

$$\delta_n = 0,4 + 0,4 + 0,2 = 1mm$$

Qurilmaning asosiy parametrlarini aniqlaymiz.

Bitta elementdagi membrana yuzasi:

$$F_e = 2l_n \cdot l_m = 2 \cdot 1 \cdot 0,4 = 0,8m^2 \qquad (3.150)$$

Bitta moduldagi membranalar ishchi yuzasi:

$$F_m = n_e \cdot F_e = 6 \cdot 0,8 = 4,8m^2 \qquad (3.151)$$

Qurilmadagi membranalar ishchi yuzasi:

$$F_a = n_m \cdot F_m = 6 \cdot 4,8 = 28,8m^2 \qquad (3.152)$$

Eritma o'tayotgan ko'ndalang kesim yuzasi:

$$S_c = n_e \cdot l_n \cdot \delta_c = 6 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-3} m^2 \qquad (3.153)$$

O'ramlar egallagan qurilma ko'ndalang kesim yuzasi:

$$S_n = n_e \cdot l_n \cdot \delta_n = 6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^{-3} m^2 \qquad (3.154)$$

Qurilmaning umumiy yuzasi quyidagiga teng:

$$S_a = (S_c + S_n) \cdot 1,1 = 9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1 = 9,9 \cdot 10^{-3} m^2 \qquad (3.155)$$

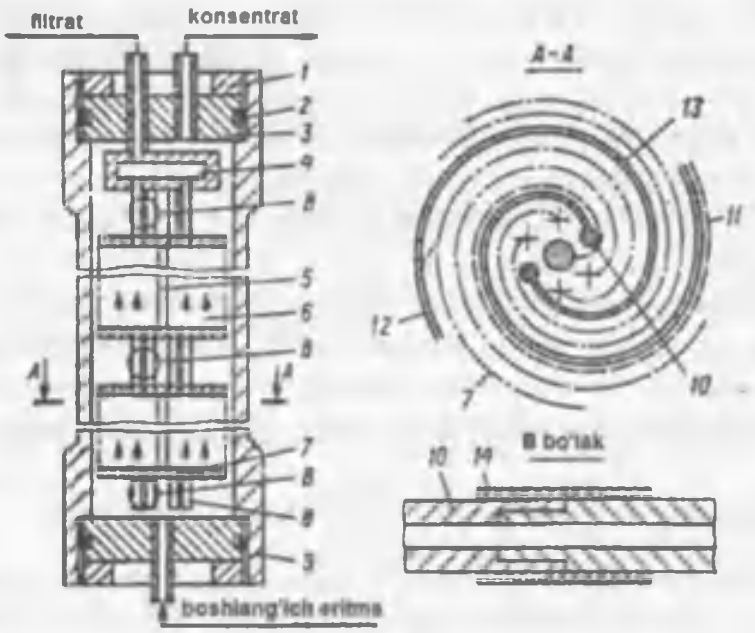
Qurilmaning ichki diametri:

$$d_e = \sqrt{\frac{4S_a}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,9 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,113m \qquad (3.156)$$

Membranali qurilmalarning umumiy soni:

$$n = \frac{F}{F_a} = \frac{2032}{28,8} = 70,5 = 71 \qquad (3.157)$$

Tozalash qurilmalarini seksiyalash. Qurilmalarni parallel ulash konsentratsiyani qutblashishiga salbiy ta'sir qilsa, ketma-ket ulash esa eritma harakati yo'lida gidravlik qarshilikni o'sishiga olib keladi.



3.76-rasm. O'ramli tipidagi qurilma tuzilish sxemasi.
1-tayanch halqa; 2-zichlovchi halqa; 3-yon tiqin; 4-filtrat yig'ish kamerasi; 5-o'q chivig'i; 6-membranali modul; 7-ramka; 8-tiqin; 9-qobiq; 10-filtrat chiqarish trubasi; 11-to'r-separator; 12-drenaj qatlam; 13-membrana; 14-mufta.

Ketma-ket ulanadigan qurilmalar sonini aniqlab, seksiyalash jarayonini o'tkazamiz. Lekin har bir seksiyaga va undagi qurilmaga eritma bir vaqtda, ya'ni parallel ravishda uzatilishini ta'minlaymiz.

Har bir qurilmaning har bir seksiyasida eritma o'rtacha tezligi bir xillik shartidan kelib chiqib, qurilma uzunligi bo'yicha sarfning kamayishi:

$$\overline{L_i} = \frac{L_b + L_{ox}}{2n_i} = const \tag{3.158}$$

$$q = \frac{L_b}{L_{ox}} = const \tag{3.159}$$

bu yerda, L_b, L_{ox} – i – seksiyada eritmaning boshlang'ich va oxirgi sarflari; n_i – i – seksiyadagi qurilmalar soni.

Seksiyadan chiqishda eritmaning sarfini seksiyaga kirishdagi eritma sarfi va seksiyadagi filtrat sarfi farqi sifatida aniqlash mumkin:

$$L_{ox} = L_b - L_{fa} \cdot n_i \tag{3.160}$$

(3.160) ga (3.159) dan L_{ox} qo'yib va i- seksiyadagi qurilmalar soniga nisbatan tenglamani yechsak, ushbu ko'rinishni olamiz:

$$n_i = L_b \left(1 - \frac{1}{q}\right) / L_{fa} \tag{3.161}$$

(3.161) tenglamasi qabul qilingan q ga mos keladigan har bir seksiyadagi qurilmalar sonini aniqlash imkonini beradi:

Har bir seksiyadagi eritmaning boshlang'ich sarfi ikkinchisidan boshlab, undan oldingi seksiyaning oxirgi sarfiga tengdir:

$$L_b = L_{ox(i-1)} \tag{3.162}$$

(3.159) inobatga olib, boshlang'ich eritma sarfi L_b ni bilgan holda quyidagini olamiz:

$$L_b = L_{b(i-1)} / q = L_b / q^{i-1} \tag{3.163}$$

(3.163) hisobga olgan holda (3.161) ni quyidagicha o'zgartiramiz:

$$n_i = \frac{L_b \cdot \left(1 - \frac{1}{q}\right)}{q^{i-1} \cdot L_{fa}} \tag{3.164}$$

Unda, 1-seksiya uchun:

$$n_1 = \frac{L_b \cdot \left(1 - \frac{1}{q}\right)}{L_{fa}} \tag{3.165}$$

(3.164) va (3.165) nisbatlarni taqqoslab, ushbu ko'rinishga kelamiz

$$n_i = \frac{n_1}{q^{i-1}} \tag{3.166}$$

(3.158) da berilgan shartlar haqqoniyligini tekshiramiz, ya'ni har bir seksiyaning har bir qurilmasida o'rtacha tezliklarning o'zgarmasligining bajarilishi:

$$\overline{L_i} = \frac{L_b + L_{ox}}{2n_i} = \frac{\frac{L_b}{q^{i-1}} + \frac{L_b}{q^{i-1} \cdot q}}{2L_b \left(1 - \frac{1}{q}\right) / \left(q^{i-1} \cdot L_{fa}\right)} = \frac{L_{fa}(q+1)}{2(q-1)} \tag{3.167}$$

Ko'rinib turibdiki, (3.158) dagi shartlar bajarilmoqda.

Seksiyalash jarayonini amalga oshirish uchun qurilma uzunligi bo'yicha sarfning ruxsat etilgan kamayishini belgilab olish zarur. Eritmaning qurilmada harakati davrida sarfini tez kamaytirish membrana yuzasida qattiq zarrachalarning o'tirib qolishiga olib keladi, ya'ni membrana yuzasi ifloslanadi va uning xarakteristikalarini pasaytiradi. Shuni ham inobatga olish kerakki, qurilma uzunligi bo'yicha sarfning ozgina o'zgarishini faqat ketma-ket ulash orqali ta'minlash mumkin yoki seksiyalar sonini ko'paytirish kerak. Ikkinchi usulda qurilmaning gidravlik qarshiligi ortib ketadi. Shuning uchun, q ni $1{,}1 \le q \le 1{,}6$ oraliqda tanlash tavsiya etiladi. Bunda K va q orasida quyidagi nisbat bo'lishi kerak.

K	1,5-2	3-4	5-7	8-12	13-20	>20
q	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6

Bizning sharoitimizda eritma 4 marotaba konsentrlanmoqda (K=4), shuning uchun q=1,2 deb qabul qilamiz. Endi, L_{fa} topamiz:

$$L_{fa} = \overline{G} \cdot F_a = 2{,}09 \cdot 10^3 \cdot 28{,}8\,602 \cdot 10^{-2}\, kg/s \tag{3.168}$$

(3.165) formula yordamida 1-seksiyadagi qurilmalar sonini aniqlaymiz:

$$n_1 = \frac{5{,}56 \cdot \left(1 - \frac{1}{1{,}12}\right)}{6{,}02 \cdot 10^{-2}} = 15{,}44 = 15 \qquad (3.169)$$

So'ng, (3.166) formuladan foydalanib keyingi seksiyalardagi qurilmalar sonini hisoblaymiz:

$$n_2 = 15{,}44 / 1{,}2 = 12{,}9 = 13;$$
$$n_3 = 15{,}44 / 1{,}2^2 = 10{,}7 = 11;$$
$$n_4 = 15{,}44 / 1{,}2^3 = 8{,}9 = 9;$$
$$n_5 = 15{,}44 / 1{,}2^4 = 7{,}4 = 7;$$
$$n_6 = 15{,}44 / 1{,}2^5 = 6{,}2 = 6;$$
$$n_7 = 15{,}44 / 1{,}2^6 = 5{,}2 = 5;$$
$$n_8 = 15{,}44 / 1{,}2^7 = 4{,}3 = 4;$$
$$n_9 = 15{,}44 / 1{,}2^8 = 3{,}6 = 4;$$

Qurilmalar sonini qo'shib, umumiy sonini aniqlaymiz

$$\sum_{i=1}^{8} n_i = 70; \qquad \sum_{i=1}^{9} n_i = 74$$

ya'ni 8 seksiya bo'lgan holda umumiy 71 ta gacha bitta qurilma yetishmaydi, 9 ta seksiya bo'lganda esa - uchta qurilma ortiqcha. 8 ta seksiya bilan chegaralanamiz va birinchi seksiyaga bitta qurilma qo'shib qo'yamiz.

Olingan ma'lumotlar asosida quyidagiga erishamiz:

seksiya №	1	2	3	4	5	6	7	8
seksiyadagi qurilmalar soni	16	13	11	9	7	6	5	4

Membrana selektivligini hisoblaymiz. Selektivlikni ushbu formuladan topamiz:

$$\lg\frac{1-\varphi}{\varphi} = \frac{U}{2{,}3\beta} + \lg\frac{1-\varphi_w}{\varphi_w} \qquad (3.170)$$

bu yerda, U – membrana yo'nalishidagi eritma harakatining tezligi; β – massa berish koeffitsiyenti.

Massa berish koeffitsiyenti β ni Nusseltning diffuzion kriteri Nu' dan topiladi. Eritma harakat qilayotgan kanalni bo'sh, ya'ni separatsiya qiladigan to'rning qarshiligini juda kichik deb hisoblaymiz.

Birinchi seksiyaga kirishdagi ko'ndalang kesim. Eritmaning harakat rejimini aniqlaymiz:

$$w_b = \frac{L_b}{\rho_b \cdot S_c \cdot n_1} = \frac{5{,}56}{1004 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 16} 0{,}115 m/s \qquad (3.171)$$

Eritmaning zichligi ρ, kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti ν va diffuziya koeffitsiyenti D larni eslatma 2 dan interpolatsiya qilib olamiz [130].

Halqasimon kanal uchun ekvivalent diametr quyidagiga teng:

$$d_e = 2\delta_c = 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-3}\, m^2$$

Reynolds kriteriysi:

$$\mathrm{Re}_b = \frac{w_b \cdot d_e}{\nu_b} = \frac{0,115 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{0,914 \cdot 10^{-3}} = 126$$

Shunday qilib, ajratilayotgan eritma qurilma ichida laminar harakat rejimida. Laminar rejim uchun ***Nu'*** hisoblash uchun ushbu formuladan foydalanish mumkin:

$$Nu' = a_1 \cdot \left(\mathrm{Re} \cdot \mathrm{Pr}' \cdot \frac{d_e}{l} \right)^1 \qquad (3.172)$$

bu yerda, ***Pr'=v/D*** –Prandtl diffuzion kriteriysi ; ***l*** – kanal uzunligi; a_1- koeffitsiyent, yassi kanallar uchun 2,24 va trubalilar uchun 1,95.

(3.169) tenglama ushbu shartlarda

$$100 \prec \left(\mathrm{Re} \cdot \mathrm{Pr}' \cdot \frac{d_e}{l} \right) \prec 5000 \qquad (3.173)$$

Agar ushbu shart bajarilmasa, boshqa kriterial tenglamalardan foydalanish tavsiya etiladi.

Laminar rejim va yassi membranalar uchun

$\zeta \le 0,02$ da $\qquad Nu' = \dfrac{4Pe'}{\ln(1 + 1,536 \cdot \zeta^{0,333}}$

$\zeta > 0,02$ da $\qquad Nu' = \dfrac{4Pe'}{\ln(\zeta + 6 - 5\exp\sqrt{\zeta/3}}$

bu yerda $\quad \zeta = \dfrac{4(Pe')^2 \cdot U \cdot l}{3w \cdot d_e}; \quad Pe' = \dfrac{U \cdot d_e}{D}$.

Turbulent rejim uchun

$l/d_e > 60$ da $\qquad Nu' = 0,04\,\mathrm{Re}^{0,75} \cdot (\mathrm{Pr}')^{0,33}$

Kanal uzunligi bitta modul uzunligiga tengligini $l=l_m$ inobatga olib, ushbu ifoda $RePr'd_e/l$, ni topamiz:

$$\mathrm{Pr}_b' = \frac{\nu_b}{D_b} = \frac{0,914 \cdot 10^{-6}}{1,287 \cdot 10^{-9}} = 780$$

$$\mathrm{Re} \cdot \mathrm{Pr}_b' \cdot \frac{d_e}{l_m} = 126 \cdot 780 \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{0,4} = 246$$

(3.173) formuladagi shart bajarilmoqda, unda

$$Nu' = 2,24\text{-}246^{1/3} = 2,24\text{-}6,26 = 14,0$$

$$\beta_i = Nu'_i D_i / d_e = 14,0 \cdot 1,287 \cdot 10^{-9} / 1 \cdot 10^{-3}\ m/s$$

$$U_b = G_b / \rho_b = 2,52 \cdot 10^{-3} / 1004 = 2,51 \cdot 10^{-6}\ m/s$$

$$lg = (1 - \varphi_n) / \varphi_n = 2,51 \cdot 10^{-6} / 2,3 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5}$$

Bundan $\varphi_n = 0,953$.

Oxirgi seksiyadan chiqishdagi ko'ndalang kesim.

Konsentrat sarfi:

$$L_{ox}=L_b - L_f=5,56-4,25=1,31 \text{ kg/s}$$

$$W_{ox}=L_{ox}/ \rho_{ox}S_c n_g=1,31/1023\cdot 3\cdot 10^{-3}\cdot 4=0,1066 \text{ m/s}$$

$$Re_{ox}= w_{ox}d_e/ \nu_{ox}=0,1066\cdot 1\cdot 10^{-3}/0,956\cdot 10^{-6}=111$$

$$Pr_{ox}= \nu_k/D_k=0,956\cdot 10^{-6}/1,292\cdot 10^{-9}=739$$

$$Re_{ox}\ Pr'_k d_e/ l_m=111\cdot 739\cdot 1\cdot 10^{-3}/0,4$$

$$Nu'_{ox}=2,24\cdot 205^{1/3}=13,2$$

$$B_{ox}= Nu'_{ox}\ D_{ox}/d_e=13,2\cdot 1,292\cdot 10^{-9}/1\cdot 10^{-3}=1,7\cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$U_{ox}= G_{ox}/\rho_{ox}=1,67\cdot 10^{-3}/1023=1,63\cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$lg=(1-\varphi_{ox})/ \varphi_{ox}=1,63\cdot 10^{-6}/2,3\cdot 1,7\cdot 10^{-5}+ lg(1-0,959)/0,959=2,6726$$

Bundan $\varphi_{ox} = 0,955$.

Shunday qilib, ko'rinib turibdiki selektivlik juda oz miqdorda o'zgarmoqda (birinchi seksiyaga kirishda 0,953 dan oxirgi seksiyadan chiqishda 0,955 gacha). Keyingi hisoblashlarda o'rtacha arifmetik miqdordan foydalanamiz:

$$\varphi=(\varphi_b +\varphi_{ox})/2=(0,953 + 0,955)/2=0,954$$

Tanlangan membrana to'g'riligini tekshiramiz. Buning uchun (3.145) formuladan filtratdagi tuz konsentratsiyasini topamiz:

$$x_2=(0,0081-4^{-(1-0,954)/0,954})/1-4^{-1/0,954}=0,000680 \text{ kg tuz/kg eritma}$$

(3.146) formuladan filtrat sarfini aniqlaymiz:

$$L_f = 5,56\ (1-4^{-1/0,954}) = 4,26 \text{ kg/s}$$

Filtrat bilan tuzning yo'qotilishi:

$$L_f x_2 -=4,26-0,000680 = 0,0029 \text{ kg/s}$$

Yo'qotilishlar protsent hisobida $(0,0029/0,0445)\cdot 100=6,53\%$ ni tashkil etadi. Bu ko'rsatkich 10% dan kam, shu sababli selektivligi yuqori boshqa membranaga o'tishning hojati yo'q.

Membrana yuzasini aniqlovchi hisob. Membrana o'tkazuvchanligi hisobini (3.147) formula yordamida membrana va filtrat yuzasidagi osmotik bosimni

inobatga olgan holda bajaramiz. Hisoblashlar uchun zarur x_3 i x_2 konsentratsiyalarni quyidagi usul yordamida aniqlaymiz:

$$\varphi=(x_1- x_2)/ x_1; \qquad \varphi_i=(x_3- x_2)/ x_3$$

Bundan, har bir ko'ndalang kesim uchun:

$$x_2=(1- \varphi)x_1- (1 - \varphi_i)x_3 \quad \text{yoki} \quad X_3 = X_2/(1 — \varphi_i)$$

Ikkita eng chetki ko'ndalang kesimlar uchun.

Qurilmaning birinchi seksiyasiga kirishdagi ko'ndalang kesim.

$$x_{2b}=(1- \varphi)\, x_{2b}=(1-0,954)0,008=0,000368 \text{ kg tuz/kg eritma}$$

$$x_{3b}= x_{2b}/1- \varphi_i=0,000368/(1-0,959)=0,00898 \text{ kg tuz/kg eritma}$$

Grafikdan (3.70-rasm) quyidagilarni topamiz [16]:

$$\pi_{3b} = 0,52 \text{ MPa}; \qquad \pi_{2b} = 0,02 \text{ MPa}$$

$$G_n=A[\Delta p-(\pi_{3b}- \pi_{2b})]= G_0/\Delta p[\Delta p-(\pi_{3b}- \pi_{2b})]= G_0(1-(\pi_{3b}- \pi_{2b})/ \Delta p)=2,78\cdot10^{-3}\cdot[1-(0,52-0,02)/5]=2,5\cdot10^{-3} \text{ kg/(m}^2\cdot\text{s)}$$

Qurilmaning oxirgi seksiyasidan, chiqishdagi ko'ndalang kesim.

$$x_{2ox}=(1- \varphi)\, x_{1ox}=(1-0,954)0,032h0.00147 \text{ kg tuz/kg eritma}$$

$$x_{3ox}= x_{2ox}/1- \varphi_i=0,0147/(1-0,959)=0,0359 \text{kg tuz/kg eritma}$$

$$\pi_{3b} = 2,24 \text{ MPa}; \qquad \pi_{2b} = 0,09 \text{ MPa}$$

$$G_{ox}=2,78\cdot10^{-3}(1-(2,24-0,09)/5)=1,58\cdot10^{-3} \text{ kg/(m}^2\cdot\text{s)}$$

O'tkazuvchanlikning konsentratsiyaga bog'liqligini ushbu tenglama ko'rinishida ifodalaymiz:

$$G = G_0 — sx_1 \qquad (3.174)$$

bu yerda, s – ushbu sistema uchun konstanta. Chetki ko'ndalang kesimlar uchun konstanta s ning qiymatlari:

$$s_b=G_0-G_b/x_{1b}=(2,78\cdot10^{-3}-2,50\cdot10^{-3})/0,008=0,035$$

$$s_{ox}=G_0-G_{ox}/x_{1ox}=(2,78\cdot10^{-3}-1,58\cdot10^{-3})/0,032=0,0375$$

Olingan ma'lumotlar orasidagi farq protsent hisobida quyidagiga teng:

$$(s_{ox}-s_b)/s_b\cdot100=(0,0375-0,035)/0,0375\cdot100= 6,67\%$$

Ushbu farq katta emas, shuning uchun (3.174) formula s ning o'rtacha arifmetik qiymatini aniqlashga qo'llash mumkin:

$$s = (s_{ox}+s_b)/2=(0,035+0,0375)/2=0,0362$$

Unda, o'tkazuvchanlik ushbu tenglamadan topiladi:

$$G = 0,00278 - 0,0362x_1.$$

Membrananing ishchi yuzasini ushbu formuladan aniqlash mumkin

$$F = \frac{L_b \cdot x_b^{1/\phi}}{\phi} \cdot \int_{x_{1b}}^{x_{1ox}} \frac{dx_1}{x_1^{1+\phi/\phi} \cdot (G_o - cx_1)} \qquad (3.175)$$

(3.175) formuladagi integral qiymati grafik usulda yoki intengrallab aniqlanadi. Agar selektivlik $\varphi > 0,9$ bo'lsa, yuqori aniqlikka ega bo'lgan (3.175) formulani qo'llash mumkin:

$$F = \frac{L_b \cdot x_b}{G_u} \cdot \left[-\frac{c}{G_o} \cdot 2,31 \lg \frac{(G_o - cx_{1ox}) \cdot x_{1b}}{(G_o - cx_{1b}) \cdot x_{1ox}} + \frac{1}{x_{1b}} - \frac{1}{x_{1ox}} \right] \qquad (3.176)$$

Ushbu hisoblash uchun $\varphi = 0,954 > 0,9$, shuning uchun (3.176) tenglamadan foydalanamiz:

$$F = \frac{5,56 \cdot 0,008}{0,00278} \cdot$$

$$\left[-\frac{0,00362}{0,00278} \cdot 2,31 \lg \frac{(0,00278 - 0,0362 \cdot 0,032) \cdot 0,008}{(0,00278 - 0,0362 \cdot 0,008) \cdot 0,032} + \frac{1}{0,008} - \frac{1}{0,032} \right] = 1875 m^2$$

Birinchi taxminiy hisoblashda olingan ma'lumotlar bilan farqlanishi quyidagiga teng:

$$(2032-1875)/1875 \cdot 100= 8,37\%$$

Ushbu farq 10% dan oshmagan, shuning uchun qayta hisoblash shart emas.

Gidravlik qarshilik hisobi. Ushbu hisoblashdan maqsad teskari osmos qurilmalaridagi absolyut bosimni (bu parametr mexanik hisoblashlar uchun zarur), nasos napori va quvvatini aniqlashdir.

$$\Delta p_{va} = \Delta p + \Delta p_o + \Delta p_g \qquad (3.177)$$

bu yerda, Δp – membrana orqali ishchi bosim farqi; Δp_o, Δp_g – eritma va filtrat oqimlariga gidravlik qarshilik.

To'r separator va drenaj qatlamlari hosil qilgan kanal orqali eritma harakati davridagi gidravlik qarshilikni ushbu formuladan topish mumkin:

$$\Delta p_a = \Delta p_{p.k}\,\zeta_1 \quad \Delta p_d = \Delta p_{p.k}\,\zeta_2$$

bu yerda, $\Delta p_{p.k}$ – g'ovak kanal gidravlik qarshiligi; ζ_1 va ζ_2 – to'r separator va drenaj materialiga bog'liq koeffitsiyent. Odatda $\zeta_1 = 5...10$, $\zeta_2 = 100...200$.

$\Delta p_{p.k}$ ning qiymati ushbu formuladan topiladi

$$\Delta p_{p.k} = \lambda l\, \rho_n w^2 / 2 d_e \qquad (3.178)$$

Laminar rejimda halqasimon va yassi tirqishli kanallarda gidravlik qarshilik koeffitsiyenti quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\lambda = 96/\mathrm{Re}\,.$$

Unda

$$\Delta p_{ak} = \frac{96}{\mathrm{Re}} \cdot \frac{l}{d_e} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = \frac{96 \nu l \rho w^2}{w d_e 2} = 48 \frac{\nu l \rho w}{d_e^2} \qquad (3.179)$$

Δp_a – parametrni aniqlash. Eritma birinchi seksiyadan oxirgi seksiyagacha halqasimon kanal orqali harakatlanadi. Kanalning umumiy uzunligi l quyidagi tenglikdan topiladi:

$$l = 0{,}4 \cdot 6 \cdot 8 = 19{,}2 \text{ m}.$$

Birinchi seksiyadan oxirgisigacha oqib borguncha eritmaning zichligi, qovushqoqlik koeffitsiyentlari juda kam o'zgarmagani uchun (3.179) formulaga ushbu parametrlarning o'rtacha arifmetik qiymatlari qo'yiladi:

$$w = \frac{w_b + w_{ox}}{2} = \frac{0{,}115 + 0{,}1066}{2} = 0{,}1108 m/s$$

$$\rho = \frac{\rho_b + \rho_{ox}}{2} = \frac{1004 + 1023}{2} = 1014 kg/m^3$$

$$\nu = \frac{\nu_b + \nu_{ox}}{2} = \frac{0{,}914 \cdot 10^{-6} + 0{,}956 \cdot 10^{-6}}{2} = 0{,}935 \cdot 10^{-6} m^2/s$$

$$\Delta p_{pk} = 48 \frac{0{,}935 \cdot 10^{-6} \cdot 1014 \cdot 19{,}2 \cdot 0{,}1108}{1 \cdot 10^{-6}} = 96000 Pa = 0{,}096 MPa$$

$\zeta_1 = 7$ deb qabul qilamiz. Unda

$$\Delta p_g = 0{,}096 \cdot 7 = 0{,}67 \text{ MPa}.$$

Δp_g – parametrni aniqlash. Kanalning umumiy uzunligi l_p, eni l_m.

Membrana «patagi», drenajning materialiga qaraganda ancha g'ovaksimon bo'lgani uchun uning gidravlik qarshiligi ancha kichik bo'ladi. Shu sababli, filtrat drenaj qatlami materialidan hosil bo'lgan kanal orqali harakatlanmoqda deb hisoblaymiz ($\delta_D = 0{,}4$ mm).

Ekvivalent diametr: $d_e = 2\,\delta_D = 0{,}8 \cdot 10^{-3}$ m.

Cheksiz kichkina uzunlikka ega bo'lgan g'ovaksimon kanalning istalgan ko'ndalang kesimi uchun bosimlar farqi quyidagiga teng:

$$dp = 48\frac{\nu\rho w}{d_e^2}\cdot dl \qquad (3.180)$$

Cheksiz kichkina uzunlikka ega bo'lgan g'ovaksimon kanalning istalgan ko'ndalang kesimidagi tezlik quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$w = \frac{G2l_m l}{\rho\delta_\partial l_m} = \frac{2Gl}{d_e^2} \qquad (3.181)$$

bu yerda, $2l_m l$ — membrana eng chetidan l masofadagi ko'ndalang kesimning yuzasi; $\delta_d l_m$ — kanal ko'ndalang kesimining yuzasi.

(3.181) formulani (3.180) ga qo'ysak:

$$dp = 48\frac{\nu\rho 2Gl}{d_e^2\cdot\rho\delta_d}\cdot dl = 192\frac{\nu G}{d_e^3}ldl$$

Tenglama chap tomonini 0 dan $\Delta p_{p.k}$, gacha, o'ng tomonini esa - 0 dan l_p gacha integrallasak:

$$\int_0^{\Delta p_{pk}} dp = 192\frac{\nu G}{d_e^3}\int_0^{l_p} dl$$

$$\Delta p_{pk} = 192\frac{\nu G}{d_e^3}\cdot\frac{l_n^2}{2} = 96\frac{\nu G l_n^2}{d_e^3} \qquad (3.182)$$

Qurilmadagi o'rtacha arifmetik o'tkazuvchanlikdan foydalanib (3.182) formula yordamida hisoblash o'tkazamiz:

$$G = \frac{G_b + G_{as}}{2} = \frac{2{,}5\cdot10^{-3} + 1{,}58\cdot10^{-3}}{\cdot\ 2} = 2{,}04\cdot10^{-3}\,kg/(m^2\cdot s)$$

$$\Delta p_{pk} = 96\cdot\frac{0{,}9\cdot10^{-6}\cdot2{,}04\cdot10^{-3}\cdot1^2}{0{,}8^3\cdot10^{-9}} = 344\,Pa$$

ζ_2= 150 deb qabul qilamiz. Unda

$$\Delta p_d = 344\cdot150 = 51600\ \text{Pa} = 0{,}052\ \text{MPa}.$$

(3.177) formula yordamida nasosning naporini hisoblaymiz, ya'ni:

$$\Delta p_n = 5{,}0 + 0{,}67 + 0{,}052 = 5{,}722\ \text{MPa}$$

Nasos napori (eritma zichligi ρ_n bo'lganda):

$$H = \frac{\Delta P_n}{\rho_n\cdot g} = \frac{5{,}722\cdot10^6}{1004\cdot9{,}81} = 580m$$

Hisoblab topilgan natijalar asosida ma'lum uslub yordamida nasos tanlanadi [130].

3-bob. Teskari osmos va ultrafiltrlash bo'yicha

Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Teskari osmos nima?
2. Permeat va retant nima?
3. Membrana nima?
4. Ultrafiltrlash jarayonining mexanizmini tushuntiring.
5. Osmotik bosim nima?
6. Dializ nima?
7. Baromembran, diffuzion-membranali, termomembran jarayonlarni ta'riflab bering.
8. Yassi yuzali, membrana elementli qurilma konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
9. Silindrik membrana elementli qurilma konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
10. O'ramli filtr elementli qurilma konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
11. Ichi bo'sh, tolalari parallel joylashtirilgan membrana elementli qurilma konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
12. Ichi bo'sh, dasta tolali membrana elementli qurilma konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
13. Ichi bo'sh, U- simon tolali membranali qurilma konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
14. Membranali qurilmalarni hisoblash ketma-ketligi.

4-bob. ISSIQLIK ALMASHINISH JARAYONLARI

Issiqlik o'tkazish

4.1. Umumiy tushunchalar

Temperaturasi yuqori bo'lgan jismdan temperaturasi past jismga issiqlikning o'z - o'zidan, qaytmas o'tish jarayoniga ***issiqlik almashinish*** deyiladi.

Jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi, bu har xil temperaturali bo'lgan jismlarning temperaturalar farqidir. Termodinamikaning 2-qonuniga binoan, issiqlik har doim temperaturasi yuqori jismdan temperaturasi past jismga o'tadi.

Issiqlik (issiqlik miqdori) – bu issiqlik almashinish jarayonining energetik xarakteristikasi bo'lib, jarayon mobaynida uzatilgan yoki olingan energiya miqdori bilan belgilanadi.

Issiqlik almashinish jarayonida ishtirok etuvchi jismlar issiqlik tashuvchi eltkich yoki ***issiqlik eltkich*** deb nomlanadi. Issiqlik o'tkazish – issiqlik energiyasining tarqalish jarayonlari to'g'risidagi fan.

Issiqlik almashinish jarayonlariga isitish, sovitish, kondensatsiyalash, bug'lanish va bug'latishlar kiradi. Ushbu jarayonlarni amalga oshirish uchun mo'ljallangan qurilmalar ***issiqlik almashinish*** qurilmalari deb ataladi.

Ma'lumki, issiqlik almashinish jarayonlarida kamida 2 ta turli temperaturali muhitlar ishtirok etadi. O'z issiqlik energiyasini uzatuvchi, yuqori temperaturali muhit – ***issiqlik eltkich*** deb atalsa, issiqlik energiyasini qabul qiluvchi past temperaturali muhit esa – ***sovuqlik eltkich*** deb ataladi.

Issiqlik va sovuqlik eltkichlar kimyoviy bardoshli bo'lishi, qurilmalarini yemirmasligi va uning devorlarida qattiq, g'ovak, quyqa hosil qilmasligi kerak. Shuning uchun, issiqlik yoki sovuqlik eltkichlarni tanlashda jarayon temperaturasi, narxi va ularni qo'llanish sohalari kabi ko'rsatkichlarga katta ahamiyat berish kerak.

Issiqlik asosan 3 xil usulda tarqaladi: issiqlik o'tkazuvchanlik, issiqlik nurlanishi va konveksiya.

Issiqlik o'tkazuvchanlik – bu bir-biriga bevosita tegib turuvchi mikrozarrachalarning tartibsiz (issiqlik) harakati tufayli issiqlik tarqalishiga aytiladi. Bu molekulalar (gazlar, tomchili suyuqliklar), yoki atomlar (qattiq jism kristallik panjaralarida), yoki erkin elektronlar diffuziyasi (metallarda) harakatlari bo'lishi mumkin. Qattiq jismlarda issiqlikning tarqalishi asosan issiqlik o'tkazuvchanlik usulida amalga oshadi.

Konveksiya – bu makroskopik hajmdagi gaz yoki suyuqliklarning harakati va aralashishi tufayli issiqlikning tarqalishidir. Issiqlik tarqalishi tabiiy yoki erkin konveksiya usulida, ya'ni suyuqlik yoki gazlarning turli nuqtalaridagi zichliklarning farqi tufayli sodir bo'ladi. Ikkinchi usul, bu majburiy konveksiyadir, ya'ni butun suyuqlik hajmining majburiy harakati tufayli ro'y beradi.

Issiqlik nurlanishi – bu nurlanuvchi jism atom yoki molekulalarining issiqlik harakati tufayli turli uzunliklardagi to'lqinlarning elektromagnit tebranishi orqali tarqalishidir. Hamma jismlar energiya tarqatishi mumkin va uni boshqa jismlar yutib oladi va yana issiqlikka aylanadi. Nurlanish issiqligi nur tarqalanish va nur yutishlarning yig'indisidan iboratdir.

Temperaturasi turli bo'lgan muhitlar orasida issiqlik o'tkazish turg'un va noturg'un sharoitlarda amalga oshishi mumkin.

Turg'un jarayonlarda qurilmaning temperatura maydoni vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi. Noturg'un jarayonlarda esa, vaqt o'tishi bilan temperatura o'zgaradi. Uzluksiz ishlaydigan qurilmalarda jarayonlar turg'un boradi, uzlukli (davriy) ishlaydigan qurilmalarda esa – jarayonlar noturg'un bo'ladi. Undan tashqari, davriy ishlaydigan qurilmalarni yurgizish va to'xtatish hamda ish rejimlari o'zgargan hollarda noturg'un jarayonlar sodir bo'ladi.

Issiqlik o'tkazish jarayonining asosiy kinetik xarakteristikalari bo'lib, o'rtacha temperaturalar farqi, issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti va uzatilayotgan issiqlik miqdorlari hisoblanadi.

Issiqlik almashinish qurilmalarini hisoblashda quyidagi parametrlar topiladi:

1. Issiqlik oqimi (qurilmaning issiqlik yuklamasi), ya'ni issiqlik miqdori Q hisoblanadi. Issiqlik oqimini aniqlash uchun issiqlik balansi tuziladi va u Q ga nisbatan yechib topiladi;

2. Berilgan vaqt ichida zarur issiqlik miqdorini uzatishni ta'minlovchi qurilmaning issiqlik almashinish yuzasi aniqlanadi.

4-1 jadval

Issiqlik (sovuqlik) eltkichlarning eng keng tarqalgan turlari

t/r	Issiqlik eltkichning nomi	Ishchi sharoitlar	
		Temperatura, °C	Bosim, MPa
1.	Geliy	≤ -272	≤ 0,1
2.	Vodorod	≤ -257	≤ 1,0
3.	Azot, kislorod, havo	≤ -210	≤ 20,0
4.	Metan	-100...-160	≤ 4,0
5.	Etan, etilen, freonlar	-70...-150	≤ 4,0
6.	Ammiak, oltingugurt va uglerod dioksidi, freon -12,22	0...-70	≤ 1,5
7.	Etilenglikol	0...-65	≤ 0,1
8.	Kalsiy xlorid eritmasi	0...-50	≤ 0,1
9.	Freon –11, 21, 113, 114	0...-10	≤ 0,3
10.	Suv	0...-100	0,1
11.	To'yingan suv bug'i	100...374	0,1...22,5
12.	Gazoyl	0...250	0,1...4,0
13.	Difenil, difeniloksid, difenil aralashmalari (yuqori temperaturali organik issiqlik eltkich)	200..300	0,1
14.	Silikonlar (yuqori mol.kremniy organik birikma)	260...350	0,1...0,6
15.	Qalay va surmalarning qo'rg'oshin bilan qotishmasi	320	0,1
16.	HTS quyuq eritmasi (40% $NaNO_2$, 17% $NaNO_3$ va 53% KNO_3)	150...530	0,1
17.	Tutun gazlari	420...1000	0,1
18.	Qattiq issiqlik eltkichlar (shamot, alund va hokazo)	≤ 1500	0,1
19.	Gazlardan elektr razryadi o'tganda hosil bo'lgan gazlar	≤ 3500	0,1

Buning uchun issiqlik o'tkazishning asosiy tenglamasidan foydalaniladi.

Issiqlik asosan 3 usulda uzatilishi mumkin. ***Issiqlik o'tkazuvchanlik, konveksiya*** va ***issiqlik nurlanishi.***

4.1.1. Issiqlik balansi

Temperaturasi yuqori issiqlik eltkichdan berilayotgan issiqlik miqdori Q_1 temperaturasi past eltkichni isitish uchun Q_2 va ma'lum bir qismi qurilmadan atrof muhitga yo'qotilayotgan issiqlik o'rnini to'ldirish uchun $Q_{yo'q}$ sarf bo'ladi. Odatda, issiqlik qoplamali qurilmalar uchun $Q_{yo'q}$ miqdori foydali issiqlik miqdorining *3...5%* ni tashkil etadi. Shuning uchun, bu turdagi qurilmalarni hisoblashda $Q_{yo'q}$ ni e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Unda, issiqlik balansi quyidagi tenglik bilan ifodalanishi mumkin:

$$Q = Q_1 = Q_2 \tag{4.1}$$

bu yerda, Q – qurilmaning issiqlik yuklamasi.

Agar eltkichning massaviy sarfi G_1, uning qurilmaga kirish entalpiyasi I_{1b} va chiqishdagisi esa I_{1ch}, sovuqlik eltkichning sarfi G_2 qurilmaga kirishdagi entalpiyasi I_{2b} va chiqishdagisi I_{ch} bo'lganda (4.1) tenglikni ushbu ko'rinishni oladi:

$$Q = G_1\left(I_{1b} - I_{1ch}\right) = G_2\left(I_{2ch} - I_{2b}\right) \tag{4.2}$$

Agar issiqlik almashinish jarayonida issiqlik eltkichning agregat holati o'zgarmasa, unda uning entalpiyasi ushbu ko'rinishda ifodalanadi:

$$I_{1b} = c_{1b}t_b \qquad I_{1ch} = c_{1ch}t_{1ch}$$

$$I_{2ch} = c_{2ch}t_{2ch} \qquad I_{2b} = c_{2b}t_{2b} \tag{4.3}$$

Odatda, texnik hisoblarda ma'lum temperatura uchun entalpiya qiymati jadval va diagrammalardan topiladi. Agar ikkala eltkichning solishtirma issiqlik sig'imlari (c_1 va c_2) temperaturaga bog'liq emas deb hisoblansa, unda issiqlik balansining tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$Q = G_1c_1\left(t_{1b} - t_{1ch}\right) = G_2c_2\left(t_{2ch} - t_{2b}\right) \tag{4.4}$$

4.1.2. Temperatura maydoni va gradiyenti

Muhitlarda issiqlik oqimi va temperaturaning taqsimlanishi o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlash issiqlik almashinish nazariyasining asosiy vazifalaridan biridir.

Tekshirilayotgan muhitning hamma nuqtalari uchun istalgan biror vaqtdagi temperatura qiymatlari majmuiga ***temperatura maydoni*** deyiladi.

Eng umumiy holatda ma'lum bir nuqtadagi temperatura t shu nuqtaning koordinatalari (x, y, z)ga bog'liq bo'ladi va vaqt τ o'tishi bilan o'zgaradi. Demak, temperatura maydonini ushbu funksiya bilan ifodalash mumkin:

$$\tau = f\left(x, y, z, \tau\right) \tag{4.5}$$

Ushbu bog'liqlik turg'un temperatura maydonini ifodalovchi tenglamadir.

Xususiy holatda (4.5) tenglama faqat fazoviy koordinatalar funksiyasi, ya'ni:

$$t = f\left(x, y, z\right) \tag{4.6}$$

va unga tegishli turg'un temperatura maydonini ifodalaydi.

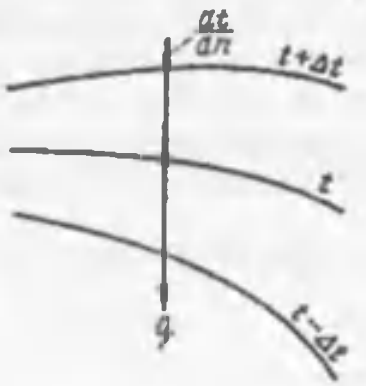
Agar jismda biror tekislik o'tkazilsa va ushbu tekislikdagi bir xil temperaturali nuqtalarni birlashtirsak, o'zgarmas temperaturali chiziq (izoterma) ga ega bo'lamiz. Temperaturasi bir xil nuqtalardan tashkil topgan jismning yuzasi *izotermik yuza* deb nomlanadi.

Ikkita bir-biriga yaqin joylashgan izotermik yuzalarning temperaturalar farqi Δt bo'lsa, ular orasidagi eng qisqa masofa Δn bo'ladi (4.1-rasm). Agar ikkala izotermik

yuzalar bir-biriga yaqinlashib borsa $\frac{\Delta t}{\Delta n}$ nisbat ushbu chegaraga intiladi:

$$\lim\left(\frac{\Delta t}{\Delta n}\right)_{\Delta n \to 0} = \frac{\partial t}{\partial n} = gradt \qquad (4.7)$$

Izotermik yuzaga normal bo'yicha



4.1-rasm. Temperatura gradiyentini aniqlashga oid.

yo'nalgan temperatura hosilasi *temperatura gradiyenti* deb nomlanadi.

Temperatura gradiyenti vektor kattalikdir.

Temperatura gradiyenti nolga teng bo'lmagan *(gradt ≠0)* sharoitdagina issiqlik oqimi hosil bo'lishi mumkin. Ma'lumki, issiqlik oqimi har doim temperatura gradiyenti chizig'i bo'ylab harakat qiladi. Lekin uning harakat yo'nalishi temperatura gradiyentiga qarama-qarshi bo'ladi.

4.2. Issiqlik o'tkazuvchanlik

Furye qonuni. Qattiq jismlarda issiqlik tarqalish jarayonini tajribaviy o'rganish natijasida Furye (1768–1830) issiqlik o'tkazuvchanlikning asosiy qonunini kashf etdi. Ushbu qonunga binoan, issiqlik o'tkazuvchanlik orqali uzatilgan issiqlik miqdori dQ temperatura gradiyenti $\partial t/\partial n$, vaqt $d\tau$ ga va issiqlik oqimi yo'nalishiga perpendikular bo'lgan maydon yuzasi dF ga tugri proporsional bo'ladi, ya'ni:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF \cdot d\tau \qquad (4.8)$$

(4.8) formuladagi proporsionallik koeffitsiyenti λ issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti deb ataladi. Bu koeffitsiyent jismning issiqlik o'tkazish qobiliyatini xarakterlaydi va quyidagi o'lchov birligiga ega:

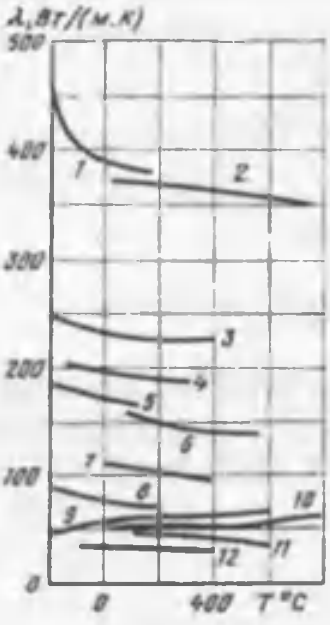
$$[\lambda] = \left[\frac{dQ\partial n}{\partial t dF \cdot d\tau}\right] = \left[\frac{J \cdot m}{K \cdot m^2 \cdot s}\right] = \left[\frac{Vt}{m \cdot K}\right]$$

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti issiqlik almashinish yuza birligidan (1 m^2) vaqt birligi davomida izotermik yuzaga normal bo'lgan 1m uzunlikka to'g'ri kelgan temperaturalarning 1 K (°C) ga pasayishi vaqtida uzatilgan issiqlik miqdorini ifodalaydi.

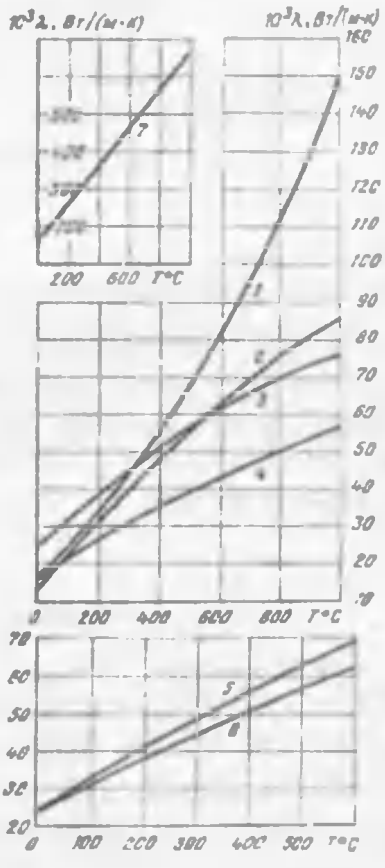
Jismlarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti uning tarkibi, fizik-kimyoviy xossalari, temperatura, bosim va boshqa kattaliklarga bog'liq. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti turli materiallar uchun quyidagi oraliqda bo'ladi:

– gazlar uchun - 0,005…0,165 Vt/(m·K);
– suyuqliklar uchun - 0,080…0,7 Vt/(m·K);
– issiqlik qoplama va qurilish materiallari uchun - 0,220…3,0 Vt/(m·K);
– metallar uchun - 2,3…458,0 Vt/(m·K).

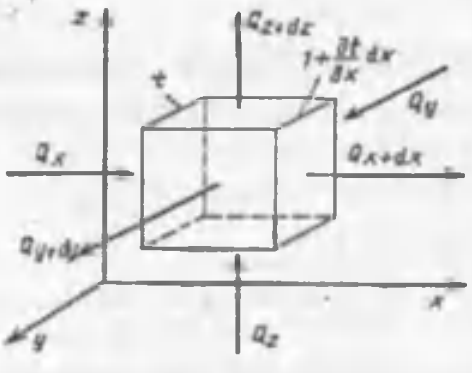
Kimyo va boshqa sanoatlarda qo'llaniladigan ayrim metallar issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti quyidagi qiymatlarga ega: legirlangan po'lat - 14…23; qo'rg'oshin – 35; uglerodli po'lat – 45; nikel – 58; cho'yan – 63; aluminiy - 204; mis – 384; kumush - 458 Vt/(m·K). Sanoatda eng ko'p qo'llaniladigan metallar va suyuqliklar issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentlari 4.2 va 4.3-rasmlarda keltirilgan.



4.2-rasm. Ayrim metallarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentlari.
1-toza mis; 2-mis 99,9%; 3-aluminiy 99,7%; 4-aluminiy 99,0%; 5-toza marganets; 6-marganets 99,6% ; 7- rux 99,8%; 8-toza platina; 9-nikel 99%; 10-nikel 99,2%; 11-temir 99,2%; 12 texnik toza qo'rg'oshin.



4.3-rasm. Turli gazlarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisiyentlari.
1-suv bug'i; 2-uglekislota; 3-havo; 4-argon; 5-kislorod; 6- azot; 7- vodorod.



4.4-rasm. Furyening issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

4.2.1. Issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi

Issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan issiqlikning tarqalishi matematik usulda differensial tenglama bilan ifodalanishi mumkin. Ushbu tenglama energiyaning saqlanish qonuni asosida keltirib chiqariladi va issiqlik tarqatayotgan jism

yoki muhitning fizik xossalari (zichlik ρ, issiqlik sig'im s, issiqlik o'tkazuvchanlik λ) hamma yo'nalishlarda va vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi deb qabul qilinadi. Issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasini keltirib chiqarish uchun qattiq jismdan qirralari dx, dy va dz bo'lgan elementar parallelepiped ajratib olinadi (4.4-rasm).

Agar parallelepipedning chap orqa va ostki tomonlaridan $d\tau$ vaqt mobaynida Q_x, Q_y va Q_z miqdorda issiqlik kirsa, qarama-qarshi - o'ng, old va ustki – tomonlaridan esa o'z navbatida Q_{x+dx}, Q_{y+dy} va Q_{z+dz} miqdorda issiqlik chiqadi.

Biror $d\tau$ vaqt ichida parallelepipedga kirgan va undan chiqqan issiqliklaming farqi ushbu ifodadan topiladi:

$$dQ = (Q_x - Q_{x+dx}) + (Q_y - Q_{y+dy}) + (Q_z - Q_{z+dz}) \qquad (4.9)$$

Furye qonuniga binoan (4.9) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$Q_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dydzd\tau$$

$$Q_{x+dx} = -\lambda \frac{\partial\left(t + \frac{\partial t}{\partial x}d\right)}{\partial x} dydzd\tau = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dydzd\tau - \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dxdydzd\tau$$

Demak,

$$Q_x - Q_{x+dx} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dxdydzd\tau \qquad (4.10)$$

Yuqoridagi usuldan foydalanib, qolgan qirralar orqali o'tgan issiqlik miqdorlari aniqlanadi:

$$Q_y - Q_{y+dy} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} dxdydzd\tau \qquad (4.11)$$

$$Q_z - Q_{z+dz} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} dxdydzd\tau \qquad (4.12)$$

(4.11)...(4.13) tenglamalarning chap va o'ng tomonlarini qo'shib, quyidagi ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$dQ = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) d\tau dxdydz \qquad (4.13)$$

Energiya saqlanish qonuniga binoan, dQ issiqlik miqdorining farqi $d\tau$ vaqt ichida parallelepiped entalpiyasining o'zgarishiga sarflanayotgan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi, ya'ni:

$$dQ = c\rho dxdydz \frac{\partial t}{\partial \tau} d\tau \qquad (4.14)$$

bu yerda, c – materialning solishtirma issiqlik sig'imi.

(4.13) va (4.14) ifodalarni solishtirish natijasida Furyening issiqlik o'tkazuvchanlik differensial tenglamasini olamiz:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho}\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right) \qquad (4.15)$$

(4.15) tenglamadagi $\lambda/(c\rho)$ proporsionallik ko'paytmasi temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti deb nomlanadi va u quyidagi o'lchov birligiga ega:

$$[a] = \left[\frac{\lambda}{c\rho}\right] = \left[\frac{\frac{Vt}{m \cdot K}}{\frac{J}{kg \cdot K} \cdot \frac{kg}{m^3}}\right] = \left[\frac{\frac{J}{s \cdot m \cdot K}}{\frac{J}{kg \cdot K} \cdot \frac{kg}{m^3}}\right] = \left[\frac{m^2}{s}\right]$$

Ushbu koeffitsiyent jismning issiqlik o'tkazish qobiliyatini xarakterlaydi.

Odatda, Furyening issiqlik o'tkazuvchanlik differensial tenglamasini ushbu ko'rinishda yoziladi:

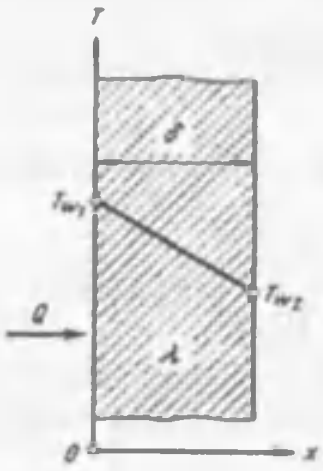
$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right) \qquad \text{yoki} \qquad \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 \cdot t \qquad (4.16)$$

Issiqlik almashinish qurilmalarining isitish yuzalari tekis, silindrik yoki sferik shaklda bo'lishi mumkin.

Shuning uchun, yuqorida qayd etilgan geometrik shaklli devorlarda issiqlikning tarqalishi muhim amaliy ahamiyatga ega.

4.2.2. Tekis devorning issiqlik o'tkazuvchanligi

Bir jinsli, devorning qalinligi δ va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ bo'lgan bir qatlamli tekis devordan issiqlik o'tishini ko'rib chiqamiz. Devorning tashqi yuza temperaturasi t_{w1}, ichki yuzasiniki esa t_{w2} ga teng, lekin $t_{w1} > t_{w2}$ (4.5-rasm).



4.5-rasm. Tekis bir qatlamli devorning issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

Bir qatlamli, tekis devorning issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini keltirib chiqarish uchun Furyening differensial tenglamasi (4.16) dan foydalanamiz.

Ma'lumki, turg'un issiqlik rejimda devorning turli nuqtalaridagi temperatura, vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi, ya'ni $dt/d\tau=0$. Undan tashqari, temperatura maydoni bir o'lchamli bo'ladi.

Demak, temperatura faqat bir yo'nalish (x o'qi) bo'ylab o'zgaradi, ya'ni:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0$$

Shunday qilib, turg'un jarayonda bir qatlamli tekis devor uchun (4.16) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0 \qquad (4.17)$$

(4.17) tenglamani integrallasak, quyidagi tengliklarni olamiz:

$$\frac{dt}{dx} = C_1; \qquad t = C_1 x + C_2 \qquad (4.18)$$

Integrallash konstantalari C_1 va C_2 larni chegaraviy ($x=0$ va $x=\delta$) shartlardan aniqlaymiz:

$$C_2 = t_{w1}; \qquad C_1 = \frac{dt}{dx} = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\delta} \qquad (4.19)$$

Agar (4.19) ni (4.18) ga qo'ysak, quyidagi natijaga ega bo'lamiz:

$$t = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\delta} \cdot x + t_{w2} \qquad (4.20)$$

Oxirgi (4.20) tenglamani tahlil qilsak, ushbu xulosaga kelish mumkin: turg'un issiqlik jarayonida tekis devorning qalinligi bo'ylab temperatura to'g'ri chiziq qonuniga binoan o'zgaradi va temperatura gradiyenti o'zgarmas qiymatini saqlaydi.

Aniqlangan temperatura gradiyenti qiymatini (4.8) tenglamaga qo'ysak, issiqlik o'tkazuvchanlikning asosiy qonunini ifodalovchi tenglamani olamiz:

$$dQ = \lambda \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta} dF d\tau \quad \text{yoki}$$

$$Q = \frac{\lambda}{\delta}(t_{w1} - t_{w2})\ F\tau \qquad (4.21)$$

bu yerda, λ/δ – nisbat devorning issiqlik o'tkazuvchanligini, unga teskari kattalik δ/λ - devorning termik yoki issiqlik qarshiligini ifodalaydi.

Agar tekis devor n ta (bir-biridan farqli) qatlamdan iborat bo'lsa, turg'un issiqlik almashinish jarayonida har bir qatlam orqali bir xil miqdorda issiqlik o'tadi (4.6-rasm) va u turli qatlamlar uchun quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$Q = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(t_{w1} - t_a)\ F\tau \quad \text{yoki} \quad Q\frac{\delta_1}{\lambda_1} = (t_{w1} - t_a)\ F\tau$$

$$Q = \frac{\lambda_2}{\delta_2}(t_a - t_b)\ F.\tau \quad \text{yoki} \quad Q\frac{\delta_2}{\lambda_2} = (t_a - t_b)\ F\tau$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$Q = \frac{\lambda_n}{\delta_n}(t_n - t_{w2})\ F\tau \quad \text{yoki} \quad Q\frac{\delta_n}{\lambda_n} = (t_n - t_{w2})\ F\tau$$

Tenglamalar o'ng va chap qismlarini qo'shish natijasida ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$Q\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \ldots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}\right) = (t_{w1} - t_2)\ F\tau$$

yoki

$$\frac{dr}{r} = -\lambda \frac{2\pi L\tau}{Q} dt$$

ushbu tenglamani r_i dan r_t va t_{w1} dan t_{w2} oraliqda integrallasak, quyidagi ko'rinishga erishamiz:

$$\ln \frac{r_m}{r_n} = -\frac{2\pi L\tau}{Q}\left(t_{w2} - t_{w1}\right)$$

yoki $r_i/r_t = d_i/d_i$ ekanligini hisobga olsak, ushbu formulani olamiz:

$$Q = \frac{2\pi L\tau\left(t_{w1} - t_{w2}\right)}{\frac{1}{\lambda} 2{,}3 \lg \frac{d_T}{d_n}} \qquad (4.23)$$

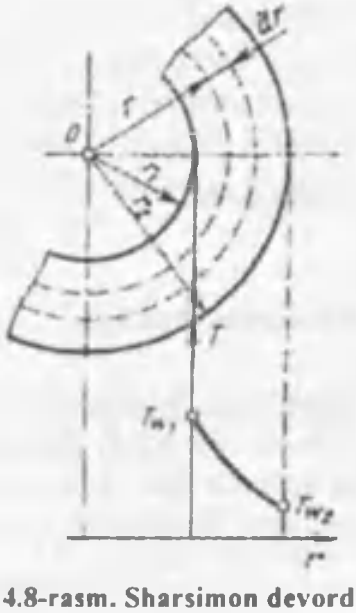
Keltirilib chiqarilgan (4.23) formuladan ko'rinib turibdiki, silindrik devorlarning qalinligi bo'yicha temperatura logarifmik (egri chiziq) qonuni asosida o'zgaradi. Ushbu tenglama turg'un issiqlik o'tish jarayoni uchun silindrik devorning issiqlik o'tkazuvchanligini ifodalaydi.

Xuddi shu yo'l bilan n - qatlamli silindrik devor orqali issiqlik o'tkazuvchanlik usulida uzatilgan issiqlik miqdorini aniqlash mumkin:

$$Q = \frac{2\pi L\tau\left(t_{w1} - t_{w2}\right)}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\lambda_i} 2{,}3 \lg \frac{d_{i+1}}{d_i}} \qquad (4.24)$$

4.2.4. Sharsimon devorning issiqlik o'tkazuvchanligi

Devor materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ, ichki radiusi r_1 va tashqi radiusi r_2 bo'lgan sharsimon devorning issiqlik o'tkazuvchanligini ko'rib chiqamiz (4.8-rasm).



4.8-rasm. Sharsimon devorda temperaturaning taqsimlanishi.

Bunday shakldagi jismlarda temperatura tarqalishi bir o'lchovli bo'lgani uchun, temperaturaning devorda taqsimlanishi shaming faqat radiusiga bog'liq. Shuning uchun sferik koordinatalar sistemasida issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$\frac{d^2t}{dr^2} + \frac{2}{r}\frac{dt}{dr} = 0 \qquad (4.25)$$

Devorning istalgan qalinligidagi temperatura ushbu formuladan topiladi:

$$t(r) = -\frac{C_1}{r} + C_2 \qquad (4.26)$$

Agar sharsimon devorda temperaturaning taqsimlanishi giperbola egri chizig'i

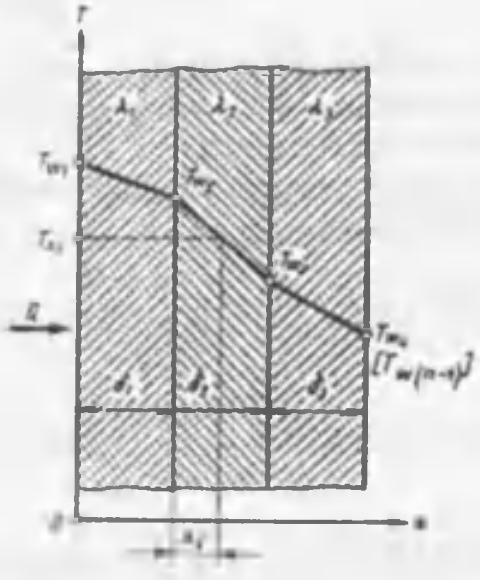
Bunda

$$Q = \frac{(t_{w1} - t_{w2})\ F\tau}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \qquad (4.22)$$

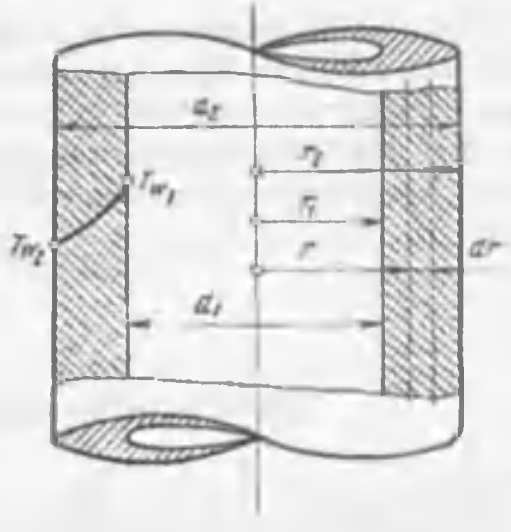
bu yerda, i – devor qatlamining tartib raqami; n – qatlamlar soni.

4.2.3. Silindrik devorning issiqlik o'tkazuvchanligi

Uzunligi L, ichki radiusi r_1 va tashqi radiusi r_t bo'lgan silindrik devorning issiqlik o'tkazuvchanligini ko'rib chiqamiz (4.7-rasm). Issiqlik o'tkazish turg'un jarayonda amalga oshayotgani uchun devorning ichki va tashqi yuzalaridagi temperaturalari o'zgarmasdir, ya'ni $t_{w1} = t_{w2}$. Ammo ichki va tashqi yuzalar bir-biriga teng bo'lmagani uchun (4.21) tenglamani qo'llash o'rinli emas.



4.6-rasm. Tekis, ko'p qatlamli devorning issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini keltirib chiqarishga oid.



4.7-rasm. Silindrik devorning issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

Temperatura faqat radius bo'ylab o'zgarmoqda va $t_{w1} > t_{w2}$ deb qabul qilamiz. Silindrik devorning biror r radiusdagi yuzasi $F = 2\pi rL$ bo'lsin. Agar F ning qiymatini (4.8) tenglamaga qo'ysak, bir o'lchovli maydon uchun Q ni topish mumkin:

$$Q = -\lambda 2\pi rL\tau \frac{dt}{d\delta}$$

bu yerda, $\delta = r_t - r_1$.

Agar $d\delta$ o'rniga dr ni qo'ysak, unda

$$Q = -\lambda 2\pi rL\tau \frac{dt}{dr}$$

shaklida, tashqi temperaturasi t_{w1} va ichki temperaturasi t_{w2} bo'lganda integrallash konstantalari C_1 va C_2 ushbu tenglamalar sistemasidan topiladi:

$$t_{w1} = -\frac{C_1}{r_1} + C_2; \quad t_{w2} = -\frac{C_1}{r_2} + C_2 \tag{4.27}$$

ya'ni

$$C_1 = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{1}{r2} - \frac{1}{r_1}}; \quad C_2 = \frac{r_2 t_{w2} - r_1 t_{w1}}{r_2 - r_1} \tag{4.28}$$

Olingan C_1 va C_2 larning qiymatlarini (4.26) ga qo'ysak, ushbu ifodani olamiz:

$$t(r) = \frac{t_{w1}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_2}\right) + t_{w2}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r}\right)}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} \tag{4.29}$$

Turg'un jarayonda to'liq issiqlik oqimi ushbu formuladan aniqlanadi:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dr} 4\pi r^2 \tag{4.30}$$

(4.28) va $dt/dr = C_1/r^2$ lardan foydalanib, sharsimon devor orqali issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan o'tgan issiqlik miqdorini topish formulasini keltirib chiqarish mumkin:

$$Q = \frac{4\pi\lambda}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} \left(t_{w_1} - t_{w_2}\right) \tag{4.31}$$

Ko'p qatlamli sharsimon devor uchun esa, Q ni hisoblash formulasi ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$Q = \frac{4\pi\left(t_{w_1} - t_{w(n+1)}\right)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i}\left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_{i+1}}\right)} \tag{4.32}$$

bu yerda, λ_i va $r_i - i$ qatlamning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti va ichki radiusi.

4.2.5. Murakkab shaklli jismlarning issiqlik o'tkazuvchanligi

Yuqorida keltirilgan paragraflarda eng sodda jismlarning turg'un jarayonda issiqlik o'tkazuvchanligi ko'rib chiqildi. Lekin ayrim hollarda murakkab jismlarning issiqlik o'tkazuvchanligini bilishga to'g'ri keladi. Buning uchun ushbu bobda keltirib chiqarilgan formulalarning umumlashtirilgan ko'rinishidan ham foydalanish mumkin, ya'ni:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta}\left(t_{w1} - t_{w2}\right) \cdot F_x \tag{4.33}$$

bu yerda, F_x – jismning biror soxta (hisoblangan) issiqlik berish yuzasi.

Tekis devorlar uchun

$$F_{xmex} = \frac{2F}{2} = \frac{F_1 + F_2}{2} \tag{4.34}$$

bu yerda, F_1 va F_2 – issiq va sovuq holatlardagi yuzalari (tekis plastina uchun $F_1=F_2$).

Silindrik devorlar uchun

$$F_{sil} = \frac{2\pi l r_2 - 2\pi l r_1}{\ln\left(\frac{2\pi l r_2}{2\pi l r_1}\right)} = \frac{F_2 - F_1}{\ln\left(\frac{F_2}{F_1}\right)} \tag{4.35}$$

Sharsimon devorlar uchun

$$d_1 = \sqrt{\frac{F_1}{\pi}} \qquad \text{va} \qquad d_2 = \sqrt{\frac{F_2}{\pi}}$$

ya'ni

$$F_{xshar} = \sqrt{F_1 \cdot F_2} \tag{4.36}$$

Agarda jismlar o'ta murakkab bo'lsa, har qaysi holatda alohida yondashuv zarur.

Quyida mamlakatimizning asosiy texnik xomashyosi bo'lmish - paxta chigitining issiqlik o'tkazuvchanligini ko'rib chiqamiz. Ma'lumki, paxta chigiti noto'g'ri, ellips shaklli jism bo'lib, tashqi yuzasi paxta tolalari bilan qoplangan geterogen murakkab (4 qatlamli) sistemadir. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, har bir qatlam fizik-mexanik va diffuzion-issiqlik xossalari bilan bir-biridan keskin farq qiladi [5,6,13].

Paxta chigitining issiqlik o'tkazuvchanligini aniqlash uchun ko'p qatlamli sfera ko'rinishidagi soddalashgan modeldan foydalanamiz.

Ko'pgina tajribalar asosida, chigit markazida 0,1...0,15 mm o'lchamli bo'shliq (embrion) borligi aniqlandi. Shuning uchun ham, paxta chigitini ichi bo'sh sferalar sistemasi deb ham hisoblasa bo'ladi.

Sfera turli jinsli 4 ta qatlamdan iborat va uning ichki t_1 va tashqi yuzalari t_5 temperaturalari bo'lsin, lekin $t_1 > t_5$. Sferaning ichki radiusi r_1, tashqisiniki – r_5. Jismdagi izotermalar konsentrik aylanalar ko'rinishidadir.

Furye qonuniga binoan, ichi bo'sh sfera uchun issiqlik oqimi Q ushbu formuladan topiladi:

$$Q = -\lambda F \frac{dt}{dr} = -4\lambda\pi r^2 \frac{dt}{dr} \tag{4.37}$$

Bu tenglamani integrallasak, quyidagi natijani olamiz:

$$t = -\frac{Q}{4\pi\lambda} \cdot \frac{1}{r} + C^*$$

(4.37) tenglamaga devor chegaralaridagi o'zgaruvchan kattaliklar qiymatlarini qo'yib, ushbu formulaga ega bo'lamiz:

$$Q = \frac{4\pi\lambda(t_1 - t_5)}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_5}} \tag{4.38}$$

Paxta chigitining har bir qatlamidan o‘tayotgan issiqlik miqdorini (4.38) formula yordamida topish mumkin. Formulaning yoyilgan ko‘rinishi quyidagicha bo‘ladi:

$$Q = \frac{4\pi(t_1 - t_5)}{\frac{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}{\lambda_1} + \frac{\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3}}{\lambda_2} + \frac{\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}}{\lambda_3} + \frac{\frac{1}{r_4} - \frac{1}{r_5}}{\lambda_4}} \qquad (4.39)$$

bu yerda, r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 – paxta chigiti bo‘shlig‘i, mag‘izi, havo qatlami, qobig‘i va tolali qatlamlarining radiuslari, m; λ_1, λ_2, λ_3, λ_4 – chigit mag‘izi, havo, qobig‘i va paxta tolalarining issiqlik o‘tkazuvchanligi [5,6,13].

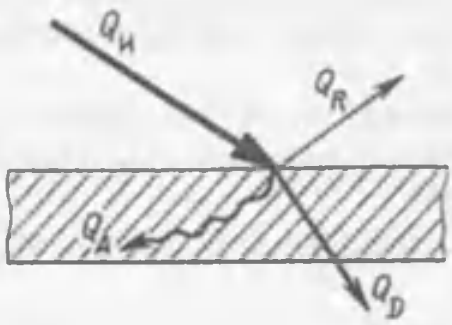
4.3. Issiqlik nurlanishi

Issiqlik nurlanishi to‘lqin uzunliklari spektrning ko‘z ilg‘amas qismida bo‘lib, 0.8...40 mkm oraliqda bo‘ladi. Ular yorug‘lik nurlari 0,4...0,8 mkm dan faqat to‘lqin uzunliklari bilan farqlanadi. 4-2 jadvalda nurlanish turiga qarab to‘lqin uzunliklarining o‘zgarishi haqida ma’lumotlar keltirilgan.

4-2 jadval

Elektromagnit to‘lqinlarining umumiy klassifikatsiyasi

Nurlanish turi	To‘lqin uzunligi, m
Kosmik	$0{,}05 \cdot 10^{-12}$
γ - nurlanish	$0{,}05 \cdot 10^{-12} \ldots 0{,}1 \cdot 10^{-12}$
Rentgen	$10^{-12} \ldots 20 \cdot 10^{-9}$
Ultrabinafsha	$20 \cdot 10^{-9} \ldots 0{,}4 \cdot 10^{-6}$
Ko‘z ilg‘aydigan	$0{,}4 \cdot 10^{-6} \ldots 0{,}8 \cdot 10^{-6}$
Issiqlik (infriqizil)	$0{,}8 \cdot 10^{-6} \ldots 0{,}8 \cdot 10^{-3}$
Radio to‘lqinlar	$0{,}2 \cdot 10^{-3} \ldots x \cdot 10^{-3}$



4.8a-rasm. Nurlanish energiyasi balansiga oid.

Issiqlik va yorug‘lik nurlanishining tabiati bir xil bo‘lib, umumiy qonuniyatlar bilan xarakterlanadi, ya’ni bir jinsli va izotrop muhitlarda nurlanish energiyasi to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqaladi. Issiq jismlardan tarqalayotgan oqim nurlari boshqa jismga tushganda, energiyaning bir qismi yutiladi Q_{yut}, bir qismi qaytariladi Q_{qayt} va bir qismi o‘zgarmasdan $Q_{o‘z}$ o‘tib ketadi.

Unda, energiyaning umumiy balansi:

$$Q_{yut} + Q_{qayt} + Q_{o‘z} = Q_{nur} \qquad (4.40)$$

yoki ushbu balansning ulushlardagi ko‘rinishi:

$$\frac{Q_{yut}}{Q_{nur}} + \frac{Q_{qayt}}{Q_{nur}} + \frac{Q_{o‘z}}{Q_{nur}} = 1 \qquad (4.40a)$$

bu yerda, Q_{yut}/Q_{nur} – jismning nurlangan issiqlikni yutish qobiliyatini; Q_{qay}/Q_{nur} – jismning nurlangan issiqlikni qaytarish qobiliyatini; Q_{yut}/Q_{nur} – jismning nurlangan issiqlikni o‘tkazib yuborish qobiliyatini xarakterlaydi.

Umuman olganda har bir nisbat 1 ga teng bo'lishi mumkin, agar qolgan ikkita nisbat nolga teng bo'lsa.

Q_{qayt}/Q_{nur}=1 bo'lganda (Q_{yut}/Q_{nur}= $Q_{o'}/Q_{nur}$=0), jismga tushayotgan nurlangan energiyaning hammasi yutiladi. Bu holda jism ***absolyut oq jism*** deb nomlanadi.

Q_{yut}/Q_{nur}=1 bo'lganda (Q_{qayt}/Q_{nur}= $Q_{o'}/Q_{nur}$=0), jismga tushayotgan nurlangan energiyaning hammasi yutiladi. Bu holda jism ***absolyut qora jism*** deb nomlanadi.

$Q_{o'}$ / Q_{nur} = 1 bo'lganda (Q_{yut}/Q_{nur} = Q_{qayt}/Q_{nur} = 0), jismga tushayotgan nurlangan energiyaning hammasi o'zgarmasdan o'tib ketadi. Bu holda jism **absolyut shaffof jism** deb nomlanadi.

Sanoatda va tabiatda absolyut qora, oq va shaffof jismlar bo'lmaydi. Q_{yut}/Q_{nur}, Q_{qayt}/Q_{nur} va $Q_{o'}/Q_{nur}$ o'rtasidagi bog'liqlik jism tabiatiga, yuzasi holatiga va temperaturasiga bog'liqdir. Tabiatda uchraydigan hamma jismlar nurlangan energiyaning bir qismini yutadi, bir qismini qaytaradi va bir qismini o'zidan o'tkazib yuboradi. Bunday jismlar **kulrang jismlar** deb nomlanadi.

Tabiatda uchraydigan jismlardan qorakuya absolyut qora jismga yaqinroq. Lekin u ham faqat 90...96 % nurlangan energiyani yuta oladi. Tushayotgan nurlangan energiyani o'ta silliqlangan, yorug' yuzalargina to'liqroq qaytarish qobiliyatiga ega. Ko'pchilik qattiq jismlar shaffof emas jismlar turiga kiradi. Ammo hamma gazlar (ko'p atomli gazlardan tashqari) shaffof bo'ladi.

Issiqlik nurlanish qonuniyatlari Stefan-Bolsman, Kirxgof va Lambert qonunlari bilan ifodalanadi.

Stefan-Bolsman qonuni jismning nur chiqarish qobiliyati ***YE*** va jismdan 1 soat mobaynida ***F*** yuzasidan ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori ***Q*** orasidagi bog'liqlikni ifodalaydi:

$$E = \frac{Q}{F \cdot \tau} \qquad (4.41)$$

Nurlanish energiyasi to'lqin uzunligi va jismning temperaturasiga bog'liq bo'ladi. Absolyut qora jismning nur tarqatish qobiliyati va temperaturasi orasidagi bog'liqlik ushbu formuladan topiladi:

$$E_0 = K_0 T^4 \qquad \text{yoki} \qquad E_0 = C_0 \left(\frac{T}{100}\right)^4 \qquad (4.42)$$

bu yerda, K_0 =(4,19...5,67) 10^{-8} Vt/($m^2 \cdot K^4$) – absolyut qora jismning nur chiqarish konstantasi; C_0 = $K_0 10^8$=4,19...5,67 Vt/($m^2 K^4$).

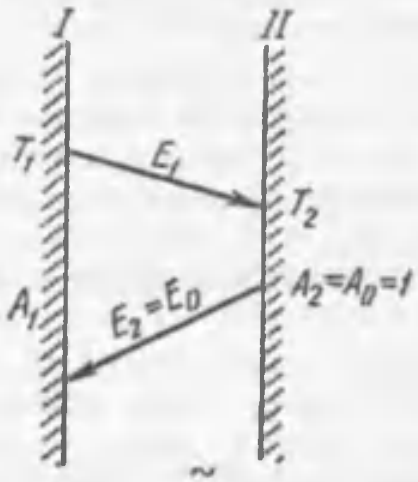
(4.42) formula Stefan - Bolsman qonunining ifodasi bo'lib, Plank tenglamasining hosilasidir.

Stefan - Bolsman qonunini absolyut qora bo'lmagan jismlar uchun ham qo'llash mumkin. Masalan, kulrang jismlar uchun quyidagi ko'rinishga ega:

$$E = \varepsilon \cdot C_0 \left(\frac{T}{100}\right)^4 \qquad (4.43)$$

bu yerda, $\varepsilon = C/C_0$ – kulrang jismning qoralik darajasi yoki uning nur chiqarish koeffitsiyenti; C_0 – kulrang jismning nur chiqarish koeffitsiyenti.

Kulrang jismning nur chiqarish koeffitsiyenti har doim 1 dan kichik bo'lib, 0,055...0,95 oraliqda o'zgaradi.



4.9-rasm. Kirxgof qonuniga oid sxema.
$Q_{qay}/Q_{nur} = Q_{o'r}/Q_{nur} = 1$.

Kirxgof qonuni kulrang jismlarning nur tarqatish va uni yutish qobiliyatlari o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalaydi.

Bir-biriga parallel joylashgan, kulrang ***I*** va absolyut qora ***II*** jismlarni ko'rib chiqamiz (4.9-rasm).

Kulrang jismning yutish qobiliyatini A_1, absolyut qora jismnikini esa $A_2 = A_0 = 1$. Kulrang jism temperaturasi absolyut qoranikidan katta, ya'ni $T_1 > T_2$ deb qabul qilamiz. Bunda, kulrang jismdan nurlanish usulida uzatilgan issiqlik miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$q = E_1 - E_0 A_1 \qquad (4.44)$$

Ikkala jismning temperaturasi tenglashganda, issiqlik muvozanat holati yuzaga keladi va $q = 0$ bo'ladi.

Demak:

$$E_1 - E_0 A_1 = 0 \qquad (4.45)$$

bundan

$$\frac{E_1}{A} = E_0 \qquad (4.45a)$$

Ushbu xulosani umumlashtirib, bir nechta parallel joylashtirilgan jismlar uchun ushbu ifodani keltirib chiqaramiz:

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \ldots = \frac{E_n}{A_n} = \frac{E_0}{A_0} = f(T) = const \qquad (4.46)$$

(4.46) tenglama Kirxgof qonunini xarakterlaydi. Ushbu tenglamaga binoan, ma'lum biror temperatura uchun istalgan bir jismning nur tarqatish qobiliyati, uning nur yutish qobiliyatiga bo'lgan nisbati o'zgarmas miqdor bo'lib, absolyut qora jismning nur tarqatish qobiliyatiga tengdir.

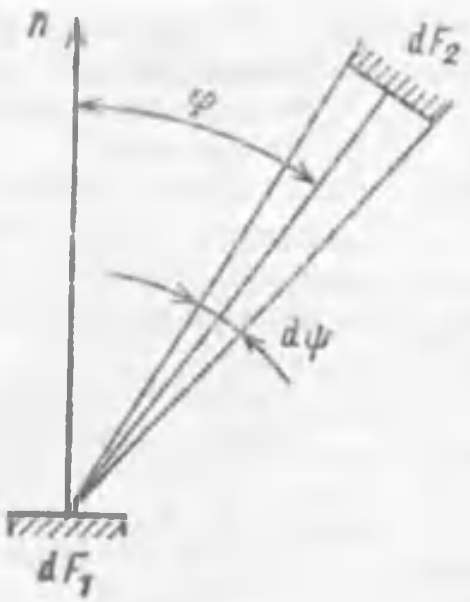
Lambert qonuni turli yo'nalishlarda nurlanish intensivligi o'zgarishini ifodalaydi va ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$dQ = \frac{1}{\pi} E d\psi \cdot \cos\varphi \cdot dF_1 \qquad (4.47)$$

bu yerda, $d\psi - dF_1$ elementdan dF_2 element ko'rinishi mumkin bo'lgan fazoviy burchak; $\varphi - dF_1$ va dF_2 ni birlashtiruvchi to'g'ri chiziq va dF_1 ga o'tkazilgan normal orasida hosil bo'lgan burchak (4.10-rasm).

Ushbu qonunga binoan, jismning normal yo'nalishida nur tarqatish qobiliyati jismning to'la nur tarqatish qobiliyatidan π marta kam bo'ladi.

Ikki parallel joylashtirilgan jismlar o'rtasidagi nurlanish jarayonida uzatilgan issiqlik miqdori Stefan - Bolsman qonuni asosida keltirib chiqarilgan formula yordamida hisoblash mumkin:



4.10-rasm. Lambert qonuniga oid sxema.

$$Q_{1-2} = C_{1-2}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] \cdot F \qquad (4.48)$$

bu yerda. Q_{1-2} –1-jismdan 2- siga uzatilayotgan issiqlik miqdori; C_{1-2} – 1-va 2- jismlardan iborat sistemaning keltirilgan nur tarqatish koeffitsiyenti; F –jismning nur tarqatish yuzasi.

$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_0}} \qquad (4.49)$$

Agar bir jism ikkinchisini butunlay o'rab olgan hollarda ($F=F_1$, bu yerda F_1 – o'ralib turgan jism yuzasi) (4.48) formuladan foydalansa bo'ladi. Keltirilgan nur tarqatish koeffitsiyentini esa, ushbu formuladan hisoblab topish mumkin:

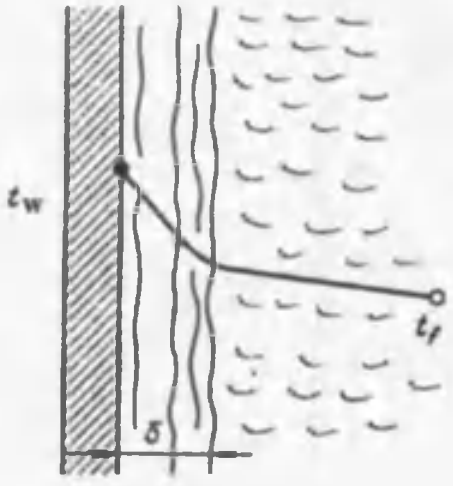
$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2}\left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1}\right)} \qquad (4.50)$$

4.4. Konvektiv issiqlik almashinish

Suyuqlik oqimining turbulentligi qanchalik yuqori va uning zarrachalari jadal ravishda aralashtirilsa, konveksiya usulida issiqlik almashinish shunchalik intensiv bo'ladi. Shunday qilib, konvektiv issiqlik almashinish, issiqlikning mexanik aralashtirilishi va suyuqlik harakati gidrodinamikasiga bog'liqdir.

Issiqlik almashinish jarayonida qatnashayotgan suyuqlik ikki qismdan tashkil topgan, ya'ni issiqlik chegaraviy qatlam va oqim o'zagi (yadrosi) dan.

Oqim o'zagida issiqlik tarqalishi o'zida ham konveksiya, ham issiqlik o'tkazuvchanlik usullarida amalga oshadi. Bunday issiqlik almashinish **konvektiv issiqlik almashinish** deyiladi (4.11-rasm).



4.11-rasm. Konvektiv issiqlik almashinish sxemasi.

Issiqlikning qattiq devor yuzasidan suyuqlik (yoki gaz) ga yoki suyuqlik (yoki gaz) dan qattiq devor yuzasiga o'tishi **issiqlik berish** deb nomlanadi.

Devor yuzasidan chegaraviy qatlam orqali energiya issiqlik o'tkazuvchanlik usuli bilan o'tadi. Chegaraviy qatlamdan esa, suyuqlik o'zagiga energiya asosan konveksiya usulida uzatiladi. Issiqlik energiyasining devor yuzasidan suyuqlikka uzatilish jarayoniga oqimning harakat rejimi katta ta'sir qiladi.

Konvektiv issiqlik almashinish asosan 2 xil bo'ladi, ya'ni **erkin** (yoki **tabiiy**) va **majburiy** konveksiya.

Suyuqlik hajmining turli nuqtalaridagi zichliklarning farqi tufayli ro'y beradigan issiqlik almashinishga **erkin konveksiya** deyiladi. Bu jarayonga suyuqlikning fizik xossalari, uning hajmi, sovuq va issiq zarrachalari orasidagi temperaturalar farqi katta ta'sir ko'rsatadi.

Butun suyuqlik hajmining tashqi kuchlar ta'siri natijasida ro'y beradigan issiqlik almashinishga **majburiy konveksiya** deyiladi. Suyuqlikning harakati nasos, aralashtirgich, ventilatorlar yordamida amalga oshirilishi mumkin. Bu jarayonga suyuqlikning fizik xossalari, uning tezligi, kanalning shakli va o'lchamlari salmoqli ta'sir etadi.

Suyuqlikning turbulent harakat rejimida laminar rejimdagiga qaraganda issiqlik almashinish ancha intensiv bo'ladi.

4.4.1. Nyuton qonuni

Issiqlik berishning asosiy qonuni – bu Nyutonning sovitish qonunidir.

Issiqlik almashinish yuzasi va suyuqlik (gaz) yoki suyuqlik (gaz) va issiqlik almashinish yuzasi orasida energiya tarqlishiga **issiqlik berish** deb nomlanadi.

Issiqlik berish jarayoni issiqlik berish koeffitsiyenti α bilan belgilanadi.

Ushbu qonunga binoan, issiqlik almashinish suyuqlik (gaz) ga uzatilgan issiqlik miqdori dQ, devorning yuzasi dF, yuza t_w va muhit temperaturalari t_f ning farqi $(t_w - t_f)$ hamda jarayonning davomiyligi $d\tau$ ga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni:

$$\left.\begin{aligned} dQ &= \alpha\,(t_w - t_f)\cdot dF\cdot d\tau \\ dQ &= \alpha\,(t_f - t_w)\cdot dF\cdot d\tau \end{aligned}\right\} \qquad (4.51)$$

(4.51) tenglamadan issiqlik berish koeffitsiyentining o'lchov birligini keltirib chiqarish mumkin:

$$\alpha = \left[\frac{dQ}{(t_w - t_f)\ dF d\tau}\right] = \left[\frac{J}{m^2\cdot soat\cdot K}\right] = \left[\frac{t}{m^2\cdot K}\right]$$

Agar issiqlik almashinish yuzasi bo'ylab issiqlik berish koeffitsiyentining qiymati o'zgarmas ($\alpha = const$) bo'lsa, (4.51) tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$\left.\begin{aligned} Q &= \alpha \left(t_w - t_f\right) \cdot F \cdot \tau \\ Q &= \alpha \left(t_f - t_w\right) \cdot F \cdot \tau \end{aligned}\right\} \qquad (4.52)$$

Demak, issiqlik berish koeffitsiyenti α devorning 1 m^2 yuzasidan suyuqlikka 1 s vaqt davomida, devor va suyuqlik temperaturalarining farqi 1 K bo'lganda uzatilgan issiqlik miqdorini bildiradi. Ushbu, issiqlik berish koeffitsiyentining miqdori bir nechta parametrlarga bog'liqdir, ya'ni suyuqlikning harakat rejimi w, uning zichligi ρ, qovushoqligi μ, solishtirma issiqlik sig'imi s, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ, hajmiy kengayish koeffitsiyenti β, devorning shakli va o'lchamlari (truba diametri d va uzunligi L) hamda g'adir-budurligi e va hokazolarga.

Yuqorida aytilganlarni quyidagi funksiya holatida yozish mumkin:

$$\alpha = f(w, \rho, \mu, c, \lambda, \beta, d, L, e, \ldots) \qquad (4.53)$$

Umumiy ko'rinishga ega bo'lgan issiqlik berish koeffitsiyenti tenglamasi ko'rinishidan sodda bo'lsa ham, α ni aniqlash juda murakkab. Chunki, (4.53) dan ko'rinib turibdiki, α juda ko'p parametrlarga bog'liq. Shuning uchun. tajriba natijalarini o'xshashlik nazariyasi yordamida umumlashtirish yo'li bilan issiqlik berish koeffitsiyentini hisoblash kriterial formulasini keltirib chiqarish mumkin.

Issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlash uchun suyuqlikda temperatura taqsimlanishini bilish zarur. Undan tashqari, issiqlik almashinish jarayonini hisoblash uchun issiqlik berish koeffitsiyentini o'zgaruvchi parametrlar bilan bog'liq tenglamasiga ega bo'lishi kerak.

Bunday tenglama bo'lib konvektiv issiqlik almashinishning differensial tenglamasi xizmat qiladi. Lekin ushbu tenglama devor va suyuqlik chegarasidagi shartlarni xarakterlovchi tenglama bilan to'ldirilgan bo'lishi kerak.

4.4.2. Konvektiv issiqlik almashinishning differensial tenglamasi (Furye - Kirxgof tenglamasi)

Ma'lumki, konvektiv issiqlik almashinish jarayonida suyuqlikda issiqlik ham, issiqlik o'tkazuvchanlik ham konveksiya usullarida uzatiladi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik (4.16) tenglama bilan ifodalanadi va ushbu ko'rinishga ega:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right)$$

Ushbu tenglamaning chap tomonidagi nisbat suyuqlik (gaz)dan ajratib olingan qo'zg'almas element temperaturasining lokal (mahalliy) o'zgarishini ifodalaydi.

Konvektiv issiqlik almashinishda ushbu element suyuqlikning bir nuqtasidan ikkinchisiga ko'chadi. Bu holatdagi elementning temperatura o'zgarishi substansional hosila yordamida ifodalanishi mumkin. Agar elementning fazodagi x, y, z o'qlar

bo'yicha ko'chishini w_x, w_y, w_z deb belgilasak, unda element temperaturasining to'liq o'zgarishini xarakterlovchi substansional hosila quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \frac{\partial t}{\partial y} w_y + \frac{\partial t}{\partial z} w_z \qquad (4.54)$$

(4.54) tenglikdagi $\partial t/\partial \tau$ temperaturaning lokal (mahalliy) o'zgarishi, qolgan qo'shiluvchilar yig'indisi esa - temperaturaning konvektiv o'zgarishini ifodalaydi.

Agar (4.16) tenglamaning temperaturadagi lokal o'zgarishini to'liq o'zgarishiga (4.54) almashtirsak, Furye - Kirxgofning konvektiv issiqlik almashinishning differensial tenglamasini olamiz:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \frac{\partial t}{\partial y} w_y + \frac{\partial t}{\partial z} w_z = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \qquad (4.55)$$

Ushbu tenglama harakatdagi suyuqlikda issiqlik energiyasining bir vaqtda issiqlik o'tkazuvchanlik va konveksiya usullarida uzatilishining matematik ifodasi. Konvektiv issiqlik almashinish jarayonini to'la matematik ifodalash uchun (4.55) tenglama devor yuzasi va harakatdagi suyuqlik chegarasidagi sharoitlarni xarakterlovchi tenglama bilan to'ldirilishi zarur.

Ma'lumki, harakatlanuvchi suyuqlikda joylashgan qattiq jism yuzasida har doim δ qalinlikka ega chegaraviy qatlam mavjud bo'lib (4.11-rasm), u orqali issiqlik energiyasi issiqlik o'tkazuvchanlik usulida tarqaladi. Chegaraviy qatlam orqali suyuqlik oqimining o'zagiga uzatilgan issiqlik miqdori Furye qonuni asosida topiladi:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau$$

O'tgan dQ issiqlik miqdorini Nyuton qonuni yordamida ham hisoblasa bo'ladi:

$$dQ = \alpha \left(t_w - t_f \right) dF d\tau$$

Oxirgi ikki tenglamaning o'ng qismlarini tenglashtirib, «devor-suyuqlik» chegara sharoitlarini xarakterlovchi tenglamani olamiz:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = \alpha \left(t_w - t_f \right) \qquad (4.56)$$

(4.55) va (4.56) tenglamalar konvektiv issiqlik almashinish jarayonini to'liq ifodalaydi.

4.11-rasmdan ko'rinib turibdiki, eng katta temperatura gradiyenti chegaraviy qatlamda hosil bo'lib, issiqlik berish jarayonining intensivligini, asosan, uning termik qarshiligini belgilaydi.

4.4.3. Konvektiv issiqlik almashinishning o'xshashlik kriteriy va tenglamalari

Ma'lumki, yuqorida keltirib chiqarilgan (4.55) va (4.56) tenglamalar murakkab konvektiv issiqlik almashinish jarayonlarini ifodalaydi.

Ushbu tenglamalarni amalda uchraydigan jarayonlarga qo'llash mumkin emas, chunki yechimini topish qiyin.

Issiqlik almashinish jarayonlarini amaliy hisoblashda o'xshashlik nazariyasi usullari yordamida (4.55) va (4.56) tenglamalardan keltirilib chiqarilgan kriterial tenglamalari keng miqyosda ishlatiladi.

Agar (4.56) tenglamaning ikkala qismini chap qismiga bo'lsak, ushbu o'lchamsiz kompleksni olish mumkin:

$$\frac{\alpha\left(t_w - t_f\right)\partial n}{\lambda \partial t} = \frac{\alpha \cdot \Delta t\ \partial n}{\lambda \partial t} \qquad (4.57)$$

Olingan o'lchamsiz kompleksda differensiyallash belgilarini o'chirib, n ni l ga almashtirib va qisqartirish yo'li bilan o'lchamsiz issiqlik berish koeffitsiyenti bo'lib, issiqlik almashinish intensivligini belgilovchi **Nusselt** sonini olamiz:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda} \qquad (4.58)$$

bu yerda, α – issiqlik berish koeffitsiyenti, Vt/(m²·K); l – geometrik o'lcham, m; λ – muhitning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Vt/(m·K).

Nusselt kriteriysi devor va suyuqlik o'rtasidagi chegarada issiqlik almashinish jarayoni intensivligini xarakterlaydi.

Ushbu kriteriy chegaraviy qatlam qalinligi δ ning aniqlovchi geometrik o'lcham (truba uchun uning diametri d) ga nisbatini xarakterlaydi.

Konvektiv issiqlik almashinishning differensial tenglamasidan:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \cdots = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \cdots \right)$$

uning hamma qo'shiluvchilarini $a\dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2}$ ga bo'lish yo'li bilan ushbu o'lchamsiz kompleksni olish mumkin:

$$\frac{\partial t \partial x^2}{\partial \tau a d^2 t} \quad \text{va} \quad \frac{\partial t w_x \partial x^2}{\partial x a \partial^2 t}$$

Differensiallash, belgi va yo'nalishlarini o'chirish va qisqartirish yo'li bilan Furye kriteriysini:

$$Fo = \frac{a\tau}{l^2} \qquad (4.59)$$

va Pekle kriteriysini

$$Pe = \frac{wl}{a} \tag{4.60}$$

keltirib chiqaramiz.

Furye kriteriysi noturg'un issiqlik almashinish jarayonlarida temperatura maydonining o'zgarish tezligi, muhitning o'lchami va fizik kattaliklari o'rtasidagi bog'liqliklarni xarakterlaydi.

Pekle kriteriysi suyuqlik oqimida konveksiya va issiqlik o'tkazuvchanlik usullari bilan issiqlik tarqalish nisbatini xarakterlaydi.

Odatda, Pekle kriteriysi ikkita o'xshashlik kriteriylarining ko'paytmasi ko'rinishiga keltiriladi:

$$Pe = \frac{wl}{a} = \frac{wl}{\nu} \cdot \frac{\nu}{a} = \mathrm{Re} \cdot \mathrm{Pr}$$

Prandtl kriteriysi suyuqlik qovushoqligi va temperatura o'tkazuvchanligi xossalarining nisbatini ifoda etadi. Ushbu kriteriy faqat suyuqliklarning diffuzion – issiqlik parametrlari yordamida aniqlanadi:

$$\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{a} = \frac{\mu}{a\rho} = \frac{\mu g}{a\gamma} \tag{4.61}$$

Prandtl kriteriysi muhitning fizik xossalarini inobatga oladi.

Grasgof kriteriysi tabiiy konveksiya jarayonidagi suyuqlik oqimining gidrodinamik rejimini xarakterlaydi:

$$Gr = \frac{gl^3}{\nu^2}\beta \cdot \Delta t \tag{4.62}$$

bu yerda, Δt – devor va suyuqliklar o'rtasidagi temperaturalar farqi, K; β – suyuqlikning hajmiy kengayish koeffitsiyenti; g – erkin tushish tezlanishi, m/s^2.

Ayrim hollarda Nusselt kriteriysi o'rniga konvektiv issiqlik almashinish kriteriysi, Stenton kriteriysini ham qo'llash mumkin:

$$St = \frac{Nu}{Pe} = \frac{\alpha}{c_p \rho w} \tag{4.63}$$

Ushbu kriteriy issiqlik berish intensivligini suyuqlik issiqlik oqimiga nisbatini aniqlaydi.

Yuqorida keltirib chiqarilgan o'xshashlik kriteriylari konvektiv issiqlik almashinishning o'xshashlik tenglamasini aniqlash imkonini beradi:

$$f(\mathrm{Re}, Nu, \mathrm{Pr}, Fo, Gr) = 0 \tag{4.64}$$

Ushbu tenglamada faqat Nusselt Nu soni aniqlovchi bo'lganligi uchun, (4.64) tenglama quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$Nu = f(\mathrm{Re}, \mathrm{Pr}, Gr, Fo) \qquad (4.65)$$

Issiqlik almashinish jarayonining aniq masalalarini yechishda (4.65) tenglamani ancha soddalashtirish mumkin.

Turg'un issiqlik almashinish jarayonida tenglamadan ***Fo*** kriteriysi tushirilib qoldiriladi va ushbu ko'rinishni oladi:

$$Nu = f(\mathrm{Re}, \mathrm{Pr}, Gr) \qquad (4.66)$$

Suyuqlikning majburiy harakati davrida tabiiy konveksiyani inobatga olmasa ham bo'ladi va unda tenglama ***Gr*** kriteriysi kiritilmaydi:

$$Nu = f(\mathrm{Re}, \mathrm{Pr}) \quad \text{yoki} \quad Nu = A\,Re^n \cdot Pr^m \qquad (4.67)$$

Suyuqlikning erkin harakati (tabiiy konveksiya) davrida tenglamadan Reynolds kriteriysi tushurib qoldiriladi:

$$Nu = f(Gr, \mathrm{Pr}) \quad \text{yoki} \quad Nu = AGr^n \cdot \mathrm{Pr}^m \qquad (4.68)$$

4.4.4. Erkin konveksiya davrida issiqlik berish

Ma'lumki, issiq va sovuq suyuqlik qatlamlari zichliklarining farqi ta'siri ostida erkin konveksiya mavjud bo'ladi. Zichliklarning ushbu farqi, devor va suyuqlik temperaturalar farqiga bog'liqdir. Devor shaklining jarayonga ta'siri ikkilamchi bo'lgani uchun, issiqlik berishning o'xshashlik tenglamasi ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$Nu = c(Gr \cdot \mathrm{Pr})^n \qquad (4.69)$$

bu yerda, ***c*** va ***n*** – suyuqlik harakati rejimiga, ya'ni ***Gr·Pr*** ga, bog'liq bo'lgan konstantalar.

4-3 jadval

Rejimlar		*s*	*n*
Laminar	($Gr \cdot Pr \le 10^{-3}$)	0,45	0
	($Gr \cdot Pr = 10^{-3} \ldots 5 \cdot 10^2$)	1,18	0,125
O'tish	($Gr \cdot Pr = 5 \cdot 10^2 \ldots 2 \cdot 10^7$)	0,54	0,25
Turbulent	($Gr \cdot Pr > 2 \cdot 10^7$)	0,135	0,33

Grasgof kriteriysida aniqlovchi geometrik o'lcham sifatida quyidagilar qabul qilingan: silindrik va sferik jismlar uchun – diametr; tekis plitalar uchun – balandlik.

Aniqlovchi temperatura sifatida chegaraviy qatlamning o'rtacha temperaturasi $t = 0{,}5 \cdot (t_w + t_f)$ qabul qilingan. Bu yerda t_w – devor temperaturasi, t_f – suyuqlik o'zagidagi temperatura. Grasgof kriteriysidagi temperaturalar farqi $\Delta t = t_w - t_f$ formulada hisoblanadi.

4.4.5. Majburiy konveksiya davrida issiqlik berish

Truba ichida issiqlik eltkichning issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi tenglamalardan aniqlanadi:

turbulent rejim uchun ($Re > 10000$)

$$Nu = 0{,}021\,\mathrm{Re}^{0.8} \cdot \mathrm{Pr}^{0.43} \left(\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr}_g}\right)^{0.25} \tag{4.70}$$

o'tish rejimi uchun ($2320 < Re < 10000$)

$$Nu = 0{,}008\,\mathrm{Re}^{0.9} \cdot \mathrm{Pr}^{0.43} \tag{4.71}$$

laminar rejim uchun ($Re \leq 2320$)

$$Nu = 0{,}17 \cdot \mathrm{Re}^{0.33} \cdot \mathrm{Pr}^{0.43} \cdot Gr^{0.1} \left(\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr}_g}\right)^{0.25} \tag{4.72}$$

Trubalar o'rami majburiy harakatdagi ko'ndalang yo'nalgan issiqlik eltkich bilan yuvilib turgan sharoitda issiqlik berish quyidagi formulalar yordamida hisoblanishi mumkin:

$Re < 10^3$ bo'lganda

$$Nu = 0{,}56 \cdot \mathrm{Re}^{0.5} \cdot \mathrm{Pr}^{0.36} \left(\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr}_g}\right)^{0.25} \tag{4.73}$$

$Re > 10^3$ bo'lganda

$$Nu = 0{,}28 \cdot \mathrm{Re}^{0.6} \cdot \mathrm{Pr}^{0.36} \left(\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr}_g}\right)^{0.25} \tag{4.74}$$

Ushbu tenglamalarda aniqlovchi geometrik o'lcham bo'lib, kanallarning ekvivalent diametri hisoblanadi.

Nu, Re va Pr kriteriylaridagi fizik parametrlar suyuqlikning o'rtacha temperaturasida, Pr_g esa – devorning o'rtacha temperaturasida hisoblanadi.

$(Pr/Pr_g)^{0.25}$ issiqlik oqim yo'nalishi va temperaturalar farqining issiqlik berishga ta'sirini hisobga oluvchi parametr.

Issiqlik eltkichning zmeyevikda harakat qilganda issiqlik berish koeffitsiyenti α ni (4.70) formuladan hisoblangan qiymati zmeyevik o'lchamlarini inobatga oluvchi koeffitsiyent χ ga ko'paytiriladi:

$$\chi = 1 + 3{,}54\frac{d}{D} \tag{4.75}$$

bu yerda, d – zmeyevik trubasining ichki diametri, m; D – zmeyevik o'ramining diametri, m.

Havo uchun (4.70) formula quyidagi ko'rinishga ega:

$$Nu = 0{,}018 \cdot \mathrm{Re}^{0.8} \tag{4.76}$$

chunki $Pr/Pr_g = 1$

Issiqlik eltkich halqasimon kanallarda harakat qilgan davrida (masalan, «truba ichida truba» issiqlik almashinish qurilmasida) issiqlik berish ushbu formuladan hisoblab aniqlanishi mumkin:

$$Nu = 0,023 \cdot \mathrm{Re}^{0,8} \cdot \mathrm{Pr}^{0,4} \left(\frac{D_i}{d_T} \right)^{0,45} \qquad (4.77)$$

bu yerda, d_T – ichki trubaning tashqi diametri, m; D_i – tashqi trubaning ichki diametri, m.

Issiqlik eltkich qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasining trubalararo bo'shlig'ida harakat qilganda, issiqlik berish eng keng tarqalgan jarayondir. Ushbu holatda issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Nu = C\left(\mathrm{Re}^{0,6} \cdot \mathrm{Pr}^{0,23} \cdot d_e\right) \qquad (4.78)$$

bu yerda, C = 1,16 va 1,72 qiymatlarga teng bo'lishi mumkin.

Birinchi qiymat qurilmada ko'ndalang segment to'siqlar bo'lmagan hol uchun, ikkinchisi esa – segment to'siqlar o'rnatilgan hol uchun.

Qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmalarida trubalar shaxmatli yoki yo'lakli qilib joylashtiriladi.

Issiqlik eltkich oqimi trubalar o'ramini tashqi tomonidan yuvib o'tganda, issiqlik berish koeffitsiyenti ushbu formuladan hisoblab topilishi mumkin:

trubalarning shaxmatli joylashishida

$$Nu = 0,4 \cdot \mathrm{Re}^{0,6} \cdot \mathrm{Pr}^{0,36} \left(\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr}_d} \right)^{0,25} \qquad (4.79)$$

trubalarning yo'lakli joylashishida

$$Nu = 0,27 \cdot \mathrm{Re}^{0,63} \cdot \mathrm{Pr}^{0,36} \left(\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr}_d} \right)^{0,25} \qquad (4.80)$$

(4.79) va (4.80) tenglamalar Re = 200...$2 \cdot 10^5$ bo'lgan oraliqda qo'llanilishi mumkin va aniq natijalarni beradi.

4.4.6. Issiqlik eltkichning agregat holati o'zgarishida issiqlik berish

Bug'lanish, kondensatsiyalanish, kristallanish va erish jarayonlarida issiqlik almashinishning o'ziga xos xususiyatlari shundaki, muhitdan issiqlikning olinishi yoki unga uzatilishi o'zgarmas temperaturada ro'y beradi va ikkala fazada tarqaladi. 4.12 – rasmda issiqlik berish jarayonida muhitning agregat holati o'zgarishi bilan temperaturasining o'zgarish sxemasi keltirilgan.

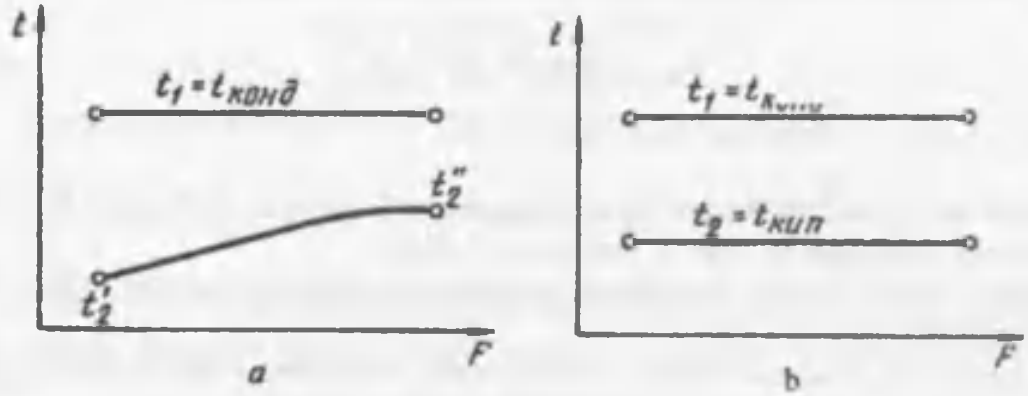
Issiqlik berishning bu o'ziga xos xususiyatini konvektiv issiqlik almashinishning kriterial tenglamasi fazaviy o'zgarish kriteriysi yoki kondensatsiyalanish kriteriysi $K = r/c \cdot \Delta t$ (bu yerda, r – bug' hosil qilish issiqligi, J/kg; c – solishtirma issiqlik sig'imi, J/kg·K)ni kiritish yo'li bilan hisobga olinadi.

Suv bug'ining kondensatsiyalanish paytidagi issiqlik almashinishini ifodalash uchun o'xshashlik nazariyasi asosida keltirilib chiqarilgan quyidagi kriterial formuladan aniqlash mumkin:

$$Nu = f(Ga, \Pr, K) \tag{4.81}$$

bu yerda, $Ga = gl^3/\nu^2$ – Galiley kriteriysi; K – fazaviy o'zgarish kriteriysi; Pr – Prandtl kriteriysi.

Ko'pgina tajriba natijalarini qayta ishlash natijasida (4.81) formulani quyidagi ko'rinishda yozsa bo'ladi:



4.12-rasm. Muhitning agregat holati o'zgarishi bilan issiqlik eltkich temperaturasining o'zgarish sxemasi:

a – issiqlik eltkich o'z issiqligini agregat holati o'zgarganda uzatmoqda (to'yingan suv bug'ining kondensatsiyalanish davrida). Bu holatda;

$$\Delta t_{o'r} = \frac{(t_1 - t_2) - (t_1 - t_2)}{\ln\left[(t_1 - t_2)/(t_1 - t_2)\right]}$$

b – ikkala issiqlik eltkichlar agregat holati o'zgarganda issiqlik almashmoqda. Bu holatda $\Delta t = t_1 - t_2$.

$$Nu = C(Ga, \Pr, K)^{0,25} \tag{4.82}$$

Yupqa qatlamli kondensatsiyalanish davrida issiqlik berishni kondensat yupqa qatlamining qalinligi chegaralaydi. Bug'ning tezligi yupqa qatlamli kodensatni uzib olish uchun yetarli bo'lmaydi va bir xillik shartlariga kirmaydi.

Yupqa qatlamda kondensatsiyalashning umumlashtirilgan tenglamasidagi Re va Fr kriteriylari o'rniga $Ga = Re^2/Fr = gl^3/\nu^2$ kriteriysi kiritiladi. Bunga sabab, Galiley kriteriysining bug' - kondensat ikki fazali oqimda og'irroq faza ta'sir etuvchi og'irlik kuchlarining o'xshashligini ifodalashidir. Ushbu holatda kondensatsiyalanish paytidagi issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\alpha = C \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 gr}{\mu \cdot l \cdot \Delta t}} \tag{4.83}$$

To'yingan bug'ning vertikal devorda kondensatsiyalanishi va kondensatni laminar rejimda yupqa qatlamda oqib tushish holati uchun (4.83) formuladagi C

koeffitsiyentining qiymati 2,04 ekanligi aniqlandi. Aniqlovchi o'lcham bo'lib, vertikal devor balandligi H xizmat qiladi. Unda, issiqlik berish koeffitsiyenti α ni quyidagi formuladan hisoblash mumkin:

$$\alpha = 2{,}04 \sqrt[4]{\frac{r g^2 \lambda^3 g}{\mu \cdot \Delta t \cdot H}} \tag{4.84}$$

bu yerda, r – kondensatsiyalanish issiqligi, J/kg; ρ – kondensat zichligi, kg/m^3; λ – kondensat issiqlik o'tkazuvchanligi, Vt/m·K; μ – kondensatning dinamik qovushoqlik koeffitsiyenti, Pa·s; $\Delta t = t_{to'y} - t_g$ – to'yingan bug' va devor temperaturalari o'rtasidagi farq, °C; H – vertikal truba yoki devor balandligi, m.

Kondensatsiyalanish issiqligi r ning qiymati kondensatsiya temperaturasidagi, kondensatning λ, ρ va μ parametrlari $t_{yuq} = 0{,}5(t_g + t_{kond})$ da hisoblanadi.

Agar bug' gorizontal trubada kondensatsiyalansa, (4.84) formula ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$\alpha = 0{,}72 \sqrt[4]{\frac{r \cdot \rho^2 \lambda^3 g}{\mu \cdot \Delta r \cdot D}} \tag{4.85}$$

bu yerda, D – trubaning tashqi diametri, m.

Agar bug' truba o'ramida kondensatsiyalansa, o'rtacha issiqlik berish koeffitsiyentini hisoblash uchun ushbu formulani qo'llash mumkin:

$$\alpha = 0{,}728 \varepsilon_t \sqrt[4]{\frac{r g \rho^2 \lambda^3}{\mu \Delta r D}} \tag{4.86}$$

bu yerda, ε_t – trubalarning joylashtirilishi (yo'lakli yoki shaxmatli) ga bog'liq koeffitsiyent.

$$\varepsilon_t = \left[\left(\frac{\lambda_g}{\lambda} \right)^3 \frac{\mu}{\mu_g} \right]^{0{,}125} \tag{4.87}$$

(4.78) dagi λ_g va μ_g lar kondensat tegib turgan devor temperaturasida hisoblanadi.

Muhandislik hisoblarda $\varepsilon_t = 0{,}55...0{,}68$ deb qabul qilish mumkin.

Suyuqliklar qaynashi paytida issiqlik berish juda murakkab jarayondir. Amaliyotda eng keng tarqalgan va uchraydigan qaynash turi – bu pufakchali qaynash rejimidir. Ushbu rejimdagi issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlash uchun quyidagi tenglamadan foydalansa bo'ladi:

$$Nu = 125\,\mathrm{Re}^{0{,}66} \cdot \mathrm{Pr}^{0{,}33} \tag{4.88}$$

bu yerda, $Nu = \alpha l/\lambda$; $Re = wl/\mu$; l – chiziqli o'lcham bo'lib, pufakcha radiusining funksiyasi, m; w – bug' fazasi harakatining o'rtacha tezligi, m/s;

Odatda pufakchalar diametri 2...3 mm bo'ladi va uni ushbu formuladan hisoblab topish mumkin:

$$d_o = 0{,}02 \cdot \left[\frac{\sigma}{g(\rho - \rho_s)} \right]^{0{,}5} \tag{4.89}$$

Oxirgi kriterial tenglamadan erkin va majburiy konveksiya sharoitida pufakchali qaynash jarayonida α ni hisoblash uchun quyidagi tenglama keltirib chiqarilgan.

$$\alpha = b \cdot \sqrt[3]{\frac{\lambda^2 \cdot q^2}{\nu \sigma T_{qay}}}$$

bu yerda $b = 0{,}075 + 0{,}75\,(\rho_b/\rho - \rho_b)^{0{,}66}$ – o'lchamsiz koeffitsiyent; ν – suyuqlikning kinematik qovushoqligi, m^2/s; σ – sirtiy taranglik koeffitsiyenti, N/m.

Erkin konveksiya sharoitida pufakchali qaynash rejimida α ni aniqlash uchun ushbu tenglama taklif etilgan:

$$\alpha = 7{,}77 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{\rho_\delta}{\rho - \rho_\delta}\right)^{0{,}033} \cdot \left(\frac{\rho}{\sigma}\right)^{0{,}033} - \frac{\lambda^{0{,}75} \cdot q^{0{,}7}}{\mu^{0{,}45} \cdot c^{0{,}12} \cdot T_{to'y}^{\;0{,}37}} \qquad (4.90)$$

bu yerda, ρ_δ, ρ – bug' va suyuqlikning zichliklari, kg/m^3; σ – suyuqlik va bug'ni ajratib turuvchi chegaradagi sirtiy taranglik, N/m; λ – suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanligi, Vt/m·K; $q=Q/F$ – solishtirma issiqlik yuklama, Vt/m^2; μ – suyuqlik qovushoqligi, Pa·s; c – suyuqlikning solishtirma issiqlik sig'imi, J/(kg·K); $T_{to'y}$ – to'yinish temperaturasi, K.

Katta hajmda suvning qaynash jarayonida issiqlik berish koeffitsiyentini taxminiy hisoblash uchun quyidagi formulani qo'llash mumkin:

$$\alpha = 2{,}72 \cdot q^{0{,}7} p_{abs}^{0{,}7} \qquad (4.91)$$

$$\alpha = 2{,}72 \cdot q^{0{,}7} p^{0{,}4}$$

bu yerda, p – bosim, kg·k/sm²

(4.91) formulani $q = 0{,}4 \cdot q_{kr}$ va $r_{abs} = 0{,}2...10$ kg·k/sm² bo'lgan oraliqda ishlatish mumkin.

Turli issiqlik tarqalishi holatlarida issiqlik berish koeffitsiyentining son qiymatlari to'g'risida muhandis tasavvurga ega bo'lishi kerak.

4-4 jadvalda eng ko'p uchraydigan issiqlik almashinish jarayonlarining taxminiy issiqlik berish koeffitsiyentlari keltirilgan.

4-4 jadval

t/r	Issiqlik almashinish jarayoni	α - issiqlik berish koeffitsiyenti, $Vt/(m^2 \cdot K)$
1.	Gazlarni isitish va sovitish (atmosfera bosimida)	10...50
2.	Organik suyuqliklarni isitish va sovitish	50...1500
3.	Suvni isitish va sovitish	200...10000
4.	Suvning qaynashi	500...10000
5.	Suv bug'larining kondensatsiyalanishi	4000...15000
6.	Organik suyuqlik bug'larining kondensatsiyalanishi	500...2000

4.4.7. Issiqlik berish koeffitsiyentlarining son qiymatlari

Turli issiqlik tarqalish holatlari uchun muhandis issiqlik berish koeffitsiyentining taxminiy son qiymatlarini tasavvur qila olishi kerak. Quyida keltirilgan jadvalda tez-tez uchrab turadigan holatlar uchun konvektiv issiqlik almashinish jarayoni uchun issiqlik berish koeffitsiyenti α ning son qiymatlari 4-4a jadvalda keltirilgan.

4-4a jadval

Normal temperaturadagi havo uchun issiqlik berish koeffitsiyentlari

t/r	Issiqlik almashinish jarayoni	α - issiqlik berish koeffitsiyenti, Vt/(m^2·K)
1.	Tabiiy konveksiya	5...12
2.	Majburiy konveksiya (truba devorida va h.)	10...30
3.	Majburiy konveksiya (yuza b-n issiqlik almashinish) nasadka va qo'zg'almas donador qatlamlarda va h.	20...50
4.	Mavhum qaynash qatlamida	200...400

Issiqlik eltkich sifatida boshqa gazlar ishlatilganda (shu jumladan, o'zgacha temperaturadagi havo) issiqlik berish koeffitsiyenti gazning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ ga bog'liq bo'ladi, ya'ni

$$\frac{\alpha_g}{\alpha_x} = \left(\frac{\lambda_g}{\lambda_x}\right)^{0.66}$$

Truba ichida yoki tashqarisida suv (suyuq holatda) ning tezligi 0,3...2 m/s bo'lib, majburiy harakatlanganda issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi oraliqda α=*1000...3000* Vt/(m^2·K) bo'ladi.

Suvli eritmalar uchun issiqlik berish koeffitsiyenti erigan modda konsentratsiyasiga bog'liq. Past konsentratsiyalarda eritmaning qiymatlari suvning qiymatidan kam farqlanadi. Lekin konsentratsiya ortishi bilan eritma (tuzlar eritmalari) uchun α ning qiymati keskin o'zgaradi, ya'ni kamayadi.

Organik suyuqliklar eritmalari uchun α ning qiymati suvnikiga qaraganda 5…7 marotaba kichik bo'ladi, chunki bu suyuqliklar issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentlari 4…5, issiqlik sig'imlari esa 2 marotaba pastroqdir.

Texnologik qurilmalarda suyuqlikning qaynash jarayonida issiqlik berish koeffitsiyentining qiymatlari juda yuqori α =5000…10000 Vt/(m^2·K) .

Noorganik moddalarning suvli eritmalarining issiqlik berish koeffitsiyentlari suvnikiga nisbatan pastroq, yuqori konsentratsiyali eritmalarda farq juda sezilarli bo'ladi.

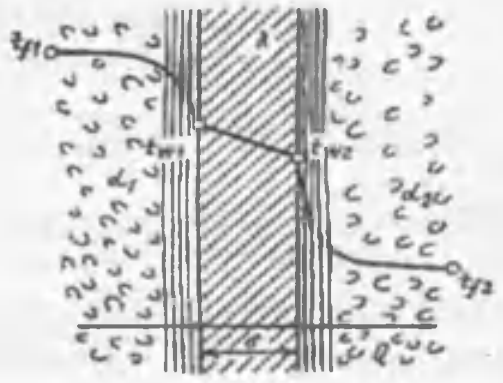
Kondensatsiyalanayotgan suv bug'i uchun issiqlik berish koeffitsiyentining son qiymatlari α =7000…20000 Vt/(m^2·K).

Organik suyuqliklar bug'larining kondensatsiyalanish jarayonida α koeffitsiyentining son qiymatlari o'n va undan ortiq marotaba kichik bo'ladi. Bunga sabab, organik suyuqliklarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti va kondensatsiyalanish issiqligi suvnikiga qaraganda ancha kichik. Ayrim hollarda α ning son qiymatiga organik suyuqlikning dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti ham ta'sir etadi, chunki ba'zi bir organik suyuqliklarning dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti μ suvnikiga nisbatan yuqori.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, ayrim rejimlarda issiqlik berish koeffitsiyenti α ning son qiymatlari yuqorida qayd etilgan oraliqdan farqlanishi mumkin. Lekin shunga qaramasdan, ushbu ma'lumotlar taxmin qilish imkoniyatini beradi.

4.5. Issiqlik o'tkazish

Issiqlik almashinish jarayonlarida ko'pincha issiqlik energiyasi bir suyuqlikdan ikkinchisiga ularni ajratib turuvchi devor orqali uzatiladi. Temperaturasi yuqori bo'lgan suyuqlikka devor orqali issiqlikning uzatilishi **issiqlik o'tkazish** deyiladi. Ushbu yo'l bilan uzatilgan issiqlik miqdori issiqlik o't-kazishning asosiy tenglamasidan aniqlanadi:



4.13-rasm. Tekis devor orqali issiqlik o'tkazish jarayonida temperaturaning o'zgarish xarakteri.

$$Q = K\Delta t_{o'r} F \qquad (4.92)$$

bu yerda, K – issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti. Vt/(m^2 K); $\Delta t_{o'r}$ – issiqlik va sovuqlik eltkichlar temperaturalarining farqi, K; F – ajratib turuvchi devor yuzasi, m^2.

Tekis devorning issiqlik o'tkazishi. 4.13-rasmda qalinligi δ va materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ bo'lgan tekis devor tasvirlangan.

Devorning bir tomonidan temperaturasi t_{f1} (oqim o'zagida) bo'lgan issiqlik eltkich, ikkinchi tomonidan esa – temperaturasi t_{f2} bo'lgan sovuqlik eltkich oqib o'tmoqda.

Devor yuzalarining temperaturasi t_{w1} va t_{w2}. Issiqlik berish koeffitsiyentlari α_1 va α_2.

Turg'un jarayonda F yuza orqali birinchi issiqlik eltkich o'zagidan devorga uzatilayotgan issiqlik miqdori, devordan o'tgan va devordan ikkinchi issiqlik eltkich o'zagiga uzatilayotgan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi.

Ushbu issiqlik miqdorini quyidagi tenglamalardan topish mumkin:

$$Q = \alpha_1 (t_{f1} - t_{w1}) \cdot F$$

$$Q = \frac{\lambda}{\delta}(t_{w1} - t_{w2}) \cdot F$$

$$Q = \alpha_2 (t_{w2} - t_{f2}) \cdot F$$

Yuqorida keltirilgan tenglamalardan quyidagi ifodalarni olish mumkin:

$$t_{f1} - t_{w1} = \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{Q}{F}$$

$$t_{w1} - t_{w2} = \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{Q}{F} \qquad (4.93)$$

$$t_{w2} - t_{f2} = \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{Q}{F}$$

Tenglamalar chap va o'ng tomonlarini qo'shish natijasida, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$t_{f1} - t_{f2} = \frac{Q}{F}\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}\right) \tag{4.94}$$

bundan:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot (t_{f1} - t_{f2}) \cdot F \tag{4.95}$$

(4.92) va (4.95) tenglamalarni solishtirib, quyidagi formulaga erishamiz:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \tag{4.96}$$

bu yerda. K – issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti, Vt/(m^2·K).

Unda, tekis devor uchun issiqlik eltkichning o'zgarmas temperaturalarida issiqlik o'tkazish tenglamasi ushbu ko'rinishni oladi:

$$Q = KF\tau \cdot (t_{f1} - t_{f2}) \tag{4.97}$$

uzluksiz jarayonlar uchun esa:

$$Q = KF(t_{f1} - t_{f2}) \tag{4.98}$$

(4.97) tenglamaga binoan issiqlik o'tkazish koeffitsiyentining o'lchov birligi:

$$K = \left[\frac{Q}{F\tau(t_{f1} - t_{f2})}\right] = \left[\frac{J}{m^2 \cdot c \cdot K}\right] = \left[\frac{Vt}{m^2 \cdot K}\right]$$

(4.96) tenglamadan

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \tag{4.99}$$

Shunday qilib issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti K temperaturasi yuqori bo'lgan issiqlik eltkichdan, temperaturasi past eltkichga vaqt birligida ajratuvchi devorning 1m^2 yuzasidan eltkichlar temperaturasi 1K bo'lganda o'tkazilgan issiqlikning miqdorini bildiradi.

Issiqlik o'tkazish koeffitsiyentiga teskari bo'lgan kattalik **termik qarshilik** deb nomlanadi. $1/\alpha_1$ va $1/\alpha_2$ lar issiqlik berishning termik qarshiligi bo'lsa, δ/λ devorning termik qarshiligi. (4.99) tenglamadan ko'rinib turibdiki, issiqlik o'tkazishning termik qarshiligi issiqlik berish va devorning termik qarshiliklar yig'indisiga teng.

Devorning termik qarshiligini aniqlashda, unga o'tirib qolgan quyqa va iflosliklarning termik qarshiligini ham hisobga olish zarur (4-5 jadval).

$$r_{ifl} = \frac{\delta_{ifl}}{\lambda_{ifl}}$$

Ko'p qatlamli tekis devordan issiqlik o'tish jarayonida har bir qatlamning termik qarshiligi hisobga olinishi zarur. Bunday devorlar uchun ***K*** ni quyidagi tenglamadan aniqlash lozim:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \qquad (4.100)$$

bu yerda, i – qatlamning tartib raqami; n – qatlamlar soni.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, har doim issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti eng minimal issiqlik berish koeffitsiyenti qiymatidan kichik bo'ladi.

4-5 jadval

r_{ifl}. ning taxminiy qiymatlari

T/r	Issiqlik eltkich	$r_{ifl}, \frac{m^2 K}{Vt}$
1.	Suv	
	- distillangan	0,00009
	- dengiz	0,00009
	- sifatli quduq, ko'l, vodoprovod, daryo suvi	0,00018
	- w<0,9 m/s	0,00035
	- w>0,9 m/s	0,00018
	- ifloslangan daryo suvi	
	- w<0,9 m/s	0,00053
	- w>0,9 m/s	0,00035
2.	Neft mahsulotlari	
	- xomashyo	0,00009
	- toza (shu jumladan mineral moylar)	0,00018
3.	Organik suyuqliklar, tuzli eritmalar, sovuqlik eltkichlar (NH_3, freonlar va hokazo.)	0,00018
4.	Suv bug'i	0,00018
5.	Bug'lar	
	- organik suyuqlikniki	0,00009
	- sovuq eltkichlarniki	0,00035
6.	Havo	0,00035

Silindrik devorning issiqlik o'tkazishi. Ma'lumki, sanoatning turli sohalarida issiqlik almashinish truba orqali o'tadi (4.7-rasm). Trubadan temperaturasi t_1 bo'lgan suyuqlik harakat qilsa, tashqarisidan esa – t_2 temperaturali suyuqlik oqib o'tsin, ya'ni $t_1 > t_2$ dan. Temperaturasi yuqori suyuqlikdan truba ichki devoriga issiqlik berish koeffitsiyenti α_1, tashqi yuzasidan sovuq suyuqlikka issiqlik berish koeffitsiyenti - α_2, truba balandligi L, ichki radiusi r_1 va tashqi radiusi r_2 bo'lsa, silindrik yuzadan uzatilgan issiqlik miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = K_R 2\pi\tau \cdot (t_1 - t_2) \qquad (4.101)$$

Issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti ***K*** ni esa ushbu tenglamadan topiladi:

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 r_1} + \frac{1}{\lambda} 2{,}3 \lg \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot r_2}} \qquad (4.102)$$

bu yerda, K_R – issiqlik o'tkazishning chiziqli koeffitsiyenti, Vt/(m·K).

K ning K_R dan farqi shundaki, K devorning yuza birligiga nisbatan olinsa, ikkinchisi K_R – truba uzunligining birligiga nisbatan olinadi.

4.6. Issiqlik almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuch

Issiqlik almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuchi – issiqlik eltkichlarning temperaturalar farqi. Ushbu farq ta'siri ostida issiqlik temperaturasi yuqori muhitdan temperaturasi past muhitga o'tadi.

O'zgarmas temperaturada issiqlik o'tkazish jarayoni juda kam tarqalgan. Bunday jarayonlar, bir tomonida bug' kondensatsiyalansa, ikkinchisida esa suyuqlik qaynashi ro'y beradi. Lekin sanoatda ko'pchilik jarayonlar issiqlik eltkichlarning o'zgaruvchi temperaturalarida sodir bo'ladi.

Odatda temperatura issiqlik eltkichlarni ajratib turuvchi devor yuzasi F bo'ylab o'zgaradi. Lekin vaqt o'tishi bilan issiqlik eltkichning temperaturasi o'zgarmasligi mumkin va u $t = f(F)$ funksiya bilan ifodalanadi. Bunday hol turg'un issiqlik almashinish jarayonini xarakterlaydi.

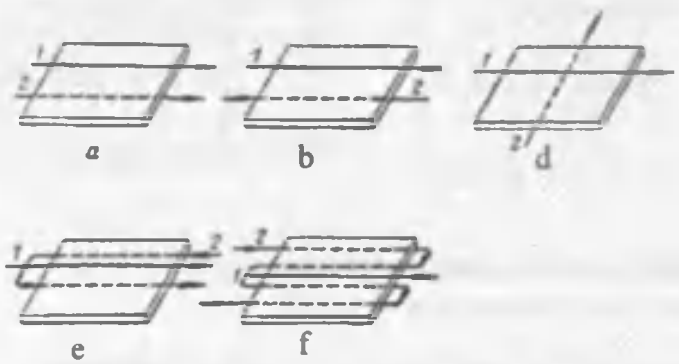
Noturg'un issiqlik almashinish jarayonlarida 2 holat bo'lishi mumkin:

– devor yuzasining har bir nuqtasida temperatura faqat vaqt o'tishi bilan o'zgaradi, ya'ni $t = f(\tau)$;

– issiqlik eltkichning temperaturasi vaqt o'tishi va devor yuzasi bo'ylab o'zgaradi, ya'ni $t > f(\tau, F)$.

O'zgaruvchan temperaturada issiqlik o'tkazish suyuqliklarning harakat yo'nalishiga bog'liqdir.

Uzluksiz ishlaydigan qurilmalarda issiqlik almashinish jarayonida suyuqliklar harakati parallel, qarama-qarshi, kesishib o'tgan va murakkab (aralash) yo'nalishli bo'lishi mumkin (4.14-rasm).



4.14-rasm. Issiqlik almashinish jarayonida suyuqliklarning harakat yo'nalishlari
a - parallel; b - qarama - qarshi;
d - kesishib o'tgan; e, f - aralash.

Ajratib turuvchi devor bo'ylab bir-biriga nisbatan suyuqliklar harakatining quyidagi variantlari bo'lishi mumkin:

1) parallel harakatda (4.14a-rasm) ikkala issiqlik eltkichlar ham bir xil yo'nalishda harakat qiladi;

2) qarama-qarshi harakatda (4.14б-rasm) issiqlik eltkichlar bir-biriga qarshi yo'nalishda harakat qiladi;

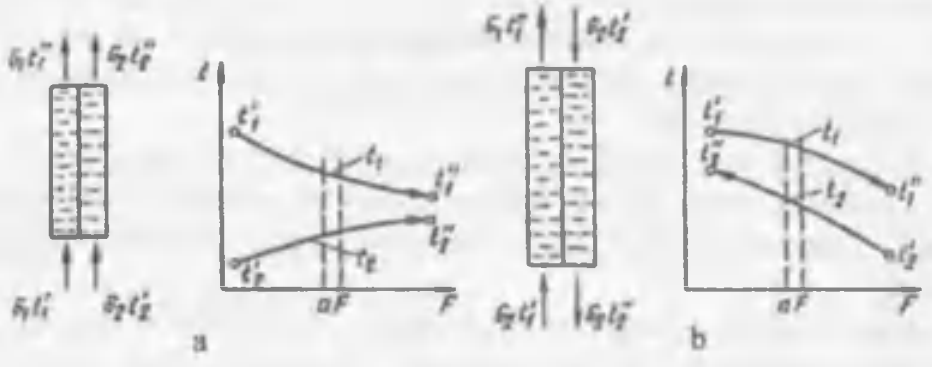
3) kesishib o'tuvchi harakatda (4.14d-rasm) issiqlik eltkichlar bir-biriga nisbatan perpendikular yo'nalishda harakat qiladi;

4) murakkab yoki aralash harakatda (4.14e, f-rasm) birinchi issiqlik eltkich bir yo‘nalishda harakat qilsa, ikkinchisi ham to‘g‘ri, ham teskari yo‘nalishda harakat qiladi.

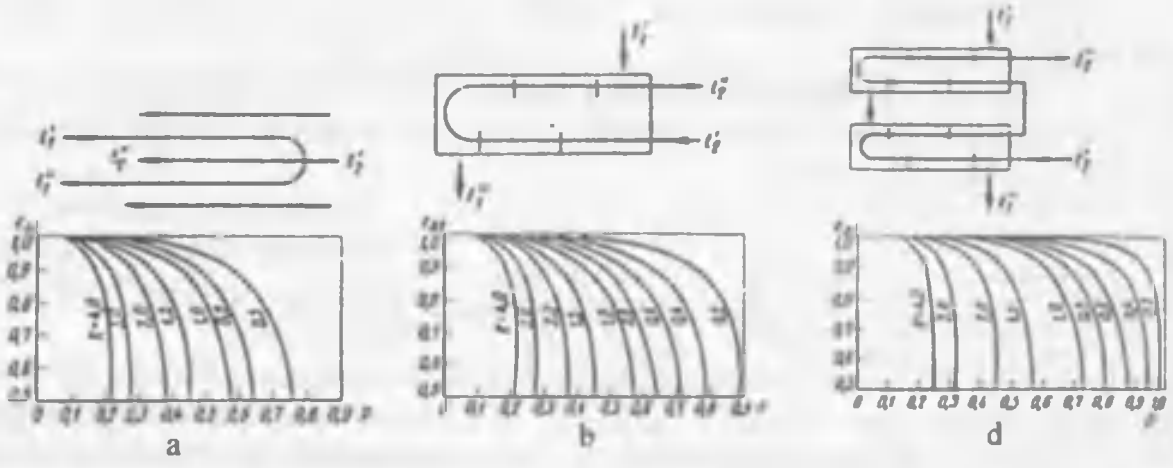
O‘zgaruvchan temperaturali jarayonlarda issiqlik eltkichlarning o‘zaro harakat yo‘nalishiga qarab, issiqlik almashinish jarayonining harakatga keltiruvchi kuchi o‘zgaradi. Shuning uchun, issiqlik o‘tkazishning asosiy tenglamasidagi o‘rtacha harakatga keltiruvchi kuch suyuqliklarning bir-biriga nisbatan harakat yo‘nalishiga va jarayonni tashkil etilishiga bog‘liq bo‘ladi.

4.15-rasmda parallel va qarama-qarshi yo‘nalishli harakatlar paytida issiqlik eltkichlar temperaturalarining o‘zgarishi tasvirlangan. Issiqlik eltkichlardan biri G_1 sovutilganda temperaturasi t_1 dan t_2 gacha pasaymoqda, ikkinchisi esa G_2, isitilganda t_2' dan t_2'' gacha ko‘tarilmoqda.

4.16-rasmda qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmalarida tez-tez uchrab turadigan aralash yo‘nalishli suyuqliklar harakat sxemalari keltirilgan.



4.15-rasm. Issiqlik eltkichlar temperaturalarining o‘zgarish sxemasi:
a - parallel yo‘nalish; d - qarama - qarshi yo‘nalish.



4.16-rasm. Aralash yo‘nalishli qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmasida issiqlik eltkichlarning harakat sxemasi va $\varepsilon\Delta t$ koeffitsiyenti:

a - trubalararo bo‘shlig‘i bir va trubalar bo‘shlig‘i esa ikki, to‘rt, olti va undan ortiq yo‘lli; b - ko‘ndalang to‘siqli trubalararo bo‘shlig‘i bir va trubalar bo‘shlig‘i ikki, to‘rt, olti va ortiq yo‘lli; d - ko‘ndalang to‘siqli trubalararo bo‘shlig‘i ikki va trubalar bo‘shlig‘i to‘rt yo‘lli.

4.15-rasmdan ko‘rinib turibdiki, issiqlik almashinish jarayonida ikki issiqlik eltkichlar orasidagi harakatga keltiruvchi kuch miqdori devor yuzasi bo‘ylab

o‘zgarmoqda. Masalan, issiqlik eltkichlarning qurilmaga kirishda, parallel yo‘nalishda (4.15a-rasm) lokal harakatga keltiruvchi kuch maksimal qiymatga ega: $\Delta t_{max} = t_1' - t_2'$, qurilmadan chiqishda esa, minimal $\Delta t_{min} = t_1'' - t_2''$. Qarama-qarshi yo‘nalishli harakatda ham xuddi shunday natijaga ega bo‘lamiz. Shuning uchun issiqlik almashinish jarayonlarini hisoblashda o‘rtacha harakatga keltiruvchi kuchdan foydalaniladi.

Issiqlik almashinish yuzasining cheksiz kichik elementida vaqt birligida issiq eltkichdan sovuq eltkichga uzatilayotgan issiqlik miqdori (4.15a-rasm) ushbu tenglamadan aniqlanadi: $dQ = K(t_1 - t_2)dF$.

Issiqlik almashinish oqibatida issiq eltkichning temperaturasi $dt_1 = -dQ/(G_1 c_1)$ ga pasayadi.

Sovuq eltkichning temperaturasi esa $dt_2 = dQ/(G_2 c_2)$ ga ko‘tariladi.

Bu yerda G_1 va G_2 – issiq va sovuq eltkichlarning massaviy sarfi; c_1 va c_2 – issiq va sovuq eltkichlarning solishtirma issiqlik sig‘imlari.

Issiqlik eltkichlar temperaturasining o‘zgarishini topish uchun birinchi tenglamadan ikkinchisini ayirish kerak:

$$d(t_1 - t_2) = -dQ\left(\frac{1}{G_1 \cdot c_1} - \frac{1}{G_2 \cdot c_2}\right) \qquad (4.103)$$

Agar issiqlik o‘tkazishning asosiy tenglamasining dQ qiymatini (4.103)ga qo‘ysak, ushbu ifodaga ega bo‘lamiz:

$$\frac{d(t_1 - t_2)}{t_1 - t_2} = -K\left(\frac{1}{G_1 c_1} + \frac{1}{G_2 c_2}\right)dF \qquad (4.103a)$$

F yuzali issiqlik almashinish qurilmasida vaqt birligida issiqlik eltkichdan sovug‘iga o‘tgan issiqlik miqdori Q, issiqlik balansi tenglamasidan topiladi:

$$Q = G_2 c_2 (t_1' - t_1'') = G_2 c_2 (t_2'' - t_2') \qquad (4.104)$$

(4.104) tenglamadagi $G_1 c_1$ va $G_2 c_2$ larning qiymatlarini (4.103a) ga qo‘ysak, ushbu ko‘rinishni olamiz:

$$\frac{d(t_1 - t_2)}{t_1 - t_2} = -\frac{K}{Q}\left[(t_1' - t_1'') + (t_2'' - t_2')\right] \cdot dF \qquad (4.105)$$

(4.105) tenglamani o‘zgarmas K da integrallasak:

$$Q = KF\frac{(t_1' - t_2') - (t_1'' - t_2'')}{\ln\frac{t_1' - t_2'}{t_1'' - t_2''}} \qquad (4.106)$$

yoki:

$$Q = KF\frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} \quad (4.107)$$

(4.106), (4.107) va issiqlik o'tkazishning asosiy tenglamalarini solishtirish natijasida issiqlik o'tish jarayonining o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchini topish mumkin:

$$\Delta t_{o'rt} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} \quad (4.108)$$

Ushbu ifoda issiqlik eltkichlarning qarama-qarshi yo'nalishli harakati uchun ham taalluqlidir.

Agar $\Delta t_{max}/\Delta t_{min} \leq 2$ va issiqlik eltkichlarning tezligi kichik bo'lganda, temperaturalarning farqi o'rtacha arifmetik qilib hisoblanadi:

$$\Delta_{o'rt} = \frac{(\Delta t_{max} + \Delta t_{min})}{2} \quad (4.109)$$

Bu formulada hisoblaganda, xatolik 5% dan oshmaydi.

Issiqlik eltkichlarning kesishib o'tgan va aralash yo'nalishli harakatlarida o'rtacha harakatlantiruvchi kuch quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\Delta t_{o'rt} = \varepsilon_{\Delta t}\frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} \quad (4.110)$$

bu yerda, $\varepsilon_{\Delta t}$ – o'lchamsiz, koeffitsiyent bo'lib, 4.16-rasmdagi tegishli grafiklardan topish mumkin.

Grafiklardagi P va R kattaliklar Bouman formulasidan foydalanib ham topiladi:

$$P = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'}$$

$$R = \frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'} \quad (4.111)$$

4-bob. Issiqlik o'tkazish bo'yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Issiqlik almashinish jarayonini ta'riflab bering.
2. Issiqlik eltkich deganda nima tushuniladi?
3. Issiqlik almashinish qurilmalari degan terminga ta'rif bering.
4. Issiqlik almashinish qurilmalarini hisoblashda qaysi parametrlar topiladi?
5. Issiqlik balans nima?
6. Temperatura gradiyenti nima?
7. Furye qonunining fizik ma'nosi va formulasini yozing.

8. Issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti nimaga bog‘liq va uning o‘lchov birligi?
9. Qaysi agregat holatida jismlar yuqori issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentiga ega?
10. Temperatura o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentini hisoblash formulasini yozing va o‘lchov birligini toping.
11. Furyening issiqlik o‘tkazuvchanlik differensial tenglamasini yozing.
12. Tekis devor issiqlik o‘tkazuvchanlik formulasini keltirib chiqaring.
13. Silindrik devor issiqlik o‘tkazuvchanlik formulasini keltirib chiqaring.
14. Sharsimon devor issiqlik o‘tkazuvchanlik formulasini yozing.
15. Murakkab shaklli devor uchun issiqlik o‘tkazuvchanlik formulasini yozing.
16. Paxta chigiti uchun issiqlik o‘tkazuvchanlik formulasini yozing.
17. Issiqlik nurlanish ta’rifini bering.
18. Elektromagnit to‘lqinlar turlari va xossalari.
19. Absolyut oq jism nima va uning formulasini yozing?
20. Absolyut qora jism nima va uning formulasini yozing?
21. Absolyut shaffof jism nima va uning formulasini yozing?
22. Kulrang jism nima va uning formulasini yozing?
23. Stefan-Bolsman qonunining fizik ma’nosi va formulasini yozing.
24. Kirxgof qonunining fizik ma’nosi va formulasini yozing.
25. Lambert qonunining fizik ma’nosi va formulasini yozing.
26. Konvektiv issiqlik almashinish jarayonining mexanizmini tushuntirib bering.
27. Nyuton qonunining fizik mohiyati va formulasini yozing.
28. Issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlang va o‘lchov birligini keltirib chiqaring.
29. Nusselt kriteriysi qaysi kuchlar nisbatini ifodalaydi va formulasini yozing?
30. Prandtl kriteriysi qaysi kuchlar nisbatini ifodalaydi va formulasini yozing?
31. Pekle kriteriysi qaysi kuchlar nisbatini ifodalaydi va formulasini yozing?
33. Furye kriteriysi qaysi kuchlar nisbatini ifodalaydi va formulasini yozing?
35. Grasgof kriteriysi qaysi kuchlar nisbatini ifodalaydi va formulasini yozing?
36. Galiley kriteriysi qaysi kuchlar nisbatini ifodalaydi va formulasini yozing?
37. Erkin konveksiya jarayonida issiqlik berish qaysi formuladan topiladi?
38. Majburiy konveksiya jarayonida issiqlik berish qaysi formuladan topiladi?
39. Laminar rejimda issiqlik berish qaysi formuladan topiladi?
40. Turbulent rejimda issiqlik berish qaysi formuladan topiladi?
41. O‘tish rejimida issiqlik berish qaysi formuladan topiladi?
42. Issiqlik eltkichning agregat holati o‘zgarganda issiqlik berish qaysi formuladan topiladi?
43. Issiqlik o‘tkazishning asosiy tenglamasini yozing.
44. Tekis devorning issiqlik o‘tkazishi qaysi formuladan topiladi?
45. Silindrik devorning issiqlik o‘tkazishi qaysi formuladan topiladi?
46. Issiqlik eltkichlarning qanday harakat yo‘nalishlari mavjud?
47. O‘rtacha temperaturalar farqi qanday topiladi?

ISITISH, BUG'LANISH, SOVITISH VA KONDENSATSIYALASH

4.7. Umumiy tushunchalar

Kimyo va boshqa sanoatlarda issiqlik almashinish qurilmalarida o'tkaziladigan suyuqlik va gazlarni isitish, bug'lanish, sovitish va bug'larni kondensatsiyalash jarayonlari juda keng tarqalgan.

Biror muhitdan boshqasiga issiqlik o'tkazish uchun mo'ljallangan moslama **issiqlik almashinish qurilmasi** deb nomlanadi. Issiqlik uzatish jarayonida qatnashayotgan muhitlar **issiqlik eltkichlar** deb ataladi. Yuqori temperaturali va issiqlik beruvchi muhit **issiqlik eltkich** deyiladi. Past temperaturali va issiqlik oluvchi muhit **sovuqlik eltkich** deyiladi.

Turli sanoatlarda to'g'ridan to'g'ri issiqlik manbai bo'lib, yoqilg'ilarni yonishidan hosil bo'lgan gazlar va elektr energiyasi ham ishlatiladi. Bu turdagi bevosita issiqlik manbalaridan issiqlik olib, o'zining issiqligini qurilma devori orqali isitilayotgan suyuqlik yoki gazga beruvchi moddalar **oraliq issiqlik eltkichlar** deb yuritiladi. Bunday issiqlik eltkichlarga suv bug'i, issiq suv va yuqori temperaturali issiqlik eltkichlar (o'ta qizdirilgan suv, mineral moy, organik suyuqlik va ularning bug'lari, tuz eritmalari, suyuq materiallar va boshqalar) kiradi.

Oddiy temperatura (10...30°C) largacha sovitish uchun suv hamda havo keng miqyosda va samarali qo'llaniladi.

Issiqlik eltkichlarni tanlashda ularning quyidagi xossalariga e'tibor berish zarur:

– muhitni sovitish yoki sovitish darajasi va uni boshqarish;

– minimal massaviy va hajmiy sarflarda katta issiqlik almashinish tezligiga erishish;

– qovushoqligi kichik, zichligi, issiqlik sig'imi va bug' hosil qilish issiqligi katta bo'lishi kerak;

– yonmaydigan, zaharlimas, issiqlikka chidamli bo'lishi zarur;

– issiqlik almashinish qurilma materialini yemirmasligi va buzmasligi kerak;

– arzon va kamyob bo'lmasligi zarur.

Ko'p holatlarda issiqlik eltkichlar sifatida sanoat yarim mahsulot, mahsulot va chiqindilarning issiqligidan foydalanish iqtisodiy tomondan maqsadga muvofiqdir.

4.7.1. Bug' bilan isitish

Ma'lumki, sanoat miqyosida issiqlik eltkich sifatida to'yingan suv bug'i keng ko'lamda ishlatiladi, chunki u bir qator afzalliklarga ega. Masalan, bug' kondensatsiyalanganda juda katta miqdorda issiqlik ajralib chiqadi. Agar bug'ning bosimi $9{,}8 \cdot 10^4$ N/m^2 bo'lsa, $2{,}26 \cdot 10^6$ J/kg miqdorda issiqlik berishi mumkin. Kondensatsiyalanayotgan bug'ning issiqlik berish koeffitsiyenti yuqori bo'lgani uchun, bug' tomonidagi termik qarshilik kichik bo'ladi. Bu esa, bug' yordamida isitish uchun kam yuza talab etadi.

To'yingan bug'ning eng asosiy afzalliklaridan biri shundaki, ma'lum bir bosimda, bir xil temperaturada kondensatsiyalanadi. Bu hol tegishli isitish temperaturasini yuqori aniqlikda ushlab turish imkonini beradi.

Zarur paytda bug' bosimini o'zgartirish usuli bilan isitish temperaturasini boshqarib turish mumkin. Bug' kondensati issiqligidan foydalanish natijasida bug'li

isitkichlar f.i.k. juda yuqori bo‘ladi. Yana bir afzalligi shundaki, bug‘ yonmaydi va undan foydalanish qulay.

Suv bug‘ining asosiy kamchiligi, bu uning temperatura ortishi bilan bosimining proporsional ravishda o‘sishidir. Shuning uchun, suv bug‘i yordamida 180...200°C gacha isitish mumkin. Ushbu temperaturalarda bug‘ning bosimi 1,0...1,2 MPa ga to‘g‘ri keladi. Juda yuqori bosimli issiqlik eltkichlar ishlatilganda, qalin devorli va qimmat qurilmalardan foydalanishga to‘g‘ri keladi.

4.7.2. Issiq suv bilan isitish

Ushbu usul mahsulotlarini 100°C gacha isitish uchun qo‘llaniladi. 100°C dan yuqori temperaturalargacha isitish uchun ortiqcha bosim ostidagi **o‘ta qizdirilgan suv** ishlatiladi.

Suvning afzalliklari juda ko‘p: yer kurrasida keng tarqalgan va arzon; korrozion faol emas. Odatda biror mahsulotni isitish issiqlik qurilmasining devori orqali amalga oshiriladi. Ayrim hollarda isitish uchun suv bug‘i kondensatining issiqligidan ham foydalanish mumkin.

Suv yoki boshqa organik suyuqliklar bilan isitish uchun ko‘pincha sirkulatsion usul ishlatiladi. Sirkulatsion harakat erkin yoki majburiy bo‘lishi mumkin. Lekin sanoatda nasos yordamida amalga oshiriladigan majburiy sirkulatsion jarayonlar keng tarqalgan.

Pomidor, bodring, poliz mahsulotlarini yetishtirishda issiqxona (teplitsa) larda zavod va fabrikalardan chiqarib tashlanayotgan issiq suvlar ishlatiladi.

4.7.3. Yuqori temperaturali organik suyuqlik va ularning bug‘lari bilan isitish

Ushbu guruh issiqlik eltkichlariga quyidagi organik moddalar kiradi: glitserin, etilenglikol, naftalin, difenil efiri, difenilmetan, ditolilmetan, difenil va polifenollarni xlorli mahsulotlari, mineral moylar, tetraxlordifenil, kremniy organik birikmalar va hokazolar.

Sanoatda eng keng tarqalgan yuqori temperaturali organik suyuqliklardan biri difenil aralashma (26,5 - difenil va 73,5% - difenil efiri) sidir. Ushbu issiqlik eltkich sirkulatsion usulda isitish uchun ishlatiladi va erkin sirkulatsiya sharoitida issiqlik berish koeffitsiyenti 200...350 Vt/(m^2·K).

Difenil aralashmasining asosiy afzalliklaridan biri shundaki, yuqori bosim ishlatmasdan turib yuqori temperaturalar olish mumkinligidir. Masalan, 300°C temperaturada suv bug‘ining bosimi 87,6 atm. bo‘lsa, difenil aralashmasida esa – atigi 2,4 atm.

Ushbu guruhdagi organik suyuqliklar yordamida 250...400°C temperaturagacha isitish mumkin.

Suv yoki boshqa issiqlik eltkichning isitish uchun ketgan sarfi issiqlik balansidan aniqlanadi:

$$G_c c_s t_{sh} + G_m c_m t_{mb} = G_c c_c t_{\max} + Q_{yo'q} \qquad (4.112)$$

bu yerda G_s va G_m – suv va mahsulotning massaviy sarflari, kg/soat; c_s va c_m – suv va mahsulotning issiqlik sig‘imlari, kJ/(kg·K); t_{sh} va t_{mb} – suv va mahsulotning boshlang‘ich temperaturalari, °C; t_{sox} va t_{max} – suv va mahsulotning chiqishdagi temperaturalari, °C; $Q_{yo'q}$ – atrof-muhitga issiqlikning yo‘qotilishi, kJ/soat.

(4.112) dan suvning sarfini topish mumkin:

$$G_s = \frac{G_m c_m (t_{moo} - t_{mb}) + Q_{yo'q}}{c_s (t_{sb} - t_{cox})} \quad (4.113)$$

4.7.4. To'yingan suv bug'i bilan isitish

Ushbu usulda isitish amaliyotda keng miqyosda qo'llaniladi. Bunga uning quyidagi afzalliklari sababchidir: kondensatsiyalanish jarayonida juda katta miqdorda issiqlik ajrab chiqadi (2024...2264 kJ/kg); kondensatsiyalanayotgan bug'dan devorga issiqlik berish koeffitsiyenti juda yuqori; isitish bir tekisda sodir bo'ladi.

O'tkir bug' bilan isitishda suv bug'i bevosita isitilayotgan suyuqlikka yuboriladi. Natijada bug' kondensatsiyalanadi va issiqligini suyuqlikka beradi. Jarayonda hosil bo'lgan kondensat suyuqlik bilan aralashib ketadi. Isitish va aralashtirish jarayonlarini birdaniga amalga oshirish uchun bug' barboter yordamida suyuqlik qatlamiga yuboriladi.

O'tkir bug' sarfi issiqlik balansidan topiladi:

$$Gcc_b + Di'' = G\,c\,t_{ox} + D\,c\,t_{ox} + Q_{yo'q} \quad (4.114)$$

O'tkir bug' sarfi:

$$D = \frac{G\,c\,(t_{ox} - t_b)}{i'' - ct_{ox}} \quad (4.115)$$

Isitilayotgan muhitni suv bilan aralashishi mumkin bo'lgan hollardagina o'tkir bug' bilan isitish jarayoni qo'llaniladi.

Ushbu usul ko'pincha suv va suvli eritmalarni isitish uchun ishlatiladi.

Kuchsiz bug' bilan isitishda issiqlik bug'dan suyuqlikka ajratib turuvchi devor orqali uzatiladi. Qurilma ichida bug' kondensatsiyalangandan so'ng, uning bug' bo'shlig'idan kondensat holatida chiqariladi. Hosil bo'lgan kondensatning temperaturasi isituvchi bug'ning to'yinish temperaturasiga teng deb qabul qilinadi.

Suyuqlikni isitish jarayonida bug'ning massaviy sarfi ham issiqlik balansidan topiladi:

$$G\,c\,t_b + D_1'' = G\,c\,t_{ox} + Di' + Q_{yo'q} \quad (4.116)$$

Kuchsiz bug' sarfi:

$$D = \frac{G\,c\,(t_{ox} - t_b) + Q_{yo'q}}{i'' - i'} \quad (4.117)$$

bu yerda D – bug'ning massaviy sarfi, kg/soat; G – suyuqlikning massaviy sarfi, kg/soat; c – suyuqlikning solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K); t_b va t_{ox} – suyuqlikning boshlang'ich va oxirgi temperaturalari, °C; i' va i'' – isituvchi bug' va kondensatning entalpiyalari, kJ/soat.

4.7.5. Tutun gazlari bilan isitish

Tutun gazlari bilan isitish turli sanoat sohalarida ancha vaqtdan beri qo'llanilib kelinayotgan usullardan biridir. Tutun gazlari suyuq, gazsimon va qattiq yoqilg'ilarni maxsus o'txonalarida yondirish natijasida hosil bo'ladi. Ushbu gazlar yordamida 1000...1100^{0}C temperaturagacha isitish mumkin.

Tutun gazlari yordamida isitishning kamchiliklari: kichik issiqlik berish koeffitsiyenti [35...60 Vt/(m^2 K)]; temperaturalarining farqi juda katta va isitish jarayoni bir tekisda emas; temperaturani rostlash murakkab; qurilma devorlarining oksidlanishi va tutun tarkibida zararli moddalarning borligi, ushbu usulni oziq-ovqat mahsulotlarini qayta ishlashda qo'llash mumkin emas.

Lekin kimyo sanoatida tutun gazlarini qo'llash katta samara beradi, chunki ushbu gazlarni ishlatishda qo'shimcha yoqilg'i talab etilmaydi. Shuning uchun tutun gazlarini isitish jarayonida qo'llash iqtisodiy jihatdan juda foydalidir.

4.7.6. Elektr toki bilan isitish

Elektr toki yordamida materiallarni juda katta temperatura oralig'ida isitish, zarur temperaturani ushlab turish va oson rostlash mumkin. Undan tashqari, elektr isitish moslamalari sodda, ixcham, ishlatish va ta'mirlash qulaydir. Lekin elektr toki bilan isitish ancha qimmat.

Elektr tokini issiqlik energiyasiga aylantirish usuliga qarab ushbu usul bir necha turga bo'linadi: elektr qarshiligi yordamida isitish, induksion isitish, yuqori chastotali isitish, elektr yoyi bilan isitish.

Elektr qarshiligi yordamida 1000...1100^{0}C gacha isitish mumkin. Atrof-muhitga issiqlik yo'qotilishini bartaraf qilish uchun o'txona issiqlik qoplamasi bilan o'raladi. O'txonaning asosiy isitish elementlari sim yoki lentasimon qilib nixrom qotishmasidan yasaladi.

Induksion isitish qurilma devori qalinligida o'zgaruvchan tok maydoni ta'sirida foydali ish koeffitsiyenti uyurmaviy toklari hosil bo'ladi va ular issiqlik ajralib chiqishga sababchi bo'ladi.

Ushbu usulda bir tekisda isitish mumkin. Odatda induksion isitishda 400^{0}C temperaturaga erishish va kerakli temperaturani yuqori aniqlikda ushlab turish mumkin.

Bu usulning kamchiliklaridan biri – bu uning qimmatligi. Isitishni arzonlashtirish uchun kombinatsiyalashgan usuldan foydalaniladi. Buning uchun mahsulot to'yingan suv bug'i yordamida 180^{0}C gacha qizdiriladi va undan keyin induksion usulda kerakli temperaturagacha isitiladi.

Yuqori chastotali isitish. Ushbu usulda elektr toki o'tkazmaydigan materiallar isitiladi, shuning uchun ham dielektrik usul deb nomlanadi.

Yuqori chastotali isitgichning ishlash prinsipi quyidagicha: o'zgaruvchan elektr maydoniga joylashtirilgan material molekulalari maydon chastotasi bilan tebranma harakat qila boshlaydi va qutblanadi. Material molekulalarining tebranma harakat energiyasi dielektrik molekulalari orasidagi ishqalanish kuchini yengishga sarflanadi va material massasida issiqlikka aylanadi. Ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori tok chastotasi va kuchlanish kvadratiga proporsionaldir. Isitish bu usulda bir tekisda bo'ladi. Undan tashqari, isitish temperaturasi oson va aniq rostlanadi. Lekin bu turdagi isitkichlar murakkab va ularning foydali ish koeffitsiyenti juda past bo'ladi. Ushbu usulda ishlaydigan isitkichlarda 1 10^6...1 10^8 Gs chastotali toklar qo'llaniladi.

Elektr toki yordamida isitish jarayonida ajralib chiqadigan issiqlik miqdori issiqlik balansidan topiladi:

$$Q_e + Gct_b = Gct_{ox} + Q_{yo'q} \qquad (4.118)$$

bu yerda, Q_e – elektr toki o'tganda elektr isitish moslamasidan ajralib chiqqan issiqlik miqdori, kJ/soat; G – isitilayotgan qurilmada qayta ishlanayotgan mahsulot miqdori, kg/soat; c – material solishtirma issiqligi, J/(kg·K); t_b, t_{ox} – materialning boshlang'ich va oxirgi temperaturalari, ^{0}C; $Q_{yo'q}$ – atrof-muhitga yo'qotilayotgan issiqlik miqdori, kJ/soat.

(4.118) tenglamadan

$$Q_e = Gc \cdot (t_{ox} - t_b) + Q_{yo'q} \qquad (4.119)$$

Isituvchi elementlar quvvati esa ushbu ifodadan aniqlanadi:

$$N = \frac{Q}{3600} \qquad (4.120)$$

4.8. Kondensatsiyalash

Bug' yoki gazlarni, suv yoki havo yordamida sovitib, suyuq agregat holatiga o'tkazish jarayoniga **kondensatsiyalash** deyiladi. Kondensatsiyalash jarayoni kondensatorlarda amalga oshiriladi. Ushbu jarayon kimyo va oziq - ovqat sanoatlarida turli moddalarni suyultirish uchun qo'llaniladi. Bug'ning kondensatsiyalanishida hosil bo'lgan kondensatning hajmi bug' hajmiga nisbatan taxminan 1000 marta kichik. Bu hodisa kondensatorlarda vakuum hosil bo'lishiga olib keladi.

Sovitish usuliga qarab kondensatsiyalanish jarayoni 2 turga bo'linadi: sirtiy va issiqlik eltkichlarni aralashtirish yo'li bilan kondensatsiyalash.

Kondensatsiyalash jarayonida ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori ushbu formuladan aniqlanadi:

$$Q = Dr \qquad (4.121)$$

bu yerda, D – kondensatsiyalanayotgan bug' massasi, kg; r – kondensatsiyalanish issiqligi, kJ/kg.

Masalan, 1 kg suv bug'ining atmosfera bosimida kondensatsiyalanishida 2264 kJ miqdorda issiqlik ajralib chiqadi.

Sirtiy kondensatsiya issiqlik almashinish qurilmalarida amalga oshiriladi. Bunday qurilmalar **sirtiy kondensator** deb nomlanadi.

O'ta qizdirilgan bug'ni suv bilan kondensatsiyalash jarayonining issiqlik balansi:

$$Di + Wc_s t_{sb} = Dc_{kon} t_{kon} + Wc_c t_{sox} + Q_{yo'q} \qquad (4.122)$$

bu yerda, D – kondensatorga kirayotgan bug'ning massaviy sarfi, kg/soat; i – bug' entalpiyasi, kJ/kg; c_c va c_{kond} – suv va kondensatning solishtirma issiqlik sig'imi, J/(kg·K); t_{sb}, t_{sox} – suvning boshlang'ich va oxirgi temperaturasi,°C; $Q_{yo'q}$ – atrof-muhitga yo'qotilayotgan issiqlik miqdori, kJ/soat.

(4.122) dan sovutuvchi suvning massaviy sarfi aniqlanadi (kg/soat):

$$W = \frac{D \cdot (i - c_{kon} t_{kon}) - Q_{yo'q}}{c_s (t_{sox} - t_{sb})} \qquad (4.123)$$

O‘ta qizdirilgan bug‘ning solishtirma entalpiyasi (kJ/kg) ushbu tenglama orqali hisoblanadi:

$$I = c_{bug'}\left(t_{bug'} - t_{to'y}\right) + r + c_{kon} \cdot t_{to'y}$$

bu yerda, $c_{bo'g}$ – o‘ta qizdirilgan bug‘ solishtirma issiqlik sig‘imi, kJ/(kg·K); $t_{bug'}$ – o‘ta qizdirilgan bug‘ temperaturasi,°C; $t_{to'y}$ – bug‘ning to‘yinish temperaturasi,°C; r – bug‘ning kondensatsiyalanish issiqligi, kJ/kg.

Kondensatorning issiqlik o‘tkazish yuzasi 3 ta zona uchun alohida hisoblanadi:

– o‘ta qizdirilgan bug‘ni sovitish zonasining yuzasi - F_1;

– kondensatsiyalash zonasining yuzasi - F_2;

– kondensatni sovitish zonasi - F_3.

Kondensatorning umumiy issiqlik almashinish yuzasi $F_{um} = F_1+F_2+F_3$. Har bir zonaning yuzasi issiqlik o‘tkazishning asosiy tenglamasidan hisoblab topiladi.

Issiqlik eltkichlarni aralashtirish yo‘li bilan kondensatsiyalash ho‘l va quruq kondensatorlarda olib beradi.

Ho‘l kondensatorlarda suv, kondensat va kondensatsiyalanmagan gazlar (masalan, havo) qurilmaning pastki qismidan maxsus, nam havoli nasos yordamida chiqariladi.

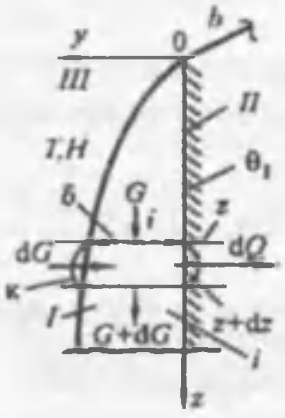
Quruq kondensatorlarda sovutuvchi suv va kondensat qurilmaning pastki qismidan, havo esa yuqori qismidan vakuum - nasos yordamida so‘rib olinadi.

Kondensatorlar issiqlik eltkichlarning harakatiga qarab parallel va qarama - qarshi yo‘nalishli bo‘ladi.

4.8.1. Bug‘larni kondensatsiyalashda issiqlik tarqalishi

Bug‘larni kondensatsiyalash kimyo, neft-gazni qayta ishlash va turli texnologiyalarning barchasida mavjud bo‘lib, tayyor mahsulot olishda muhim o‘rin tutadi.

Vertikal issiqlik almashinish yuzasida to‘yingan bug‘ning turg‘un kondensatsiyalanish jarayonining hisoblash sxemasi 4.17-rasmda keltirilgan. Kondensatsiyalanayotgan bug‘ning temperaturasi T va entalpiyasi N bo‘lsin. Bug‘ temperaturasi past, ya’ni $\theta_1<T$ devor bilan to‘qnashadi va buning oqibatida kondensatsiya sodir bo‘ladi.



4.17-rasm. Bug‘lar kondensatsiyalanishida issiqlik berishni hisoblash sxemasi.
I - kondensat; II - yuza; III - bug‘.

Kondensat yupqa qatlami yuzaning eng tepa qismida hosil bo‘la boshlaydi. Suyuqlik yupqa qatlami z o‘qi bo‘ylab oqib tusha boshlaydi. Shuni qayd etish kerakki,

kondensatsiya yuzaning butun balandligi l bo'ylab hosil bo'ladi. Natijada yupqa qatlamning qalinligi tepadan pastga qarab ortib boradi.

Tahlilni osonlashtirish uchun quyidagi soddalashtirishlarni qabul qilamiz:

– yuzaning temperaturasi θ_l uning butun balandligi l bo'ylab o'zgarmas;

– kondensat yupqa qatlamining temperaturasi va issiqlik-fizik xossalari butun balandligi bo'yicha o'zgarmas;

– kondensat yupqa qatlamining bug'ga ishqalanishini hisobga olmasa ham bo'ladi;

– bug'ning tarkibida kondensatsiyalanmaydigan gazlar yo'q;

– kondensatsiyalanayotgan bug'dan kondensat yupqa qatlamiga issiqlikning tarqalishi jarayonida termik qarshilik juda kichik bo'lib, hamma termik qarshilik kondensat yupqa qatlamida mujassamlashgan;

– kondensat qalinligi kichik bo'lgani uchun uni tekis, yassi va laminar deb hisoblasa bo'ladi va u orqali issiqlik asosan o'tkazuvchanlik usulida tarqaladi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, kondensatsiya jarayoni uchun issiqlik berish koeffitsiyenti α ni hisoblashda ushbu ifodani qo'llash o'ta o'rinlidir:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\delta_T} \qquad (4.123a)$$

bu yerda, kondensat yupqa qatlamining qalinligi δ formuladagi δ_T ga teng. Tahlil asosi – bu issiqlik balansidir. Fazoviy «lo» kontur z va $z+dz$ kesimlar, devor va erkin yuzalar bilan chegaralangan. Yuza bo'laginig eni b ga teng. Vaqt oralig'i 1 s.

Balans tuzish uchun kondensatning z kesimdagi massaviy sarfi G va $b\,dz$ uchastkada bug'ning sarfi dG bilish kerak. Suyuqlikning hajmiy sarfi ushbu formuladan topiladi:

$$V = \frac{\rho g b}{\mu} \cdot \frac{\delta^3}{3}$$

z kesimdagi massaviy sarfi G ushbu ifodadan aniqlanadi:

$$G = \rho \cdot V = \frac{\rho^2 \cdot g \cdot b}{\mu} \cdot \frac{\delta^3}{3}$$

dz qalinlikdagi uchastka uchun oqimning ortishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$dG = \frac{\rho^2 \cdot g \cdot b \cdot \delta^2}{\mu} \cdot d\delta \qquad (a)$$

bu yerda, ρ va μ – kondensatning zichligi va dinamik qovushqoqlik koeffitsiyentlari; λ, i va r – kondensatning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, entalpiyasi va kondensatsiyalanish issiqliklari.

Issiqlik balans ushbu ko'rinishga ega bo'ladi:

$$Gi + (dG)H - (G + dG) \cdot i - dQ = 0 \qquad (b)$$

$b\,dz$ uchastka orqali dQ miqdordagi qalinligi δ bo'lgan kondensat yupqa qatlamdan o'tgan issiqlik tarqaladi va u ushbu formuladan topiladi:

$$dQ = \frac{\lambda}{\delta}(T - \theta_1) \cdot bdz$$

Formula (б) ning qavslarini ochib, ***dQ*** ni o'rniga qo'yib va ***H-i=r*** ekanligini inobatga olib, quyidagi ko'rinishga kelamiz:

$$rdG = \frac{\lambda}{\delta}(T - \theta_1) \cdot bdz$$

dG ni (a) ga va (b) ga qisqartirib ushbu ko'rinishga keltiramiz:

$$\frac{r\rho^2 g}{\mu} \cdot \delta^2 d\delta = \frac{\lambda}{\delta}(T - \theta_1) \cdot dz$$

Agar δ va z larga bo'lib yuborsak, quyidagi tenglamani olamiz:

$$dz = \frac{r\rho^2 g\delta^3}{\mu(T - \theta_1)\lambda} \cdot d\delta \qquad \text{(d)}$$

Agar ushbu tenglamani integrallasak, unda ushbu ifodani olamiz:

$$z = \frac{r\rho^2 g}{\mu(T - \theta_1)\lambda} \cdot \frac{\delta^4}{4}$$

Olingan tenglikni δ ga nisbatan yechsak, kondensat yupqa qatlamining lokal (issiqlik berish yuzasi tepa qismidan z masofadagi) qalinligini topamiz:

$$\delta = \sqrt[4]{\frac{4\mu(T - \theta_1)\lambda z}{\rho^2 gr}}$$

z kesimidagi lokal issiqlik berish koeffitsiyenti ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\alpha_z = \frac{\lambda}{\delta} = \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 rg}{4\mu(T - \theta_1)z}}$$

Amaliy hisoblashlarda issiqlik almashinish yuzasining butun balandligi l bo'yicha o'rtacha issiqlik berish koeffitsiyenti α ni aniqlash muvofiq:

$$\alpha = 0{,}943 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 rg}{\mu(T - \theta_1) \cdot l}} \qquad \text{(e)}$$

Odatda λ, ρ va μ – issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, kondensatning zichligi

va dinamik qovushqoqlik koeffitsiyentlarini kondensatning o'rtacha temperaturasida olish kerak, ya'ni:

$$t_{o'rt} \approx \frac{T + \theta_1}{2}$$

Odatda bizga θ_1 ning son qiymatlari berilmagan. Shuning uchun, λ, ρ va μ larning son qiymatlari ma'lum kondensatsiyalanish temperaturasi uchun olinadi. Xatolik katta bo'lmaydi, chunki T va $t_{o'rt}$ orasidagi farq 4-darajali ildiz ostidan chiqarish kerak.

Ko'pincha (r) formulada radikal oldida 1,15 sonli ko'paytma turadi, chunki bu son yupqa qatlamning to'lqinsimon harakatini inobatga olsa kerak. Lekin ko'paytma sifatida 0,943≈0,94 ni quyidagi sabablarga ko'ra tavsiya etiladi:

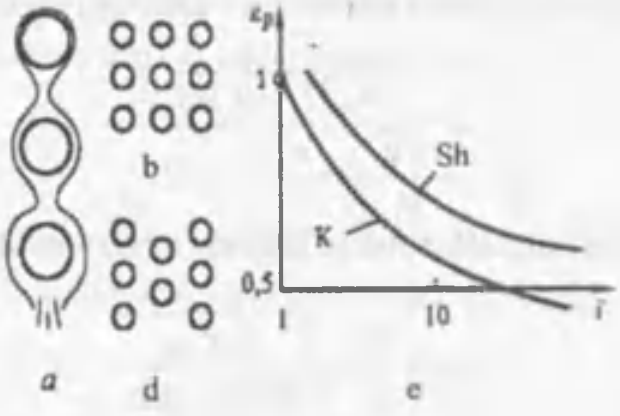
– birinchidan, kondensatsiya jarayonida termik qarshilik qiymati uncha yuqori emas, shuning uchun α ni 0,94 yoki 1,15 ko'paytmalar bilan hisoblash issiqlik almashinish intensivligiga sezilarli ta'sir etmaydi;

– ikkinchidan, ko'paytma va α ning kichik son qiymatlari qabul qilingan shartlarni kompensatsiya qilishi mumkin, chunki issiqlik berish intensivligini hisoblashda ma'lum bir zaxirani ta'minlaydi.

Ko'pchilik kimyoviy texnologiyalarda bug'ning kondensatsiyalanishi gorizontal trubalarning tashqi yuzasida sodir bo'ladi. Diametri d_n bo'lgan dumaloq, yakka gorizontal truba uchun issiqlik berish koeffitsiyenti α quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\alpha = 0{,}72 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 rg}{\mu(T - \theta_1) \cdot d_n}} \qquad (f)$$

(e) va (f) formulalarning o'xshashligi juda ko'p. Trubalarning tashqi yuzasida kondensatsiya jarayonining o'ziga xosligi bor.



4.18-rasm. Truba o'rami trubasining tashqi yuzasida kondensatsiyalanish.
a - gorizontal trubalarning vertikal qatorida kondensat yupqa qatlamining o'sishi; b - o'ramdagi trabalarning koridorli joylashishi; d-o'ramdagi trubalarning shaxmatli joylashishi; e - gorizontal trubalarning koridor (K) li va shaxmat (Sh) li joylashishi uchun qatorlik koeffitsiyenti.

Bir nechta truba gorizontal qatorda bo'lsa jarayon kechishi o'zgarmaydi, ammo biri ikkinchisining ustiga joylashtirilganda (4.18a,d-rasm) kondensat qatlamining qalinligi har bir keyingi qatorda ortib boradi. Ma'lumki, kondensat qatlamining qalinligi ortishi bilan (4.123a) formulaga binoan issiqlik berish koeffitsiyenti pasayadi. Issiqlik

berish koeffitsiyenti α ning bunday pasayishi qatorlik koeffitsiyenti $\varepsilon_r = \alpha_i/\alpha_1 \leq 1$ bilan xarakterlanadi. Trubalar koridorli joylashtirilganda ε_r ning qiymatlari shaxmatli joylashtirilganga qaraganda kichikroq bo'ladi (4.18e-rasm).

Ko'p qatorli, truba o'rami uchun bug'larning kondensatsiyalanishi jarayonidagi issiqlik berish koeffitsiyenti α ushbu formuladan topiladi:

$$\alpha = \varepsilon_r' 0{,}72 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 r g}{\mu (T - \theta_1) \cdot d_n}} \qquad (f)$$

Bug'larni gorizontal truba o'ramlarida kondensatsiyalash jarayonida har doim ε_r koeffitsiyenti inobatga olinishi shart.

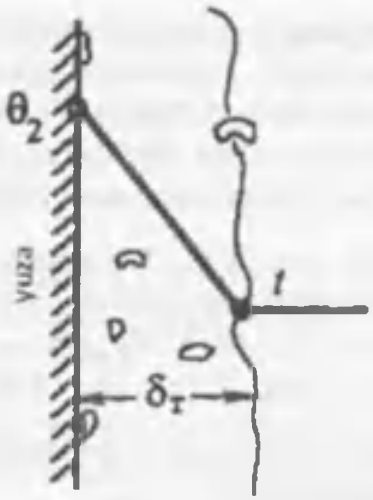
O'ta qizigan bug'ni kondensatsiyalash jarayonida (e) va (f) formulalarga o'ta qizigan bug' issiqligi $c_p \Delta T$ (c_p – bug'ning issiqlik sig'imi; $\Delta T = T_p - T$) kiritilishi zarur. Odatda, ushbu ko'rsatkich issiqlik berish koeffitsiyentini oshirishi kerak. Lekin issiqlik berish yuzasining bir qismi bug'ni T_p dan T gacha sovitish uchun band bo'ladi. Bu sohada chegaraviy qatlam issiqlik o'tkazuvchanligi kondensatsiya sohasiga qaraganda pastroq bo'ladi. Demak, bu sohalarda issiqlik berish koeffitsiyenti ham kichikdir. Ushbu salbiy omil ta'sirini pasaytirish maqsadida o'ta qizigan bug'ni to'yingan bug' holatiga keltirish uchun unga sovuq kondensat purkaladi yoki mavhum qaynayotgan kondensat orqali barbotaj qilib o'tkaziladi.

Bug' tarkibida kondensatsiyalanmaydigan gazlar bo'lishi kondensatsiya jarayonidagi issiqlik berish intensivligi keskin pasaytiradi. Bunga sabab, gazlarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti kondensatnikiga qaraganda 10 va undan ortiq barobar kichikligidir. Masalan, agar bug'-gaz aralashmasi tarkibidagi havo miqdori 5% bo'lsa, issiqlik berish koeffitsiyenti 5...7 marotaba pasayadi. Jarayon davomida issiqlik tarqalishini yuqori darajada ushlab turish uchun kondensatsiya sohasidan kondensatsiyalanmaydigan gazlarni so'rib olish choralari tashkil etiladi va natijada issiqlik almashinish jarayonining yuqori sur'ati ta'minlanadi.

4.8.2. Suyuqliklar qaynash jarayonida issiqlik tarqalishi

Istalgan suyuqlikning erkin sathi ustida bug'lar ma'lum bir bosimda mavjud bo'ladi va uning miqdori suyuqlik temperaturasining ortishi bilan ko'payadi. Agar bug'larning bosimi suyuqlik sathi ustidagi bo'shliqdagidan kam bo'lsa, erkin yuzadan suyuqlikning bug'lanishi ro'y beradi. Agarda bug'larning bosimi suyuqlik sathi ustidagi bo'shliqdagi tashqi bosimga teng bo'lsa, suyuqlikning hajmining ichida ham bug'lanish sodir bo'lishi mumkin; suyuqlikning bunday bug'lanishi **q a y n a sh** deb nomlanadi. Shunday qilib, bug' bosimining tashqi bosimga teng bo'lgan temperatura suyuqlik qaynashiga tegishlidir.

Suyuqlik qaynash jarayonini ko'rib chiqamiz. Biror θ_2 temperaturali issiqlik almashinish yuzasi suyuqlik qaynash temperaturasi t da devorni yuvib turibdi (4.19-rasm). Albatta, $\theta_2 > t$, ya'ni issiqlik temperaturasi yuqori devordan temperaturasi past suyuqlikka issiqlik tarqalmoqda.

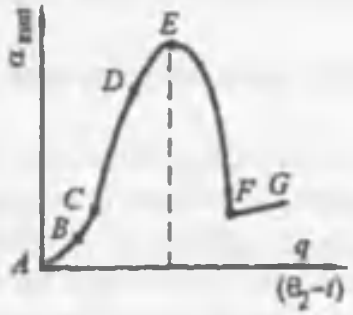


4.19-rasm. Suyuqliklar qaynashi jarayonida issiqlik berishning hisoblash sxemasi.

Issiq devorda suyuqlik o'ta qiziydi va bug' pufakchalari hosil bo'ladi; pufakchalar o'lchami kattalashadi, devordan ajraladi va qaynayotgan suyuqlik hajmiga ko'tariladi. Pufakchadan bo'shagan devorda esa yana pufakchalar hosil bo'ladi va kattalashadi, so'ng esa yuzadan ajrab ketadi.

Suyuqliklar qaynashida issiqlik tarqalishining turli mexanizmlari mavjud. Issiqlik tarqalishining eng oddiy mexanizmi chegaraviy qatlam modeliga to'g'ri keladi. Bu modelga binoan, uzluksiz ravishda bug' pufakchalari hosil bo'lishi va yuzadan ajrab chiqishi issiqlik berish yuzasi yaqinidagi suyuqlikni turbulizatsiya qiladi. Natijada, issiqlik chegaraviy qatlam qalinligi sezilarli ravishda kamayadi, bu esa o'z navbatida issiqlik berish koeffitsiyenti α ning o'sishiga olib keladi.

4.20-rasmda issiqlik berish koefffitsiyenti α ning issiqlik yuklama q ga bog'liqligi tasvirlangan.



4.20-rasm. Suyuqliklar qaynashi jarayonida issiqlik berish koeffitsiyentining temperatura napori va issiqlik yuklamasiga bog'liqligi.

AV kesma oralig'ida, kichik issiqlik yuklama q lari va temperatura napor $(\theta_2 - t)$ larida qaynash jarayoni yo'q, issiqlik tarqalishi faqat tabiiy konveksiya hisobiga va issiqlik berish koeffitsiyenti α ning qiymatlari past bo'ladi. Grafikdagi V nuqtadan balandroqda bug' pufakchalari hosil bo'lib va suyuqlik qaynay boshlaydi. BC kesmaga oid oraliqda pufakchalar faqat yuzada hosil bo'ladi va α ning son qiymatlari ozgina ortadi. So'ng, q va $(\theta_2 - t)$ o'sishi bilan pufakchalar hosil bo'lishi, o'lchamlari va yuzadan ajrab chiqish chastotasi ko'payadi (CD kesma). Bunda, α ning son qiymatlari keskin ravishda o'sa boshlaydi. Lekin D nuqtadan o'tgandan so'ng, issiqlik berish

koeffitsiyentining o'sishi sekinlashadi va E da maksimumga erishgandan keyin α ning keskin kamayishi kuzatiladi (DEF kesma). Issiqlik berish jarayonining bunday kamayishi pufakchalarning katta bug' qatlamiga birlashib, suyuqlikni issiqlik almashinish yuzasidan ajratib qo'yishidir. Oqibatda, pufakchali qaynash jarayoni yupqa qatlamli qaynashga o'tadi. Ma'lumki, bug'ning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti suyuqliknikiga qaraganda juda kichik bo'lgani uchun issiqlik berish pasayishi tabiiydir. F nuqtasidan boshlab issiqlik berishning ozgina o'sishi bug'ning temperatura ko'payishi bilan issiqlik o'tkazuvchanligi ortishi bilan bog'liq.

Kimyoviy texnologiya uchun ***CD*** oraliq qiziqarli, chunki ushbu sohada issiqlik yuklama q ning qiymatlari 10 dan 100 kVt/m^2. Ushbu sohada issiqlik berish koeffitsiyentini darajali nisbat ko'rinishida ifodalash qulaydir:

$$\alpha = Bq^n \qquad (a)$$

bu yerda, V – suyuqlik xossalarini ifodalaydi; daraja ko'rsatkichi n=0,6...0,75, lekin amaliyotda ko'proq n=0,7 ishlatiladi:

$$\alpha = Bq^{0,7} \qquad (b)$$

Muhandislik hisoblashlar uchun (b) formulani temperatura napori bog'liqligi orqali ifodalash qulayroq. Agar $q=\alpha\Delta t$ ekanligini inobatga olsak, unda α quyidagicha topiladi:

$$\alpha = B \cdot [\alpha(\theta_2 - t)]^{0,7}$$

bundan

$$\alpha = B_o \cdot (\theta_2 - t)^{2,33}$$

bu yerda, $B_o = B^{1/0,3} = B^{3,33}$ – qaynayotgan suyuqlik xossalarini ifodalovchi koeffitsiyent.

Nisbiy issiqlik berish koeffitsiyenti φ quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\left(\frac{\alpha}{\alpha_{suv}}\right)_{q=idem} = \varphi = \frac{Bq^{0,7}}{B_{suv}q^{0,7}} = \frac{B}{B_{suv}} \qquad (d)$$

Bundan

$$B = \varphi \cdot B_o$$

Muhandislik hisoblashlar uchun formulani temperatura napori bog'liqligi orqali ifodalash qulayroq bo'lgani uchun (d) formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\left(\frac{\alpha}{\alpha_{suv}}\right)_{\theta_2 - t = idem} = \frac{B_o(\theta_2 - t)^{2,33}}{B_{osuv}(\theta_2 - t)^{2,33}} = \frac{B_o}{B_{osuv}} = \left(\frac{B}{B_{suv}}\right)^{3,33} = \varphi^{3,33} \qquad (e)$$

Shunday qilib, V_{osuv} va φ lar ma'lum bo'lsa, ishchi suyuqlik uchun V_o ni topish qiyin emas.

$$B_o = B_{osuv} \cdot \varphi^{3,33} \qquad \text{yoki} \qquad \alpha = B_{osuv} \cdot \varphi^{3,33} \cdot (\theta_2 - t)^{2,33}$$

B_{osuv} va φ kattaliklarni aniqlash uchun turli formulalar taklif etilgan. Quyida, bosim 0,007 dan 0,5 MPa gacha bo'lgan oraliqda ushbu formulalarning eng keng tarqalganlari keltirilgan:

– suvning katta hajmda qaynashida

$$B_{osuv} = 40 \cdot p^{0,57} \qquad (f)$$

– issiqlik almashinish trubalarida suv oqimining qaynashida

$$B_{osuv} = 46 \cdot p^{0,57} \qquad (g)$$

Qaynash jarayonida φ koeffitsiyentining qiymatlari:

– kritik bosim qiymatlariga qarab – bir komponentli moddalar uchun

$$\varphi = \left(\frac{p_{kr}}{p_{krsuv}} \right)^{0,52} \quad \text{(h)}$$

– bir komponentli moddalar va aralashmalari uchun

$$\varphi = \left(\frac{M_{suv} \cdot \rho}{M \cdot \rho_{suv}} \right)^{0,47} \cdot \left(\frac{\mu_{suv}}{\mu} \right)^{0,06} \quad \text{(i)}$$

bu yerda, M – molekular massa; p – suyuqlik zichligi; μ – dinamik qovushoqlik koeffitsiyenti.

– noorganik moddalar suvli eritmalari uchun

$$\varphi = \frac{M_{suv}}{M} \cdot \left(\frac{\nu_{suv}}{\nu} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_s} \right)^{0,3} \quad \text{(j)}$$

bu yerda, ν – kinematik qovushoqlik koeffitsiyenti; p – ishchi bosim; p_s – eritmani qaynash temperaturasida suv bug'larining bosimi.

Suv va boshqa qaynaydigan suyuqliklarning fizik xossalari ularning atmosfera bosimidagi qaynash temperaturasida olinadi.

4.9. Atrof-muhit temperaturasigacha sovitish

Materialdan issiqlik olish yo'li bilan temperaturasini pasaytirish jarayoni **sovitish** deb nomlanadi.

Sanoat miqyosida gaz, bug' va suyuqliklar temperaturasini 15...20°C gacha sovitish uchun havo va suv qo'llaniladi. Mahsulotlarni past temperaturalargacha sovitish uchun past temperaturali sovuqlik eltkichlar – freonlar, ammiak, uglerod dioksidi, sovutuvchi eritmalar va hokazolar ishlatiladi.

Suv bilan sovitish issiqlik almashinish qurilmasida amalga oshiriladi. Bu qurilmalarda issiqlik eltkichlar ajratuvchi devor orqali yoki bevosita aralashtirish natijasida issiqlik almashadi. Masalan, suvni gazlarga to'g'ridan to'g'ri purkash yo'li bilan sovutiladi.

Odatda sovitish uchun 15...25°C temperaturali oddiy suv yoki 8...12°C artezian suvi ishlatiladi. Suvni tejash maqsadida ishlatib bo'lingan suvning temperaturasi gradirnyalarda sovutiladi va qaytadan issiqlik almashinish jarayonida qo'llash uchun qaytariladi.

Sovitish uchun zarur suvning massaviy sarfi issiqlik balansidan aniqlanadi:

$$Gct_b + Wc_s t_{sb} = Gct_{ox} + Wc_c t_{ox} + Q_{yo'q} \quad (4.124)$$

bundan:

$$W = \frac{Gc \cdot (t_b - t_{ox}) - Q_{yo'q}}{c_c (t_{ox} - t_b)} \quad (4.125)$$

bu yerda, G – sovutilayotgan issiqlik eltkichning massaviy sarfi, kg/soat; c, c_c – issiqlik eltkich va suvning solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K); t_b, t_{ox} – issiqlik eltkichning boshlang'ich va oxirgi temperaturasi. °C; $Q_{yo'q}$ – atrof-muhitga yo'qotilayotgan issiqlik miqdori. kJ/soat.

Muz bilan sovitish bir qator mahsulotlar temperaturasini nolgacha sovitish uchun qo'llaniladi. Ma'lumki, muz mahsulotga issiqligini berish natijasida 0°C gacha isiydi va eriy boshlaydi. Shu paytda sovutilayotgan mahsulotdan issiqlik ajratib olinadi. Sovitish jarayoni davomiyligi tajriba o'tkazish yo'li bilan aniqlanadi.

Muz yordamida bevosita sovitish jarayonida mahsulotga olib kirilayotgan sovuqlik miqdori ushbu tenglamadan topiladi:

$$Q = L(-r) \tag{4.126}$$

bu yerda, L – muz massasi, kg; r – muzning erish issiqligi, kJ/kg.

Sovutuvchi suyuqlik bilan olib kirilayotgan issiqlik miqdori quyidagi tenglamadan aniqlash mumkin:

$$Q_1 = Gct_b \tag{4.127}$$

bu yerda, G – sovutilayotgan suyuqlik massasi, kg; c – suyuqlik solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K); t_b – suyuqlikning boshlang'ich temperaturasi, °C.

Muzning erish temperaturasida hosil bo'lgan suv va sovutilayotgan suyuqlikning oxirgi temperaturasi t_{ox} deb qabul qilamiz. Unda, issiqlik balansi ushbu ko'rinishga ega bo'ladi:

$$Gct_b - Lr = Gct_{ox} + Lc_c t_{ox} \tag{4.128}$$

bu yerda, c_c – suvning solishtirma issiqlik sig'imi, J/kg·K.

(4.128) dan muzning sarfini aniqlaymiz:

$$L = \frac{Gc \cdot (t_b - t_{ox})}{c_c t_{ox} - r} \tag{4.129}$$

Havo bilan sovitish tabiiy va sun'iy usullarda amalga oshiriladi. Issiq mahsulotlarni tabiiy usulda sovitish jarayoni atrof-muhitga issiqlik tarqatilishi hisobiga sodir bo'ladi. Bu usulda sovitish qish faslida samarali o'tadi.

Suvlarni havo yordamida gradirnyalarda sovitish sun'iy sovitish usulida amalga oshiriladi. Gradirnyada sovitilayotgan suv yuqoridan pastga qarab purkalsa, sovutuvchi havo esa pastdan yuqori yo'nalgan bo'ladi. Bunda suyuqlik temperaturasining pasayishi faqat issiqlik almashinish hisobiga bo'lmay, balki suyuqlik bir qismining bug'lanishi hisobiga ham sovutiladi.

4.10. Atrof-muhit temperaturasidan past temperaturagacha sovitish

Kimyo, neft-gaz va oziq-ovqat mahsulotlarini atrof-muhit temperaturasidan past (+4...-60°C) temperaturalargacha sovitish, muzlatish va saqlash uchun sovutkichlar ishlatiladi. Sovutkichlarning asosiy ishchi qismi bu sovitish mashinalaridir.

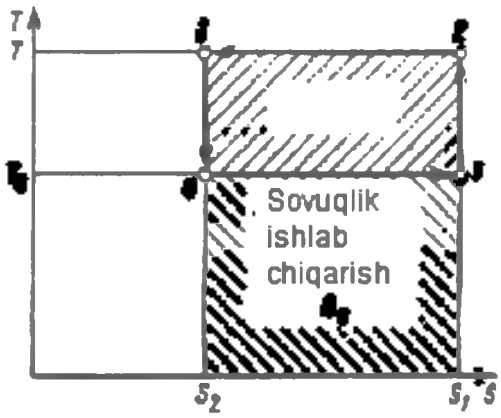
Sovitish mashinalarida sovuqlik ishlab chiqarish uchun gazni siqish, kondensatsiyalash va bug'lanish jarayonlardan tarkib topgan teskari aylanma termodinamik sikl qo'llaniladi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuniga binoan, atrof-muhit temperaturasidan past temperaturagacha sovitish, temperaturasi quyi sathdan yuqori sathga issiqlik o'tkazish bilan bog'liq bo'lganligi uchun, albatta energiya sarflanishi zarur. Bunday issiqlik uzatish Karnoning teskari sikli asosida amalga oshiriladi.

Karno to'g'ri siklining energetik balansi ushbu tenglama bilan ifodalanadi:

$$Q = L + Q_0 \tag{4.130}$$

Karno teskari siklini ko'rib chiqamiz (4.21-rasm).



4.21-rasm. Karno teskari sikli.
$L_{1\text{-}2\text{-}3\text{-}4}$ – ushbu yuza sarflangan ishga teng;
Q_0 – sovuqlik ish unumdorligi.

T_0 temperaturali gaz holatidagi ishchi jism ma'lum miqdorda ish bajarganda adiabatik siqilmoqda va shu jarayon natijasida T temperaturagacha isitilmoqda. Ushbu jarayon grafikda vertikal 1-2 chizig'i bilan tasvirlangan. Siqish jarayonidan so'ng, T temperaturada gaz izotermik kondensatsiyalanadi (2-3 chiziq). Bu jarayonda Q miqdorda issiqlik aralib chiqadi. Undan keyin esa, hosil bo'lgan suyuqlik adiabatik kengaytiriladi.

Kengayish jarayonida suyuqlik T_0 temperaturagacha sovutiladi (3-4-chiziq) va foydali ish bajariladi. So'ng esa, past bosimda va T_0 temperaturada bug'lanadi (4-1-chiziq). Shu jarayon paytida sovutilayotgan jismdan Q_0 miqdorda issiqlik olinadi.

(4.130) tenglamadan gazning foydali ishini aniqlaymiz:

$$L = Q - Q_0 \tag{4.131}$$

Q va Q_0 issiqlik miqdorlari ishchi jismning kondensatsiyagacha S_1 va undan keyingi S_2 entropiyalari bilan ifodalash mumkin:

$$\begin{aligned} Q &= T \cdot (S_1 - S_2); \\ Q_0 &= T_0 \cdot (S_1 - S_2) \end{aligned} \tag{4.132}$$

Agar Q va Q_0 qiymatlarini (4.131) tenglamaga qo'ysak, ushbu ifodani olamiz:

$$L = (T - T_0) \cdot (S_1 - S_2) \tag{4.133}$$

Sovitish koeffitsiyenti ushbu ko'rinishga ega:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{L} = \frac{Q_0}{Q - Q_0} = \frac{T_0}{T - T_0} \qquad (4.134)$$

Shunday qilib, sovitish koeffitsiyenti ε sarflangan ish birligi L hisobiga quyi T_0 temperaturadan yuqori T temperatura sathigacha qancha issiqlik miqdori Q_0 ni uzatish mumkinligini ifodalaydi. Issiqlik miqdori Q_0 ***sovuqlik*** **ish unumdorligi** deb nomlanadi.

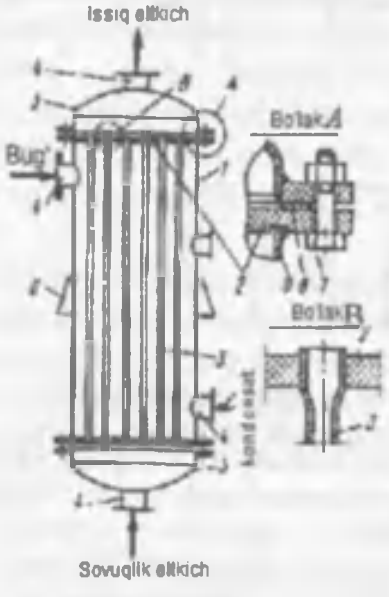
4.11. Issiqlik almashinish qurilmalari

Ma'lumki, sanoatning turli sohalarida xilma-xil xomashyo va mahsulotlarni qayta ishlashda issiqlik almashinish jarayonlari hamda ularni amalga oshiruvchi qurilmalar juda keng miqyosda qo'llaniladi. Jarayonlarni o'tkazish shartlari va qurilmalarni qo'llash sohasiga qarab, issiqlik almashinish qurilmalarning tuzilishi turlicha bo'ladi.

Ishlash prinsipiga qarab issiqlik almashinish qurilmalari sirtiy (rekuperativ), regenerativ va aralashtiruvchi (gradirnya, skrubber, aralashtiruvchi kondensator va h.) qurilmalarga bo'linadi.

Sirtiy issiqlik almashinish qurilmalarida issiqlik eltkichlar devor bilan ajratilgan bo'lib. ularda bir muhitdan ikkinchisiga issiqlik ushbu devor orqali uzatiladi. Konstruksiyasiga ko'ra sirtiy issiqlik almashinish qurilmalari qobiq - trubali, zmeyevikli, plastinali, spiralsimon, qirrali, g'ilofli, blok-grafitli va maxsus issiqlik almashinish qurilmalariga bo'linadi.

Regenerativ issiqlik almashinish qurilmalarida bir issiqlik almashinish yuzasi galma-gal issiq va sovuq eltkichlar bilan yuvilib turadi. Agar issiqlik almashinish yuzasi issiq eltkich bilan yuvilib tursa, muhitning issiqligi hisobiga isiydi, sovuq eltkich bilan yuvilganda esa - o'z issiqligini beradi. Shunday qilib, issiqlik almashinish yuzasi issiqlik eltkichning issiqligini yig'ib oladi, so'ng esa sovuq eltkichga beradi.



4.22-rasm. Vertikal, bir yo'lli qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmasi.
1 - qobiq; 2 - teshikli panjara;
3 - isituvchi trubalar; 4 - patrubok;
5 - qopqoq; 6 - tayanch; 7 - bolt;
8 - qistirma; 9 - obechayka.

Aralashtiruvchi issiqlik almashinish qurilmalarida ikkala eltkich bevosita o'zaro aralashishi paytida issiqlik almashadi.

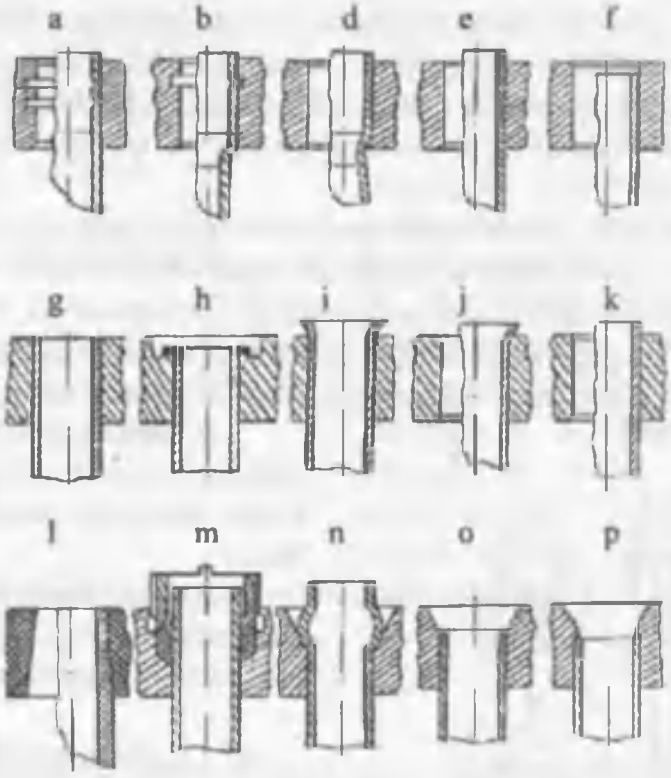
Issiqlik almashinish turiga ko'ra qurilmalar isitkich, bug'latkich, sovutkich va kondensatorlarga ajratiladi.

4.11.1. Sirtiy issiqlik almashinish qurilmalari

Konstruksiyasiga qarab ushbu turdagi qurilmalar qobiq - trubali, «truba ichida truba», zmeyevikli, spiralsimon, yuvilib turuvchi, plastinali, qirrali, g'ilofli, blok-grafitli, shnekli va hokazo bo'lishi mumkin.

Qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmalari xalq xo'jaligining turli sohalarida eng keng tarqalgan va ko'p ishlatiladigan turidir.

4.22-rasmda trubalarning qo'zg'almas teshik panjarali, bir yo'lli, vertikal qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi tasvirlangan. Ushbu qurilma silindr qobiq 1 va uning ikki chekkasiga isituvchi trubalar 3 mahkamlangan teshikli panjara 2 lardan tarkib topgan. Trubalar o'rami issiqlik almashinish qurilmasining butun hajmini ikkiga bo'ladi: 1) truba bo'shlig'i; 2) trubalararo bo'shliq. Teshikli panjara 2 lar silindrik qobiq 1 ga payvandlash usulida mahkamlanadi. Qurilma qobig'iga boltli birikma yordamida 2 ta qopqoq mahkamlanadi. Issiqlik eltkichlar kirishi va chiqishi uchun silindrik qobiq 1 va qopqoq 5 larda patrubkalar o'rnatilgan. Issiqlik eltkichlardan biri, masalan suyuqlik, trubalar bo'shlig'iga yo'naltirilsa, u trubalar orqali o'tib qopqoqning patrubkasidan chiqib ketadi. Boshqa issiqlik eltkich oqimi esa, masalan bug', trubalararo bo'shliqqa yo'naltiriladi, isituvchi trubalar tashqi yuzasiga o'z issiqligini beradi va suyuq agregat holati (kondensat) ga aylanib qobiqning pastki patrubkasidan chiqazib yuboriladi. Muhitlar orasidagi issiqlik almashinish jarayoni trubalar devori orqali amalga oshiriladi. Isituvchi trubalar teshikli panjaraga payvandlash, razvalsovka va usullarda mahkamlanadi (4.23-rasm). Ko'pincha, isituvchi trubalar po'lat, legirlangan po'lat, mis, latun, titan yoki boshqa materiallardan tayyorlanishi mumkin.



4.23-rasm. Trubalarni teshikli panjaralarga mahkamlash usullari.
a - ikkita ariqchaga razvalsovka qilish; b - bitta ariqchaga razvalsovka qilish; d - payvandlash va razvalsovka qilish; e.f - payvandlash; g,h - ariqchali va tishli payvandlash; i - kirish qismini konussimon razvalsovka qilish; j - tekis teshikka razvalsovka qilish va buklash; k - kavsharlash; l – yelimlash; m - salnik bilan zichlash; n - portlatib payvandlash; o - teshikli panjara tashqi tomonini konussimon razzenkovka qilish; p - teshikli panjaraning tashqi tomoni asta-sekin silliq, toraytirib razvalsovka qilish.

Isituvchi trubalar 3 ni teshikli panjaralar 2 da mahkamlashning eng keng tarqalgan usuli bu oddiy razvalsovkadir (4.23-rasm). Valsovka nomli asbobda radial yo'nalishda hosil qilinadigan kuch ta'sirida truba deformatsiyaga (diametri ortadi, ya'ni kengayadi) uchrab, teshikli panjaraga zichlanadi va mahkamlanadi. Truba o'ramining to'r pardaga

mustahkam joylashtirishga erishish uchun teshikli panjarada eni 2...3,5 mm va chuqurligi 0,4...1,0 mm li ikkita halqasimon ariqcha qilinadi. Undan tashqari, trubalarni teshikli panjaralarga payvandlash, kavsharlash, salnik yordamida ham mahkamlash mumkin. Salnik yordamida zichlash murakkab va qimmat. Bu usulda mahkamlash muhitlar temperatura farqi katta bo'lganda, trubalarning bo'ylama siljishiga imkon beradi, ammo bunda birikma zichlanishi buzilmaydi

Trubaning kirish qismini konussimon razvalsovka qilish, mahalliy qarshilik koeffitsiyentini sezilarli darajada pasaytiradi. Bu esa, o'z navbatida kirish qismining yemirilish oldini oladi. Agar trubalar tebranish, siklik qizishga, temperaturalar katta o'zgarishi yoki ularning uchlari issiqlik ta'sirida o'ta isib ketish hollari yuz beradigan bo'lsa, unda trubalarning uchi albatta teshikli panjaraga payvandlanishi zarur. Payvandlash choki cho'ktirilgan, valik va ariqchada valik holida, hamda ariqcha va tishli ko'rinishlarda bo'lishi mumkin. Odatda, qalin devorli trubalarni payvandlash maqsadga muvofiqdir. Agar trubalar kuchlanish ostida ishlatiladigan bo'lsa, portlatib payvandlash tavsiya etiladi. Ushbu usulda trubalarni mahkamlash uchun portlatish zaryad quvvati katta, teshikli panjaraning tashqi yuzasi razzenkovka qilishini va panjara tashqarisiga truba uchlari ko'p chiqib turishi kerak. Bu usulda truba teshikli panjaraga o'ta mustahkam holatda biriktiriladi. Agar trubaning bir uchi panjaraga ushbu usulda portlatib payvandlansa, ikkinchi uchi esa portlatib razvalsovka qilinsa, eng yuqori mustahkamlikka erishsa bo'ladi.

Hozirgi kunda trubalarni teshikli panjaraga mahkamlashning eng zamonaviy, ilg'or texnologiyasi – bu portlatib valsovka qilishdir. Bunda, portlatuvchi zaryad truba ichida, ya'ni uchida joylashtiriladi. So'ng esa, zaryad kapsyul yordamida portlatiladi. Natijada, portlash energiyasi trubani radial yo'nalishda deformatsiya qiladi va teshikli panjara bilan truba mustahkam birikma hosil qilib ulanadi. Bu usuldagi birikma, razvalsovka usulinikiga qaraganda ancha mustahkamroq bo'ladi. Portlatib payvandlash usulini trubalarni ta'mirlash uchun ham qo'llash mumkin. Trubalarni teshikli panjaraga elektrogidravlik mahkamlash va biriktirish usuli ham mavjud.

Qobiq – trubali issiqlik almashinish qurilmalarida truba teshikli panjaraga quyidagi usullarda joylashtirilishi mumkin (4.24-rasm): to'g'ri oltiburchak cho'qqi va qirralari yoki teng yonli uchburchak bo'ylab; konsentrik aylanalar bo'ylab; kvadrat cho'qqi va tomonlari bo'ylab; shaxmatli ko'rinishda (bir va har xil ko'ndalang qadamli).

Ushbu usullarda trubalarni issiqlik almashinish qurilmasida joylashtirish, qurilmaning ixcham bo'lish sharti bilan belgilanadi. Undan tashqari, har bir qurilmaga iloji boricha ko'proq truba joylashtirishga harakat qilinadi.

Kimyo mashinasozligida to'g'ri oltiburchak tomonlari va cho'qqilarida trubalarni joylashtirish keng tarqalgan. Bu usul uchun, trubalar sonini aniqlashga quyidagi formula tavsiya etiladi:

$$n = 3a \cdot (a-1) + 1 \qquad (4.135)$$

bu yerda a - eng katta oltiburchak tomonidagi trubalar soni; $e = 2a-1$ – eng katta oltiburchak diagonalidagi trubalar soni.

Agar trubalar teshikli panjaraga razvalsovka usulida mahkamlansa, unda trubalarni joylashtirish qadami t ni, ularning tashqi diametriga d_t qarab, ushbu oraliqdan tanlanadi:

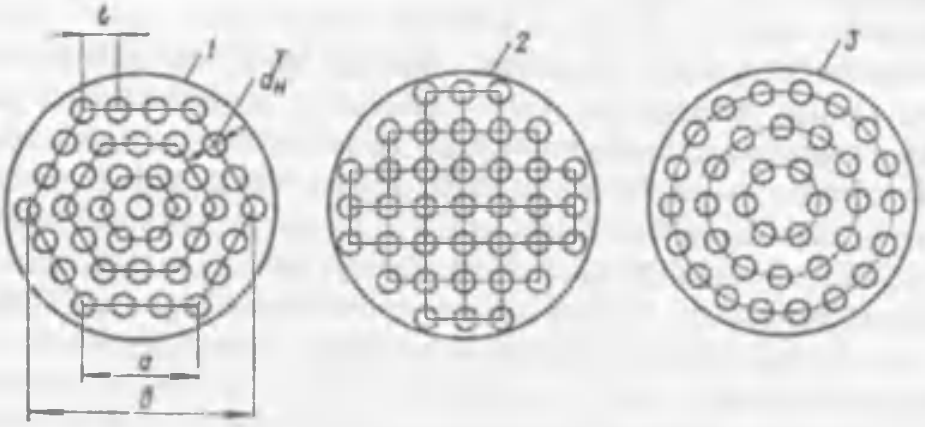
$$t = (1{,}3 \ldots 1{,}5) \cdot d_T \qquad (4.136)$$

Payvandlab mahkamlashda esa – $t = 1{,}25\,d_T$.

Issiqlik almashinish qurilmasining diametri quyidagi tenglamadan topiladi:

$$D = t \cdot (b-1) + 4d_T \qquad (4.137)$$

Trubalarning uzunligi zarur issiqlik almashinish yuzasi F va trubaning o‘rtacha diametri d_{yp} lardan kelib chiqqan holda ushbu formulada hisoblanadi:



4.24-rasm. Truba teshikli panjarasida trubalarni joylashtirish sxemasi.
1 – to‘g‘ri oltiburchak tomonlari va cho‘qqilarida;
2 – kvadrat tomonlari va cho‘qqilarida;
3 – konsentrik aylanalar bo‘ylab.

$$l = \frac{F}{\pi \cdot n \cdot d_{ur}} \qquad (4.138)$$

Qobiq – trubali issiqlik almashinish qurilmalarida issiqlik eltkichlarning yo‘nalishi parallel yoki qarama - qarshi bo‘ladi. Issiq eltkich qurilmaning yuqori qismidan trubalararo bo‘shliqqa, sovuq eltkich esa pastki qismidan trubalar ichiga yuboriladi. Natijada, bug‘ issiqligini beradi va soviydi, ya’ni kondensatga aylanadi va pastga qarab harakatlanadi. Temperaturasi ortishi bilan sovuq eltkichning zichligi kamayadi va u yuqoriga qarab ko‘tariladi. Agar suyuqliklar sarfi ko‘p bo‘lsa, ularning tezligi ham yuqori va issiqlik almashinish jarayoni intensiv bo‘ladi. Suyuqliklarning qarama - qarshi yo‘nalishida ularning tezliklari bir xilda taqsimlanib, qurilmaning butun ko‘ndalang kesimida issiqlik almashinishi o‘zgarmas bo‘ladi.

Trubalar bo‘shlig‘idagi to‘siqlar. Issiqlik almashinish jarayonining tezligini oshirish uchun ikki va undan ortiq yo‘lli isitkichlar qo‘llaniladi.

Ikki va undan ortiq yo‘lli qurilmalarda trubalarni seksiyalarga ajratish uchun yoki suyuqlikning harakat yo‘li soniga qarab qurilmaning qopqog‘i bilan truba teshikli panjarasining orasiga to‘siqlar o‘rnatiladi (4-6 jadval). Buning natijasida suyuqlik oqimi uchun yo‘llar soni, ya’ni issiqlik almashinish yuzasi ortadi.

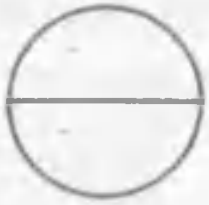
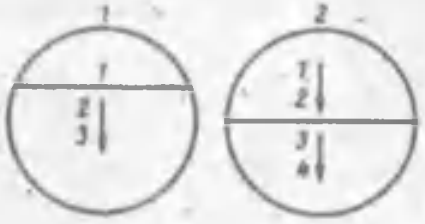
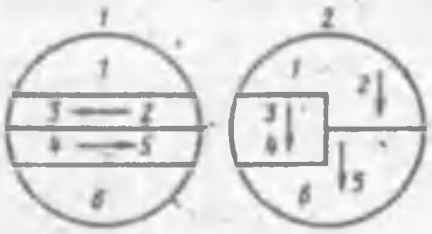
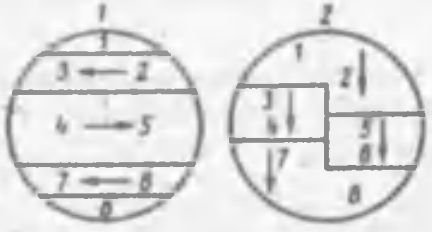
Shunga alohida e’tibor berish kerakki, har bir seksiyadagi trubalar soni bir xil bo‘lishi zarur. Ikki va undan ortiq yo‘lli qurilmalarda bir yo‘nalishliga qaraganda, suyuqliklarning tezligi yo‘llar soniga qarab proporsional ravishda o‘zgaradi.

Lekin shuni unutmaslik kerakki, yo‘llar soni ortishi bilan qurilmaning gidravlik qarshiligi ham ortadi va tuzilishi murakkablashadi.

Qopqoq bo‘shlig‘ida o‘rnatiladigan to‘siqlarning qalinligi qopqoq diametriga bog‘liq. Kam legirlangan va uglerodli po‘latlardan tayyorlangan to‘siqlarning qalinligi 9...16 mm, mis va nikel qotishmalardan yasalganlarniki esa - 6...13 mm bo‘ladi.

4-6 jadval

Qopqoqlar bo'shlig'ida to'siqlarni joylashtirish sxemasi

To'siqlar	Sxema	Yo'llar soni
Birinchi qopqoqda bitta, ikkinchisida esa bo'lmaydi		2
Har bitta qopqoqda bittadan bo'ladi		4
Birinchi qopqoqda 3 ta, ikkinchisida esa 4 ta bo'ladi		6
Birinchi qopqoqda 4 ta, ikkinchisida esa 5 ta bo'ladi		8

Qopqoq va to'siqlarning materiali har doim bir xil bo'lishi shart. Odatda, to'siqlar qopqoqlarga payvandlanadi yoki qopqoq bilan bir butun, yaxlit qilib quyuladi.

Trubalararo bo'shliqdagi to'siqlar. Ma'lumki, issiqlik almashinish qurilmalarida birinchi muhit trubalar ichida harakat qilsa, ikkinchisi – trubalararo bo'shliqda. Agarda trubalar o'rami ko'ndalang harakatlanayotgan issiqlik (yoki sovuqlik) eltkich oqimi bilan yuvilib turilsa, issiqlik berish bo'ylama harakatlanayotganga qaraganda ancha intensiv bo'ladi [52,53,58,61-66].

Trubalar o'ramining egilishi va tebranishini hamda trubalararo bo'shliqdagi trubalarning ko'ndalang oqim bilan yuvilib turishini tashkil etish maqsadida va qobiq ichida ko'ndalang to'siqlar o'rnatiladi.

Bosim yo'qotilishi Δp ni kamaytirish maqsadida ikki tomonlama va uch tomonlama joylashtiriladigan segment to'siqlar qo'llaniladi. Bu ikki turdagi to'siqlar Δp yo'qotilishini 60...100% ga pasaytirish imkonini beradi.

To'siqdan kesib olingan qismi orqali suyuqlik bir bo'limdan ikkinchisiga oqib o'tadi. Uning balandligi h ning qobiq diametri D_{ich} ga nisbati odatda quyidagi son qiymatlariga:

bir tomonlama segment to'siq uchun $h/D_{ich} = 0{,}15...0{,}4$;

ikki tomonlama segment to'siq uchun $h/D_{ich} = 0{,}2...0{,}3$.

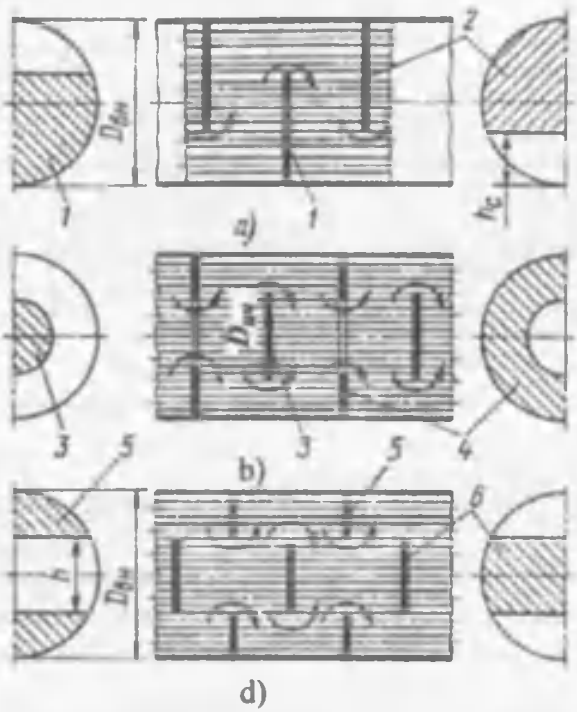
Ko‘ndalang to‘siqlar bir qavatli yoki bir necha perforatsiya qilingan listlardan yig‘ilgan bo‘lishi mumkin. Odatda bitta listning qalinligi δ = 1,5...2 mm bo‘ladi.

Quyidagi jadvalda to‘siqlar umumiy qalinligi $\Sigma\delta$ ning qobiq diametri D_{ich} va trubalar uzunligi L ga bog‘liqligi keltirilgan.

a) segmentli

b) disk-halqali

d) ikki tomonlama segmentli



4.25-rasm. Qobiq trubali issiqlik almashinish qurilmalarida qo‘llaniladigan ko‘ndalang to‘siqlar turlari.

Qobiqning ichki diametri D_{ich}, mm	<325	<355	<355 (>1550)	>1550
Trubaning tayanchsiz uzunligi L, mm	<610	610...1524	>1524 (<610)	>1524
To‘siqlar umumiy qalinligi $\Sigma\delta$, mm	3...4	4...9	9...10	19...20

Ko‘p yo‘lli, qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi. 4.26-rasmda to‘rt yo‘lli qurilma tasvirlangan.

Trubalar bo‘shlig‘i seksiyalanishi tufayli, seksiyadagi trubalar soni butun qurilmanikiga qaraganda kamayadi. Bu esa, suyuqlik oqimi harakatlanadigan ko‘ndalang kesim yuzasi kamayishiga va issiqlik eltkich tezligining ortishiga olib keladi.

Masalan, to‘rt yo‘lli qurilmada bir yo‘llikka qaraganda suyuqlikning tezligi to‘rt marta ko‘p bo‘ladi. Ushbu hol esa, trubalar bo‘shlig‘ida issiqlik berish koeffitsiyentini o‘sishiga sababchi bo‘ladi.

Shuni nazarda tutish kerakki, har doim termik qarshiligi yuqori issiqlik eltkichning tezligini oshirish maqsadga muvofiqdir.

Trubalararo bo‘shliqda suyuqlik oqimi tezligini va harakat yo‘lini uzaytirish maqsadida segment to‘siqlar o‘rnatiladi (4.27-rasm).

Gorizontal issiqlik almashinish qurilmalarida ushbu segment to‘siqlar truba o‘rami uchun oraliq tayanchlar vazifasini ham bajaradi. Odatda, gorizontal qurilmalar ko‘p yo‘lli qilib yasaladi va ularda suyuqliklar tezligi yuqori bo‘ladi. Bunday qilishdan maqsad, temperatura va zichliklar farqi ostida suyuqliklarning qatlamlarga ajralib hamda harakatsiz zonalar hosil qilmasligini ta’minlashdir.

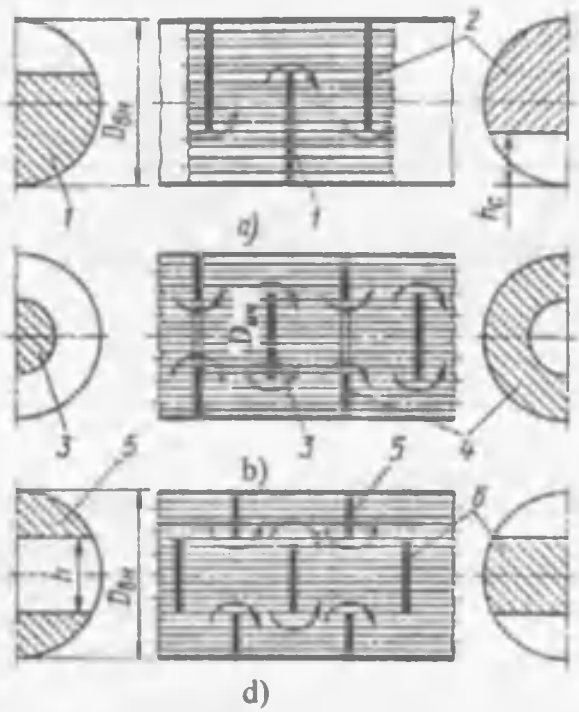
Ko‘ndalang to‘siqlar bir qavatli yoki bir necha perforatsiya qilingan listlardan yig‘ilgan bo‘lishi mumkin. Odatda bitta listning qalinligi δ = 1,5...2 mm bo‘ladi.

Quyidagi jadvalda to‘siqlar umumiy qalinligi $\Sigma\delta$ ning qobiq diametri D_{ich} va trubalar uzunligi L ga bog‘liqligi keltirilgan.

a) segmentli

b) disk-halqali

d) ikki tomonlama segmentli



4.25-rasm. Qobiq trubali issiqlik almashinish qurilmalarida qo‘llaniladigan ko‘ndalang to‘siqlar turlari.

Qobiqning ichki diametri D_{ich}, mm	<325	<355	<355 (>1550)	>1550
Trubaning tayanchsiz uzunligi L, mm	<610	610...1524	>1524 (<610)	>1524
To‘siqlar umumiy qalinligi $\Sigma\delta$, mm	3...4	4...9	9...10	19...20

Ko‘p yo‘lli, qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi. 4.26-rasmda to‘rt yo‘lli qurilma tasvirlangan.

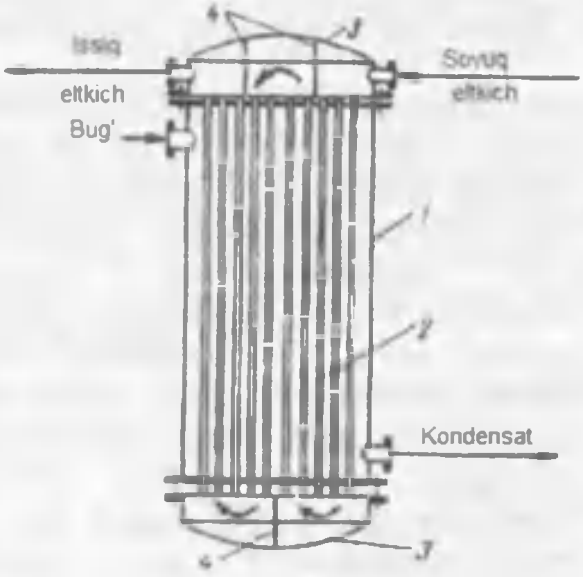
Trubalar bo‘shlig‘i seksiyalanishi tufayli, seksiyadagi trubalar soni butun qurilmanikiga qaraganda kamayadi. Bu esa, suyuqlik oqimi harakatlanadigan ko‘ndalang kesim yuzasi kamayishiga va issiqlik eltkich tezligining ortishiga olib keladi.

Masalan, to‘rt yo‘lli qurilmada bir yo‘llikka qaraganda suyuqlikning tezligi to‘rt marta ko‘p bo‘ladi. Ushbu hol esa, trubalar bo‘shlig‘ida issiqlik berish koeffitsiyentini o‘sishiga sababchi bo‘ladi.

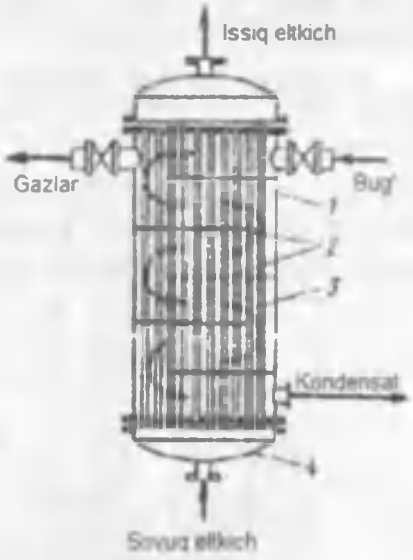
Shuni nazarda tutish kerakki, har doim termik qarshiligi yuqori issiqlik eltkichning tezligini oshirish maqsadga muvofiqdir.

Trubalararo bo‘shliqda suyuqlik oqimi tezligini va harakat yo‘lini uzaytirish maqsadida segment to‘siqlar o‘rnatiladi (4.27-rasm).

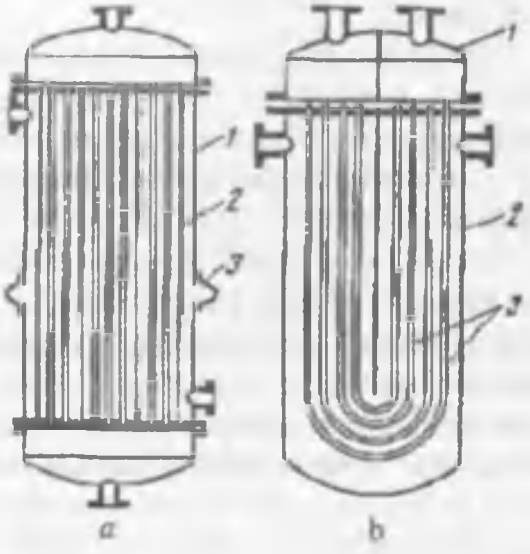
Gorizontal issiqlik almashinish qurilmalarida ushbu segment to‘siqlar truba o‘rami uchun oraliq tayanchlar vazifasini ham bajaradi. Odatda, gorizontal qurilmalar ko‘p yo‘lli qilib yasaladi va ularda suyuqliklar tezligi yuqori bo‘ladi. Bunday qilishdan maqsad, temperatura va zichliklar farqi ostida suyuqliklarning qatlamlarga ajralib hamda harakatsiz zonalar hosil qilmasligini ta’minlashdir.



4.26-rasm. Ko'p yo'lli issiqlik almashinish qurilmasi (truba bo'shlig'i bo'yicha).
1 - qobiq; 2 - isituvchi truba:
3 - qopqoq 4 – to'siq.



4.27-rasm. Ko'p yo'lli issiqlik almashinish qurilmasi (trubalararo bo'shliq bo'yicha).
1 - qobiq; 2 - to'siq;
3 - isituvchi
2 - truba; 4 - qopqoq.



4.28-rasm. Temperatura kuchlanishlarini kompensatsiya qiluvchi issiqlik almashinish qurilmalarining tuzilishi.
a - linza kompensatorli:
1 - qobiq; 2 - isituvchi truba; 3 - linzali kompensator.
b - U-simon trubali:
1 - qopqoq; 2 – qobiq; 3 - U-simon isituvchi trubalar.

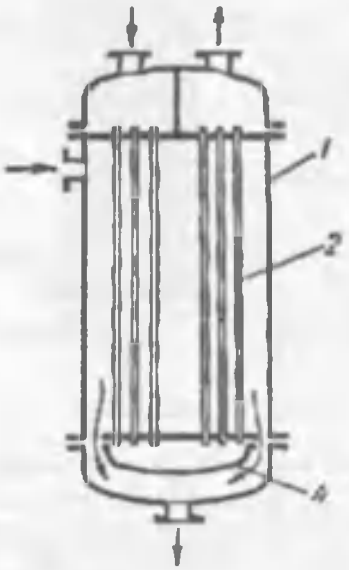
Agar issiqlik almashinish qurilmasi qo'zg'almas teshik panjara tuzilishi, qobiq va trubalar temperaturalarining o'rtacha farqi 50°C dan katta bo'lsa, qobiq va trubalar uzayishi har xil bo'ladi. Bu hol o'z navbatida teshikli panjarada katta kuchlanishlar hosil qiladi va panjaradagi trubalar zichlanishini, payvand choklarini buzadi va yo'l qo'yib bo'lmaydigan issiqlik eltkichlar aralashishiga olib keladi. Shuning uchun, temperaturalar farqi katta bo'lganda, temperatura ta'sirida uzayishini kompensatsiya qiladigan issiqlik almashinish qurilma konstruksiyalari qo'llaniladi.

Linza kompensatorli issiqlik almashinish qurilmasi. Ushbu turdagi qurilmalar suyuqliklar temperatura farqi katta bo'lganda ishlatiladi. Linzali kompensatorlar temperatura deformatsiyasini bartaraf qiladi. Bu turdagi qurilmalar truba va trubalararo bo'shliqlarida bosimlar $R \leq 6 \cdot 10^6$ N/m^2 bo'lganda ishlatiladi (4.28a-rasm).

Linzali kompensator issiqlik almashinish qurilmalar qobig'iga payvandlab

qo'yiladi va u elastik deformatsiya ostida siqiladi yoki uzayadi. Bunday qurilmalar tuzilishi sodda va ixcham. Undan tashqari, vertikal qilib yasalgan linza kompensatorli qurilmalar ko'p joy egallamaydi.

U-simon trubali issiqlik almashinish qurilmasi. Bunday qurilmalarda bitta teshikli truba panjarasi bo'lib, U-simon trubaning ikkala uchi unga mahkamlanadi. Shuni alohida aytish kerakki, trubalarning o'zi kompensatsiyalovchi moslama funksiyasini bajaradi (4.28b-rasm). Qurilma tuzilishi sodda va trubalarning tashqi yuzasini tozalash oson. Undan tashqari, ikki va undan ortiq yo'lli bo'lgani uchun issiqlik almashinish jarayoni intensiv bo'ladi. Trubalarning ichki yuzasini tozalash qiyin va teshikli panjarada ko'p miqdorda trubalar joylashtirish murakkab.



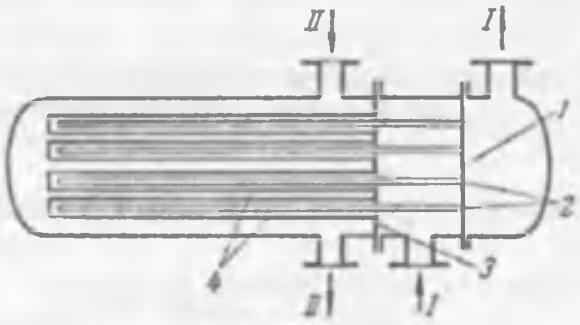
4.29-rasm. Harakatchan qalpoqchali issiqlik almashinish qurilmasi.
1 - qobiq; 2 - isituvchi trubalar;
3 - harakatchan qalpoqcha.

Harakatchan qalpoqchali issiqlik almashinish qurilmasi. Truba va qobiqning katta siljishini ta'minlash zarur bo'lgan hollarda harakatchan qalpoqchali issiqlik almashinish qurilmalaridan foydalaniladi (4.29-rasm).

Qurilmaning pastki teshikli truba panjarasi harakatchan bo'lganligi uchun butun trubalar o'rami qo'zg'almas qobiqqa nisbatan mustaqil, erkin harakat qila oladi. Bu esa xavfli bo'lgan trubalar temperatura deformatsiyasi, ularning teshikli panjara bilan zichlanishining buzilishi oldini olish imkoniyatini beradi. Lekin shuni qayd qilish kerakki, temperatura ta'sirida uzayishini kompensatsiya qilish, qurilmani murakkablashishi va og'irlashishi hisobiga erishiladi.

Qo'shaloq trubali issiqlik almashinish qurilmasi. Qurilmaning bir tomonida ikkita teshikli truba panjarasi o'rnatilgan bo'ladi (4.30-rasm).

Teshikli panjara 1 da kichik diametrli ikkala uchi ochiq trubalar o'rami 2 mahkamlansa, panjara 3 da esa, katta diametrli chap uchi yopiq trubalar mahkamlanadi. Ichki truba tashqi trubaning o'rtasida joylashishi shart. Muhitlardan biri I qurilmaning ichki 2 va tashqi 4 trubalari hosil qilgan halqasimon bo'shliq orqali harakatlanib, truba 2 orqali trubalararo bo'shliqdan chiqarib yuboriladi. Ikkinchi muhit II esa, yuqoridan pastga qarab qurilmaning trubalararo bo'shlig'idan harakat qiladi va truba 4 ning tashqi yuzasini yuvib chiqib ketadi.



4.30-rasm. Qo'shaloq trubali qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmasi.
1, 3 - teshikli panjara;
2 - ichki truba; 4-tashqi truba.

Bunday qurilmalarda temperatura ta'sirida trubalar bir - biridan bevosita istalgan miqdorda uzayishi mumkin.

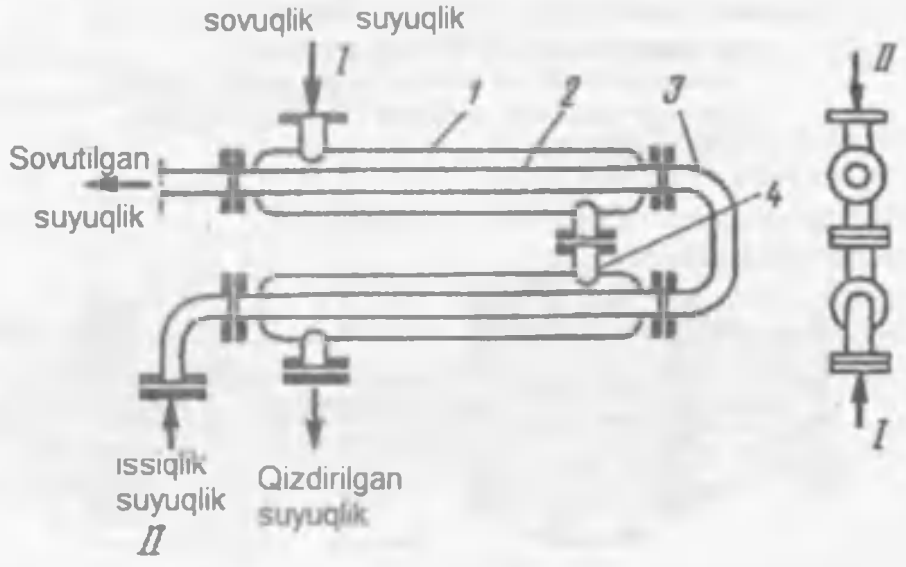
Qo'shaloq trubali issiqlik almashinish qurilmalarining afzalliklari:

sodda, trubalararo bo‘shliqda yuqori bosimlarni qo‘llash mumkin va qarama - qarshi yo‘nalishli qobiq - trubali qurilmaga o‘xshab ishlaydi.

Kamchiliklari: oddiy qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmasiga nisbatan o‘lchami katta va narxi qimmat.

Qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmalari suyuqlik va kondensatsiya-lanayotgan bug‘ orasida issiqlik almashinish uchun qo‘llaniladi. Odatda suyuq faza trubalar ichiga yo‘naltiriladi, bug‘ esa – trubalararo bo‘shliqqa.

Qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmalarining afzalliklari: ixcham, metall sarfi kam, U-simon trubali qurilmadan tashqari hamma qurilmalardagi trubalar ichini tozalash nisbatan oson.



4.31-rasm. «Truba ichida truba» tipidagi ajralmas, bir oqimli issiqlik almashinish qurilmasi.

1 – tashqi truba; 2 - ichki truba; 3 - kalach; 4 – patrubka. I, II – issiqlik eltkichlar.

Kamchiliklari: issiqlik eltkichlar tezligini oshirish murakkab (ko‘p yo‘lli qurilmalardan tashqari); trubalararo bo‘shliqni tozalash qiyin; trubalararo bo‘shliqni kuzatish va ta’mirlash uchun imkoniyatlar chegaralangan; razvalsovka va payvand-lashga moyil bo‘lmagan materiallardan bu turdagi qurilmalarni yasash murakkab.

«Truba ichida truba» tipidagi issiqlik almashinish qurilmasi bir nechta elementlardan tarkib topgan bo‘ladi (4.31-rasm).

Har bir element katta diametrli tashqi truba 1 (odatda 25...159 mm) va konsentrik joylashtirilgan ichki truba 2 (odatda 57...219 mm) lardan tashkil topgan. Sovuqlik eltkich I truba ichida harakatlansa, issiqlik eltkich II trubalararo bo‘shliqda harakatlanadi. Issiqlik almashinish ichki trubaning devori orqali amalga oshadi.

Ushbu qurilmalarning truba va trubalararo bo‘shlig‘ida yuqori tezliklarga (3,0 m/s gacha) erishsa bo‘ladi. Agar katta yuzalar zarur bo‘lsa, bir necha seksiyalardan batareya hosil qilish oson va mumkin.

Bu turdagi qurilmalarda suyuqliklar sarfi katta va «suyuqlik - suyuqlik», «suyuqlik - bug‘« sistemalarida issiqlik almashinish uchun qo‘llaniladi.

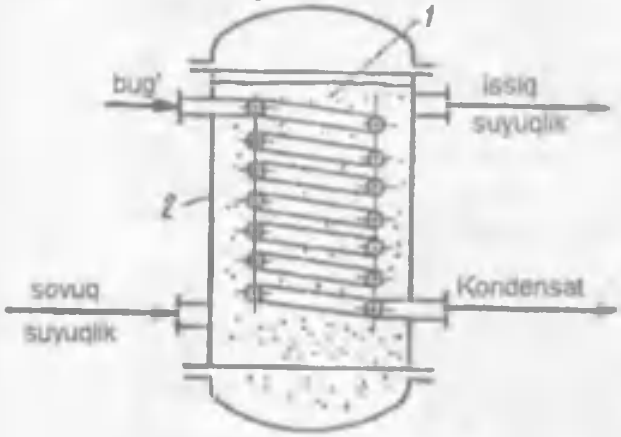
«Truba ichida truba» issiqlik almashinish qurilmaning afzalliklari: tuzilishi va yasalishi sodda: suyuqliklar tezliklari katta bo‘lgani uchun issiqlik o‘tkazish koeffitsiyenti yuqori.

Kamchiliklari: qo‘pol; metall sarfi ko‘p, trubalararo bo‘shliqni tozalash qiyin.

Bir va ko‘p oqimli qurilmalarning trubalarida issiqlik eltkichlar tarkibidagi agressiv va mexanik iflosliklar kamroq o‘tirib qoladi. Ko‘pchilik hollarda, «truba ichida truba» qurilmalarining issiqlik ko‘rsatkichlari qobiq-trubali qurilmalarnikiga qaraganda ancha yuqori bo‘ladi.

Ayrim hollarda, qurilmaning ichki trubalarning tashqi yuzasi qirrali qilib yasaladi. Natijada, issiqlik almashinish yuzasi 4...5 marotaba ortadi. Odatda, bu usuldan trubaning birorta muhit harakatlanayotgan tomonida issiqlik berish koeffitsiyentini oshirish qiyin bo‘lganda (gaz, qovushoq suyuqlik harakatida yoki laminar rejimda) foydalaniladi. Bunday hollarda, qirrali trubalarni qo‘llash, uzatilayotgan issiqlik miqdorini anchaga oshirish imkonini beradi.

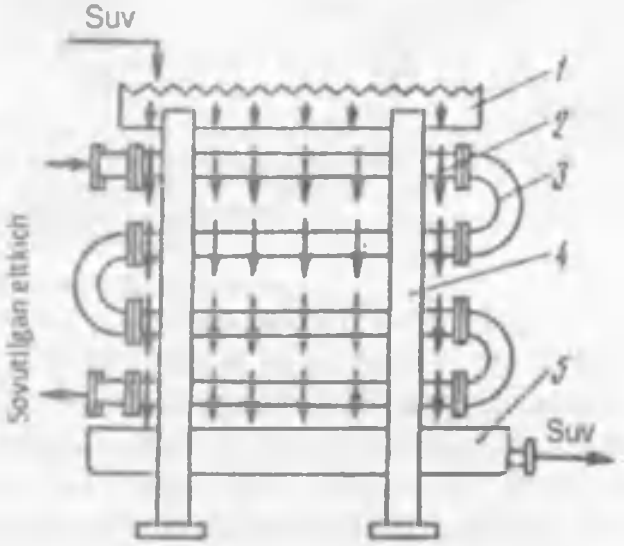
Zmeyevikli issiqlik almashinish qurilmasi. Zmeyevik shaklida egilgan truba silindrik qobiqli idishga o‘rnatilgan bo‘ladi (4.34-rasm). Silindrik qobiqli idish 2 isitilishi zarur bo‘lgan suyuqlik bilan to‘ldiriladi.



4.34-rasm. Zmeyevikli issiqlik almashinish qurilmasi.
1 - zmeyevik; 2 -qobiq.

Zmeyeviklar ko‘pincha 15...75 mm diametrli trubalardan yasaladi. Silindrik idishning hajmi katta bo‘lgani uchun, suyuqlikning tezligi kichik, ya’ni issiqlik berish koeffitsiyentining qiymati past bo‘ladi. Issiqlik eltkich odatda zmeyevik ichiga yuboriladi. Bu turdagi qurilmalar kam miqdordagi suyuqliklarni isitish uchun mo‘ljallangan.

Zmeyevikli issiqlik almashinish qurilmalarining afzalliklari: tuzilishi sodda; narxi arzon; tozalash va ta’mirlash oson; yuqori bosim (0,2...0,5 MPa) qo‘llash mumkin; kimyoviy faol suyuqliklarni isitish ham mumkin; isitish yuzasi 10...15 m^2; suyuqlik hajmi kattaligi uchun ishchi rejimlar o‘zgarishi jarayonga sezilarli ta’sir etmaydi.



4.35-rasm. Yuvilib turuvchi issiqlik almashinish qurilmasi.
1 - taqsimlovchi tarnov; 2 - truba; 3 - kalach; 4 - tayanch; 5 - yig‘uvchi tarnov.

Ushbu turdagi qurilmaning kamchiliklari: suyuqlikning tezligi va issiqlik berish koeffitsiyenti kichik; truba ichki devorini tozalash qiyin; $l/d \geq 200...275$ bo‘lsa, zmeyevik pastida kondensat yig‘iladi, issiqlik almashinish yomonlashadi va gidravlik qarshilik ortib ketadi.

Yuvilib turuvchi issiqlik almashinish qurilmasi gaz, suyuqliklarni sovitish va bug‘larni kondensatsiyalash uchun qo‘llaniladi (4.35-rasm).

Bu qurilma bir-biri ustiga joylashtirilgan truba 2 va ularni birlashtiruvchi kalach 3 lardan iborat. Trubalar ichidan sovutilayotgan issiqlik eltkich harakatlanadi. Sovutuvchi

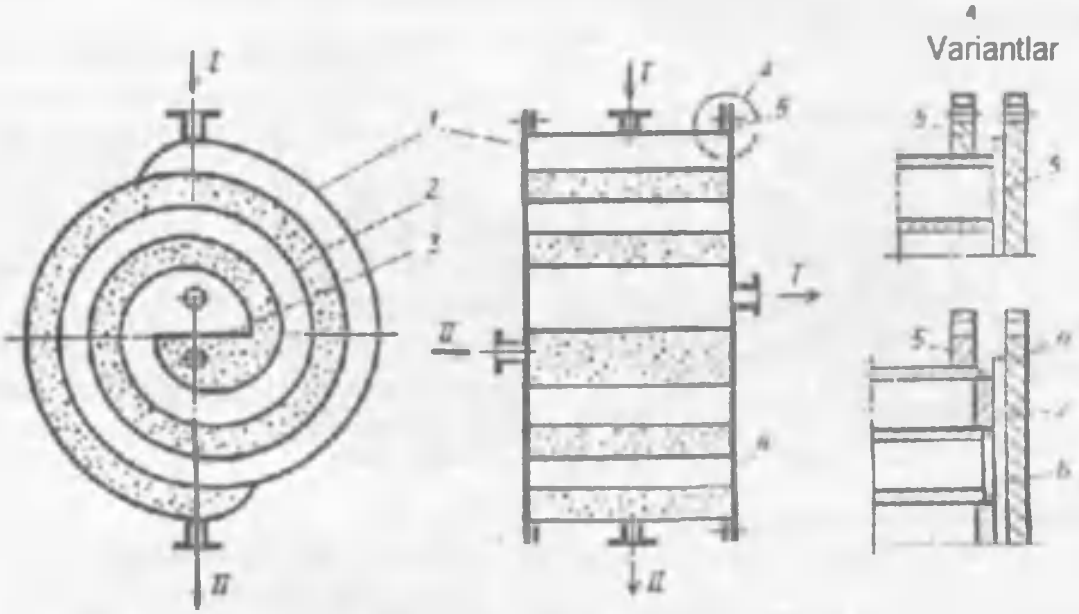
suv chetlari tishli taqsimlovchi tarnov 1 ga quyiladi va undan trubalar 2 ga oqib tushadi. Suvning bir qismi truba yuzasidan bug'lanib ketadi.

Suv bir trubani yuvib ikkinchisiga, undan so'ng uchinchisiga va hokazo tartibda harakatlanib, oxiri isigan holda yig'uvchi tarnovga oqib tushadi.

Yuvilib turuvchi issiqlik almashinish qurilmalarining afzalliklari: tuzilishi sodda; ochiq havoda ishlatish mumkin; suv sarfi kam; trubalarni tozalash oson.

Ushbu qurilmaning kamchiliklari: qo'pol; issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti kichik; metall sarfi ko'p.

Spiralsimon issiqlik almashinish qurilmasi. Bu qurilmalarda issiqlik almashinish yuzasi ikkita yupqa metall list 1 va 2 larni spiral bo'ylab o'rash natijasida hosil bo'ladi (4.36-rasm). Spirallarning ichki uchlari plastina- to'siq 3 yordamida birlashtirilgan.



4.36-rasm. Spiralsimon issiqlik almashinish qurilmasi.
1,2- metall listlar; 3- plastina-to'siq; 4- qopqoqlar; 5- flanets;
6- qistirma; 7- oraliqni belgilovchi bo'lakcha. I va II- issiqlik eltkich.

Kanallar yon tomoni qistirma va tekis qopqoq yordamida zichlab yopilgan. Natijada bir - biridan ajrab turuvchi kanallar hosil bo'ladi va ularda qarama - qarshi yo'nalishda suyuqliklar harakatlantiriladi. Kanallarning eni metall list eni bilan belgilanadi. Balandligi esa oraliqni belgilovchi bo'lakcha 7 ning o'lchami bilan aniqlanadi. Tekis qopqoq 4 lar flanets 5 ga boltlar yordamida mahkamlanadi.

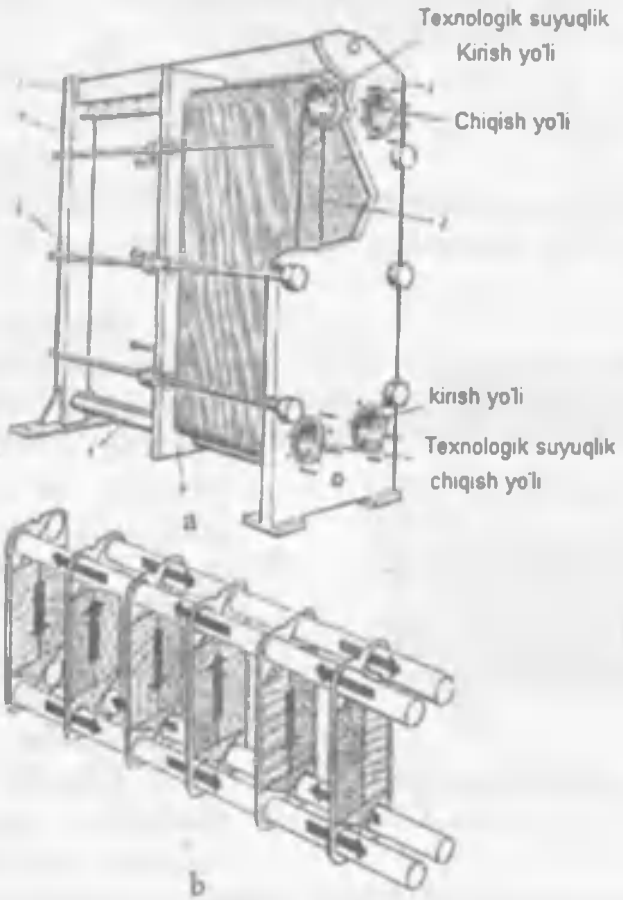
Issiqlik eltkichlar kirishi va chiqishi uchun tekis qopqoqlarning markazida va spiralning tashqi uchlarida shtuserlar o'rnatiladi.

Bu qurilma suyuqlik va gazlar orasida issiqlik almashinish uchun ishlatiladi. Agar issiqlik eltkich tarkibida qattiq zarrachalar bo'lgan taqdirda ham ushbu qurilmalardan foydalanish mumkin, chunki to'g'ri to'rtburchak shakldagi kanalga tiqilib qolmaydi.

Spiralsimon issiqlik almashinish qurilmalarining afzalliklari: tuzilishi ixcham; gidravlik qarshiligi nisbatan kichik; suyuqliklar tezligi yuqori (1...2 m/s); issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti katta; kam joy egallaydi.

Ushbu qurilma kamchiliklari: yasash, ta'mirlash va tozalash qiyin; yuqori bosim (≥1,0 MPa) da ishlatish mumkin emas, chunki bu bosimlarda zichlanishni ta'minlash qiyin.

Plastinali issiqlik almashinish qurilmasi. Yupqa metall listlardan tayyorlangan bir necha plastina tepa va pastki tutib turuvchi bruslardan iborat romda yig'iladi (4.37-rasm).



4.37-rasm. Plastinali isitkich (a) va uning ishlash prinsipi (b):
1-tepa tutib turuvchi brus; 2-qo'zg'almas plita;
3-plastina; 4-harakatchan plita; 5-pastki tutib turuvchi brus;
6-yo'naltiruvchi va tortib turuvchi shpilka; 7-tayanch.

Qo'zg'almas va harakatchan plitalar orasida shtampovka qilingan po'lat, gofrirlangan plastina dastasi joylashgan bo'lib, ularda issiqlik eltkichlar harakati uchun kanallar bor.

Plastina dastasi qo'zg'almas 2 va harakatchan plitalar 4 orasida yig'iladi va tortib turuvchi shpilka 6 yordamida siqiladi.

Plastinalarni zichlash yuqori bosimga bardosh bera oladigan qistirmalar yordamida amalga oshiriladi. Plastinalar orasidagi kanallar eni 3...6 mm bo'ladi.

Plastinali issiqlik almashinish qurilmalarining ishlash prinsipi 4.37b-rasmda ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, suyuqliklarning harakati qarama - qarshi yo'nalishda. Shuni qayd etish kerakki, har bir issiqlik eltkich plastinaning bir tomoni bo'ylab harakat qiladi.

Bu turdagi qurilmalar isitkich, sovutkich sifatida hamda pasterizatsiya, sterilizatsiya qilish uchu ham qo'llash mumkin.

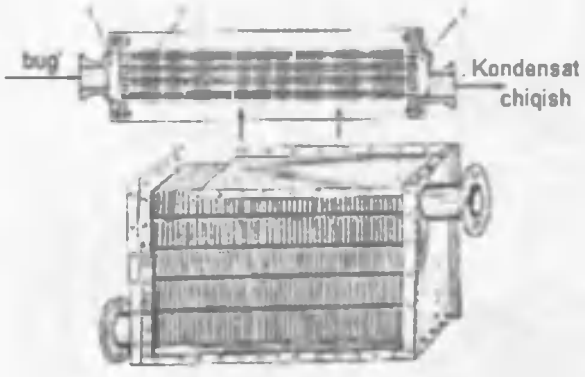
Plastinalar orasidagi kanallarda suyuqlik tezliklari yuqori bo'lgani uchun issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti $K \leq 3800$ Vt/m^2·K gacha erishish mumkin. Undan tashqari,

bunday yuqori issiqlik o'tkazish koeffitsiyentlarni olishga sabab bo'lgan omillardan biri, gofrirlangan plastina yuzasining suyuqlik oqimini turbulizatsiya qilishi va devorning kichik termik qarshiligidir.

Plastinali issiqlik almashinish qurilmalarining afzalliklari: issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti katta; gidravlik qarshiligi nisbatan kichik; tuzilishi ixcham; suyuqliklar tezligi yuqori; issiqlik almashinish yuzasi katta.

Bu turdagi qurilmalar kamchiliklari: katta bosimga bardosh berolmaydi; tayyorlash qiyin; suyuqlik tarkibidagi qattiq zarrachalar kanallarni yopib qo'yish ehtimoli bor.

Qirrali issiqlik almashinish qurilmasi. Bu turdagi qurilmalarda issiqlik berish koeffitsiyenti past muhit tomonidagi, issiqlik o'tkazish yuzasini ko'paytirish imkoniyati bor (4.38-rasm).



4.38-rasm. Plastinali kalorifer.
1 -quti; 2 - qovurg'a.

Sanoatda ishlatiladigan issiqlik almashinish jarayonlarida devorning ikki tomonidagi issiqlik berish koeffitsiyentlar bir-biridan keskin farq qiladi. Masalan, suv bug'i yordamida havo isitilganda, bug'ning devorga issiqlik berish koeffitsiyenti taxminan 10000...15000 Vt/(m^2·K) ni tashkil etadi. Demak, ushbu holatda havo tomonidan yuza miqdorini oshirish kerak, ya'ni α past tomonidan.

Trubalar yuzasini oshirish maqsadida uning tashqi yuzasiga dumaloq yoki to'rtburchak shaklidagi metall shaybalar payvandlanadi. Trubali issiqlik almashinish qurilmalarida ko'ndalang yoki bo'ylama qoburg'alar qo'llanishi mumkin. Natijada, bu turdagi trubalar o'rnatilgan qurilmaning issiqlik yuklamasi ortadi. Ma'lumki, qirrali trubalar yasaladigan materialning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti yuqori bo'lishi kerak.

Bunday trubalarning gidravlik qarshiligi kichik bo'lishi uchun qirralar yuzasi issiqlik eltkich oqimining yo'nalishiga parallel bo'lishi zarur. Hozirgi kunda to'g'ri to'rtburchak va trapetsiya shaklidagi ko'ndalang kesimli qirralar eng ko'p qo'llaniladi.

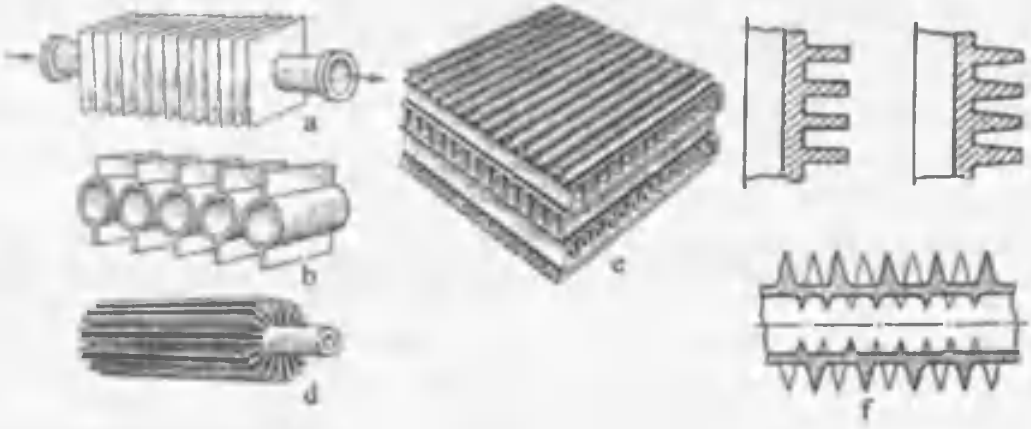
(4.39-rasm) Qirrali issiqlik almashinish yuzali elementlar havo va turli gazlarni isitadigan issiqlik almashinish qurilmalarida o'rnatiladi.

G'ilofli issiqlik almashinish qurilmasi. Bunday qurilmalarda issiqlik almashinish jarayonlari (isitish yoki sovitish) bilan kimyoviy jarayon bir vaqtda yuz beradi. G'ilofli qurilma tasviri 4.40-rasmda keltirilgan.

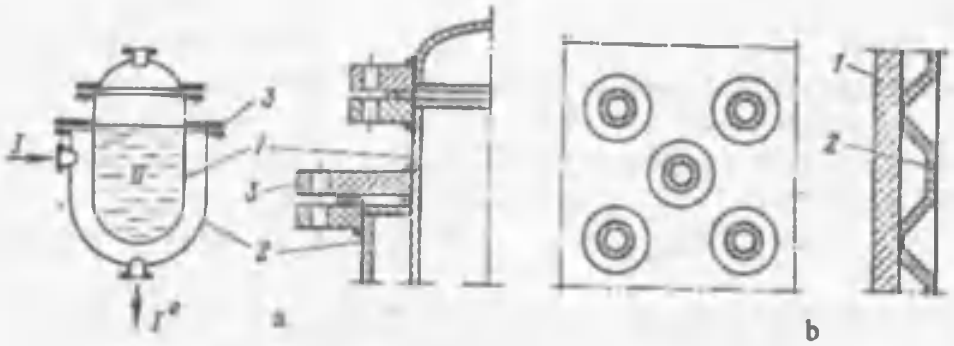
Bunday qurilmalarda issiqlik almashinish yuzasi sifatida reaktor devori xizmat qiladi. Flanets birikma 3 yordamida qobiq 1 ga g'ilof 2 mahkamlanadi. Qobiq va g'ilof orasidagi bo'shliqda issiqlik eltkich I sirkulatsiya qiladi. Qurilmaning ichida esa, eltkich II joylashtiriladi. Bu turdagi qurilmalarning issiqlik almashinish yuzasi ≤10 m^2 va g'ilofdagi bosim 1,0 MPa dan oshmaydi.

Agar bosim 7,5 MPa dan ortsa, g'ilofda ko'p miqdorda teshiklar qilinadi va g'ilof listining chetlari perimetri bo'yicha buklanadi va qurilma qobig'iga payvandlanadi (4.40-rasm).

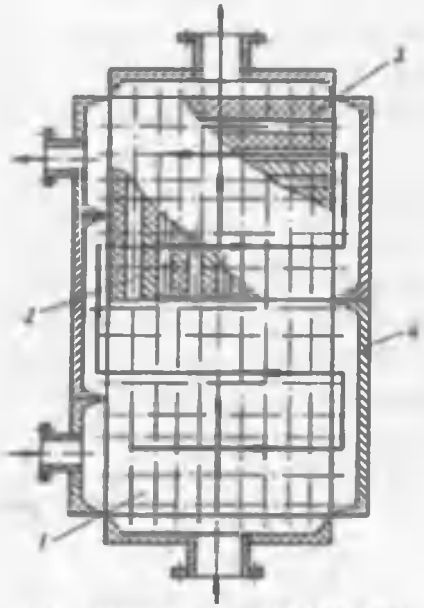
Blok-grafitli issiqlik almashinish qurilmasi. Blok-grafitli isitkichlarda grafitning yuqori issiqlik o'tkazuvchanlik [100 Vt/(m·K) gacha] va suyuqlik ta'sirida



4.39-rasm. Qirrali issiqlik almashinish yuzalari.
a – to'g'ri to'rtburchak qirrali; b - trapetsiya shaklidagi qirrali;
d – ko'ndalang qirra; e – bo'ylama, qirrali «yuzgich»; f – bo'ylama, qirrali; g - gofrirlangan qirrali; h - uchburchak shaklidagi, qirrali.



4.40-rasm. G'ilofli issiqlik almashinish qurilmalari
a - past bosimlar uchun; b – yuqori bosimlar uchun;
1 - qobiq; 2 – g'ilof; 3 - flanetsli birikma;
I, t^0; II – issiqlik eltkichlar.



4.41-rasm. Blok–grafitli issiqlik almashinish qurilmasi.
1 - grafitli blok; 2 – vertikal kanallar; 3 – gorizontal kanallar;

yemirilmasligi tufayli grafitli issiqlik almashinish qurilmalari sanoatning barcha sohalarida ishlatiladigan isitkichlarga nisbatan keng tarqalgan bo'lib, uning afzalliklarini hech qanday isitkich bilan solishtirib bo'lmaydi.

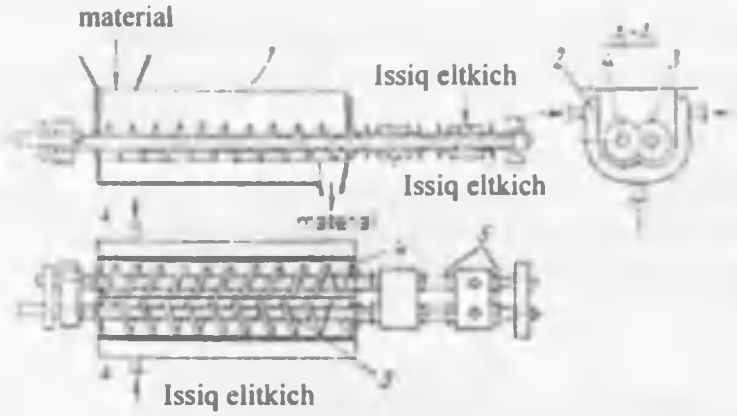
Bu turdagi issiqlik almashinish qurilmalar asosiy elementi parallelepiped shaklidagi grafitli blokdir. Unda issiqlik eltkichlar uchun bir-biri bilan kesishmaydigan teshiklar yasalgan (4.41-rasm). Qurilma bir yoki bir necha to'g'ri to'rtburchakli blokdan yig'iladi.

Yon tomonidagi metall plitalar yordamida har bir blokda issiqlik eltkichning ikki yo'lli gorizontal kanallarda harakati tashkil etiladi. O'lchami 350x515x350 mm^3 bo'lgan bloklardan yig'ilgan issiqlik almashinish qurilmasining vertikal kanallari bo'yicha eltkich bir yoki ikki yo'lli harakat qilishi

mumkin. Vertikal yo'llarning soni qurilmaning pastki va yuqori qopqoqlarining konstruksiyasiga bog'liqdir. Grafitli issiqlik almashinish qurilmasining ishchi bosimining qiymati $2{,}9 \cdot 10^5$ Pa dan oshmasligi kerak.

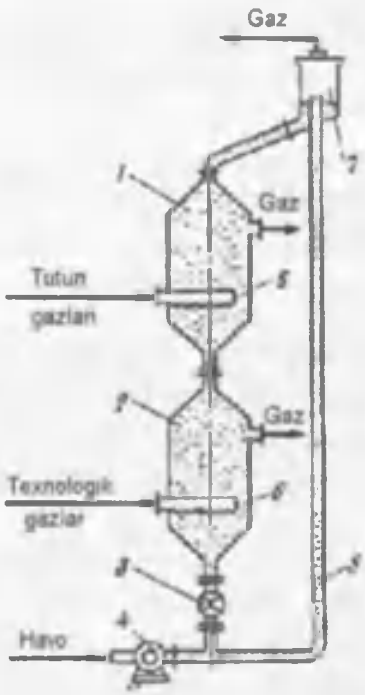
Blok-grafitli qurilmalarni muhitlardan biri korrozion-faol bo'lgan hollarda ishlatish mumkin. Agarda ikkala muhit ham korrozion-faol bo'lsa, unda yon tomondagi plitalar maxsus grafit vkladishlar bilan himoya qilinadi.

Shnekli issiqlik almashinish qurilmasi. Yuqori qovushoqli suyuqlik va issiqlik o'tkazuvchanligi kichik bo'lgan sochiluvchan materiallarni isitish davrida, jarayonni intensivlash uchun qurilma devoriga tegib turgan muhit yuzasini doimiy ravishda yangilab turish kerak. Buning uchun, bir paytning o'zida shnek yordamida materialni mexanik aralashtirish va uzatib turish maqsadga muvofiqdir (4.42-rasm).



4.42-rasm. Shnekli issiqlik almashinish qurilmasi.
1 - qobiq; 2 - g'ilof; 3, 4 - shneklar;
5 - ichi bo'sh o'qlarning salniki.

Qurilma qobig'ining bir uchidan material yuklanadi va bir-biriga qarab aylanayotgan 3 va 4 shneklar yordamida aralashtiriladi. Aralashtirish bilan birga materialni qurilmaning boshqa uchiga uzatadi. Ayrim hollarda, issiqlik almashinish jarayonini intensivlash uchun shnekning ichi bo'sh qilib tayyorlanadi va ular orqali issiqlik eltkich (bug' yoki issiq havo) yuboriladi.



4.43-rasm. Sirkulatsion harakatlanuvchi donador qatlamli qurilma.
1,2 – issiqlik almashinish qurilmasi;
3 - shlyuzli tamba; 4 - gazoduvka;
5 – pnevmotransport liniyasi;
6 - gaz taqsimlagich; 7 - separator.

4.11.2. Regenerativ issiqlik almashinish qurilmalari

Regenerativ issiqlik almashinish qurilmalari ikkita seksiyadan tashkil topgan bo'ladi. Birinchisida issiqlik eltkichdan oraliq materialga issiqlik uzatilsa, ikkinchisida esa - oraliq materialdan texnologik gazga uzatiladi. 4.43-rasmda sirkulatsion harakatlantiruvchi donador qatlamli uzluksiz ishlaydigan regenerativ issiqlik almashinish qurilmasi keltirilgan.

Qurilma asosan ikkita isitkichdan tuzilgan bo'lib, har bir isitkichning pastki qismida gaz oqimini bir me'yorda uzatish uchun taqsimlagich 6 o'rnatilgan. Isitkichdan donador materialni uzluksiz ravishda to'kish uchun shlyuzli tamba 3 xizmat qiladi.

Ikkinchi isitkichdan chiqayotgan sovutilgan donador material pnevmotransport liniyasiga to‘kiladi. Undan so‘ng, havo yordamida bunker - separatorga uzatiladi va u yerda zarrachalar cho‘ktiriladi va yana qaytadan birinchi isitkichga yuboriladi.

4.11.3. Aralashish issiqlik almashinish qurilmalari

Bir xil yo‘lli, ho‘l kondensator bug‘ni suv yordamida kondensatsiyalash uchun mo‘ljallangan (4.44-rasm). Kondensatorga sovutuvchi suv soplo orqali kiritiladi. Suvni purkash natijasida suv va bug‘ orasidagi issiqlik almashinish yuzasi sezilarli darajada oshadi. Bug‘ni suv bilan o‘zaro ta’siri, bug‘ni kondensatsiyalanishiga olib keladi. Kondensator ichidan kondensat, suv va kondensatsiyalanmagan gazlar maxsus nasos yordamida so‘rib olinadi.

Jarayonning moddiy balansi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$Di + Wc_s t_{sb} = (D + W)\ c_s \cdot t_{sox}$$

bundan:

$$W = \frac{D \cdot (i - c_s t_{sox})}{c_s (t_{sox} - t_{sb})} \qquad (4.139)$$

bu yerda, D – kondensatsiyalanayotgan bug‘ massaviy sarfi, kg/soat; i – kondensatsiyalanayotgan bug‘ entalpiyasi, kJ/kg; W – sovutuvchi suv massaviy sarfi, kg/soat; c – suvning issiqlik sig‘imi, kJ/(kg·K); t_{sb} va t_{sox} – suvning boshlang‘ich va oxirgi temperaturalari, °C.

Aralashish kondensatoridan so‘rib olinayotgan havoning massaviy sarfi (kg/soat):

$$G_s = 25 \cdot 10^6 (D + W) + 0{,}01 \cdot D \qquad (4.140)$$

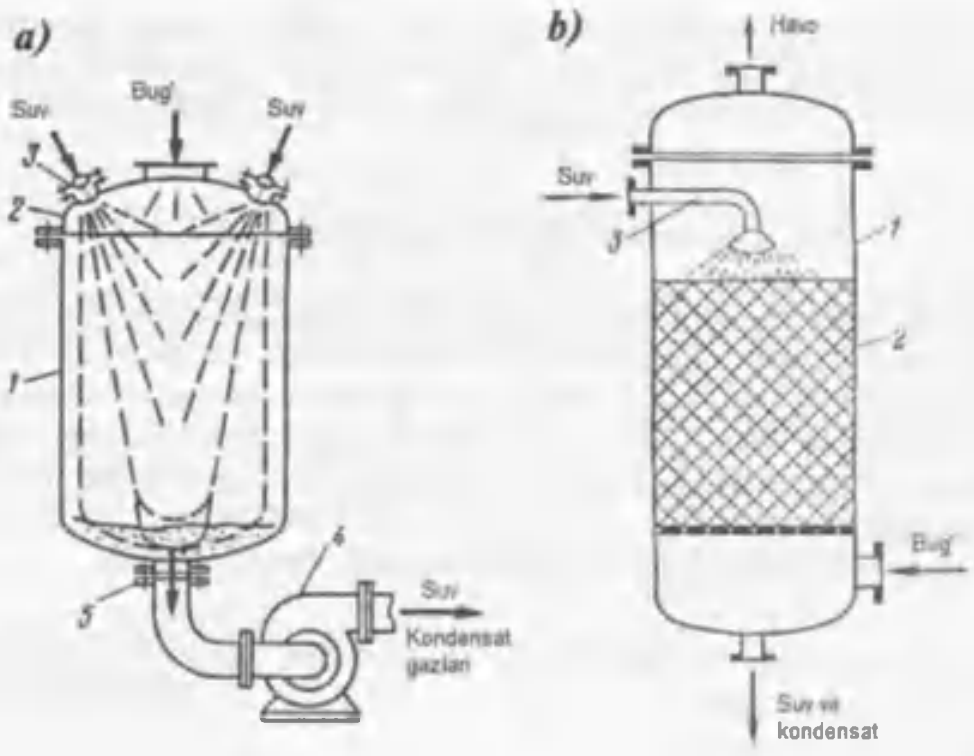
Havoning temperaturasi kondensatordan chiqayotgan sovutuvchi suvning temperaturasiga teng deb qabul qilinadi, ya’ni $t_{havo} = t_{sox}$.

Qarama - qarshi yo‘lli quruq kondensatorda bug‘ va sovutuvchi suvning o‘zaro ta’siri qarama - qarshi yo‘nalishda o‘tadi (4.45-rasm).

Sovutuvchi suv kondensatorning yuqori qismidagi teshikli tarelkasi 2 ga yuborilsa, bug‘ esa – pastdagi tarelka ostiga. Suv tarelkadan tarelkaga teshiklari va chetidan ingichka oqimcha bo‘lib o‘tadi. Suv bilan suyuqlikning o‘zaro ta’siri kondensatorning tarelkalararo bo‘shlig‘ida yuz beradi. Hosil bo‘lgan kondensat barometrik truba 3 orqali sovutuvchi suv bilan yig‘gich 4 ga tushiriladi.

Havo esa, ushlagich orqali vakuum - nasos yordamida so‘rib olinadi. Shuning uchun ham bu turdagi kondensatorlarni **barometrik kondensator** deb ataladi.

Barometrik kondensatorda kondensatsiyalash jarayoni vakuum ostida olib boriladi. Qurilmadagi absolyut bosim 0,01...0,02 MPa bo‘ladi.



4.44-rasm. Bir xil yo'lli ho'l (a) va nasadkali (б) kondensator.
a) 1-qobiq; 2-qopqoq; 3-purkovchi soplo; 4–maxsus nasos; 5-shtuser. b) 1-qobiq; 2-nasadka; 3-suv purkagich.

Atmosfera va barometrik kondensatorlarda bosimlar farqini teng holatda ushlab turish barometrik truba 3 dagi suyuqlik ustuni h_3 xizmat qiladi.

Barometrik trubaning balandligi ushbu ifodadan aniqlanadi:

$$H_{Tp} = h_3 + h_{Д} + 0{,}5 \qquad (4.141)$$

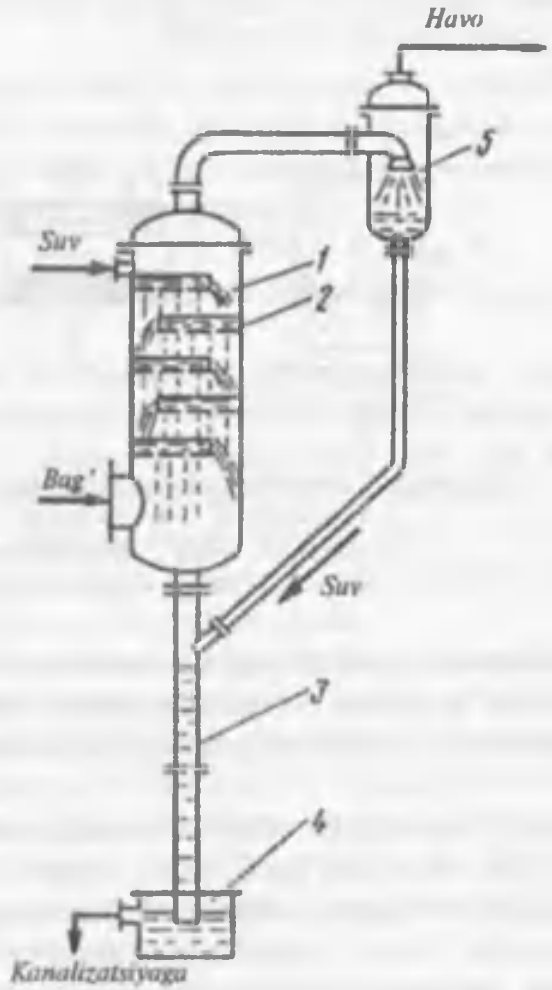
bu yerda. h_3 = 103,3 V (V - kondensatordagi vakuum, MPa); h_D – dinamik napor hosil qilish uchun zarur suyuqlik ustunining balandligi, $h_D = (w^2/2g)\cdot(2{,}5 + \lambda\cdot H_{\text{ш}}/d)$; w – trubadagi suyuqlik tezligi, w = 1...2 m/s; λ – gidravlik qarshilik koeffitsiyenti; d – truba diametri, $d = \sqrt{[0{,}004(D + W)]/3600\pi w}$, m; D va W – kondensatorga kirayotgan bug' va suvning massaviy sarflari, kg/soat; 0,5 – bug' kirayotgan shtuserni suv bilan to'lib ketmasligi oldini oluvchi balandlik, m.

Barometrik kondensator o'lchamlari barometrik truba diametriga bog'liq bo'lib, yordamchi jadval va adabiyotlardan aniqlanadi.

Vakuum - nasosni tanlash uchun suv va bug' tarkibidagi havo hamda flanetsli birikmalar yordamida orasidan so'rilayotgan havo miqdorini bilish zarur.

Havoning sarfi (4.140) tenglamadan hisoblab topiladi, temperaturasi esa ushbu ifodadan:

$$t_{havo} = t_{sh} + 0{,}1\cdot(t_{suv} - t_{sh}) + 4 \qquad (4.142)$$



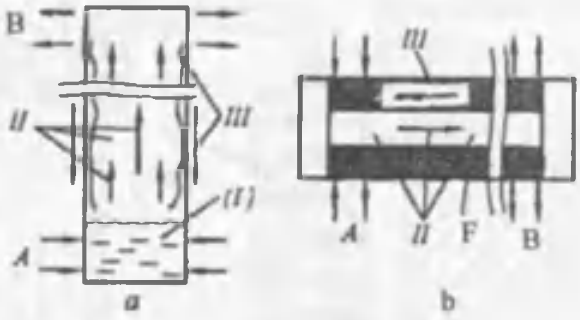
4.45-rasm. Barometrik kondensator.
1 - qobiq; 2 - tarelka; 3 - barometrik truba;
4 – yig'gich; 5-ushlagich.

4.11.4. Termosifon va issiqlik trubalari

Termosifon va issiqlik trubalari katta miqdordagi issiqlik oqimlarini uzatish muammosini hal qilish maqsadida yaratilgan. Qurilmaning o'zida temperaturalar napori katta emas, ya'ni hamma temperaturalar napori qurilma tashqarisida barpo bo'ladi. Hozirgi kunda termosifonlar energetika, qurilish industriyasi (issiqlikni rekuperatsiya qilish, muzlagan jismlarni yaxdan tushirish, havoni sovitish, kriogen jarayonlar) da; kimyoviy texnologiya (quritish, ko'mirni gazifikatsiyalash, oziq-ovqat va farmatsevtika sanoatlari) da keng ko'lamda qo'llay boshlandi. Ushbu moslamalar imkoniyati juda katta va shu sababli u istiqbolli qurilmadir.

Termosifon – bu vertikal truba bo'lib, uning ichiga ma'lum miqdorda ishchi suyuqlik (suv yoki boshqa suyuqlik) quyilgan (4.46-rasm). Trubaning suyuqlikdan bo'sh qismidan havo so'rib olib va vakuum hosil qilib, germetik qilib yopilgan. Trubaning pastki qismida issiqlik uzatish sohasi ***A*** , yuqori qismida esa - issiqlikni ajratib olish ***B*** sohalari joylashgan. Termosifon trubasining tashqi tomonining A sohasiga issiqlik eltkichdan issiqlik uzatiladi va u truba ichidagi suyuqlikka beriladi. Natijada suv bug'lanadi; hosil bo'lgan bug'lar yuqoriga ko'tariladi va ***B*** sohaga keladi. Bu yerda issiqlik sovuqlik eltkich (u ham termosifon tashqarisida) ga o'tadi. Bug' issiqligini berib

sovugandan keyin kondensatga aylanib, og'irlik kuchi ta'sirida termosifon ichki devori bo'ylab pastga *A* bug'lanish sohasiga oqib tushadi.



4.46-rasm. Termosifon va issiqlik trubalari.
a - termosifon; b-issiqlik trubasi.
I-suyuqlik; II-bug'; III-kondensat.
A,B-issiqlik uzatish va ajratish sohalari; F-pilik.

Issiqlik o'tkazish sohalari A va B orasida adiabatik soha bo'lib, bu yerda issiqlik faqat issiqlik eltkich bilan bo'ylama yo'nalishda uzatiladi. Shunday qilib, termosifon ishlaganda issiqlik temperatura yuqori eltkichdan temperaturasi pastiga qarab issiqlik tarqaladi.

Ma'lumki, turli ishchi suyuqliklar uchun kondensatsiyalanish (bug'lanish) issiqligi juda yuqori (ayniqsa, suv uchun) bo'lgani uchun, termosifon ikkala uchi orasidagi temperaturalar farqi juda katta bo'lmagan miqdorlarda ham ko'p issiqlik uzatishi mumkin. Konduktiv issiqlik tarqalish nuqtayi nazaridan, termosifonning bo'ylama ekvivalent issiqlik o'tkazuvchanligi λ_e eng yuqori issiqlik o'tkazuvchanlik ega metallar (mis, kumush, oltin, aluminiy) ning koeffitsiyentlaridan yuz va ming barobar yuqori.

Termosifonlarning asosiy kamchiligi – kondensatning bug'lanish sohasiga o'z og'irlik kuchi ta'sirida qaytishidir. Bu esa, bug'lanish sohasini sovuq kondensatsiya sohasidan albatta pastroq bo'lishini taqozo etadi. Ushbu sabab termosifonlarni keng ko'lamda qo'llashga xalaqit bermoqda.

Issiqlik trubalari. Ushbu qurilmada termosifonga tegishli kamchiliklar yo'q. Konstruksiya bo'yicha bir xil bo'lishiga qaramasdan, bug'lanish va kondensatsiyalanish sohalari texnologik jarayon talablariga qarab istalgancha joylanishi mumkin. Bunday imkoniyat kondensatni bug'lanish sohasiga kapillar kuchlar, ya'ni pilik (g'ovaksimon) yordamida qaytarish orqali ta'minlanadi.

4.46b-rasmdan ko'rinib turibdiki, qurilmaning chap tomonida *A* (bug'lanish) sohasi tashqi issiq eltkich bilan, o'ng *B* (kondensatsiya) tomonida esa - sovuq eltkich bilan o'zaro to'qnashuvda bo'ladi. *A* va B sohalari orasida adiabatik soha. Trubaning issiq uchidan ishchi suyuqlik bug'lari o'rtadagi bo'shliq orqali sovuq uchiga harakatlanadi va u yerda kondensatsiyalanadi. Kondensat g'ovaksimon pilik orqali issiq (bug'lanish) sohaga qaytariladi. Shunday qilib, issiq eltkichdan sovuq eltkichga issiqlik tarqaladi.

Ishchi suyuqlikka qo'yiladigan asosiy talab-yuqori sirtiy taranglik va pilikni yaxshi ho'llash qobiliyati zarur. Undan tashqari, ishchi muhitni tanlash uning jarayon temperaturasiga bog'liq. Issiqlik trubalari 3...5K dan ~2000K temperatura oralig'ida qo'llanishi mumkin. Pilikka qo'yiladigan talablar: g'ovaklar miqdori maksimal bo'lishi kerak. Buning uchun ushbu materiallardan: voylok va mato, mayda teshikli to'r, keramika va metallokeramika, ingichka kanalli sistemalar va hokazolardan piliklar yasaladi. Piliklardagi g'ovaklar o'lchami 0,01 dan 0,1 mm gacha bo'lishi maqsadga

muvofiq. Albatta ishchi muhit va piliklar kimyoviy jihatdan inert va temperaturaga bardosh bo'lishi darkor.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, issiqlik truba va termosifonlarda uzatiladigan issiqlik oqimlarining miqdori suyuqlik va bug'larning harakat tezligi, ya'ni qarama-qarshi yo'nalishdagi bug' oqimi bilan harakatdagi kondensat yupqa qatlamidan tomchilarni uzib olib ketishi bilan chegaralanadi.

4.12. Issiqlik almashinish qurilmalarini tanlash

Issiqlik almashinish qurilmalarining konstruksiyasini tanlashda quyidagilarni inobatga olish kerak: qurilma texnologik jarayonga mos bo'lishi zarur; yuqori samarali, tejamkor va ishlash paytida ishonchli hamda metall sarfi kam bo'lishi zarur; ishchi muhitlarda qurilma materiali yemirilishga bardoshli bo'lish kerak.

Issiqlik eltkichlar qurilma orqali katta tezlikda o'tsa, issiqlik o'tkazish koeffitsiyentining yuqori qiymatlariga erishsa bo'ladi. Bunday yuqori qiymatlarni olish uchun issiqlik almashinish yuzasi toza bo'lishi kerak.

Agar suyuqliklar birortasining tezligi oshirilsa, ikkinchi suyuqlik tomonidagi issiqlik berish koeffitsiyenti ko'payadi. Lekin issiqlik o'tkazish koeffitsiyentining sezilarli darajada ko'payishi uchun devor va undagi iflosliklarning termik qarshiligi kichik bo'lishi kerak. Masalan, agar trubalararo bo'shliqdagi issiqlik berish koeffitsiyenti trubalar bo'shlig'inikidan juda past bo'lsa, trubalar ichida oqayotgan suyuqlik tezligining o'sishi issiqlik o'tkazish koeffitsiyentiga uncha ta'sir qilmaydi. Bu holda trubalararo bo'shliqdagi issiqlik berish koeffitsiyentini oshirish zarur, ya'ni u yerga segment to'siqlar o'rnatish maqsadga muvofiqdir.

Qaysi muhitni truba ichiga, qaysi birini trubalararo bo'shliqqa yo'naltirish muammosini hal etishda quyidagi qoidalarga amal qilish kerak:

– yuqori issiqlik o'tkazish koeffitsiyentiga erishish uchun issiqlik berish koeffitsiyenti kichik bo'lgan muhitni truba ichiga yo'naltirish zarur;

– kimyoviy faol, korrozion muhitlarni truba ichiga yuborish zarur, chunki bunda faqat truba, teshikli panjara va qopqoqlar tegishli legirlangan metalldan yasaladi, ya'ni qobiq, segment to'siq va boshqalar oddiy, uglerodli po'latdan tayyorlanishi mumkin;

– atrof-muhitga issiqlik yo'qotilishini kamaytirish uchun temperaturasi yuqori muhitni truba ichiga yuborish maqsadga muvofiqdir;

– cho'kma hosil qiladigan muhitlarni trubalar yuzasi oson tozalanadigan bo'shliqqa yo'naltirish tavsiya etiladi;

– bosimi yuqori bo'lgan muhitni truba ichiga yo'naltirish zarur, chunki qobiqdan ko'ra trubalar bosimni yaxshi ushlaydi.

Issiqlik almashinish qurilmasining konstruksiyasi texnik-iqtisodiy hisoblashlar asosida tanlanadi. Bunda, tayyorlash uchun ketgan asosiy (kapital) va yillik ekspluatatsion sarflar taqqoslanadi. Ayrim hollarda, ekspluatatsion sarflar tejalishi hisobiga sarflar tez qoplansa, asosiy sarflarni ko'paytirish ham mumkin.

Texnologik jarayonlar uchun issiqlik almashinish qurilmasi loyihalanayotganida hisoblashning asosiy maqsadi, qurilmaning issiqlik almashinish yuzasi va gabarit o'lchamlarini aniqlashdir.

Hisoblash, birinchi navbatda qurilmaning issiqlik balansini tuzishdan boshlanadi. So'ng, issiqlik balansidan uzatilgan issiqlik miqdori topiladi. Masalan, suv bug'i yordamida biror muhit t_b dan t_{ox} temperaturagacha isitilayotgan bo'lsa, issiqlik balans ushbu ko'rinishda yoziladi (4.47-rasm).

$$Gct_b + Di'' = Gct_{ax} + Di' + Q_{yo'q} \quad (4.143)$$

$$Q = Gc\left(t_{ax} - t_b\right) + Q_{yo'q} = D\left(i'' - i'\right) + Q_{yo'q} \quad (4.144)$$

bu yerda, $D=Q/(i''-i')$ – isituvchi bug' sarfi.

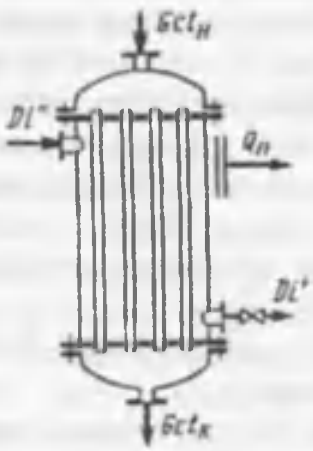
Issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti ushbu formuladan hisoblanadi:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_1^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

bu yerda, α_1 va α_2 issiqlik berish koefitsiyentlari 4 - bobdagi tegishli kriterial tenglamalardan aniqlanadi.

Jarayonni o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi quyidagi tenglamalardan topiladi:

$$\Delta t_{o'r} = \frac{\Delta t_{max} + \Delta t_{min}}{2} \quad \text{yoki} \quad \Delta t_{o'r} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{2{,}3 \lg \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}$$



4.47-rasm. Moddiy balans tuzishga oid.

Issiqlik almashinish yuzasi issiqlik o'tkazishning asosiy tenglamasidan aniqlanadi:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{o'r}} \quad (4.145)$$

Isitkichdagi trubalar sonini esa, ushbu tenglamadan aniqlash mumkin:

$$n = \frac{4 \cdot F}{\pi d_T^2 l} \quad (4.146)$$

bu yerda, d_T – trubalar tashqi diametri, m; l – truba uzunligi, m.

Teshikli panjarada trubalar joylashtirish ushbu bobda ko'rib chiqilgan usullardan birida amalga oshiriladi.

Qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmasining diametrini ushbu formuladan hisoblab topish mumkin:

$$D = (1{,}3 \ldots 1{,}5) \cdot (b-1) \cdot d_T + 4d_T \quad (4.147)$$

Issiqlik almashinish qurilmasining gidravlik qarshiligi Darsi - Veysbax formulasidan topiladi:

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi\right) \frac{\rho w^2}{2} \quad (4.148)$$

bu yerda, λ – gidravlik qarshilik koeffitsiyenti; l – truba uzunligi, m; d – truba diametri, m; $\Sigma\xi$ – mahalliy qarshilik koeffitsiyentlarining yig'indisi; w – muhit tezligi, m/s; ρ – muhit zichligi, kg/m^3.

Isitkichning texnologik jarayon uchun yaroqligini bilish uchun tekshiruv hisoblashi o'tkaziladi. Buning uchun quyidagi boshlang'ich ma'lumotlar zarur:

F – issiqlik almashinish yuzasi; Q – issiqlik yuklama; muhitlarning qurilmaga kirish va chiqishdagi temperaturalari; w – muhit tezligi va muhitlar fizik parametrlari.

Hisoblash davrida quyidagilar aniqlanadi:

berilgan issiqlik yuklama va haqiqiy issiqlik almashinish sharoitlaridagi termik qarshilik; zarur bo'lgan o'rtacha temperaturalar farqi Δt_3; mavjud o'rtacha temperaturalar farqi Δt_m; qurilmaning ish unumdorlik zaxirasi.

Temperaturalarning o'rtacha farqi ushbu formuladan topish mumkin:

$$\Delta t_3 = \frac{Q}{K \cdot F} \tag{4.149}$$

Mavjud o'rtacha temperaturalar farqi (4.108) formuladan aniqlanadi.

Mavjud o'rtacha temperaturalar farqining zarur o'rtacha temperaturalar farqiga nisbati isitkichning ish unumdorlik zaxirasi deb ataladi:

$$\chi = \frac{\Delta t_m}{\Delta t_3} \tag{4.150}$$

Zarur o'rtacha temperaturalar farqi issiqlik almashinish qurilmasining o'rtacha ekspluatatsion ishlash sharoitlari va issiqlik almashinish yuzasidan foydalanish koeffitsiyentini hisobga olgan holda aniqlanadi.

4.13. Issiqlik almashinish jarayonlarini intensivlash

Xalq xo'jaligi turli sohalarining jadal sur'atlar bilan rivojlanishi issiqlik almashinish qurilmalarining keng miqyosda qo'llanishi va ularga qo'yiladigan talablarni ortishi bilan xarakterlanadi. Shu bilan birga bu turdagi qurilmalarning gabarit o'lchamlari va massasini kamaytirish eng dolzarb muammo bo'lib hisoblanadi. Undan tashqari, ayrim hollarda temperaturalar farqini va devor temperaturasini pasaytirish zarur bo'ladi.

Xuddi shunday muammolar issiqlik almashinish qurilmalarini ishlatadigan kimyo, oziq - ovqat, energetika, neft, metallurgiya va boshqa sanoat korxonalari oldida turibdi.

Yuqorida qayd etilgan muammolarni hal etish yo'li – bu kanallarda issiqlik almashinish jarayonini intensivlashdir.

Intensivlash usulini tanlash bir qator shartlar bilan belgilanadi. Ulardan eng asosiylari:

1. Issiqlik almashinish qurilmasining gabarit o'lchamlari va massasini kamaytirish.

2. Issiqlik almashinish jarayonini intensivlash uchun ruxsat etilgan energetik sarflar va uni amalga oshirish uchun bor energiya turi.

3. Issiqlik berish intensivlanadigan oqimning gidrodinamik tarkibi. Issiqlik oqimi zichligining taqsimlanish yoki issiqlik eltkichda temperaturalar maydoni.

4. Issiqlik almashinish qurilmasining tayyorlash texnologiyasiga moyilligi hamda ekspluatatsiya davrida qulayligi va ishonchliligi.

Undan tashqari, qurilma konstruksiyasi va jarayonning tahlili, issiqlik eltkichni uzatish uchun ruxsat etilgan energiya sarfini aniqlash imkonini beradi. Odatda, energiya sarfi deganda nasosning quvvati nazarda tutiladi.

Shuning uchun, qurilma orqali issiqlik eltkichni uzatishda bosimlar yo'qotilishining yig'indisi o'zgarmas bo'lganda, uning gabarit o'lchamlarini kamaytirishni ta'minlaydigan intensivlash usullari yaratilishi kerak.

Ma'lumki, hamma turbulent oqimlarni intensivlash usullarida issiqlik berishni jadallashtirish uchun oqim qo'shimcha sun'iy turbulizatsiya qilinadi. Lekin shu bilan birga gidravlik qarshilik koeffitsiyenti ham oshadi. Shuning uchun, intensivlash darajasini bilish uchun intensivlash usulida olingan natijalarni, tekis trubada olingan tajriba ma'lumotlar bilan taqqoslash maqsadga muvofiq. Buning uchun Nu/Nu_T nisbatdan foydalanish mumkin.

Turbulent oqimning gidrodinamik tarkibini va undan issiqlik almashinishni o'ziga xos xususiyatlarini bilish, oqimning qaysi sohasida turbulent tebranishlarni intensivlash zarurligini aniqlashga yordam beradi. Ko'pgina olimlarning ma'lumotlariga binoan, odatda truba devori yaqinidagi suyuqliklar harakatini jadallashtirish kerakligini hech kim inkor qilmaydi.

Odatda, turbulentlik intensivligini oshirish energetik sarflar o'sishi bilan bog'liq, ya'ni gidravlik qarshilik koeffitsiyenti ortadi. Shuning uchun, λ_t ni butun oqimda emas, balki devor yaqinida oshirish maqsadga muvofiq. Shunga alohida e'tibor berish kerakki, yaratilgan intensivlash usuli issiqlik almashinish qurilmalarini yasash texnologiyasini tubdan buzmasligi kerak va katta seriyada ishlab chiqarishga moyil bo'lishi zarur. Bu yerda nafaqat yasash va yig'ish texnologiyasi nazarda tutilgan, balki oddiy qurilmaga nisbatan narxi ham hisobga olingan bo'lishi kerak.

Undan tashqari, yaratilgan intensivlash usuli qurilma mustahkamligini, ishonchliligini va uning ekspluatatsion xarakteristikalarini pasaytirmasligi kerak.

Truba kanallarida issiqlik almashinish jarayonini intensivlash bo'yicha hamma ishlar tahlili quyidagi xulosalarga olib keldi:

1. Sun'iy ravishda tashkil etilgan uyurmaviy tuzilishli oqim turbulentligini hosil qilish eng samarali vositadir.

2. Trubada bo'rtiq-botiq tipidagi silliq ko'ndalang to'siqlar yasalishi oqibatida hosil bo'lgan uyurmaviy oqim turbulentligi to'siqlar o'lchami va shakliga katta bog'liqdir.

3. Issiqlik almashinish jarayonini intensivlash uchun turbulizator shakli o'tkir qirrali (uchburchak, to'g'ri to'rtburchak va h.) bo'lmasligi kerak, chunki bu shaklli to'siqlarning gidravlik qarshiligi katta.

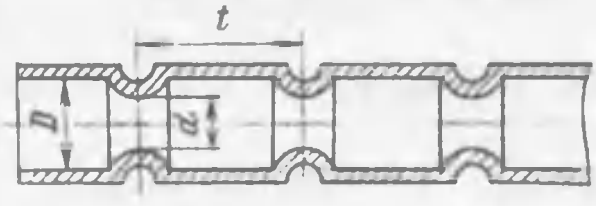
Demak, turbulizatorlar shakli asta-sekin ortib, keyin esa kamayuvchi, silliq shaklli bo'lishi gidravlik qarshilik ko'rsatkichini keskin ortib ketmasligini ta'minlaydi.

Suyuqlik va gazlarning oqimi truba ichida harakati davrida devor atrofidagi yupqa, chegaraviy qatlamni sun'iy ravishda turbulizatsiya qilishi kerak. Undan tashqari, ushbu devor atrofidagi yupqa qatlamni sun'iy ravishda turbulizatsiya qilish uchun diskret joylashgan ko'ndalang bo'rtiq turbulizatorlar qo'llash maqsadga muvofiq.

Bir xil balandlikdagi silliq va to'g'ri to'rtburchak shakldagi bo'rtiq to'siqlarning tahlili va u yerdagi bosimlarni o'lchash shuni ko'rsatdiki, birinchisida devor yaqinidagi yupqa qatlamning turbulizatsiyasi eng minimal gidravlik qarshiliklarda erishiladi. (4.48-rasm).

4.48-rasm. Silliq (a) va to'g'ri to'rtburchak (b) shaklidagi bo'rtiq to'siqlarda oqim turbulentligining tuzilishi.

Hozirgi kunda, prof. S.G.Zokirov va boshqalar tomonidan yaratilgan, tashqi tomonida ko'ndalang botiq ariqcha va ichki tomoni silliq bo'rtiq to'siqli issiqlik almashinish yuzasi eng samarali intensivlash trubasi deb hisoblanadi (4.49-rasm). Bu turdagi trubalarni «nakatka» usulida yasash texnologiyasi sodda va oson, narxi esa tekis trubaning bir necha foizini tashkil etadi.



4.49-rasm. Tashqi tomonida ko'ndalang botiq ariqcha va ichki tomoni silliq bo'rtiq to'siqli samarador issiqlik almashinish yuzasi.

«Nakatka» qilish usulida tayyorlangan issiqlik almashinish qurilmasi tekis trubalardan qurilma yasash texnologiyasidan farq qilmaydi. Lekin samarador trubali issiqlik almashinish qurilmasidagi nakatkali trubalarning umumiy uzunligi, tekis trubali qurilmanikidan kam bo'ladi, ya'ni kamroq sarf bo'ladi.

Shuning uchun ham, ushbu usulda jarayonni intensivlash qurilmaning gabarit o'lchamlari va massasini 1,5...2,0 marta kamaytirish imkonini beribgina qolmay, balki uning narxini ham arzonlashtirishga erishildi.

Ushbu usulda Pr = 2...80 bo'lgan suyuqliklar uchun gidravlik qarshilik 2,7...5,0 marta o'sganda, issiqlik berish koeffitsiyentini 2,0...2,6 marta orttirishga erishsa bo'ladi. Havo uchun esa, gidravlik qarshilik 2,8...4,5 marta oshganda issiqlik berish koeffitsiyenti 2,8...3,5 marta ko'payadi.

«Nakatka» qilingan trubalar issiqlik almashinish jarayonining samaradorligini oshiradi va bir qator afzalliklarga ega [47,48,59]:

– trubaning ichki va tashqi tomonlarida issiqlik almashinish samaradorligini bir vaqtda amalga oshirish mumkin;

– boshqa usullarga nisbatan yuqori issiqlik almashinish samaradorligiga erishiladi;

– bu turdagi turbulizatorli trubalarni sanoat miqyosida tayyorlash oson. Bunday trubali qurilmalarni tayyorlash «O'zbekkimyomash» OAJda yo'lga qo'yilgan.

Gazlarni isitish va sovitish jarayonida (Re=10^4...$4\cdot10^5$, d/D =0,88...0,98 uchun T_w/T_b = 0,13...1,6) o'rtacha issiqlik berishni ushbu formula yordamida aniqlash mumkin:

agar t/d = 0,25...0,8 bo'lsa,

$$\frac{Nu}{Nu_T}=\left[1+\frac{\lg \mathrm{Re}-4{,}6}{35}\right]\cdot\left\{3-2\exp\left[\frac{-18{,}2\cdot(1-d/D)^{1{,}13}}{(t/D)^{0{,}326}}\right]\right\} \qquad (4.151)$$

agar $t/D = 0,8...2,5$ bo'lsa,

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left[1 + \frac{\lg \mathrm{Re} - 4,6}{35}\right] \cdot \left[\left(3,33\frac{t}{D} - 16,33\right)\frac{d}{D} + \left(17,33 - 3,33\frac{t}{D}\right)\right] \qquad (4.152)$$

(4.151) va (4.152) formulalardagi Nu ni hisoblashda hamma parametrlar gazning o'rtacha massaviy temperaturasida olinadi.

$d/D = 0,9...0,97$ va $t/D = 0,5$ parametrlarga ega turbulizatorlarli trubalarda issiqlik berishni hisoblashda quyidagi formuladan foydalanish mumkin:

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left(1 + \frac{\lg \mathrm{Re}_w - 4,6}{7,45}\right) \cdot \left(\frac{1,14 - 0,28\sqrt{1 - d/D}}{1/14}\right) \cdot \exp\left[\frac{9(1 - d/D)}{(t/D)^{0,58}}\right] \qquad (4.153)$$

bu yerda, Re_w – devorning o'rtacha temperaturasida hisoblanadi.

(4.151)-(4.153) formulalardagi Nu_T quyidagi tenglamalarda hisoblanadi. gazlarni isitish paytida

$$Nu_T = 0,0207 \cdot \mathrm{Re}^{0,8} \cdot \mathrm{Pr}^{0,43} \qquad (4.154)$$

bu yerda, aniqlovchi temperatura – truba uzunligi bo'yicha devorning o'rtacha temperaturasi.

gazlarni sovitish paytida

$$Nu_T = 0,0207 \cdot \mathrm{Re}^{0,8} \cdot \mathrm{Pr}^{0,43} \qquad (4.154)$$

bu yerda, aniqlovchi temperatura – truba uzunligi bo'yicha devorning o'rtacha temperaturasi.

$$Nu_T = 0,018 \cdot \mathrm{Re}^{0,8} \qquad (4.156)$$

bu yerda aniqlovchi temperatura - truba uzunligi bo'yicha o'rtacha massaviy temperatura.

Agar $t/D = 0,5$ va $d/D \geq 0,94$ $(Re > Re^*)$ bo'lsa, suyuqliklar uchun o'rtacha issiqlik berish quyidagi formuladan topiladi:

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left[100 \cdot \left(1 - \frac{d}{D}\right)\right]^{0,445} \qquad (4.157)$$

bu yerda Nu_T ushbu formuladan hisoblab topiladi:

$$Nu_T = 0,0216 \cdot \mathrm{Re}^{0,8} \cdot \mathrm{Pr}^{0,445} \qquad (4.158)$$

Ushbu trubalarning gidravlik qarshiligini $Re = 10^4...4 \cdot 10^5$ oraliqda quyidagi formuladan aniqlasa bo'ladi:

$d/D = 0,90...0,97$ va $t/D = 0,5...1,0$ bo'lganda:

$$\frac{\xi}{\xi_T} = \left[1 + \frac{100 \cdot (\lg \mathrm{Re} - 4{,}6) \cdot (1 - d/D)^{1{,}65}}{\exp(t/D)^{0{,}3}}\right] \cdot \exp\left[\frac{25 \cdot (1 - d/D)^{1{,}32}}{(t/D)^{0{,}75}}\right] \quad (4.159)$$

$d/D = 0{,}88...0{,}98$ va $t/D = 0{,}5$ bo‘lganda

$$\frac{\xi}{\xi_T} = \left[1 + \frac{\lg \mathrm{Re} - 4{,}6}{3{,}4\,\mathrm{Re} \cdot 10^{-5} + 6}\right] \cdot \left(1{,}3 - \sqrt{\left|\frac{d}{D} - 0{,}93\right|}\right) \cdot \exp\left[20{,}9 \cdot (1 - d/D)^{1{,}05}\right] \quad (4.160)$$

$d/D = 0{,}90...0{,}98$ va $t/D = 0{,}25$ bo‘lganda esa,

$$\frac{\xi}{\xi_T} = \left[1 - \frac{\lg \mathrm{Re} - 4{,}6}{6\left(\mathrm{Re} \cdot 10^{-5}\right)^{0{,}33}}\right] \cdot \left(3\frac{d}{D} - 2\right) \cdot \left(2{,}5 - 1{,}5\frac{d}{D}\right) \cdot \exp\left[17\left(1 - \frac{d}{D}\right)^{0{,}858}\right] \quad (4.161)$$

(4.159) formuladagi ξ_T quyidagi tenglamadan topiladi:

$$\xi_T = \frac{0{,}316}{\mathrm{Re}^{0{,}254}} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^n \quad (4.162)$$

bu yerda gazlarni isitish jarayoni uchun $n = 0{,}14$, gazlarni sovitish uchun $n = 0$ va suyuqliklarni isitish uchun $n = 0{,}333$.

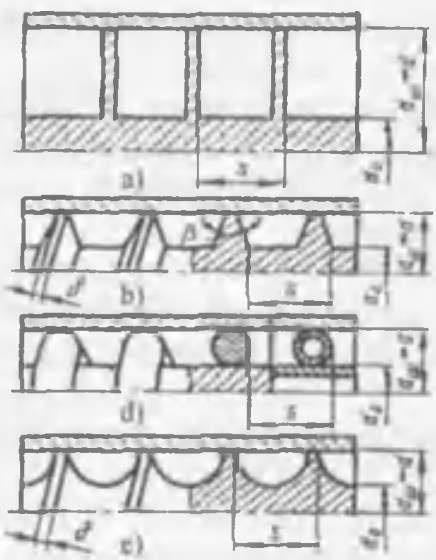
(4.161) va (4.162) formulardagi ξ_T ushbu tenglamadan hisoblab aniqlanadi:

$$\xi_T = 0{,}182 \cdot \mathrm{Re}^{-0{,}2} \quad (4.163)$$

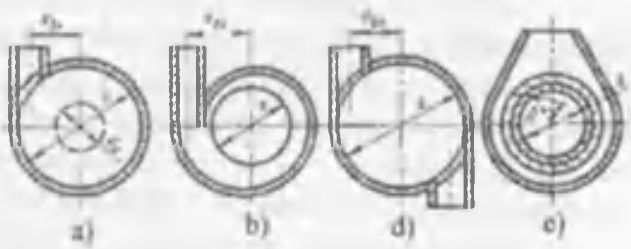
Yuqorida keltirilgan devor yaqinidagi chegaraviy qatlamning turbulentligini jadallashtiradigan turbulizatorlardan tashqari boshqa intensivlash usullari ham kimyo mashinasozligida qo‘llaniladi.

Boshqa usullar o‘rtasida issiqlik eltkichlarni truba ichida burab, spiralsimon harakatlantirish usuli alohida o‘rin tutadi. Buning uchun 4.50...4.53 rasmlarda va 4-7, 4-8 jadvallarda keltirilgan moslamalardan foydalaniladi [48,49].

a) trubaning bir qismi yoki butun uzunligiga vintsimon (buralgan lenta, shnek) turbulizatorlar o‘rnatiladi (4. 50-rasm);



4.50-rasm. Shneksimon uyurmalantirgichlar konstruksiyalari.
a - to‘rtburchak ariqchali; b – trapetsiya shaklidagi ariqchali; d - sim yoki naycha o‘rash yo‘li bilan hosil qilingan shnekli; e- yarim doira shaklidagi ariqchali.



4.51-rasm. Issiqlik eltkichni tangensial yo‘nalishda uzatish moslamalari.
a - bitta teshikli tangensial uyurmalantirgich; b - chig‘anoq shaklli uyurmalantirgich; d - ikkita teshikli uyurmalantirgich; e – tangensial kurakchali uyurmalantirgich.

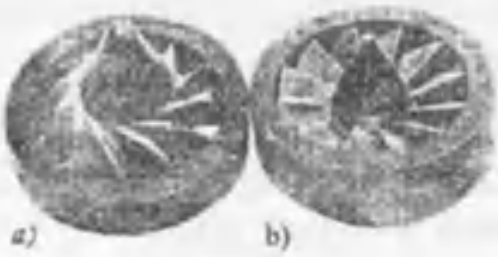
b) trubaga issiqlik eltkichni tangensial yo'nalishda uzatish (4.51-rasm); d) trubaga kirishda yoki trubalarning kerakli joylariga kurakchali uyurmalashtirgichlar o'rnatish (4.52-rasm);

e) isitkichga burama-spiral ko'rinishidagi trubalar o'rnatish (4.53-rasm).

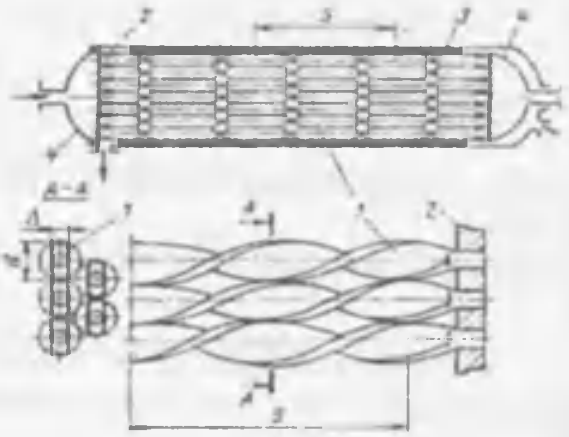
Ushbu usulda issiqlik berishni intensivlash bir qator omillar ta'sirida ro'yobga oshadi:

– tekis trubalar bilan bir xil o'rtacha sarfda uyurmalantirgichli trubalarning devori yaqinida tezlik gradiyenti va turbulentli kuchlanishlar yuqori bo'ladi;

– markazdan qochma kuch ta'sirida zichligi yuqori sovuq suyuqlik devor atrofiga, truba markazida esa - zichligi kichik issiq suyuqlik yig'iladi. Suyuqlikning qatlamlarga ajralish effekti isitish jarayonida issiqlik berishni intensivlaydi;



4.52-rasm. Aksial - kurakchali uyurmalantirgich.
a) profilli; b - yassi kurakchali.



4.53-rasm. Suyuqlik oqimini burama yo'nalishda harakatlantiruvchi issiqlik almashinish qurilmasi.
1 - burama trubalar; 2 - truba teshikli panjarasi; 3 - qobiq; 4 - qopqoq.

– vintsimon elementlarni qo'llash qirrali yuzalar effektini beradi. Bu usulda issiqlik berish koeffitsiyenti 30...40% ortadi, gidravlik qarshilik esa 1,5...2,5 marta ko'payadi.

Turbulent va o'tish rejimlarida devor yaqinidagi qatlam zonasini intensivlash kerak, chunki chegaraviy qatlamning issiqlik o'tkazuvchanligi kichik. Undan tashqari, bu yerda «devor - suyuqlik» sistemasining 60...70% temperatura napori mujassamlangan, ya'ni issiqlik oqimining zichligi maksimaldir.

Yana bir samarali intensivlash usuli prof. B.V.Dzyubenko, prof. G.A.Dreyser va prof. S.G.Zokirovlar tomonidan yaratilgan. Bu samarador truba bo'lib, uni burash yo'li bilan hosil qilinadi va uning ko'ndalang kesim yuzasi ellipsoid shaklida bo'ladi (4.53-rasm).

Burama trubalardan yasalgan qurilmalarda issiqlik almashinish ham trubalar ichida, ham trubalararo bo'shliqda intensivlashadi. Agar trubalar burash qadami S/d = 6...15 bo'lsa, qurilma hajmini tekis trubali qurilmaga nisbatan 1,5...2 barobar kamaytirish mumkin. Demak, qurilmaning massasi va metall sarfi ham kam bo'ladi.

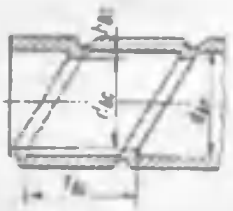
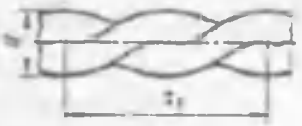
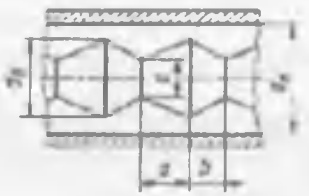
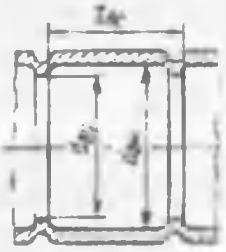
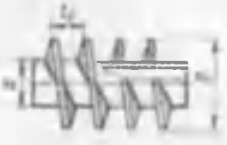
Bu turdagi trubalar vintsimon kanallari chegarasida tezlikning aylanuvchan tashkil etuvchisining tangensial uzilishi ro'y beradi va bu hol oqimni turbulizatsiya holatiga olib keladi. Oqim yadrosiga qaraganda, truba devori yaqinida suyuqlik oqimi uyurmaviy harakatlanadi. Burama trubalar birinchi navbatda devor yaqinidagi suyuqlik qatlamini turbulizatsiya qilish uchun qo'llaniladi.

Sanoat sinovlari shuni ko‘rsatadiki, agar $S/d \approx 12$ bo‘lsa, turbulent rejimda trubalararo bo‘shliqda issiqlik almashinish va gidravlik qarshilik bir xil darajada ortadi. O‘tish sohasi $Re = 10^3...10^4$ da esa, gidravlik qarshilikdan issiqlik almashinishning o‘sish darajasi ko‘proq bo‘ladi.

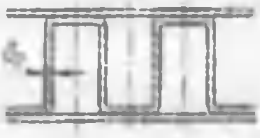
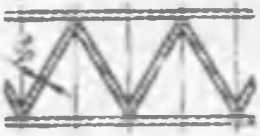
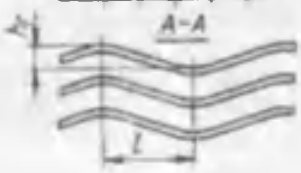
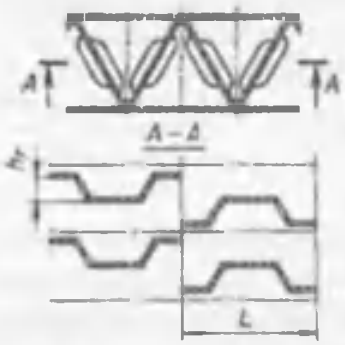
Issiqlik almashinish jarayonini intensivlashning yana bir samarali usuli – bu truba tashqi yuzasida qo‘shimcha qirrali yuzalar hosil qilishdir. Ushbu usulda, issiqlik berish koeffitsiyenti past bo‘lgan muhit albatta truba ichiga yo‘naltirilishi kerak. Plastina qirrali issiqlik almashinish yuzalarning ba’zi birlari 4-7 jadvalga keltirilgan.

4-7 jadval

Samarador issiqlik almashinish trubalari

Issiqlik almashinish jarayonini intensivlash usullari va moslamalari	Sxema	Issiqlik almashinish jarayonini intensivlash usullari va moslamalari	Sxema
Burama lenta		Tashqi tomonida vintsimon ko‘ndalang botiq ariqcha va ichki tomonida silliq bo‘rtiq to‘siqli truba	
Uzluksiz, shnekli lenta		Burama truba	
Konfuzor-diffuzor tipidagi halqasimon kanal		Tashqi tomonida diskret joylashtirilgan botiq ariqcha va ichki tomonida bo‘rtiq to‘siqli truba	
Diafragma ko‘rinishidagi turbulizator		Disk ko‘rinishdagi turbulizator	
Sim qoburg‘ali		Uzluksiz spiralli truba	

4-8 jadval

Sxema	Xarakteristika
	To‘g‘ri to‘rtburchak kanal hosil qiluvchi, tekis, uzluksiz qovurg‘alar (TUJ).
	Trapetsiya shaklidagi kanal hosil qiluvchi, (TUJ).
	Uchburchak shaklida kanal hosil qiluvchi, (TUJ).
	Uzluksiz, to‘lqinsimon qovurg‘a (UTJ).
	Trubalararo bo‘shliqda issiqlik eltkich to‘lqinsimon harakatlanadi.
	Uchburchak shaklida kanal hosil qiluvchi jalyuzli qovurg‘a (JJ). Tekis qovurg‘alarda tirqishlar hosil qilib, qirqilgan bo‘laklari qarama-qarshi tomonga buklangan. Bunday kanallarda suyuqlikning harakati tufayli hosil bo‘ladigan chegaraviy qatlam buziladi va issiqlik berish jarayoni intensivlashadi.

Issiqlik almashinish yuzasiga mexanik ta’sir usullari hamda elektr, ultratovush va magnit maydonlarining ta’siri shu kungacha hali yetarli o‘rganilmagan.

Issiqlik almashinish jarayonini intensivlash natijasida issiqlik o‘tkazish koeffitsiyentining ortishi issiqlik almashinish yuzalari toza bo‘lganda, isituvchi bug‘ va isitilayotgan suyuqliklar va devor o‘rtasidagi issiqlik berish koeffitsiyenti bilan belgilanadi. Ko‘pincha ishlatiladigan issiqlik eltkichlarning fizik - kimyoviy xossalari, bosimi, temperaturasi va issiqlik berish koeffitsiyentlari bir - biridan keskin ravishda farq qiladi. Masalan, bug‘dan devorga issiqlik berish koeffitsiyentining qiymati α = 4000...15000 Vt/(m^2·K), qovushqoq suyuqliklar uchun esa – $\alpha \leq$ 200 Vt/(m^2·K).

Ko‘rinib turibdiki, jarayonni intensivlash α koeffitsiyenti kichik bo‘lgan issiqlik eltkich tomonidan qilish zarur, ya’ni qovushoq suyuqlik tomonidan o‘tkazilishi darkor. Agar issiqlik berish koeffitsiyenti ikkala muhit uchun taxminan bir xil qiymatga ega bo‘lsa, intensivlash ikkala tarafdan o‘tkazilishi mumkin. Lekin qurilmani ekspluatatsion va texnik imkoniyatlari inobatga olinishi zarur.

Odatda issiqlik berish jarayonini intensivlash, gidravlik qarshiliklarni yengish uchun sarflanadigan, o'sib boruvchi energiya bilan bog'liqdir. Shuning uchun, issiqlik berish jarayonini intensivlashni xarakterlovchi eng asosiy ko'rsatkichlardan biri – bu qurilmaning energetik samaradorligidir. Gidravlik qarshilik o'sishi bilan issiqlik berishning ortishi bir xil darajada bo'lishi maqsadga muvofiqdir.

Issiqlik almashinish jarayonini intensivlashning quyidagi usullari mavjud:

– devor yaqinidagi chegaraviy qatlam oqimini intensivlovchi g'adir - budur va murakkab shakldagi yuzalar barpo etish;

– truba ichiga oqimni turbulizatsiya qiluvchi shnek va moslamalar o'rnatish;

– issiqlik eltkich oqimiga elektr, magnit va ultratovush maydonlarini ta'sir ettirish;

– devor yaqinidagi chegaraviy qatlamni harakatdagi oqim tezligining tebranishi yoki uyurmali harakatini tashkil etish va uni burama, spiralsimon trayektoriya bo'yicha yo'naltirish;

– qirrali konstruksiya yasash yo'li bilan issiqlik almashinish yuzasini oshirish;

– issiqlik almashinish yuzasini aylantirish va tebranma harakatlantirish kabi mexanika ta'sir ettirish;

– qo'zg'almas yoki mavhum qaynash qatlamlarida donador nasadkalarni qo'llash;

– issiqlik eltkich tarkibiga qattiq zarracha yoki gaz pufakchalarini qo'shish.

Aniq sharoit uchun intensivlashning u yoki bu usullarini qo'llashning imkoniyati va maqsadga muvofiqligi uning texnik imkoniyati va samaradorligi bilan belgilanadi. Trubalar ichida issiqlik berishni intensivlash uchun qo'llaniladigan ayrim moslamalar sxemasi 4-8 jadvalda keltirilgan.

4-bob. Isitish, qaynash, sovitish va kondensatsiyalash

Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Suv bug'ining asosiy afzallik va kamchiliklarini ta'riflab bering.
2. Jismlarni 100°C gacha isitish uchun qaysi usuldan foydalaniladi?
3. Organik suyuqliklar yordamida necha gradusgacha isitish mumkin?
4. To'yingan suv bug'ini ta'riflab bering.
5. Tutun gazlari yordamida isitish temperaturasini necha gradusga ko'tarish imkonini beradi?
6. Elektr toki yordamida isitish mohiyati.
7. Kondensatsiya nima?
8. Kondensatsiyalangan bug' kondensatga nisbatan qancha kichik hajmni egallaydi?
9. Kondensatsiya jarayonining mexanizmi ta'riflang va hisoblash formulalarini yozing.
10. Suyuqliklar qaynashini ta'riflab bering.
11. Qaynash jarayonida issiqlik berish koeffitsiyenti qaysi formula orqali topiladi?
12. Suv, muz va havo bilan sovitish jarayonlar ta'rifini bering.
13. Karno sikli mohiyatini tushuntirib bering.
14. Issiqlik almashinish qurilmalari qaysi guruhlardan iborat?
15. Qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
16. Trubalarni teshikli panjaraga qanday mahkamlash usullari bor?

17. Trubalarni panjaraga mahkamlashning istalgan 5 konstruksiyasini chizing.
18. Trubalarni panjaraga joylashtirish usullari va ularning afzalliklari.
19. Trubalararo bo‘shliqda qo‘llaniladigan to‘siqlar konstruksiyalarini chizing.
20. Ko‘p yo‘lli qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
21. U-simon trubali qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
22. Linza kompensatorli qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
23. Harakatchan qalpoqchali, qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
24. Qo‘shaloq trubali qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
25. Truba ichida truba issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
26. Zmeyevikli issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
27. Yuvilib turuvchi issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
28. Spiralsimon issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
29. Plastinali issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
30. Qirrali issiqlik almashinish yuzalarining konstruksiyalarini chizing va afzalliklarini aniqlang.
31. G‘ilofli issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
32. Blok-grafitli issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
33. Shnekli issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
34. Regenerativ issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
35. Aralashish issiqlik almashinish qurilmasi konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
36. Bir xil yo‘lli kondensator konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
37. Nasadkali kondensator konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
38. Barometrik kondensator konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini aniqlang.
39. Termosifon nima va qanday vazifani bajaradi?
40. Issiqlik trubasi qanday vazifani bajaradi?
41. Issiqlik almashinish qurilmalarini tanlashda qaysi kriteriylarga amal qilinadi?
42. Issiqlik almashinish jarayonlarini intensivlashni qanday usullari bor?

BUG‘LATISH

4.14. Umumiy tushunchalar

Qattiq, uchuvchan bo‘lmagan yoki uchuvchanligi yomon bo‘lgan moddalar eritmalarini qaynatish davrida erituvchisini va hosil bo‘lgan bug‘larni chiqarib yuborish jarayoniga ***bug‘latish*** deyiladi.

Odatda, sanoat miqyosida bug‘latish jarayoni eritmalarni qaynatish yo‘li amalga oshiriladi.

Eritmalarni bug‘latishdan maqsad ularning konsentratsiyasini orttirish bo‘lib, ya’ni eritmalarni quyuqlashtirishdir. Agarda quyuqlashtirilgan eritmalardan yana erituvchi chiqarilsa, qattiq moddalar kristallana boshlaydi va kristallar ajralib chiqadi.

Suyultirilgan eritmalar konsentratsiyasini oshirish yoki ulardan erigan moddalarni kristallash usulida ajratib olish uchun bug‘latish jarayoni qo‘llaniladi.

Kimyo, oziq - ovqat va boshqa sanoatlarda bug‘latish jarayonidan keng ko‘lamda foydalaniladi. Masalan, tuz, ishqor kabi moddalarning suvli eritmalarini, mineral va organik kislotalar, ko‘p atomli spirtlar, shakar va konserva mahsulotlarini ishlab chiqarish texnologiyasida tomat, sut va sharbatlarni konsentrlashda bu jarayonsiz texnologiyani tasavvur qilib bo‘lmaydi. Shu bilan birga, ushbu jarayonni toza erituvchi ishlab chiqarish uchun ham qo‘llasa bo‘ladi.

Shuni alohida qayd etish kerakki, agar **bug‘lanish** jarayoni qaynash temperaturasidan past, istalgan temperaturada eritma yuzasida sodir bo‘lsa, **bug‘latish** esa qaynash temperaturasidan yuqori temperaturada, eritmaning butun hajmida yuz beradi.

Ushbu jarayonlar bug‘latish qurilmasi deb nomlanadigan qurilmalarda amalga oshiriladi. Ma’lumki, uzluksiz va uzlukli bug‘latish jarayonlarini tashkil etish mumkin. Uzlukli ishlaydigan qurilmalar, odatda kam miqdorda mahsulot ishlab chiqaradigan texnologiyalarda qo‘llaniladi.

Yirik sanoat korxonalarida uzluksiz ishlaydigan bug‘latish qurilmalaridan foydalaniladi va ularning issiqlik almashinish yuzalari 600...2000 m^2 bo‘ladi. Bunday qurilmalarning tejamliligini aniqlovchi asosiy omil bo‘lib, undagi bug‘ va suv sarfi hisoblanadi.

Bug‘latish vakuum, atmosfera va yuqori bosim ostida olib borilishi mumkin.

Vakuum ostida bug‘latish paytida ikkilamchi bug‘ni maxsus kondensatorda kondensatsiyalash yo‘li bilan qurilmada vakuum hosil qilinadi va nasos yordamida kondensatsiyalanmagan gazlar so‘rib olinadi. Bu usulda jarayon olib borilsa, eritmaning qaynash temperaturasini pasaytirishga erishsa bo‘ladi. Natijada yuqori temperaturaga o‘ta ta’sirchan mahsulotlar sifatini saqlab qolish imkoniyati tug‘iladi. Undan tashqari, vakuumni jarayonda qo‘llash, harakatga keltiruvchi kuch miqdorini oshiradi va bug‘latish qurilmasining issiqlik almashinish yuzasini hamda metall sarfini kamaytirish imkonini beradi.

Vakuum ostida bug‘latishning yana bir afzalligi shundaki, past temperatura va bosimli issiqlik eltkichlardan foydalanish mumkin. Bu usulda bug‘latilganda, hosil bo‘lgan ikkilamchi bug‘ni, keyingi korpusda birlamchi bug‘ sifatida qo‘llash mumkin.

Albatta, bu usulning kamchiliklari ham bor: jarayonda vakuumni qo‘llash uning narxini oshiradi; bug‘latkichdan tashqari bir nechta qo‘shimcha qurilma va moslamalar ishlatish kerak.

Atmosfera bosimida bug‘latish jarayonida hosil bo‘lgan ikkilamchi bug‘ atrof-muhitga chiqarib yuboriladi. Bunday usul eng sodda deb hisoblansa ham, lekin u iqtisodiy jihatdan eng tejamsizdir.

Yuqori bosim ostida bug'latish jarayonida hosil bo'lgan ikkilamchi bug' qaytadan bug'latish jarayonida hamda boshqa maqsadlar uchun ham ishlatish mumkin. Bu usulda jarayon yuqori bosimda olib borilgani uchun, eritmalarning qaynash temperaturasi ancha ko'tariladi.

Boshqa maqsadlar uchun ishlatiladigan ikkilamchi bug' – ***ekstra bug'*** deb nomlanadi. Yuqori bosim ostida bug'latish jarayonida ajralib chiqqan ikkilamchi bug'ni qaytadan qo'llash, vakuum ostida bug'latishga nisbatan issiqlikdan to'la miqdorda foydalanish imkonini beradi. Shuning uchun, ushbu usul faqat issiqlikka bardosh eritmalarni bug'latish uchun qo'llaniladi. Undan tashqari, yuqori bosim ostida bug'latish jarayoni uchun yuqori temperaturali issiqlik eltkichlarni ishlatish kerak. Bu hol, albatta, uning eng asosiy kamchiligidir.

Atmosfera bosimi, ayrim hollarda vakuum ostida jarayon olib borilganda, bir korpusli bug'latkichlardan foydalaniladi. Lekin sanoat miqyosida ko'pincha bir necha qurilmadan yig'ilgan ko'p korpusli bug'latish qurilmalarida jarayonni olib borish keng tarqalgan. Bunday qurilmalarda faqat birinchi korpusda birlamchi bug' ishlatiladi. Ikkinchi, uchinchi va keyingi korpuslarda esa, oldingi korpusda ajralib chiqqan ikkilamchi bug' qo'llanilsa, eltkich tejalishiga sababli bo'ladi va bug' sarfining kamayishiga olib keladi.

Bir korpusli bug'latish qurilmalarida ham, birlamchi bug' sarfini kamaytirish mumkin. Buning uchun, qurilmadan chiqayotgan ikkilamchi bug' issiqlik nasosi yordamida birlamchi bug' temperaturasiga to'g'ri keladigan bosimgacha siqiladi va qaytadan eritmani bug'latish uchun qurilmaga yo'naltiriladi.

4.15. Bug'latishning nazariy asoslari

Bug'latish jarayonida eritmalarning konsentratsiyasi ortadi va natijada uning fizik va issiqlik xossalari o'zgaradi.

Bug'latish qurilmalarini hisoblash, loyihalash va ekspluatatsiya qilish uchun muhim bo'lgan eritmalarning ba'zi bir xossalarini ko'rib chiqamiz.

Temperatura depressiyasi - Δ'. Eritma T_1 va erituvchilar T qaynash temperaturalari o'rtasidagi farqdir, ya'ni $\Delta t = T_1 - T$ temperatura depressiyasi deb nomlanadi. Eritmalar nazariyasidan ma'lumki, bir xil T temperaturada toza erituvchi ustidagi bug'larining bosimi p, eritma ustidagi bug'larning bosimi p_1 dan har doim ko'p bo'ladi yoki bir xil bosimda toza erituvchining qaynash temperaturasi eritmaning qaynash temperaturasidan past bo'ladi.

Eritmalarning temperatura depressiyasi erituvchi va erigan moddalar xossalariga bog'liqdir. Bosim va konsentratsiya ortishi bilan temperatura depressiyasi oshadi. Ko'pincha ushbu ko'rsatkich tajribaviy yo'l bilan aniqlanadi.

Ma'lumki, bug'latkichlarda issiqlik yo'qotilishi oqibatida temperaturalarning pasayish hodisasi yuz beradi. Natijada temperaturalar farqi kamayadi va jarayon intensivligi susayadi. Temperaturalar yo'qotilishi Δ, temperatura depressiyasi Δ', gidrostatik Δ'' va gidravlik depressiya Δ''' lar yig'indisiga teng, ya'ni:

$$\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta''' \qquad (4.164)$$

Agar eritmaning atmosfera bosimdagi temperatura depressiyasi Δ'_{atm} ma'lum bo'lsa, istalgan boshqa bosimlardagi depressiya Tishenkoning taxminiy formulasidan hisoblab aniqlash mumkin:

$$\Delta' = 1,62 \cdot 10^{-2} \frac{T^2}{r} \Delta'_{atm} \qquad (4.165)$$

bu yerda, T – ma'lum bosimdagi toza erituvchining qaynash temperaturasi, K; p – ma'lum bosimdagi toza erituvchining bug'latish issiqligi, kJ/kg; Δ'_{atm} – atmosfera bosimidagi temperatura depressiyasi, ^{0}C.

Agar Δ'_{atm} kattaligi bo'yicha tajribaviy ma'lumotlar yo'q bo'lsa, uni bir nechta usul bilan taxminan hisoblab topish mumkin. Biror bosimda eritmaning bitta qaynash temperaturasi ma'lum bo'lsa – Babo, ikkita temperaturasi ma'lum bo'lganda esa – Dyuring yoki Kireyev qoidasiga binoan aniqlash imkoni bor.

Babo qoidasiga binoan, biror konsentratsiyali eritma ustidagi bug' bosimining pasayishi $(p_1 - p_2)/p_1$ yoki p_2/p_1 temperaturaga bog'liq emas va o'zgarmas qiymatga tengdir:

$$\frac{p_2}{p_1} = K = const \qquad (4.166)$$

bu yerda, p_1 va p_2 – erituvchi va eritma bug'larining bosimlari.

Gidrostatik depressiya – Δ''. Bug'latkich qaynash trubalarining bir qismi suyuqlik bilan to'lib turgan bo'ladi va uning ustida bug' - suyuqlikdan iborat emulsiya qatlamida yuqoriga qarab ko'tarilgan sari bug'ning miqdori oshib boradi.

Agar qaynash trubasidagi suyuqlik va emulsiyani shartli ravishda suyuqlik deb nomlasak, unda gidrostatik bosimlar farqi hisobiga trubaning pastki qismidagi suyuqlikning qaynash temperaturasi tepa qisminikidan yuqori bo'ladi.

Gidrostatik effekt hisobiga eritma qaynash temperaturasining ortishi **gidrostatik depressiya** deb ataladi.

Bug'latish jarayoni vakuum ostida olib borilganda, gidrostatik depressiya salmoqli bo'ladi.

To'yingan suv bug'i t_c va ikkilamchi bug' temperatura T lari orasidagi farq gidrostatik depressiyani beradi:

$$\Delta'' = t_s - T'' \qquad (4.167)$$

Ushbu tenglik eritma harakatini inobatga olmagani uchun uning xatoligi katta. Shuning uchun Δ'' ning qiymatlari tajribaviy usulda topiladi.

Vertikal bug'latkichda intensiv harakatlanayotgan eritmalar uchun Δ'' miqdori 1...3^{0}C oraliqda qabul qilinishi mumkin.

Gidravlik depressiya – Δ'''. Ushbu depressiya ikkilamchi bug'ning separator va quvurlar orqali harakati davrida ishqalanish va mahalliy qarshiliklarni yengishi tufayli vujudga keladigan temperatura yo'qotilishlar.

Ushbu gidravlik qarshiliklarni yengish vaqtida bosimning kamayishi, temperatura pasayishiga sababchi bo'ladi.

Demak, gidravlik qarshiliklar tufayli eritma qaynash temperaturasining ko'payishi **gidravlik depressiya** deb nomlanadi. Odatda Δ''' ning qiymati 0,5...1,5^{0}C oralig'ida bo'ladi.

Yuqorida qayd etilgan depressiyalarni hisobga olsak, eritmaning qaynash temperaturasi quyidagicha hisoblanadi:

$$t_q = T' + \Delta' + \Delta'' \qquad (4.168)$$

bu yerda, T' – ikkilamchi bug' temperaturasi, K.

Eritmalar issiqlik sig'imi temperatura va erigan moddalar konsentratsiyasining funksiyasidir.

Ko'pchilik eritmalar issiqlik sig'imi additivlik qoidasiga bo'ysinmaydi. Shuning uchun eritmaning ushbu xossasini erigan modda va erituvchilar issiqlik sig'imlari yordamida aniqlab bo'lmaydi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, eritma konsentratsiyasi qanchalik katta bo'lsa, uning issiqlik sig'imi shunchalik additivlik qoidasiga kam bo'ysunadi. Eritmaning ushbu xossasi maxsus adabiyotlarda keltirilgan.

Eritish issiqligi eritmaning konsentratsiyasi, erituvchi va erigan moddalar xossalariga bog'liq. Qo'shimcha qattiq moddalar erishi davrida kristallik panjara buziladi. Albatta, buning uchun energiya sarflanadi va oqibatda eritmaning sovishi ro'y beradi. Agar erituvchi va eriydigan moddalar o'zaro kimyoviy reaksiyaga kirishsa, gidratlar hosil bo'lib, jarayon natijasida issiqlik ajrab chiqadi. Shunday qilib, eritish issiqligi erish va kimyoviy o'zaro ta'sir issiqliklari yig'indisiga teng.

Oson gidrat hosil qiladigan moddalar musbat eritish issiqligiga (suvda) ega; gidrat hosil qilmaydigan moddalar – manfiy eritish issiqligiga ega.

4.16. Bug'latish usullari

Sanoatda mavjud texnologiyalarda asosan quyidagi bug'latish usullaridan foydalaniladi:

– oddiy bug'latish (uzlukli va uzluksiz);

– ko'p korpusli qurilmalarda bug'latish (faqat uzluksiz);

– issiqlik nasoslarini qo'llab bug'latish.

Eritmalar va isituvchi bug' xossalariga qarab hamma 3 ta bug'latish usullari vakuum va bosim ostida o'tkazilishi mumkin. Issiqlik eltkich sifatida, deyarli har doim, to'yingan suv bug'i ishlatiladi. Kamdan - kam hollarda eritmalar elektr toki yoki oraliq issiqlik eltkichlari yordamida isitiladi.

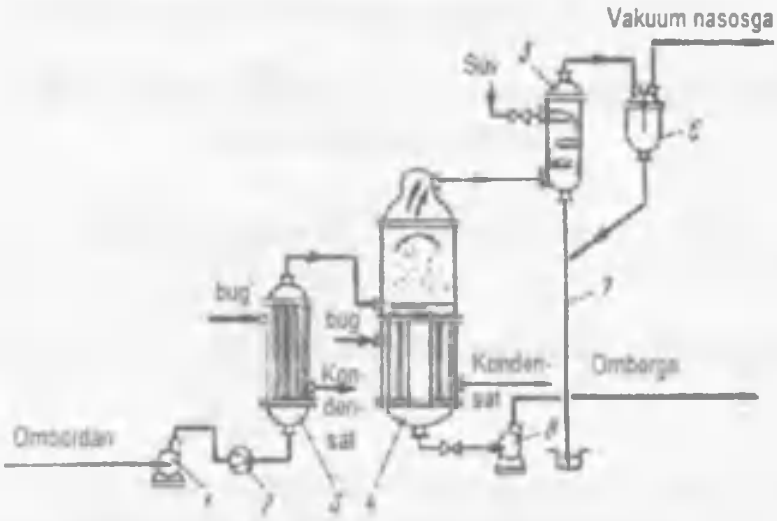
Oddiy bug'latish. Issiqlik tejalishi katta ahamiyatga ega bo'lmagan va unumdorligi kichik bo'lgan qurilmalarda oddiy bug'latishdan foydalaniladi. Undan tashqari, temperatura depressiyasi yuqori eritmalarnigina uzlukli ishlaydigan, bir korpusli bug'latish qurilmasida amalga oshirish iqtisodiy jihatdan to'g'ri va maqsadga muvofiqdir. Uzlukli bug'latishni ikki xil yo'l bilan olib borish mumkin: boshlang'ich eritmani dastavval yuklash va oz-oz miqdorda yuklash.

Uzluksiz ishlaydigan oddiy bug'latish qurilmasi 4.54-rasmda keltirilgan.

Boshlang'ich konsentratsiyali eritma nasos 1 yordamida sarf o'lchagich 2 orqali isitkich 3 ga uzatiladi. U yerda eritma qaynash temperaturasigacha isitiladi va so'ng bug'latkich 4 ga bug'latish uchun yuboriladi. Qurilma 4 ning pastki qismida eritma suv bug'i yordamida isitiladi, natijada erituvchi bug'lanadi. Hosil bo'lgan ikkilamchi bug' qurilma 4 ning yuqori qismi bo'lmish separatsion bo'limida mayda tomchilardan ajratiladi va barometrik kondensator 5 ga yo'naltiriladi. Undan ikkilamchi bug' kondensatsiyalanadi.

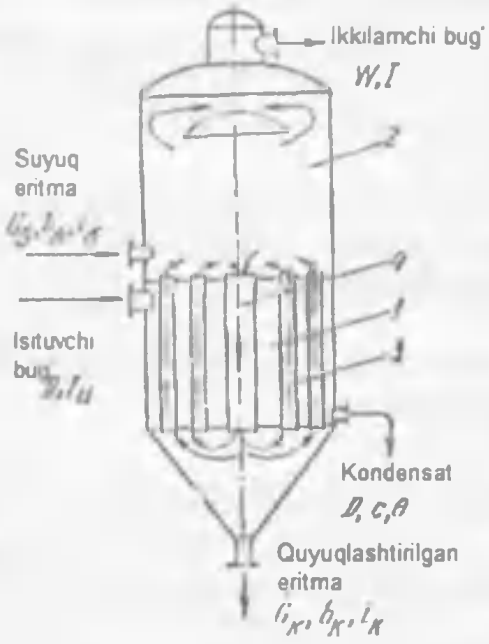
Kondensatsiyalanmagan inert gazlar ushlagich 6 orqali vakuum - nasos 8 yordamida so'rib olinadi. Sovutuvchi suv bilan hosil bo'lgan kondensat barometrik truba 7 orqali yig'gichga tushiriladi. Quyuqlashtirilgan eritma nasos 8 yordamida tayyor mahsulot omboriga uzatiladi.

Vakuum ostida eritmalarni bug'latish jarayonini tashkil etishning bir qator afzalliklari bor: eritma qaynash temperaturasi pasayadi; past bosimli bug'larni issiqlik eltkich sifatida qo'llash mumkin.



4.54-rasm. Bir korpusli, uzluksiz ishlaydigan bug'latish qurilmasining sxemasi.
1, 8 - nasoslar; 2 - sarf o'lchagich; 3 - isitkich;
4 - bug'latkich; 5 - barometrik kondensator; 6 - ushlagich;
7 - barometrik truba.

Markaziy sirkulatsiya trubali, uzluksiz ishlaydigan bug'latkich 4.55-rasmda ko'rsatilgan.



4.55-rasm. Markaziy sirkulatsiya trubali bug'latkich.
1 - isituvchi kamera; 2 - separator;
3 – isituvchi trubalar;
4-sirkulatsiya trubasi.

Bug'latkich asosan ikki qismdan, ya'ni isituvchi kamera 1 va separator 2 dan iborat bo'ladi.

Kamera 1 ko'pincha to'yingan suv bug'i bilan isitiladi. Suv bug'i kameraning trubalararo bo'shlig'iga yo'naltiriladi, u yerda truba devori orqali o'z issiqligini eritmaga uzatadi va sovitish natijasida kondensatsiyalanadi. Hosil bo'lgan kondensat kameraning pastki qismidagi shtuser orqali tashqariga chiqariladi.

Trubalarda isitilayotgan eritmaning temperaturasi ortishi bilan zichligi kamayadi. Natijada, eritma truba bo'ylab yuqoriga ko'tariladi va devor orqali o'tayotgan issiqlik ta'sirida qaynash boshlanadi. Qaynash jarayonida hosil bo'layotgan ikkilamchi bug' eritmadan ajraydi va separator 2 ga qarab harakatlanadi. U yerda bug' mayda eritma tomchilaridan ajratiladi va bug' tashqariga chiqariladi. Separatorda ajratilgan tomchilar yana qaytadan bug'lanayotgan eritmaga qo'shiladi.

Eritmaning ma'lum qismi (zichligi yuqori) sirkulatsiya trubasi orqali bug'latishning pastki qismiga tushadi. Ushbu trubadagi eritma va isituvchi trubalardagi «bug' - suyuqlik» aralashmasi zichliklari o'rtasidagi farq ta'sirida beto'xtov ravishda sirkulatsiya qilib turadi. Konsentratsiyasi oshgan, ya'ni quyuqlashgan eritma, qurilmaning pastki qismidan chiqarib olinadi.

4.16.1. Oddiy bug'latishning moddiy balansi

Oddiy bug'latish jarayonining moddiy balansi ushbu tenglamalar yordamida ifodalanadi:

$$G_b = G_{ox} + W \tag{4.169}$$

bu yerda, G_b – boshlang'ich eritma sarfi, kg/soat; G_{ox} – quyuqlashtirilgan eritma sarfi, kg/soat; W – bug'latilgan suv miqdori, kg/soat.

Eritmadagi quruq moddaga nisbatan moddiy balansi ushbu ko'rinishga ega:

$$\frac{G_b \cdot x_b}{100} = \frac{G_{ox} \cdot x_{ox}}{100} \tag{4.170}$$

bu yerda, x_b va x_{ox} – eritmaning boshlang'ich va oxirgi konsentratsiyalari, % (mass).

(4.169) va (4.170) tenglamalardan foydalanib bug'latilgan suv miqdorini topish mumkin:

$$W = G_b\left(1 - \frac{x_b}{x_{ox}}\right) \tag{4.171}$$

Eritmaning oxirgi konsentratsiyasi esa:

$$x_{ox} = G_b \frac{x_b}{G_b - W} \tag{4.172}$$

Quyuqlashtirilgan eritma bo'yicha bug'latkichning ish unumdorligi quyidagi tenglamadan topiladi:

$$G_{ox} = \frac{G_b \cdot x_b}{x_{ox}} \tag{4.173}$$

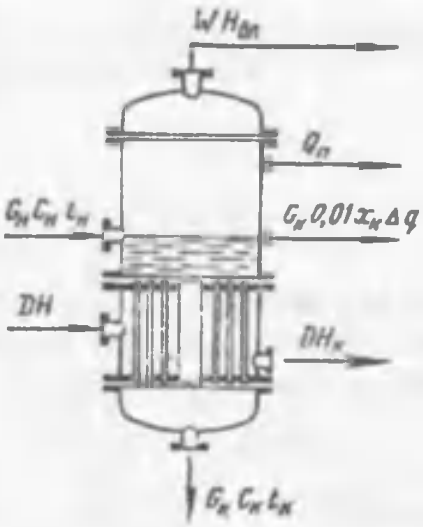
4.16.2. Oddiy bug'latishning issiqlik balansi

Oddiy bug'latish jarayonining issiqlik balansi 4.56-rasmda keltirilgan issiqlik oqimlari asosida bitta tenglik yordamida yozilishi mumkin:

$$G_b c_b t_b + DI = G_{ox} c_{ox} t_{ox} + G_{ox} 0,01 x_{ox} \Delta q + W \cdot I_{ib} + D \cdot I_k + Q_{yo'q} \tag{4.174}$$

bu yerda, D – isituvchi bug' sarfi, kg/soat; I – isituvchi bug' entalpiyasi, kJ/kg; t_b va t_{ox} – eritmaning boshlang'ich va oxirgi temperaturalari, °C; I_k – kondensat entalpiyasi, kJ/kg; Δq – eritmani x_b va x_{ox} gacha quyuqlashtirish issiqligi, kJ/kg; $Q_{yo'q}$ – issiqlikning atrof-muhitga yo'qotilishi, kJ/soat.

$G_{ox} c_{ox} t_{ox}$ – quyuqlashgan eritma bilan issiqlik chiqishi;
WI_{ib} – ikkilamchi bug' bilan issiqlikning chiqishi;
DI_k – isituvchi bug' kondensati bilan issiqlikning chiqishi;
$0,01 x_{ox} \cdot G_{ox} \cdot \Delta q$ – quyuqlashtirish issiqligi;
$G_b c_b t_b$ – boshlang'ich eritma bilan issiqlik kirishi;
DI – isituvchi bug' bilan issiqlik kirishi;
$Q_{yo'q}$ – atrof-muhitga issiqlik yo'qotilishi.



4.56-rasm. Oddiy bug'latish jarayonidagi issiqlik oqimlar sxemasi.

$$D = G_{ox}\frac{c_{ox}t_{ox} - c_b t_b + 0{,}01 x_{ox}\Delta q}{I - I_{ox}} + W\frac{I_{ib} - c_b t_b}{I - I_{ox}} + \frac{Q_{yo'q}}{I - I_{ox}} \qquad (4.176)$$

(4.176) tenglamadan ko'rinib turibdiki, bug'latish uchun zarur bo'lgan isituvchi bug' sarfi uchta qo'shiluvchi yordamida aniqlanadi:

– birinchisi, bug'latilayotgan eritma entalpiyasini o'zgartirish uchun zarur bug' sarfi;

– ikkinchisi, ikkilamchi bug' hosil qilish uchun zarur bug' sarfi;

– uchinchisi, atrof-muhitga yo'qotilinayotgan issiqlikni qoplash uchun zarur bug' sarfi.

Birinchi va uchinchi qo'shiluvchilar qiymati, ikkinchisiga qaraganda, juda kichikdir. Shuning uchun, taxminiy hisoblashlarda $H_{ib} - c_b t_b \approx I - I_k$ ekanligini inobatga olib, eritmadan 1 kg suvni bug'latish uchun 1,1...1,2 kg isituvchi bug' kerak deb qabul qilinadi.

4.16.3. Isitish yuzasi

Zarur issiqlik almashinish yuzasi issiqlik o'tkazishning asosiy tenglamasidan aniqlanadi, ya'ni $Q = KF\Delta t$ dan.

Unda, uzluksiz ishlaydigan bug'latkichning isitish yuzasi quyidagi ifodadan topiladi:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t}$$

bu yerda, t – temperaturalarning foydali farqi, isituvchi to'yingan suv bug'i va qaynayotgan eritma temperaturalari farqiga teng.

Temperaturalarning foydali farqi temperaturalar umumiy farqi va temperatura depressiyalari orqali aniqlanadi.

Isituvchi va ikkilamchi bug' temperaturalari orasidagi farqqa temperaturalarning umumiy farqi deyiladi va ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$\Delta t_{umu} = t_{ib} - t_{kond} \qquad (4.177)$$

bu yerda, t_{ib} – isituvchi bug' temperaturasi, °C; t_{kond} – kondensatorga kirishdagi ikkilamchi bug' temperaturasi, °C.

Temperaturalaming foydali farqi $t_{y.v}$ dan temperaturalar yo'qotilish yig'indisi $\Sigma\Delta$ ga qaraganda kamroq bo'ladi, ya'ni

$$\Delta t = \Delta t_{um} - \Sigma\Delta \qquad (4.178)$$

bu yerda

$$\Sigma\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$$

Ko'p korpusli qurilmalarda bug'latish. Bu turdagi qurilmalarda isituvchi bug' sifatida ikkilamchi bug' ishlatiladi. Natijada juda katta miqdorda issiqlik tejaladi. Eritmadan 1 kg suvni bug'latish uchun isituvchi, to'yingan suv bug'ining solishtirma sarfi quyidagicha:

– bir korpusli qurilma uchun 1,1...1,2 kg;
– ikki korpusli qurilma uchun 0,57 kg;
– uch korpusli qurilma uchun 0,40 kg;
– to'rt korpusli qurilma uchun 0,30 kg;
– besh korpusli qurilma uchun 0,27 kg.

Ko'p korpusli qurilmalarda bug'latish jarayonini yuqori bosimli isituvchi bug' yoki vakuum yordamida amalga oshirish mumkin.

Bug'latish korpuslaridagi bosim shunday bo'lishi kerakki, unga uzatilayotgan bug' temperaturasi, shu korpusdagi eritmaning qaynash temperaturasidan yuqori bo'lishi ta'minlanishi kerak. Oxirgi korpusdagi isituvchi bug'ning bosimi texnik-iqtisodiy hisoblar asosida aniqlanadi.

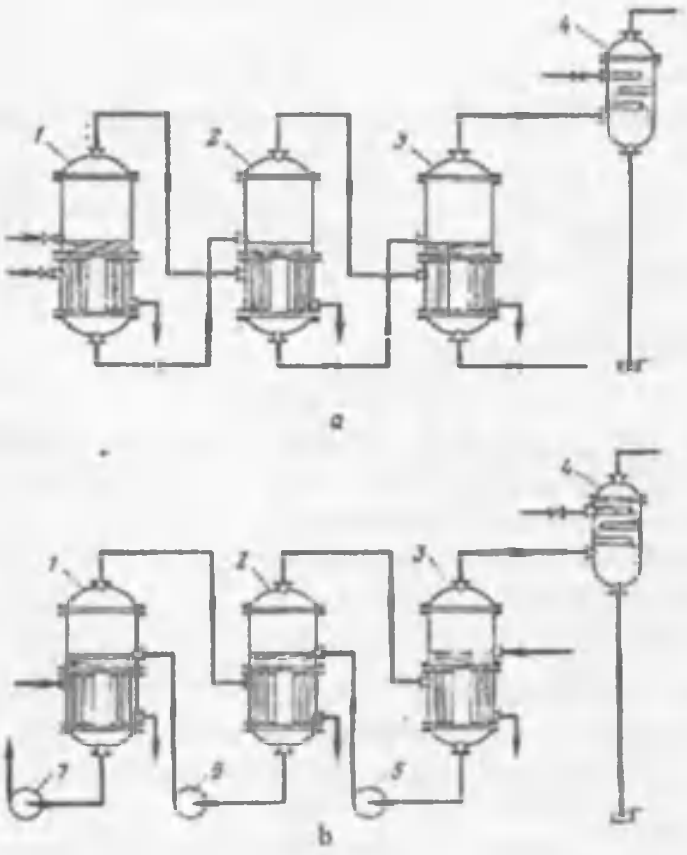
Isituvchi bug' va eritmaning harakat yo'nalishiga qarab parallel (bir xil), qarama - qarshi va kombinatsiyalangan yo'lli ko'p korpusli bug'latish qurilmalariga bo'linadi. 4.57a-rasmda uch korpusli parallel yo'nalishli bug'latish qurilmasi keltirilgan.

Boshlang'ich eritma korpus 1 ga yuboriladi, so'ng korpus 2 va 3 ga uzatiladi va kerakli konsentratsiyagacha quyuqlashtirilgandan so'ng korpus 3 ning pastki qismida chiqariladi. Korpus 1 dan korpus 3 ga qarab bosim pasayib boradi. Shuning uchun, eritma bosimlar farqi ostida korpusdan korpusga o'tib boradi. Isituvchi bug' eritma kabi o'sha yo'nalishda bir korpusdan keyingisiga harakat qiladi, ya'ni korpus 1 da hosil bo'lgan ikkilamchi bug' 2-korpusga isituvchi bug' bo'lib, 2-korpusda hosil bo'lgan ikkilamchi bug' esa, 3-korpusga isituvchi bug' bo'lib, 3- korpusda hosil bo'lgan ikkilamchi bug' kondensatsiyalanish uchun barometrik kondensator 4 ga yuboriladi.

4.57b-rasmda uch korpusli qarama - qarshi yo'nalishli bug'latish qurilmasi tasvirlangan. Yangi isituvchi bug' 1-korpusga haydaladi, ikkilamchi bug'lar esa 1-korpusdan 3-ga qarab harakat qiladi. Boshlang'ich eritma esa, avval 3-korpusga yuklanadi, so'ng esa 3-korpusdan 1-korpus tomon qarab uzatiladi. Quyuqlashtirib bo'lingan eritma 1-korpusning pastki qismidan chiqarib olinadi. Har bir keyingi korpusdagi bosim avvalgi korpusnikidan kam bo'lgani uchun, eritmani uzatish uchun nasos 5, 6, 7 lar xizmat qiladi.

Kombinatsiyalashgan bug'latish qurilmalarida eritmani kiritish va chiqarish variantlari turlicha bo'lishi mumkin.

Parallel yo'nalishli bug'latish qurilmasining afzalliklari: eritmani korpusdan korpusga uzatish uchun nasos kerak emas.



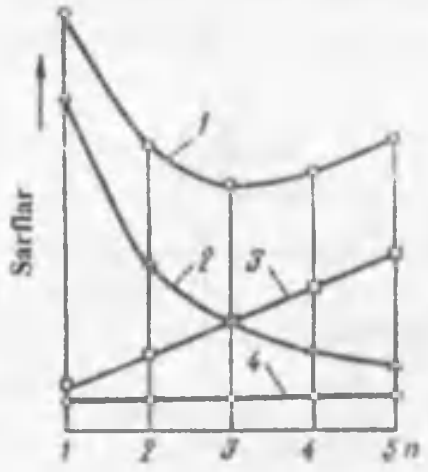
4.57-rasm. Bug'latish qurilmaning prinsipial sxemalari.
a - bir xil (parallel) yo'nalishli; b - qarama-qarshi yo'nalishli;
1-3 – korpuslar; 4- barometrik kondensator; 5-7 – nasoslar.

Har bir keyingi korpusda, yuqori konsentratsiyali eritma, nisbatan pastroq bosim da bug'latiladi.

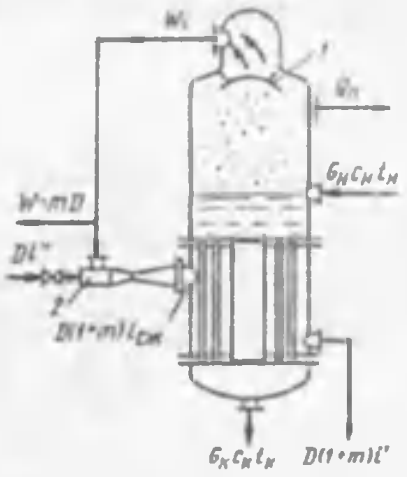
Shuning uchun oxirgi korpusdagi issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti birinchisiga qaraganda ancha kichik bo'ladi.

Qarama - qarshi yo'nalishli bug'latish qurilmasining afzalliklari: juda yuqori konsentratsiyalargacha quyuqlashtirish mumkin; bir yo'nalishli qurilmalarga nisbatan kichik isitish yuzasi talab etiladi. Kamchiligi: eritmani korpusdan korpusga uzatish uchun nasoslar zarur.

4.58-rasmda bug'latish qurilmalari sonining ortishi bilan turli sarflar o'zgarishi ko'rsatilgan. Yuqorida qayd etilgandan ma'lumki, qurilmalar soni o'sishi bilan eritma tarkibidagi 1 kg suvni bug'latish uchun isituvchi bug' sarfi keskin kamayib boradi. Lekin qurilmalar soni ortishi bilan temperatura yo'qotilishlar ko'payadi. Issiqlik almashinish jarayoni samarali o'tishi uchun temperaturalarning foydali farqi ma'lum qiymatga ega bo'lishi kerak. Tabiiy sirkulatsiyali qurilmalar uchun ushbu farq 5...7°C va majburiy sirkulatsiyali uchun esa - 3°C dan kam bo'lmasligi zarur.



4.58-rasm. Bug'latish korpuslari *n* ning optimal sonini aniqlashga oid.
1 - umumiy sarflar; 2 - energetik (isituvchi bug'ga bo'lgan) sarflar;
3 - kapital va amortizatsiya sarflari;
4 - ekspluatatsiya sarfi.



4.59-rasm. Turbokompressorli bug'latish qurilmasi.
1 - bug'latkich;
2 - turbokompressor.

Bug'latish qurilmalarining soni ko'p bo'lsa, bunda temperaturalar yo'qotilishining yig'indisi, temperaturalarning umumiy farqiga teng yoki undan ortib ketishi mumkin. U holda eritmalarni bug'latish qiyinlashadi va jarayonni o'tkazish imkoni bo'lmay qoladi

Qurilmalarning optimal sonini texnik-iqtisodiy hisoblashlar yo'li bilan aniqlash maqsadga muvofiqdir.

Grafikdagi egri chiziq 1 ning minimumiga to'g'ri keladigan minimal umumiy sarflar, ko'p korpusdagi bug'latish qurilmasining optimal sonini ko'rsatadi. Sanoat miqyosida ko'p korpusli bug'latish qurilmalarining optimal soni 3...4 ta bo'ladi.

Issiqlik nasosini qo'llab bug'latish. Ushbu usul, shu qurilmada olingan ikkilamchi bug'ni qaytadan o'sha bug'latkichda qo'llashga asoslangan. Buning uchun ikkilamchi bug' temperaturasi isituvchi bug' temperaturasigacha ko'tarish zarur. Ikkilamchi bug' temperaturasini oshirish uchun u kompressor yoki injektorli issiqlik nasosda siqiladi. Odatda, ikkilamchi bug'ni siqish va uzatish vositasi sifatida turbokompressor qo'llaniladi (4.59-rasm).

Bug'latkichdan chiqayotgan bosimi p_{ib} va entalpiyasi i ikkilamchi bug' turbokompressor yordamida so'rib olinadi va u yerda p bosimgacha siqiladi. Siqish natijasida bug'ning entalpiyasi i gacha o'sadi. Shunday qilib, siqilish natijasida bug' $\Delta i = i_c - i$ miqdorda issiqlik oladi. Turbokompressordan chiqayotgan siqilgan bug' bug'latish qurilmasining isitish kamerasiga yo'naltiriladi.

Jarayonning issiqlik balansi:

$$G_b c_b t_b + D \cdot i'' + W \cdot i_c = G_{ox} \cdot c_{ox} \cdot t_{ox} + W \cdot i + (D + W) \cdot i' + Q_{yo'q} \qquad (4.179)$$

bundan isituvchi bug' sarfi:

$$D = G_{ox} \frac{c_{ox} t_{ox} - c_b t_b}{i'' - i'} + W \frac{i - c_b t_b - i_c}{i'' - i'} + \frac{Q_{yo'q}}{i'' - i'} \qquad (4.180)$$

bu yerda, i_c – ikkilamchi bug'ning turbokompressorda siqilgandan keyingi solishtirma entalpiyasi, kJ/kg.

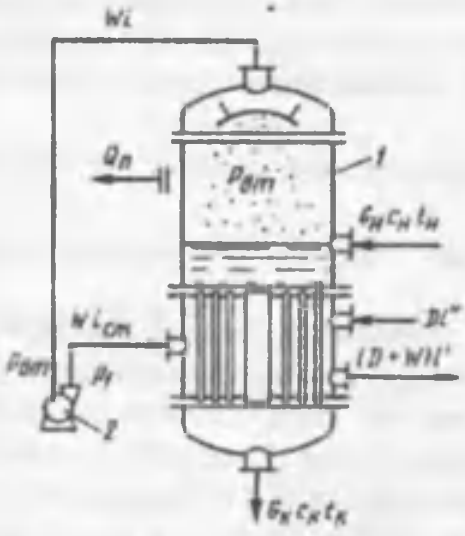
(4.176) va (4.180) tenglamalarni taqqoslashdan ko'rinib turibdiki, ikkilamchi bug'lar entalpiyasini oshirish hisobiga isituvchi bug' sarfi i_c qiymatga kamroq sarflanadi:

$$D = W\frac{i - c_b t_b - i_c}{i'' - i'} \qquad (4.181)$$

Turbokompressorda sarflanayotgan quvvat miqdori ushbu tenglamadan topiladi:

$$N = \frac{W(i_c - i)}{3600\eta_{ad}\cdot\eta_{mex}} \qquad (4.182)$$

bu yerda, η_{ad} – turbokompressorning adiabatik f.i.k.; η_{mex} – elektr yuritkich va yuritmalarning mexanik f.i.k.



4.60-rasm. Injektor issiqlik nasosli bug'latish qurilmasi.
1- bug'latkich; 2- issiqlik nasosi.

Bug'-injektor issiqlik nasosli bug'latkichda isituvchi bug' injektorga uzatiladi (4.60-rasm). Bug'-injektor Venturi trubasi tipidagi moslama bo'lib, uni yasashga ko'p metall sarflanmaydi. Injektor ishlashi paytida vakuum hosil bo'ladi va bug'latkichda ajralib chiqqan, bosimi p_{ib} va entalpiyasi i bo'lgan, ikkilamchi bug'ni u so'rib oladi.

Isituvchi bug'ni har bir massaviy birligi ikkilamchi bug'ning m massaviy birligini so'rib oladi. Natijada $D\ (1+m)$ miqdorda isituvchi bug' olinadi, lekin uning bosimi birlamchi bug'ning bosimidan past, ikkilamchi bug'nikidan esa yuqori bo'ladi. $W-mD$ miqdordagi bug' qurilmadan boshqa maqsadlar uchun ajratib olinadi.

Jarayonning issiqlik balansi ushbu tenglik bilan ifodalanadi:

$$D\cdot(1+m)\cdot i_c + G_b c_b t_b = G_{ox} c_{ox} t_{ox} + W\cdot i + D\cdot(1+m)\cdot i' + Q_{yo'q} \qquad (4.183)$$

bundan bug' sarfi:

$$D = G_{ox}\frac{c_{ox}t_{ox} - c_b t_b}{(1+m)\cdot(i_s - i')} + W\frac{i - c_b t_b}{(1+m)\cdot(i_s - i')} + \frac{Q_{yo'q}}{(1+m)\cdot(i_s - i')} \qquad (4.184)$$

bu yerda, m =0,5...1,0 – injeksiya koeffitsiyenti.

(4.184) tenglamaning tahlili shuni ko'rsatadiki, issiqlik nasos yordamida bug'latish jarayonida, isituvchi bug' sarfi oddiy bug'latishga qaraganda $(1+m)$ marta kam bo'ladi.

Injektorli bug'latkichlar temperatura depressiyasi past va ikkilamchi bug' bosimi yuqori bo'lgan eritmalarni bug'latish uchun qo'llaniladi. Agar ikkilamchi bug' bosimi kamayib ketsa, injeksiya koeffitsiyenti m ham kamayadi. Bunday hollarda isituvchi bug' sarfi ko'payib ketadi va issiqlik nasosli bug'latkichlarni ishlatish maqsadga muvofiq emas.

4.17. Bug‘latkichlar tuzilishi va ishlash prinsiplari

Bug‘latish qurilmalarini klassifikatsiyalash usullari ko‘p. Lekin bug‘latish qurilmalarini ishlash intensivligini xarakterlovchi eritma sirkulatsiyasining turi va karraligi klassifikatsiyalashning asosiy belgilari deb hisoblash mumkin. Kimyo va boshqa sanoatlarda uch xil bug‘latish qurilmalari keng tarqalgan:

1. Erkin (tabiiy) sirkulatsiyali bug‘latish qurilmalari.
2. Majburiy sirkulatsiyali bug‘latish qurilmalari.
3. Yupqa qatlamli (plyonkali) bug‘latish qurilmalari.

Zamonaviy bug‘latish qurilmalarining isitish yuzalari 10...1800 m^2. Bug‘latkichlar konstruksiyalarini tanlashda eritmalarning fizik va issiqlik xossalari, kristallanishga moyilligi, yuqori temperaturalarga chidamliligi, har bir korpusdagi foydali temperaturalar farqi, issiqlik almashinish qurilmasining yuzasi, texnologik xususiyatlari hisobga olinishi zarur.

Bug‘latish qurilmalari uglerodli, legirlangan va ikki qatlamli po‘latlardan tayyorlanadi.

Quyida, sanoatda eng keng tarqalgan, tipik bug‘latkichlar konstruksiyalari keltiriladi.

Ichki isituvchi kamerali va markaziy sirkulatsion trubali bug‘latkich. Vertikal qobiq 1 ning pastki qismida isitish kamerasi 2 joylashgan (4.61-rasm). O‘z navbatida isitish kamerasi ikkita teshikli panjara va unga razvalsovka usulida mahkamlangan qaynash trubalari 3 dan tarkib topgan. Isitish kamerasining o‘rtasiga qaynash trubalariga qaraganda diametri kattaroq sirkulatsion truba 4 o‘rnatilgan bo‘ladi.

Isitish kamerasining trubalararo bo‘shlig‘iga issiqlik eltkich, ya’ni suv bug‘i yuboriladi.

Eritma esa qurilmaning teshikli truba panjarasi ustiga uzatiladi va sirkulatsion truba orqali pastga oqib tushadi. So‘ngra, isitish natijasida zichligi kamayib, qaynash trubalari bo‘ylab tepaga ko‘tariladi va truba ichidan ma’lum bir masofada qaynaydi. Hosil bo‘lgan ikkilamchi bug‘ separatsion bo‘shliq 5 ga ko‘tariladi va tomchi ushlagich 6 da inersion kuch ta’sirida mayda eritma tomchilaridan ajratiladi. Undan keyin, ikkilamchi bug‘ qurilmadan chiqib ketadi.

Quyuqlashtirilgan eritma konussimon tubdagi shtuser orqali oraliq yoki tayyor mahsulot sifatida chiqariladi.

Yuqorida qayd etilgandek, qaynash va markaziy (sirkulatsion) trubada eritmaning sirkulatsiyasi uning zichliklari farqi ostida ro‘y beradi. Eritma zichligi farqining hosil bo‘lishiga sabab, isitish kamerasi yuzasining markaziy trubanikidan ancha kattaligidir.

Ma’lumki, isituvchi kamera trubalarida eritmadan bug‘ ajralib chiqishi, markaziy trubaga qaraganda ancha intensiv bo‘ladi. Demak, qaynash trubalarida eritmaning zichligi, markaziy trubanikidan pastroq bo‘ladi. Natijada, zichliklar farqi ta’siri ostida eritma erkin sirkulatsiya qiladi va issiqlik o‘tkazish jarayoni jadallashadi. Undan tashqari, eritma sirkulatsiyasi truba yuzasiga sopolsimon, g‘ovak qatlam (nakip) o‘tirib qolishiga qarshilik ko‘rsatadi.

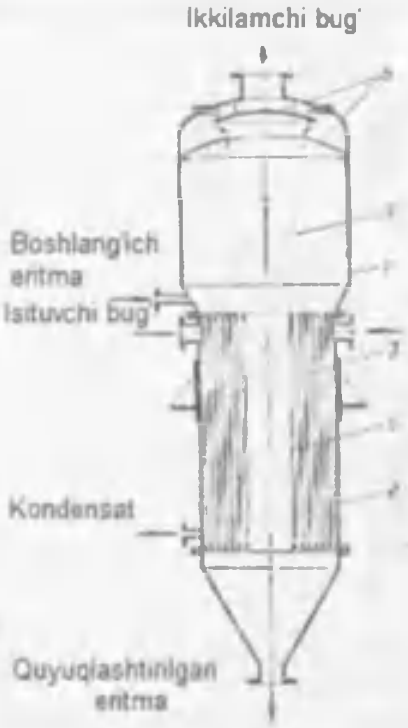
Bu turdagi qurilmalar vakuum ostida ishlaganda, qaynash temperaturasi pasayadi. Demak, past bosimli issiqlik eltkichlardan foydalanish mumkin. Ushbu usulda yuqori temperaturalarga bardosh berolmaydigan eritmalarni bug‘latish tavsiya etiladi.

Bug‘latish jarayonida vaqt o‘tishi bilan eritmaning fizik va issiqlik-diffuzion xossalari o‘zgaradi. Bu hol issiqlik berish jarayoniga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

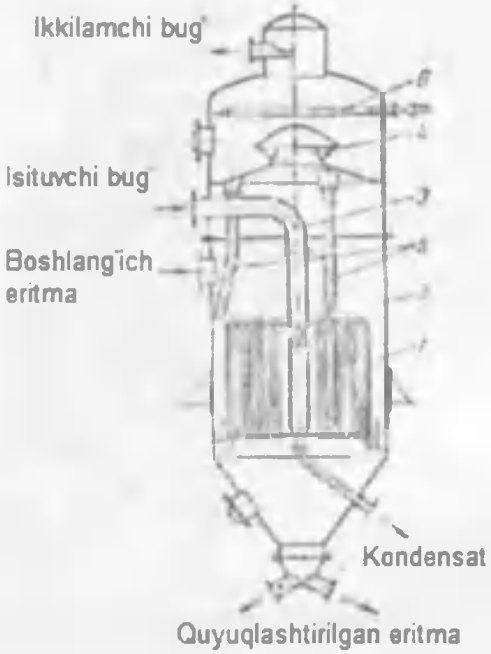
Qurilmaning kamchiliklari: trubalar teshikli panjaralarga qattiq, qo‘zg‘almas qilib

mahkamlanganligi uchun qobiq va trubalaming temperatura ta'sirida uzayishiga yo'l qo'ymaydi; markaziy truba isitish kamerasining ichida o'rnatilgani uchun temperatura farqi kam bo'ladi, natijada zichliklar farqi ham oz bo'ladi, ya'ni sirkulatsiya karraligi kamayadi.

Osma isituvchi kamerali bug'latkich Ushbu turdagi qurilmalarda isituvchi kamera 1 o'z obechaykasiga ega bo'lib, qobiq 2 ning pastki qismiga erkin, qo'zg'aluvchan qilib o'rnatilgan. Isituvchi bug' truba 3 orqali uzatiladi va kamera 1 ning trubalararo bo'shlig'iga yuboriladi. Issiqligini bergan bug' kondensat holida hamda isituvchi kameraning pastki qismidan chiqariladi. Isigan eritma esa, qaynash trubalaridan yuqoriga ko'tariladi va erkin sirkulatsiya ta'sirida bug'latish jarayoni sodir bo'ladi (4.62-rasm).



4.61-rasm. Ichki isituvchi kamera va markaziy sirkulatsion trubali bug'latish qurilmasi.
1 - qobiq; 2 - isituvchi kamera;
3 - qaynash trubalari;
4 - sirkulatsion truba;
5 - separatsion bo'shliq;
6 – tomchi ushlagich.



4.62-rasm. Osma isituvchi kamerali bug'latish qurilmasi.
1 - isituvchi kamera;
2 - qobiq; 3 - bug' trubasi;
4 - tomchi ushlagich; 5 - to'kish trubasi; 6 - yuvish uchun teshikli truba.

Ikkilamchi bug' tomchi ushlagich 4 dan o'tib qurilmaning tepasidan chiqib ketadi. Ikkilamchi bug'dan ajratib olingan suyuqlik truba 5 orqali pastga oqizib tushiriladi. Qurilma qaynash trubalarining ichki va tashqi yuzalarida hosil bo'luvchi kovakli qatlam (nakip) vaqti-vaqti bilan suv bilan yuvilib turiladi.

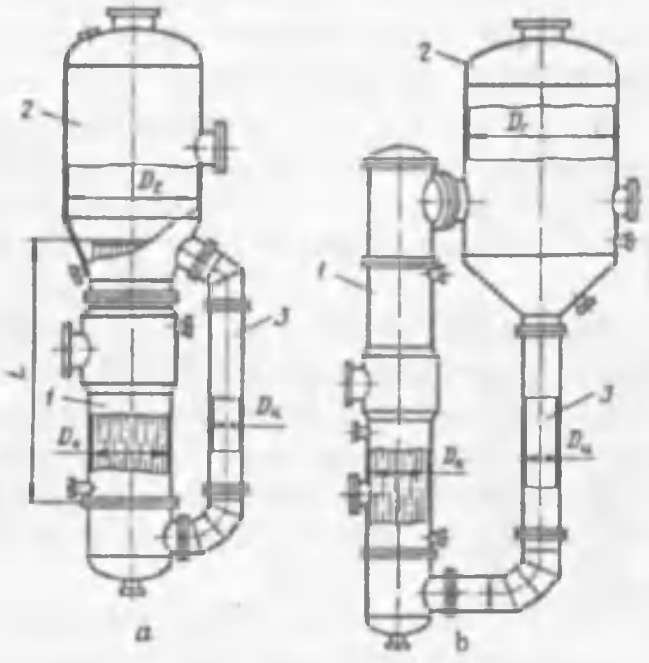
Bu qurilmada markaziy sirkulatsion truba isituvchi kamera tashqarisida o'rnatilgan bo'lib, katta ko'ndalang kesimga ega. Shuning uchun ham eritma sirkulatsiyasiga ijobiy ta'sir etadi.

Isituvchi kamera erkin, harakatchan holda o'rnatilgani uchun trubalarning teshikli panjaralardagi zichligi buzilmaydi. Undan tashqari, osma holatdagi kamerani demontaj qilish oson.

Osma isituvchi kamerali bug'latkich afzalliklari: eritmalar bug'latilishi intensiv; isitish kamerasi osma holda o'rnatilgani uchun, temperaturalar farqi katta bo'lganda ham trubalar zichligi o'zgarmaydi; isituvchi kameraning yaroqsiz trubalarini almashtirish oson; eritma sirkulatsiyasining karraligi katta; qattiq, kovakli qatlam kam hosil bo'ladi.

Bug'latkich kamchiliklari: isituvchi eltkich va kondensatning trubalar orqali kirishi va chiqishi qiyin; metall sarfi katta; qovushoqligi yuqori eritmalarni bug'latish samardorligi past; eritma trubalarga yopishib qoladi.

Erkin sirkulatsiyali bug'latkichlar tuzilishi sodda va kristallanmaydigan, o'rtacha qovushoqlikli suyuqliklarni bug'latish uchun qo'llaniladi (4.63-rasm).



4.63-rasm. Eritmasi erkin sirkulatsiya qiladigan bug'latkichlar.
a - isituvchi kamerasi ajratilgan bug'latkich;
b - isituvchi kamerasi tashqariga o'rnatilgan bug'latkich: 1- isituvchi kamera; 2-separator; 3-sirkulatsion truba. D_s, D_k, D_u - separator, isituvchi kamera va sirkulatsion truba diametrlari; L - kamera uzunligi.

Bug'latish qurilmasi separator, isituvchi kamera va sirkulatsion trubadan tashkil topgan. Separator elliptik qopqoqli silindrik qobiqdan iborat bo'lib, isituvchi kameraga boltlar yordamida birlashtirilgan. Unda, ikkilamchi bug'ni tomchilardan ajratish uchun turli konstruksiyali qaytargichlar o'rnatiladi (4.63a-rasm), Isituvchi kamera esa, vertikal qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi tipida yasalgan bo'lib, trubalararo bo'shlig'iga bug' yuboriladi va trubalar ichida eritma qaynatiladi.

Separator va isituvchi kameralar pastki qismlari sirkulatsion truba bilan birlashtirilgan. Sirkulatsion va qaynatish trubalaridan tarkib topgan tutashgan sistemada tabiiy sirkulatsiya hosil bo'ladi.

Agar trubalarda eritma qaynash darajasigicha isitilsa, undagi bir qism suyuqlik bug'lanishi natijasida trubalarda bug' - suyuqlik aralashmasi hosil bo'ladi. Albatta, bu aralashma zichligi suyuqlik zichligidan kichikdir. Shunday qilib, sirkulatsion trubadagi *suyuqlik massasi, qaynash trubadagi suyuqlikdan katta bo'lishi aniq. Natijada,* qaynash trubasi – bug' bo'shlig'i - sirkulatsion truba - trubalar va hokazo yo'li bo'yicha eritma sirkulatsion harakatlanadi.

Sirkulatsiya paytida qaynayotgan suyuqlik tomonidagi issiqlik berish koeffitsiyenti ortadi va truba yuzasida qattiq, kovakli ifloslik qatlami hosil bo'lishi kamayadi.

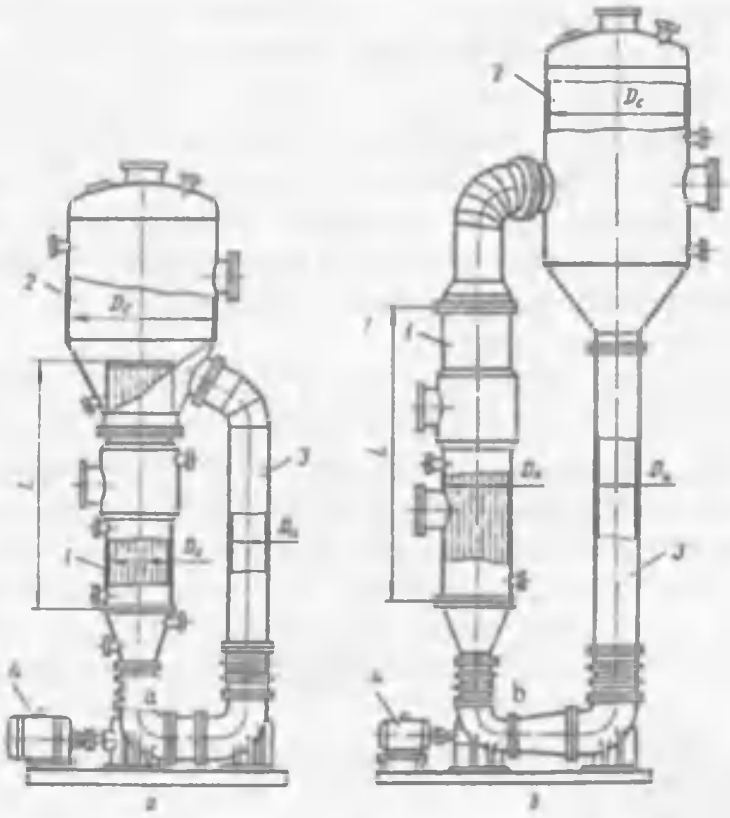
Tabiiy sirkulatsiya bo'lishi uchun ikkita shart bajarilishi zarur:

1) Bug' - suyuqlik aralashma qatlamini muvozanatda ushlab turish va zarur tezlik hosil qilish uchun sirkulatsion trubadagi suyuqlik sathining balandligi yetarli bo'lishi kerak;

2) Bug' - suyuqlik aralashmasi iloji boricha kam zichlikli bo'lishi uchun qaynash trubalarida bug' ajralib chiqish intensivligi yetarli miqdorda bo'lishi darkor.

Eritma va bug' orasidagi temperaturalar farqi ko'p va qaynash zonasida naporning yo'qotilishi kam bo'lgani uchun, sirkulatsiya tezligi 1,8...2 m/s ni tashkil etadi.

Agar sirkulatsiya tezligi yuqori bo'lsa, bug'latkichning ish unumdorligi va issiqlik almashinish jarayonining intensivligi katta bo'ladi.



4.64-rasm. Eritma majburiy sirkulatsiya qiladigan bug'latkichlar.
a- isituvchi kamera ajratilgan bug'latkich;
b- isituvchi kamerasi tashqarida o'rnatilgan bug'latkich; 1 - isituvchi kamera; 2 - separator; 3 - sirkulatsion truba; 4 - nasos.

4.63b-rasmda eskirib qolgan markaziy sirkulatsiya trubali bug'latkichdan tubdan farq qiladigan qurilma keltirilgan. Ma'lumki, markaziy sirkulatsion trubali bug'latkichlarda temperaturalar farqi kichik va sirkulatsiya intensivligi past bo'ladi. Qaynash trubalarida bug' hosil bo'lishi eritmaning fizik xossalari, truba devori va suyuqlik o'rtasidagi temperaturalar farqi bilan belgilanadi. Eritmaning qovushoqligi qanchalik kam bo'lsa, shunchalik bug' ajralib chiqishi va sirkulatsiya tezligi ko'p bo'ladi. Intensiv sirkulatsiyaga erishish uchun isituvchi bug' va eritma orasidagi farq 10°C dan kam bo'lmasligi kerak.

4.63-rasmda keltirilgan bug'latkichlarning issiqlik almashinish yuzasi 10...1200 m^2, diametriga qarab qaynash trubalarning uzunligi 3...9 m bo'ladi. Qaynash trubalarning diametri 25, 38 va 57 mm bo'lishi mumkin. Isituvchi kameradagi ortiqcha bosim 0,3...1,6 MPa, separatordagi vakuum esa - 93,0 kPa. Sirkulatsion truba ko'ndalang kesim yuzasining isituvchi kamera yuzasiga nisbati 0,3 dan kam bo'lmasligi zarur.

Majburiy sirkulatsiyali bug'latkichlar eritma sirkulatsiyasining intensivligi va issiqlik o'tkazish koeffitsiyentini oshirish imkonini beradi. Bunday qurilmalarda qovushoqligi katta bo'lgan eritmalarni ham bug'latish mumkin (4.64-rasm). Eritma sirkulatsiyasi propellerli yoki markazdan qochma tipdagi nasoslar yordamida amalga oshiriladi.

Boshlang'ich eritma isituvchi kamera 1 ning pastki qismiga yuborilsa, quyuqlashtirilgan eritma esa - separatorning pastki qismidan chiqariladi (4.64a-rasm).

Eritma qaynash trubalari uchidan ozgina pastroq sathda ushlab turiladi. Isituvchi kamera trubalardagi eritma tezligi 1,2...3,5 m/s bo'ladi. Eritma sirkulatsiya qiladigan sistema suyuqlik bilan to'lib turgani uchun nasos ishi faqat gidravlik qarshiliklarni yengish uchun sarflanadi. Qaynash trubalarining pastki qismidagi bosim, tepa qisminikidan, truba ichidagi suyuqlik ustini va qarshiliklar yig'indisiga teng miqdorda ortiq bo'ladi. Shuning uchun, trubaning ko'p qismida eritma qaynamasdan, faqat isitiladi. Truba uchining ma'lum bir qismidagina eritma qaynaydi. Nasos uzatayotgan suyuqlik miqdori bug'lanayotgan suvdan bir necha barobar ortiqdir. Shuning uchun ham, suyuqlik massasining qaynash trubasidan chiqayotgan bug' - suyuqlik aralash-madagi bug' massasiga nisbati juda katta.

Bu turdagi bug'latkichlar isitish yuzasi 25...1200 m^2, qaynash trubalarining uzunligi 4...9 m, diametri 25, 38, 57 mm bo'lishi mumkin. Isituvchi kameradagi ortiqcha bosim 0,3...1,0 MPa, separatordagi vakuum esa - 93 kPa. Sirkulatsion truba ko'ndalang kesimning yuzasi isituvchi kamera yuzasiga nisbati 0,9 dan kam bo'lmasligi kerak.

Majburiy sirkulatsiyali bug'latkichlar afzalliklari: issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti juda katta (erkin sirkulatsiyaligiga qaraganda 3...4 marta ko'p), shuning uchun isitish yuzasi kam bo'lsa ham bo'ladi; kichik temperaturalar farqida (3...5°C) ham samarali ishlaydi; kristallanishga moyil eritmalar bug'latilganda, issiqlik almashinish yuzalarida cho'kindilar hosil bo'lmaydi.

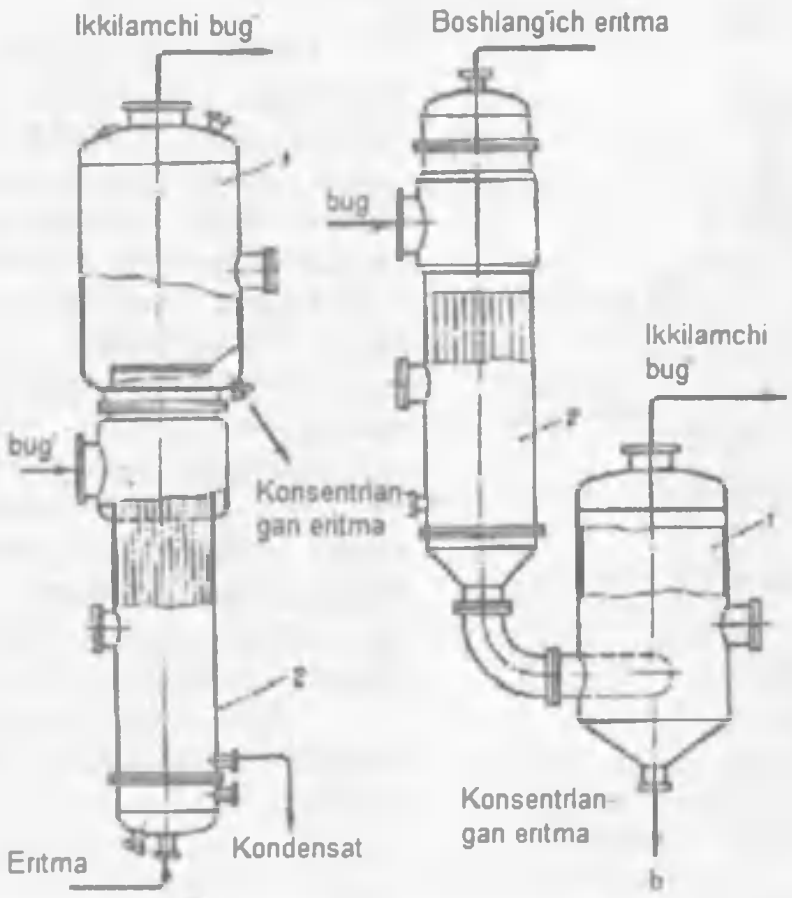
Bunday qurimalarning kamchiligi shundaki, nasosni ishlatish tufayli energiya sarfi ko'payadi.

Odatda, bug'latkichlar qimmat legirlangan metallardan yasalganda hamda qovushoqligi yuqori va kristallanishga moyil eritmalarini bug'latish uchun qo'llash yuqori samara beradi.

Yupqa qatlamli (plyonkali) bug'latkichlar yuqori temperaturaga chidamsiz eritmalarni quyuqlashtirish uchun qo'llaniladi. Qurilma trubalari orqali eritmaning bir marta o'tishi natijasida bug'latish jarayoni sodir bo'ladi.

Eritmaning harakat yo'nalishiga qarab, ko'tariluvchi va pastga oqib tushuvchi yupqa qatlamli bug'latkichlarga bo'linadi.

Yupqa qatlamli bug'latkichlar isituvchi kamera va separatordan tarkib topgan bo'ladi (4.65-rasm).



4.65-rasm. Yupqa qatlamli bug'latkichlar.
a – ko'tariluvchi qatlamli bug'latkich;
b - pastga oqib tushuvchi qatlamli bug'latkich.
1 - separator; 2 - isituvchi kamera.

Isituvchi kamera trubalari 7...9 m uzunlikda bo'lib, suv bug'i yordamida isitiladi.

4.65a-rasmda ko'tariluvchi qatlamli bug'latkich ko'rsatilgan. Boshlang'ich eritma uzluksiz ravishda isituvchi kameraning pastki qismiga yuboriladi va trubalarning 20..25% uzunligini to'ldirib turadi. Trubalarning qolgan qismi bug' - suyuqlik aralashmasi bilan band bo'ladi.

Ushbu aralashma truba devorida yupqa qatlamli suyuqlikka va uning o'qida bug' agregat holatiga ajralgan bo'ladi. Bug' oqimi harakati paytida suyuqlik qatlamiga ishqalanish oqibatida yupqa qatlam turbulizatsiyaga uchraydi va uning yuzasi jadal ravishda yangilanib turadi. Shu omillar hisobiga yuqori issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti va katta bug'latish yuzasiga erishiladi.

4.65b-rasmda pastga oqib tushuvchi qatlamli bug'latkich tuzilishi keltirilgan. Bunday qurilmada boshlang'ich eritma isituvchi kameraning yuqori qismiga uzatiladi.

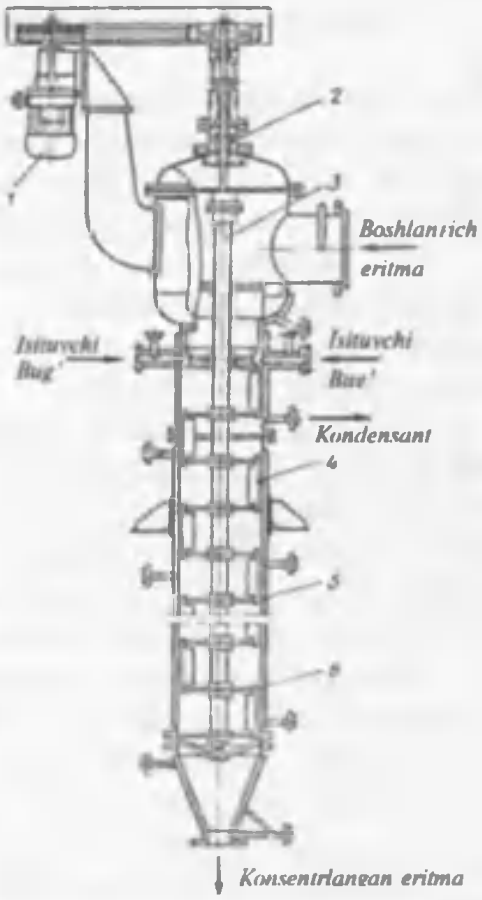
Quyuqlashtirilgan eritma, separatorning pastki qismidan chiqariladi.

Yupqa qatlamli bug'latkichlarning issiqlik almashinish yuzasi 63...2500 m^2 bo'lib, 38 va 57 mm li trubalardan yasaladi.

Isituvchi kameradagi ortiqcha bosim 0,3...1,0 MPa, separatordagi vakuum esa 93 kPa.

Kamchiliklari: isituvchi bug' bosimi tebranib turgan hollarda ishlashi bir tekisda emas. Agar ish rejimi buzilsa, qurilmani sirkulatsiyali ishlash rejimiga o'tkazish mumkin.

Rotor – yupqa qatlamli bug'latkichlar yuqori temperaturaga chidamsiz, qovushoq va pastasimon materiallarni hamda suspenziyalarni bug'latish uchun ishlatiladi (4.66-rasm).



4.66-rasm. Rotor - yupqa qatlamli bug'latkich.
1 - yuritma; 2 - zichlagich;
3 - rotor; 4 - parrak; 5 - qobiq;
6 - g'ilof.

Bunday bug'latkichlar silindrsimon yoki konussimon qobiq 5 dan iborat bo'lib, tashqarisi isituvchi g'llof 6 bilan o'ralgan. Qobiq 5 ichida rotor 3 aylanib, eritmani silindrik qobiq devoriga yupqa qatlam ko'rinishda purkaydi. Ayrim hollarda esa, oqimcha yoki tomchilar ko'rinishida ham sochib yuborish mumkin.

Devor bo'ylab taqsimlangan eritma asta - sekin bug'lanadi va devorda pasta yoki kukunning yupqa qatlami hosil bo'ladi. Ushbu qatlam rotorning parraklari yordamida qirib tashlanadi. Bu turdagi qurilmalarda yuqori issiqlik almashinishga erishish mumkin, ammo bug' bilan suyuqlikning ilinib chiqib ketishi kam bo'ladi.

Issiqlik berish koeffitsiyentini hisoblash uchun ushbu formula tavsiya etiladi:

$$\alpha = 110 \cdot \left(\frac{n}{\mu}\right)^{0,33} \cdot \lambda \qquad (4.185)$$

bu yerda, n – aylanish chastotasi, ayl/min; μ – dinamik qovushoqlik. Pa·s; λ – muhitning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Vt/m K.

Issiqlik berish koeffitsiyentini boshqa formuladan ham hisoblab topsa bo'ladi:

$$Nu = 0,65 \cdot \mathrm{Re}^{0,25} \cdot \mathrm{Re}_{u}^{0,43} \cdot \mathrm{Pr}^{0,3} \cdot z^{0,33} \qquad (4.186)$$

bu yerda, z – rotordagi parraklar soni.

$$\mathrm{Re}_{u} = \frac{d^2 \cdot n}{\upsilon} \qquad (4.187)$$

Qobiq devori va parraklar orasidagi tirqish 0,04...1,5 mm ni tashkil etadi. Boshlang'ich eritma qurilmaning yuqori qismiga uzatiladi va silindrik devor bo'ylab yupqa qatlam ko'rinishida taqsimlanadi. Parraklarning aylanma tezligi 12 m/s .

Qurilma konstruksiyasi rotorni o'q bo'ylab siljishiga imkon beradi. Natijada, eritma qatlami qalinligini rostlash va jarayon tezligini oshirish mumkin.

Rotor – yupqa qatlamli bug'latkichlar juda yuqori issiqlik o'tkazish koeffitsiyentiga ega, ya'ni 2300...2700 Vt/m^2·K. Lekin bu qurilmalar tuzilishi murakkab, yasash qiyin va juda qimmat. Undan tashqari, issiqlik almashinish yuzasi kam bo'lgani uchun ish unumdorligi yuqori emas.

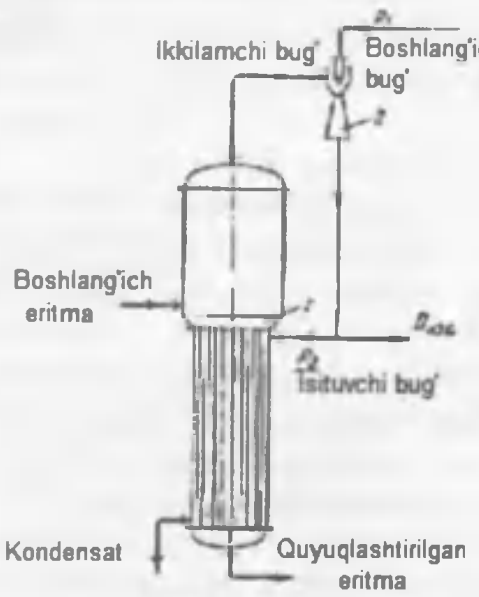
Issiqlik nasosli bug'latkichlar. Ayrim paytlarda texnologik sabablarga ko'ra, ko'p korpusli bug'latish qurilmalarini qo'llab bo'lmaydi. Masalan, yuqori

temperaturalarga chidamsiz eritmalarning sifat ko‘rsatkichlarini saqlab qolish uchun issiqlik nasosli, bir korpusli bug‘latkichlarni ishlatish maqsadga muvofiqdir.

4.67-rasmda bug‘latkich 1 va oqimchali kompressor 2 dan iborat bir korpusli bug‘latish qurilmasi keltirilgan.

Bunday qurilmalarda ikkilamchi bug‘ bosimi isituvchi bug‘ bosimigacha injektorli kompressorda siqiladi. So‘ng, siqilgan bug‘ siqish uchun bug‘latkichga yo‘naltiriladi. Demak, issiqlik nasosli bug‘latish qurilmalarida ikkilamchi bug‘ temperaturasi isituvchi bug‘ temperaturasigacha ko‘tariladi, ya’ni kompressorga sarflangan energiya, ikkilamchi bug‘ temperaturasini oshirishga ketadi.

Temperatura depressiyasi kichik bo‘lgan eritmalarni bug‘latish uchun issiqlik nasoslarini qo‘llash o‘rinli va ko‘p korpusli bug‘latish sxemalarida isituvchi bug‘ni tejash imkonini beradi.



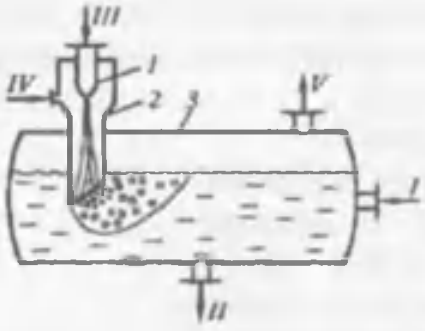
4.67-rasm. Issiqlik nasosli bir korpusli bug‘latish qurilmasi.
1-bug‘latkich; 2-oqimcha (injektor)li nasos.

Issiqlik nasosiga sarflanadigan energiya miqdori isituvchi va ikkilamchi bug‘lar to‘yinish temperaturalari farqiga proporsionaldir. Shuning uchun, temperatura depressiyasi katta bo‘lgan eritmalarni ushbu usulda bug‘latish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emas.

Odatda, issiqlik nasosli bug‘latish qurilmalari va erituvchining qaynash temperaturalarining farqi 5...15°C bo‘lgan hollarda qo‘llash mumkin. Demak, eritmaning qaynash temperaturasi katta bo‘lsa, ushbu usul ishlatilmaydi. Bunga sabab, ikkilamchi bug‘ni isituvchi bug‘ bosimigacha siqish uchun ko‘p energiya sarf bo‘lishidir.

Yuqorida qayd etilgan trubali bug‘latish qurilmalaridan tashqari sig‘imli turdagi bug‘latish qurilmalari ham sanoatda qo‘llaniladi. Bular ichida issiqlik almashinish yuzasi g‘ilof yoki zmeyevik ko‘rinishidagi bug‘latish qurilmalari mavjud. Lekin ularda issiqlik o‘tkazish koeffitsiyenti kichik bo‘lgani uchun kamdan-kam ishlatiladi. Undan tashqari, hajm birligiga to‘g‘ri keladigan issiqlik almashinish yuzasining nisbatan chegaralanganligi uchun hamda ushbu moslamalarda suyuqlik harakati yaxshi bo‘lmasligi ushbu qurilmalar ishlatish sohasini qisqartiradi. Juda korrozion faol muhitlar (sulfat, fosfor, xlorid kislotalar, ayrim metallar sulfat va xloridlari) uchun kontaktli bug‘latish qurilmalari, masalan, yondirgichi cho‘kib turuvchi barbotajli bug‘latkichlar yuqori samarador ekanligini ko‘rsatadi.

Barbotajli bug‘latish qurilmasi. Bunday qurilmalarda gazsimon yoqilg‘i yonishi davrida hosil bo‘lgan issiq gazlar bevosita cho‘kib turgan yondirgich orqali suyuqlikka barbotaj qilinadi (4.68-rasm).



4.68-rasm. Yondirgichi cho'kib turuvchi barbotajli bug'latkich.
1-purkagich; 2-cho'kib turuvchi yondirgich; 3-qobiq.
I-dastlabki eritma; II-quyultirilgan eritma;
III-yoqilg'i; IV-havo; V-tutun gazlari

Bu qurilmalarda tutun gazlari va suyuqlik o'zaro to'qnashishi uchun ideal sharoit yaratiladi, chunki fazalar to'qnashish yuzasi juda katta bo'ladi.

Barbotajli qurilmalar afzalliklari: qurilmani oddiy uglerodli po'latdan yasash mumkin; issiqlik almashinish yuqori.

Kamchiliklari: qurilma ichki yuzasi korroziyabardosh - keramika, grafit, rezina, plastmassa va hokazo materiallar bilan qoplanishi zarur.

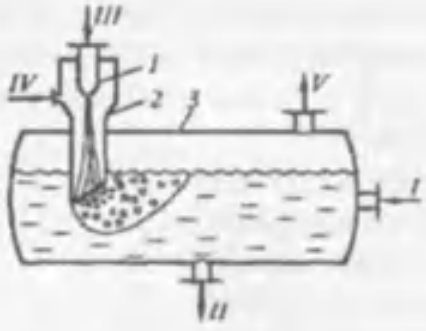
4.17.1. Isituvchi bug'ni tejash usullari

Bug'latish jarayoni ko'p energiya sarflagani uchun issiqlik eltkich tanlash va uni samarali ishlatish muhim vazifadir. Energiya tejashni tubdan hal qilish uchun 1 kg isituvchi bug' yordamida 0,8...0,9 kg dan ortiq ikkilamchi bug' hosil qilinsa jarayon samaradorligi ijobiy bo'ladi. Buning uchun ikkilamchi bug'ni birlamchi sifatida qo'llash imkoniyati barpo bo'lishi kerak. Ammo bevosita ikkilamchi bug'ni birlamchi sifatida qo'llash mumkin emas, chunki ikkilamchi bug'ning kondensatsiyalanish temperaturasi θ eritmaning qaynash temperaturasi t dan temperatura depressiya qiymatiga farqlanadi. Shuning uchun, muammoni yechishning ikkita yo'li bor:

– eritma qaynash temperaturasini pasaytirish, ya'ni ikkilamchi bug'ni qaynash temperaturasi past ($t < \theta$) bo'lgan qurilmada qo'llash;

– ikkilamchi bug' potensiali (bosimi va kondensatsiyalanish temperaturasi) ni isituvchi bug'nikigacha oshirish. Bunga ikkilamchi bug'ni kompressor yoki injektorda siqish yo'li bilan erishish mumkin. Shuni alohida qayd etish kerakki, faqat temperaturani oshirib bug' potensialini yaxshilashga erishib bo'lmaydi, chunki bug'lanish issiqligi kondensatsiyalanish issiqligidan kichik.

Injektor yordamida ikkilamchi bug' siqilganda uning faqat bir qismigina isituvchi bug' bosimigacha siqiladi, shuning uchun ham bunday nasoslar qisman siqib beruvchi issiqlik nasoslari deb nomlanadi.



4.68-rasm. Yondirgichi cho'kib turuvchi barbotajli bug'latkich.
1-purkagich; 2-cho'kib turuvchi yondirgich; 3-qobiq.
I-dastlabki critma; II-quyultirilgan critma;
III-yoqilg'i; IV-havo; V-tutun gazlari

Bu qurilmalarda tutun gazlari va suyuqlik o'zaro to'qnashishi uchun ideal sharoit yaratiladi, chunki fazalar to'qnashish yuzasi juda katta bo'ladi.

Barbotajli qurilmalar afzalliklari: qurilmani oddiy uglerodli po'latdan yasash mumkin; issiqlik almashinish yuqori.

Kamchiliklari: qurilma ichki yuzasi korroziyabardosh - keramika, grafit, rezina, plastmassa va hokazo materiallar bilan qoplanishi zarur.

4.17.1. Isituvchi bug'ni tejash usullari

Bug'latish jarayoni ko'p energiya sarflagani uchun issiqlik eltkich tanlash va uni samarali ishlatish muhim vazifadir. Energiya tejashni tubdan hal qilish uchun 1 kg isituvchi bug' yordamida 0,8...0,9 kg dan ortiq ikkilamchi bug' hosil qilinsa jarayon samaradorligi ijobiy bo'ladi. Buning uchun ikkilamchi bug'ni birlamchi sifatida qo'llash imkoniyati barpo bo'lishi kerak. Ammo bevosita ikkilamchi bug'ni birlamchi sifatida qo'llash mumkin emas, chunki ikkilamchi bug'ning kondensatsiyalanish temperaturasi θ eritmaning qaynash temperaturasi t dan temperatura depressiya qiymatiga farqlanadi. Shuning uchun, muammoni yechishning ikkita yo'li bor:

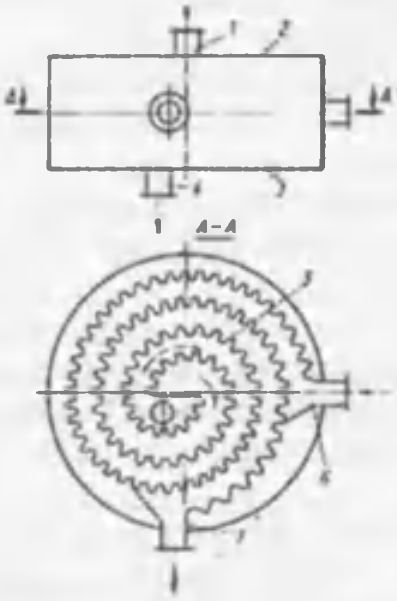
– eritma qaynash temperaturasini pasaytirish, ya'ni ikkilamchi bug'ni qaynash temperaturasi past ($t < \theta$) bo'lgan qurilmada qo'llash;

– ikkilamchi bug' potensiali (bosimi va kondensatsiyalanish temperaturasi) ni isituvchi bug'nikigacha oshirish. Bunga ikkilamchi bug'ni kompressor yoki injektorda siqish yo'li bilan erishish mumkin. Shuni alohida qayd etish kerakki, faqat temperaturani oshirib bug' potensialini yaxshilashga erishib bo'lmaydi, chunki bug'lanish issiqligi kondensatsiyalanish issiqligidan kichik.

Injektor yordamida ikkilamchi bug' siqilganda uning faqat bir qismigina isituvchi bug' bosimigacha siqiladi, shuning uchun ham bunday nasoslar qisman siqib beruvchi issiqlik nasoslari deb nomlanadi.

4.18. Perspektiv issiqlik almashinish qurilmalari

Ma'lum qurilmaga qaraganda, yangi issiqlik almashinish qurilmasi yuqori issiqlik o'tkazish koeffitsiyentli, yemirilishga bardosh, metall va issiqlik eltkichni uzatishga energiya sarfi kam kabi ko'rsatkichlarga ega bo'lishi zarur.



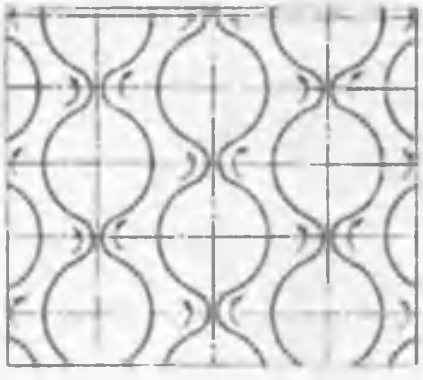
4.69-rasm. Plastinali spiralsimon issiqlik almashinish qurilmasi.
1,4,6,7 – shtuserlar;
2,3 – tekis qopqoqlar;
5 – gofrirlangan list.

Bunday issiqlik almashinish qurilmalarini loyihalash usullaridan biri – issiqlik berishni chegaralaydigan, suyuqlik yupqa qatlamini buzadigan yuzali qurilmalar yaratishdir. 4.69-rasmda samarador plastinali – spiralsimon issiqlik almashinish qurilmasi keltirilgan.

Bu turdagi qurilmalar spiral bo'yicha o'rilgan gofrirlangan list 5 va ikkala tomonidan tekis qopqoq 2 lardan tarkib topgan. Issiqlik eltkichlarni kirish va chiqishi uchun 1,4,6,7 shtuserlar mo'ljallangan. Muhitlarning qarama - qarshi yo'nalishli harakatidagi birinchi issiqlik eltkich shtuser 6 dan kiradi va gofrirlangan kanallar orqali o'tib, shtuser 4 dan chiqariladi. Ikkinchi issiqlik eltkich esa, shtuser 1 dan kirib, gofrirlangan kanaldan o'tib shtuser 7 dan chiqadi.

Gofrirlangan listlardan yasalgan kanallarda sun'iy ravishda hosil qilingan gofrlar yoki makro g'adir-budurliklar diskret joylashgan bo'ladi. Ushbu g'adir-budurliklar devor yuzasidagi suyuqlik chegaraviy qatlamni buzadi va issiqlik almashinish jarayonini intensivlaydi. Undan tashqari, kanallar spiralsimon bo'lgani uchun suyuqlik oqimlari harakati davrida markazdan qochma kuchlar paydo bo'ladi. Bu omil ham jarayonni jadallashiga olib keladi.

Bu turdagi qurilmalar juda yuqori issiqlik – energetik xarakteristikalarga egadir. Masalan, plastinali-spiralsimon issiqlik almashinish qurilmalarida 1 m^2 yuzaga sarflanadigan quvvat miqdori oddiy turbulizatorsiz qobiq-trubali qurilmalarnikiga qaraganda taxminan 10 marta kam.



4.70-rasm. «Babeks» tipidagi issiqlik almashinish qurilmasining kombinatsiyalashgan trubalar o'rami.

Germaniya firmasi «Bavariya Anlagenbau» tomonidan «Babeks» tipidagi issiqlik almashinish qurilmasida ham issiqlik eltkichning chegaraviy qatlami buziladi va jarayon intensivlashadi (4.70-rasm). Bu qurilma qobiq-trubali va plastinali issiqlik almashinish qurilmalarining eng yaxshi xususiyatlarini o'z ichida mujassamlagan.

Issiqlik almashinish yuzalari 0,2...1,0 mm qalinlikdagi shtamplangan metall

listlardan iborat. Metall listda yarim doira shaklidagi ariqchalar shtamplash usulida qilinadi. Shtamplangan listlar simmetrik holatda ketma-ket yig'ilib mahkamlanadi va natijada trubalar va trubalararo bo'shliqlar hosil bo'ladi. Suyuqlik gofrlarni tashqi tomonidan oqib o'tishi paytida to'lqinsimon harakatlanadi. Listlar (1500 va undan ortiq) yig'ilib blok hosil qiladi va uning yuzasi 7200 m^2 gacha bo'lishi mumkin.

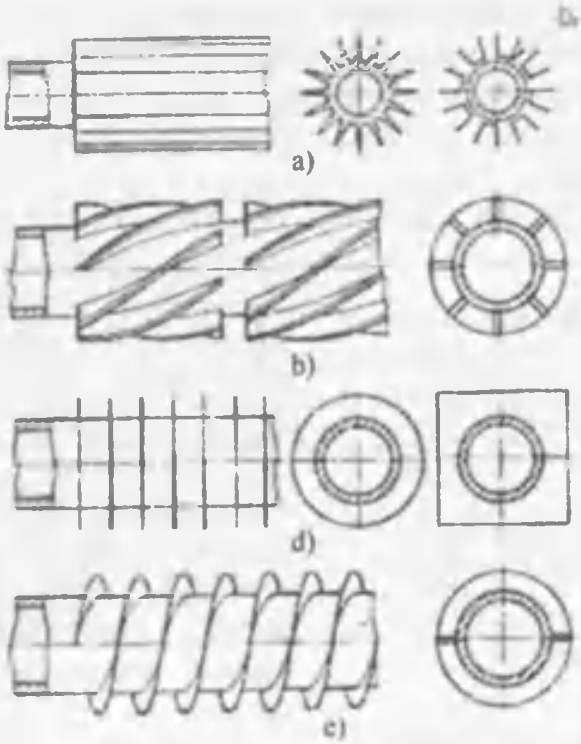
Qurilmaning trubalar bo'shlig'i 8,4 MPa, trubalararo bo'shlig'i esa 10,5 MPa gacha bo'lgan bosimlarga bardosh bera oladi. Issiqlik eltkichlarning temperaturasi 130...760^{0}C oraliqda bo'lishi mumkin.

Ma'lumki, kimyoviy texnologiya jarayonlarida kimyoviy agressiv issiqlik eltkichlar qo'llaniladi. Shuning uchun, qurilma yasashda legirlangan va maxsus materiallardan foydalaniladi.

Qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmalarida jarayonni jadallashtirishning asosiy muammosi – bu issiqlik almashinish yuzasining qarama - qarshi tomonlaridagi termik qarshiliklarni tenglashtirish yoki bir-biriga yaqinlashtirishdir. Bunga erishish uchun issiqlik almashinish yuzasi F oshiriladi yoki issiqlik eltkichning optimal gidrodinamik rejimi tashkil etiladi.

Jarayon gidrodinamikasini yaxshilashdan maqsad, oqimning butun ko'ndalang kesimida temperatura va tezlikni tekislashdir. Natijada, qovushoq, chegaraviy qatlamning termik qarshiligi kamayadi. Ko'pchilik olimlarning tajribalari shuni ko'rsatdiki, issiqlik almashinish jarayoni intensivligini pasaytiruvchi asosiy omillardan biri, bu suyuqlik chegaraviy yupqa qatlamining qalinligidir. Shuning uchun, issiqlik eltkichlarning harakati paytida trubalararo bo'shliq trubalarida hosil bo'ladigan chegaraviy yupqa qatlamni buzadigan turli shakldagi turbulizatorlar qo'llaniladi (4.71-rasm).

Qirrali trubalarda nafaqat issiqlik almashinish yuzasi F ortadi, balki oqim turbulizatsiyasi jadallashganligi sababli qirrali yuzadan issiqlik eltkichga issiqlik berish koeffitsiyentining qiymati ham ko'payadi. Lekin shu bilan birga, gidravlik qarshilik ham



4.71-rasm. Samarador qirrali trubalar

a – bo'ylama qirrali; b - qirqma, spiralsimon qirr
d – ko'ndalang qirqma; e- spiralsimon qirrali.

oshadi, ya'ni suyuqlikni uzatish uchun bo'ladigan qo'shimcha energiya sarfini ham inobatga olish kerak.

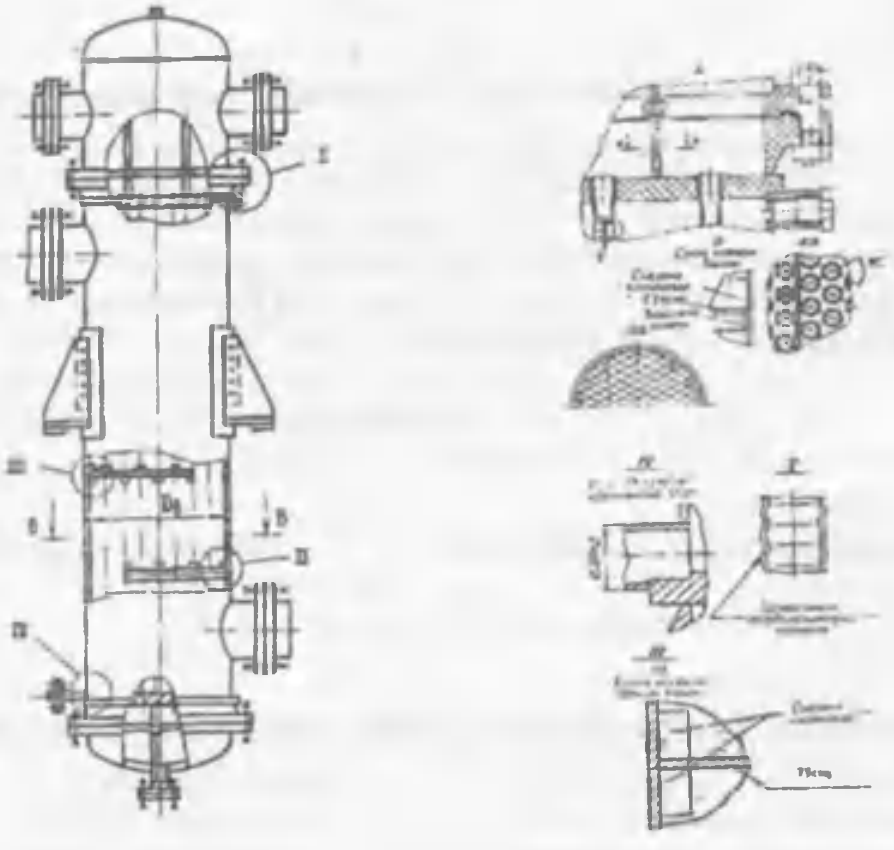
Trubalar samaradorligi qovurg'a shakli, geometrik o'lchami va materialiga bog'liq bo'lib, issiqlik berish koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi.

Issiqlik berish koeffitsiyentini oz miqdorda oshirish uchun po'latdan, ko'p miqdorda oshirish uchun esa – mis va aluminiydan yasalgan qovurg'alar qo'llash maqsadga muvofiq.

Truba ichida hosil bo'ladigan chegaraviy qatlamni buzish va jarayonni intensivlash uchun sun'iy ravishda diskret joylashtirilgan silliq diafragma, g'adir-budurlik va moslamalar juda yuqori samara beradi. Har tomonlama mukammal va samarador issiqlik almashinish yuzali (4.49-rasm) qurilmalardan birining tuzilishi 4.72-rasmda keltirilgan.

Bu turdagi trubali qurilmalarda, hattoki laminar rejimda ham, issiqlik berish koeffitsiyenti oddiy trubalarnikiga qaraganda 20...100% ga ortiq bo'ladi. Agar ushbu qurilma trubalarida diskret yasalgan botiq ariqcha va ichki tomonida silliq, bo'rtiq to'siqlar joylashish qadami t/D = 0,25...1,0, d/D = 0,88...0,94 va $Re \geq 10^4$ bo'lganida jarayon intensivligi Nu/Nu_{tek} = 1,8...3,2 marta ortadi, gidravlik qarshilik esa - ξ/ξ_{tek} = 1,8...7 barobar o'sadi.

Ftoroplast kabi materiallarning kashf etilishi bilan yemirilishga bardosh kimyoviy issiqlik almashinish qurilmalarini yaratish imkoni paydo bo'ldi. Bunday qurilmalar diametri 2...5 mm li trubalardan tayyorlanadi. Qurilmalardagi bosim P = 1,0 MPa va issiqlik eltkichlar orasidagi temperaturalar farqi 200^{0}C gacha bo'lishi mumkin. Odatda, ftoroplastdan yasaladigan qurilmalar qobiq-trubali tuzilishli bo'ladi (4.73-rasm).



4.72-rasm. Samarador qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi.

Egiluvchan polimer trubalar o‘ramining uchlari teshikli panjaraga payvandlanadi (4.73b-rasm). Ftoroplast trubali issiqlik almashinish qurilmalari sulfat kislota, xlorli organik va tibbiyot mahsulotlarini ishlab chiqarishda qo‘llaniladi.

4.73-rasm. Ftoroplast trubali issiqlik almashinish elementi.

Samarador qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmalarini yaratishni yana bir usuli – bu teshikli panjara qalinligini issiqlik almashinish devori yoki unga yaqin qalinlikda qilishdir (4.73b-rasm). Bunday holatlarda, temperaturalar farqi katta bo‘lishiga qaramasdan, truba va teshikli panjara mahkamlanishi joyida kuchlanishlar hosil bo‘lmaydi. Natijada, linza kompensator, U-simon truba yoki harakatchan qalpoqchali konstruksiyalar qilishga hojat qolmaydi.

Undan tashqari, elektromagnit maydonining (o‘ta yuqori chastotasi SVCh) nurlanish energiyasidan issiqlik energiya manbai sifatida foydalanishning kelajagi porloqdir.

4.19. Qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasini hisoblash

Qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasida etil spirti (100%-li) isitilmoqda. Etil spirtning massaviy sarfi G_1=25000 kg/soat, temperaturasi t_{1b}=30^{0}C dan t_{1ox}=70^{0}C gacha isitilmoqda va u trubalararo bo‘shliqda harakatlanmoqda. Isituvchi suyuqlik – suv (to‘yinish bosimidan yuqori bosimda) trubalar ichida harakatlanadi va temperaturasi t_{2b}=170^{0}C dan t_{ox}=130^{0}C gacha pasaymoqda.

Issiqlik hisobi

Yechish:

Etil spirtning o‘rtacha temperaturasi

$$t_{o'rt} = \frac{t_b + t_{ox}}{2} = \frac{30+70}{2} = 50^0 C$$

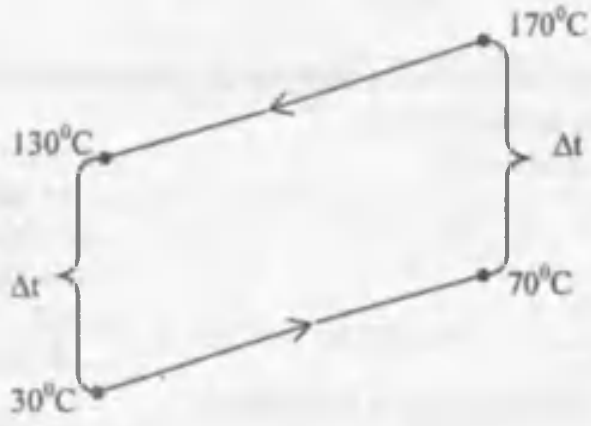
Etil spirtning $t_{o'r}$=50^{0}C dagi fizik-mexanik va issiqlik-diffuzion xossalari:

– zichligi – $\rho_1 = 763$ kg/m^3;
– solishtirma issiqlik sig‘imi – $c_{p1} = 2954$ J/(kg·K);
– issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti – $\lambda_1 = 0{,}1745$ Vt/(kg·K);
– kinematik qovushoqlik koeffitsiyenti – $\nu_1 = 0{,}918 \cdot 10^{-6}$ m^2/s;
– hajmiy kengayshi koeffitsiyenti – $\beta_1 = 1{,}175 \cdot 10^{-3}$ 1/K;
– Prandtl soni – $Pr_{f1} = 11$.

Qurilmaning issiqlik yuklamasi:

$$Q = G_1 \cdot c_{p1}\left(t_{1ox} - t_{1b}\right) = \frac{25000}{3600} \cdot 2954 \cdot \left(70 - 30\right) = 820555,6 \text{Vt}$$

O'rtacha temperaturalar farqini aniqlaymiz:



$$\Delta t_{ka} = 170 - 70 = 100^0\text{C}$$

$$\Delta t_{ki} = 130 - 30 = 100^0\text{C}$$

$$\frac{\Delta t_{ka}}{\Delta t_{ki}} = \frac{100}{100} = 1$$

O'rtacha temperaturalar farqi o'rtacha arifmetik temperatura sifatida topiladi:

$$t_{o'r} = \frac{100 + 100}{2} = 100^0 C$$

Truba devoridan spirtga issiqlik berish koeffitsiyentini α_1 = 140 Vt/(m^2·K) va suvdan devorga esa - α_2 = 415 Vt/(m^2·K) deb qabul qilib olamiz. Legirlangan X18N10T markali po'latdan tayyorlangan trubaning $t_{o'r}$= 100^{0}C dagi issiqlik o'tkazish koeffitsiyentining taxminiy qiymatini 2-2 jadvaldan 120 Vt/(m^2·K) deb tanlab olamiz [5.6]:

Issiqlik oqimining zichligi:

$$q_o = K \cdot \Delta t_{o'r} = 120 \cdot 100 = 12000 \text{ Vt} \cdot / m^2$$

Etil spirti harakatlanayotgan bo'shliqdagi truba devorining temperaturasi

$$t_{w1} = t_1 + \frac{q_0}{\alpha_1} = 50 + \frac{12000}{140} = 135,7^0 C$$

bu yerda, α_1 = 140 Vt/m^2·K deb qabul qilamiz.

Suv harakatlanayotgan truba devorining temperaturasi

$$t_{w2} = t_{w1} + \frac{q_0 \delta}{\lambda} = 135{,}7 + \frac{12000 \cdot 0{,}002}{50{,}7} = 136{,}2\,^{\circ}C$$

Unda, yuqorida hisoblangan issiqlik yuklama uchun zarur yuzani topamiz:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{820555{,}6}{120 \cdot 100} = 68{,}4\ m^2$$

Ushbu, ya'ni F=68,4 m^2 ga mos qobiq-trubali standart issiqlik almashinish qurilmasini 2-4 jadvaldan tanlaymiz [5,6]:

– issiqlik almashinish yuzasi - F = 69 m^2;
– qobiq diametri - D = 800 mm;
– truba diametri - d = 25x2 mm;
– trubalar soni - n = 442
– yo'llar soni - z = 2
– truba uzunligi - l = 2 m;
– trubalararo bo'shliqning eng tor ko'ndalang kesimining yuzasi - f_{mx} = 0,07 m^2;
– trubalararo bo'shliq bitta yo'li ko'ndalang kesimining yuzasi - f_{tr} = 0,077 m^2.

Etil spirtning o'rtacha massaviy tezligi:

$$w_1 = \frac{G_1}{3600 \cdot A_{\Pi 1} \cdot \rho} = \frac{25000}{3600 \cdot 0{,}2854 \cdot 763} = 0{,}032\ \text{m/s}$$

bu yerda, f_{tr} ni quyidagi formuladan hisoblab topsa ham bo'ladi

$$A_{\Pi 1} = \frac{\pi D^2}{4} - n \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}8^2}{4} - 442\frac{3{,}14 \cdot 0{,}025^2}{4} = 0{,}2854 m^2$$

Etil spirtning harakat rejimi Re ni aniqlash uchun trubalararo bo'shliqning ekvivalent diametrini topamiz:

$$d_e = \frac{4 f_{MT}}{\Pi} = \frac{D^2 - nd^2}{D + nd} = \frac{0{,}8^2 - 442 \cdot 0{,}025^2}{0{,}8 + 442 \cdot 0{,}025} = \frac{0{,}3638}{11{,}85} = 0{,}0329 m$$

Etil spirti uchun Re soni:

$$\mathrm{Re} = \frac{w_1 \cdot d_e}{\nu_1} = \frac{0{,}032 \cdot 0{,}0329}{0{,}918 \cdot 10^{-6}} = 1142{,}9$$

Demak, etil spirtining harakat rejimi – laminar, chunki Re_{fl} = 1142,9<2300.

Birinchi yaqinlashishda $l/d_e = 2000/25 = 80$, ya'ni $l/d_e > 50$, unda $\varepsilon_l = 1$.
Prandtl kriteriysini hisoblaymiz

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{c\mu}{\lambda} = \frac{3550 \cdot 0{,}25 \cdot 10^{-3}}{0{,}163} = 5{,}44$$

Grasgof soni esa

$$Gr_{f1} = \frac{gd_e^3}{\nu_2^2}\beta_1(t_{w1} - t_1) = \frac{9{,}81 \cdot 0{,}0329^3}{\left(0{,}918 \cdot 10^{-6}\right)} \cdot 1{,}175 \cdot 10^{-3}(124{,}4 - 50) = 36180000$$

$$Nu_{f1} = 0{,}15 \cdot Re_{f1}^{0,33} \cdot Pr_{f1}^{0,42} \cdot Gr_{f1}^{0,1}\left(\frac{Pr_{f1}}{Pr_{w1}}\right)^{0,25} =$$

$$= 0{,}15 \cdot 1143^{0,33} \cdot 5{,}44^{0,42} \cdot 36180000^{0,1} \cdot \left(\frac{11}{5{,}44}\right)^{0,25} =$$

$$= 0{,}15 \cdot 10{,}2 \cdot 2{,}04 \cdot 32 \cdot 1{,}19 = 118{,}86$$

Truba devoridan etil spirtga issiqlik berish koeffitsiyenti:

$$\alpha_1' = \frac{Nu_{f1} \cdot \lambda_1}{d_e} = \frac{118{,}86 \cdot 0{,}1745}{0{,}0329} = 630{,}4 \quad \frac{\text{Vt}}{m^2 \cdot K}$$

Issiq suvning o'rtacha temperaturasini aniqlaymiz:

$$t_2 = \frac{t_{2b} + t_{2ox}}{2} = \frac{170 + 130}{2} = 150^0 C$$

Suvning temperaturasi $t_2 = 150^0$C bo'lgan davrida uning asosiy parametrlarini topamiz:

– zichligi – $\rho_2 = 917$ kg/m^3;
– solishtirma issiqlik koeffitsiyenti – $c_{p2} = 4313$ kJ/(kg·K);
– issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti – $\lambda_2 = 0{,}684$ Vt/(m^2·K);
– kinematik qovushoqligi – $\nu_2 = 0{,}203 \cdot 10^{-6}$ m^2/s;
– hajmiy kengayish koeffitsiyenti – $\beta_2 = 1{,}03 \cdot 10^{-3}$ 1/K;
– Prandtl soni – $Pr_{f1} = 1{,}17$.

Trubalardagi suvning sarfi:

$$G_2 = \frac{Q}{c_{p2}(t_{2b} - t_{2ox})} = \frac{820555{,}6}{4313(170 - 130)} = 4{,}76 \quad kg/s$$

Truba kanallaridagi suvning o'rtacha massaviy tezligi:

$$w_2 = \frac{4G_2}{\pi d_b^2 \cdot n \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot 4,76}{3,14 \cdot 0,021^2 \cdot 442 \cdot 917} = 0,0374 \ m/s$$

Reynolds soni

$$\mathrm{Re}_{f2} = \frac{w_2 \cdot d_э}{\nu^2} = \frac{0,0374 \cdot 0,021}{0,203 \cdot 10^{-6}} = 3869$$

ya'ni issiq suv o'tish rejimida harakatlanmoqda.

Grasgof sonini hisoblaymiz:

$$Gr_{f2} = \frac{g d_b^3}{\nu_2^2} \beta_2 \cdot (t_{w2} - t_2) = \frac{9,81 \cdot 0,021^3}{(0,203 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot (150 - 135,7) =$$

$$= \frac{9,81 \cdot 9,26 \cdot 10^{-6}}{0,041 \cdot 10^{-12}} \cdot 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot 14,3 = 32633931$$

Issiq suv oqimi uchun Nusselt sonini topamiz:

$$Nu_{f2} = 0,15 \cdot Re_{f2}^{0,33} \cdot Pr_{f2}^{0,42} \cdot Gr_{f2}^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_{a2}}{Pr_{w2}}\right)^{0,25} =$$

$$= 0,15 \cdot 3869^{0,33} \cdot 1,17^{0,42} \cdot 32633931^{0,1} \cdot \left(\frac{1,17}{1,22}\right)^{0,25} = 13,68$$

$$\mathrm{Pr}_{w2} = \frac{c_2 \mu_2}{\lambda_2} = \frac{4270 \cdot 0,196 \cdot 10^{-3}}{0,685} = 1,22$$

Issiq suvning $t_{w2} = 136,2^0$C dagi parametrlari quyidagicha [5,6]:

$\lambda_2 = 0,685$ Vt/(m·K)

$c_2 = 4270$ J/(kg·K)

$\mu_2 = 0,196 \cdot 10^{-3}$ Pa·s

Issiq suvdan devorga issiqlik berish koeffitsiyentini hisoblaymiz:

$$\alpha_2' = \frac{Nu_{f2} \cdot \lambda_2}{d_э} = \frac{13,68 \cdot 0,685}{0,021} = 446,15 \ Vt/(m^2 \cdot K)$$

Issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti esa

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{st}}{\lambda_{st}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{630,4} + \frac{0,002}{50,2} + \frac{1}{446,15}} =$$

$$= \frac{1}{0,00158 + 0,0000398 + 0,00224} = \frac{1}{0,00386} = 259,1 \quad \frac{Vt}{m^2 \cdot K}$$

Issiqlik almashinish yuzasi:

$$F = \frac{820555,6}{235,96 \cdot 100} = 34,8 \quad m^2$$

Aniqlovchi hisoblashlar asosida kelib chiqqan issiqlik almashinish yuzasiga mos standart qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi qaytadan 2-4 jadvaldan tanlanadi [5,6]:

– issiqlik almashinish yuzasi – $F = 38$ m^2
– qobiq diametri – $D = 600$ mm
– truba diametri – $d = 25$x2 mm
– trubalar soni – $n = 240$
– truba uzunligi – $l = 2,0$ m
– yo'llar soni – $z = 2$
– bo'shliqning eng tor ko'ndalang kesimning yuzasi – $f_{mt} = 0,040$ m^2
– truba bitta yo'li ko'ndalang kesimining yuzasi – $f_{tr} = 0,042$ m^2

Gidravlik hisob

Trubalar ozgina korroziyaga uchragan po'latdan yasalgan deb qabul qilamiz. Truba devorining g'adir-budurligi $e = 0,2$ mm.

$$\varepsilon = \frac{e}{d_e} = \frac{0,2}{21} = 0,0095$$

$Re_{f2} = 3869$ va $d_e/e = 105$ bo'lgan hol uchun gidravlik qarshilik koeffitsiyentni aniqlaymiz.

$$\lambda = \frac{1}{4 \cdot \left\{ \lg \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{\mathrm{Re}} \right)^{0,9} \right] \right\}^2} = \frac{1}{4 \cdot \left\{ \lg \left[\frac{0,0095}{3,7} + \left(\frac{6,81}{3869} \right)^{0,9} \right] \right\}^2} = \frac{1}{19,892} = 0,0503$$

Trubalardagi tezlik bosimi

$$\Delta p_{tez} = \frac{\rho w^2}{2} = \frac{917 \cdot 0,0374^2}{2} = 0,641 \quad Pa$$

Ishqalanish qarshiligini yengish jarayonidagi bosimning yo'qotilishi:

$$\Delta p_{iq} = \lambda\left(\frac{nL}{d_e}\right)\cdot\Delta p_{tez} = 0,0503\left(\frac{240\cdot 2}{0,021}\right)\cdot 0,641 = 737 \quad Pa$$

Mahalliy qarshilik koeffitsiyentlari:

a) kameraga kirish va chiqish - $\xi_1 = 3$;

b) trubaga kirish va undan chiqish - $\xi_2 = 2$.

Jami: $\sum\xi = 5$

$$\Delta p_{mq} = \sum\xi\cdot\frac{\rho w^2}{2} = 5\cdot\frac{917\cdot 0,0374^2}{2} = 3,2 \quad Pa$$

Bosimning umumiy yo'qotilishi

$$\Delta p_{um} = \Delta p_{iq} + \Delta p_{mq} = 737 + 3,2 = 740,2 \quad Pa$$

Issiq suvni qurilmaga uzatish uchun nasos tanlaymiz. Nasosni tanlash asosan 2 parametr bo'yicha amalga oshiriladi:

– hajmiy sarf - V (m^3/s yoki l/s);

– nasos hosil qilayotgan to'liq bosim - P (Pa).

Nasosning hajmiy sarfi:

$$V = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{4,76}{917} = 0,0052 \quad m^3/s$$

To'liq napor esa

$$P = P_{um} = 0,075 \; m.suv.ust.$$

So'ng esa, suvni uzatish uchun zarur bo'lgan ko'rsatkichlar V va Δp_{um} bo'yicha mos keladigan standart nasosni tanlaymiz [6, 128].

Nasos turi X20/18; $V = 5,5\cdot10^{-3}$ m^3/s; $N = 10,5$ m;

$n = 48,3$ 1/s; $\eta_n = 0,6$

Elektr yuritkich tipi A02-31-2; $N = 3$ kVt; $\eta_{yu} = 0,83$

Issiqlik almashinish jarayonini intensivlash uchun samarador trubani aniqlaymiz.

Ma'lumki, «suyuqlik-suyuqlik» sistemasi uchun «nakatkali» trubalardan tayyorlangan «yuqori issiqlik samaradorlikka ega qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilma» ni TU 26-02-925-81 dan tanlaymiz. Ushbu turdagi trubalar jarayonni intensivlashda yuqori samara beradi. Buning uchun «nakatka» parametrlari quyidagicha bo'lgan trubani ko'rib chiqamiz:

$$\frac{d}{D} = 0,983 \quad \text{va} \quad \frac{t}{D} = 0,496$$

Ushbu nakatka parametrli trubalar uchun issiqlik almashinish jarayonining intensivligi quyidagiga teng

$$\frac{Nu}{Nu_{tek}} = 1,34$$

Gidravlik qarshilikning o'zgarishi esa quyidagiga teng bo'ladi:

$$\frac{\xi}{\xi_{tek}} = 1,08$$

«Nakatka» trubali issiqlik almashinish qurilmasida issiq suv harakat qilayotgan tomondagi α koeffitsiyentni quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\alpha_{nak} = 1,34 \cdot \alpha_{tek} = 1,34 \cdot 446,15 = 597,91 \ Vt/(m^2 \cdot K)$$

Yuqori samador trubalardan yasalgan issiqlik almashinish qurilma issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti K ushbu formulalardan hisoblab topsa bo'ladi:

$$K_{nak} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{nak}}} = \frac{1}{\frac{1}{630,4} + \frac{0,002}{50,2} + \frac{1}{597,91}} = \frac{1}{3,3 \cdot 10^{-3}} = 303 \frac{Vt}{m^2 \cdot K}$$

Jarayonni «nakatka» issiqlik almashinish trubalari yordamida intensivlash natijasida issiqlik almashinish yuzasining kamayish miqdori ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$F_{nak} = \frac{Q}{K_{nak} \cdot \Delta t} = \frac{820555,6}{303 \cdot 100} = 27,1 \ \ m^2$$

Qurilmaga eltkichlarning kirish va undan chiqish temperaturalarini hamda uning issiqlik yuklamasini (Q = 820555,6 Vt = const) o'zgarmas holda saqlab qolinsa, unda trubalar uzunligini quyidagi miqdorgacha kamaytirsa bo'ladi.

$$l_{nak} = \frac{F_{nak}}{\pi d_v n} = \frac{27,1}{3,14 \cdot 0,021 \cdot 240} = 1,71 \ m$$

Tekis trubali issiqlik almashinish qurilma trubasining uzunligi

$$l = \frac{F}{\pi d_v n} = \frac{34,8}{3,14 \cdot 0,021 \cdot 240} = 2,19 \ m$$

Ko'rinib turibdiki, nakatka qilingan trubalar jarayon samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Shuning uchun, tekis trubadan yasalgan isitkich trubasining

uzunligi $l = 2{,}19$ m, «nakatka» qilingan trubaniki esa – $l = 1{,}71$. Demak, qurilmadagi har bir trubaning uzunligi $\Delta = 0{,}48$ m (22%) ga kamaytirilishi mumkin.

Demak, nakatkali trubadan yasalgan standart issiqlik almashinish qurilma trubasining uzunligi $l_{nak} = 1{,}56$ m qilib tayyorlansa ham bo'ladi.

Agarda trubaning uzunligi $l = 2$ m ni o'zgartirmasak, unda isitkichning diametrini kamaytirish mumkin, chunki $F = 27{,}1$ m^2 yuza uchun $N = 195$ dona nakatkali truba zarur, ya'ni 45 ta truba tejaladi. Natijada, isitkich diametri 20% ga kamayadi.

Eksergetik hisob

Atrof-muhit temperaturasi $T_{atm} = 298$ K bo'lgan sharoit uchun spirtga uzatilayotgan suv oqimining eksergiya (11-bobda batafsil keltirilgan) sini hisoblaymiz:

$$\tau_{tekv} = 1 - \frac{T_{atm}}{T_{vm}} = 1 - \frac{298}{423} = 0{,}296$$

spirt oqimi uchun τ ni topamiz

$$\tau_{sp} = 1 - \frac{T_{atm}}{T_{sp}} = 1 - \frac{298}{323} = 0{,}0774$$

Suv uzatgan eksergiyani topamiz

$$E_v = Q \cdot \tau_{sp} = 820555{,}6 \cdot 0{,}296 = 242884{,}5 Vt$$

Etil spirti uzatgan eksergiya esa

$$E_v = Q \cdot \tau_{sp} = 820555{,}6 \cdot 0{,}0774 = 6351\,1 Vt$$

Eksergetik yo'qotilishlarni hisoblaymiz:

$$D_{tek} = E_v - E_{sp} = 179373{,}5 Vt$$

Trubani «nakatka» tipida intensivlovchi makrog'adir-budurliklar qilish natijasida gidravlik qarshiliklari ortadi. Bundagi bosimning yo'qotilishini topish uchun $\xi/\xi_{tek} = 1{,}08$ ekanligini inobatga olish zarur.

«Nakatka» li issiqlik almashinish trubalari uchun gidravlik qarshilik koeffitsiyenti quyidagi tenglikdan topiladi:

$$\lambda_{nak} = 1{,}08 \cdot \lambda_{tek} = 1{,}08 \cdot 0{,}0505 = 0{,}05432$$

Bundan, ishqalanish qarshiligini yengish jarayonida bosimning yo'qotilishi

$$\Delta p_{ik} = \lambda \cdot \left(\frac{n \cdot l}{d_e} \right) \cdot \Delta p_{tez} = 0{,}05432 \frac{240 \cdot 2}{0{,}021} \cdot 0{,}641 = 795{,}9 \ Pa$$

Mahalliy qarshiliklar tufayli bosimning yo'qotilish qiymatlari o'zgarmasdir.

Unda, umumiy gidravlik yo'qotilishlar quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta P_{um} = \Delta P_{mk} + \Delta P_{ik} = 795{,}5 + 3{,}2 = 799{,}1 Pa$$

Ishqalanish qarshiligini yengishda bosim yo'qotilishining ortishi juda kichik bo'lgani uchun, suvni uzatishda eksergetik yo'qotilishlarni hisoblamasa ham bo'ladi.

«Nakatka» trubali samarador trubalarni qo'llab, issiqlik almashinish jarayonini intensivlash mumkin. Lekin gidravlik qarshilik bu usulda sezilarsiz miqdorda ortadi.

Natijada qurilmaning gabarit o'lchamlari va massasini kamaytirish mumkin.

Mexanik hisob

Trubaning teshikli panjarasi sifatida III-tipdagi konstruksiyani tanlaymiz [5,128].

Mexanik hisoblashda quyidagi parametrlar aniqlanadi: bolt joylashtiriladigan aylana diametri; qistirmani siqish kuchi; boltni cho'zuvchi kuchlanish; bolt diametri; boltlar soni; flanetsning tashqi diametri va qalinligi.

Boltlarni joylashtirish diametri:

$$D_b = 1{,}1 \cdot D_t^{0{,}933} = 1{,}1 \cdot 0{,}602^{0{,}933} = 0{,}685 m$$

bu yerda, D_t – flanetsning ichki diametri (odatda u qobiqning tashqi diametriga teng).

Zichlovchi qistirmani siqish kuchi (qistirma eni 0,02 m va ichki diametri 0,62 m):

$$P_k = \pi \cdot D_{kur} \cdot b \cdot k \cdot p = 3{,}14 \cdot 0{,}6125 \cdot 0{,}1 \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}6 = 0{,}77$$

bu yerda, $b = \sqrt{b_0} = 3{,}16$; b_0 – qistirmaning haqiqiy eni, m.

$$D_{kur} = \frac{2D_t + 0{,}015}{2} = \frac{2 \cdot 0{,}602 + 0{,}015}{2} = 0{,}6095 m$$

Boltlarni cho'zuvchi kuchlanishi:

$$p_{ti} = \frac{\pi D_{kur}}{4} \cdot p + P_K = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}6095^2}{4} 1{,}6 + 0{,}77 = 1{,}237 MH$$

bu yerda $p = 1{,}6\ MPa$ – suvning ishchi bosimi.

Boltlar diametrini hisoblash.

$$d_b = \frac{D_b - D_t}{2} - 0{,}006 = \frac{0{,}685 - 0{,}612}{2} - 0{,}006 = 0{,}03 \quad m$$

bu yerda D_t – flanetsdagi payvandlash chokining tashqi diametri, m.

Rezbasining diametri M27x1,5 bo'lgan boltni tanlaymiz. Bolt rezbasining ichki diametri d = 23,5 mm ga teng. Bolt ko'ndalang kesimining yuzasi (rezbaning ichki diametri bo'yicha):

$$F_b = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}0235^2}{4} = 4{,}34 \cdot 10^{-4} \quad m^2$$

Boltlar soni

$$z = \frac{p_b}{\sigma_Д \cdot F_b} = \frac{1,237}{126 \cdot 4,34 \cdot 10^{-4}} = \frac{1,237}{0,055} = 22,62 \approx 24 dona$$

Flanetsning tashqi diametri:

$$D_ф = D_b + 1,83 \cdot d_b = 0,685 + 1,83 \cdot 0,03 = 0,74 m$$

Ishchi jarayonida flanetsga tushayotgan yuklama:

$$P = \frac{D_ф}{D_ф - D_u}\left[p_б \frac{D_u}{D_б}\left(\frac{D_b}{D_{кур}} - 1\right) + \frac{\pi D_{кур}^2}{4} p \cdot \left(1 - \frac{D_u}{D_{кур}}\right)\right] =$$

$$= \frac{0,74}{0,74 - 0,602}\left[1,237 \cdot \frac{0,602}{0,685}\left(\frac{0,685}{0,6095} - 1\right) + \frac{3,14 \cdot 0,6095^2}{4} 1,6 \cdot \left(1 - \frac{0,602}{0,6095}\right)\right] =$$

$$= 5,36(0,13 + 0,471 \cdot 0,0171) = 0,74 \ MH$$

Yordamchi kattaliklar:

$$\Phi = \left(\frac{p}{\sigma_T}\right) \cdot \Psi_1 = \frac{1,6}{240} \cdot 1,1 = 0,0073$$

$$A = 2 \cdot \psi_2 \cdot \delta^2 = 2 \cdot 5 \cdot 0,005^2 = 0,00025$$

bu yerda, σ_T – ishchi temperaturada flanets materialining oquvchanlik chegarasi, MN/m^2 (St.3 va X18H10T po'latlar uchun σ_T = 240 MN/m^2 deb qabul qilsa bo'ladi); δ = 0,005 – qobiq qalinligi, m; ψ_1, ψ_2 – koeffitsiyentlar, ularning son qiymati IV.2-rasmdan aniqlanadi [5,128].

$F > 1,13A$ bo'lgani uchun flanets balandligini ushbu formuladan aniqlaymiz:

$$h = 0,43\sqrt[3]{D_u(\Phi - 0,85A)} = 0,43\sqrt[3]{0,602(0,0073 - 0,85 \cdot 0,00025)} = 0,0691 \ m$$

Truba teshikli panjarasining o'rta qismidagi balandligi esa ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$h = \frac{K \cdot D_t}{\phi_o}\sqrt{\frac{p}{\sigma_{id}}} + c_k + c_{yaxl} = \frac{0,6 \cdot 0,602}{0,982}\sqrt{\frac{1,6}{126}} + 0,001 + c_{yaxl} =$$

$$= 0,387 \cdot 0,11 + 0,001 + c_{yaxl} = 0,0413 + 0,001 + c_{yaxl} \approx 0,05 \ m$$

bu yerda, K = 0,6 – truba teshikli panjarasining konstruksiyasiga bog'liq koeffitsiyent; σ_{id} – material uchun ruxsat etilgan egilish kuchlanishi, MN/m^2 (mo'rt bo'lmagan materiallar uchun $\sigma_{id} = \sigma_{yuz.d}$); φ_o – truba mahkamlanadigan panjaraning teshiklar qilinishi natijasida mustahkamligini ifodalovchi koeffitsiyent. Ushbu, φ_o koeffitsiyentni quyidagi formuladan topish mumkin:

$$\varphi_0 = 1 - 0,43 \cdot \frac{d}{D} = 1 - 0,43\frac{0,025}{0,602} = 0,982$$

bu yerda. $\sum d_o$ – truba mahkamlanadigan panjara diametridagi teshiklar diametrlarining yig'indisi quyidagicha topiladi:

$$\sum d_0 = z \cdot d = 18 \cdot 0{,}025 = 0{,}45$$

Teshikli panjara diametridagi trubalar soni z qurilmadagi trubalarning umumiy soni n orqali ushbu formuladan topiladi:

$$z = 2\sqrt{\frac{n-1}{3} + 0{,}25} = 2\sqrt{\frac{240-1}{3} + 0{,}25} = 17{,}88 \approx 18 \text{ dona}$$

4.20. Havo bilan sovutiladigan qurilmani hisoblash

Bosimi P=0,06MPa va sarfi G=13,6 t/soat bo'lgan uglevodorodni kondensatsiyalash va so'ng sovitish uchun havo bilan sovutiladigan qurilma hisoblansin va standart qurilma tanlansin. Uglevodorodning qurilmadan chiqishdagi temperaturasi t=45^{0}C. Qurilma Qo'ng'irot shahrida o'rnatilgan.

Ye ch i sh : trubalar ichida suyuqlik harakati ideal siqib chiqarish qurilmalari ishlash prinsipiga o'xshash bo'lgani uchun, uni ikki zonaga bo'lish mumkin: kondensatsiya va kondensat sovitish. Kondensatsiya zonasining butun uzunligi bo'yicha temperatura o'zgarmas va absolyut bosim P=0,1+0,06=0,16 MPa da temperaturasi t_1=110^{0}C.

t_1=110^{0}C da kondensatning xossalari:

- zichlik - ρ_1=760 kg/m^3;
- qovushoqlik - μ_1=3·10^{-4}Pa·s;
- solishtirma issiqlik sig'im - c_1=2450 J/(kgK);
- issiqlik o'tkazuvchanlik - λ=0,13 Vt/(mK);
- kondensatsiyalanish solishtirma issiqligi - r_1=3,19·10^5 J/kg.

Sovitish zonasidagi kondensat temperaturasi:

$$t_{o'r} = \frac{110-45}{\ln\frac{110}{45}} = 72{,}7^0C$$

Ushbu temperaturada kondensat xossalari.

- zichlik ρ_1=780 kg/m^3;
- qovushoqlik μ_1=7,3·10^{-4}Pa·s;
- solishtirma issiqlik sig'im c_1=2150 J/(kgK);
- issiqlik o'tkazuvchanlik λ_1=0,14 Vt/(mK).

Yoz fasli uchun Qo'ng'irot shahridagi o'rtacha temperatura 29,3^{0}C.

θ=29,3+2,7=32^{0}C

Qurilmadan chiqayotgan havo temperaturasi - θ=60^{0}C. Kondensatsiyalanish va sovitish zonalarida eltkichlar orasidagi temperaturalar taqsimlanishi:

t_1=110^{0}C ↔ t_1=110^{0}C
θ=32^{0}C → θ=60^{0}C
Δt_{ka}=78^{0}C Δt_{ki}=50^{0}C

t_1=110^{0}C → t_1=45^{0}C
θ=60^{0}C ← θ=32^{0}C
Δt_{ka}=78^{0}C Δt_{ki}=50^{0}C

Unda, o'rtacha temperaturalar farqi.

$$\Delta t_{o'r} = \frac{78+50}{2} = 64^0 C \qquad \Delta t_{o'r} = \frac{50-13}{\ln\frac{50}{13}} = 27,4^0 C$$

Sovitish zonasida eltkichlar aralash yo'nalishlarda harakatlangani uchun

$$p = \frac{60-32}{110-32} = 0,36; \qquad R = \frac{110-45}{60-32} = 2,32;$$

va E_t=0,73

Bu holatda

$$\Delta t_{o'r} = 27,4 \cdot 0,73 = 20^0 C$$

. Kondensatsiyalanish va sovitish zonalari uchun taxminiy issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti K=200Vt/(m^{2}K) deb qabul qilamiz.

Kondensatsiya zonasidagi issiqlik oqimi

$$Q_1 = G_1 r_1 = \frac{13600}{3600} 3,19 \cdot 10^5 = 1170000 Vt$$

Kondensatsiya zonasi uchun issiqlik almashinish yuzasi

$$F_1 = \frac{Q_1}{K \cdot \Delta t_{o'r}} = \frac{1170000}{200 \cdot 64} = 91,4 m^2$$

Sovitish zonasi uchun issiqlik almashinish yuzasi

$$F_2 = \frac{Q_2}{K \cdot \Delta t_{o'r}} = \frac{520000}{200 \cdot 20} = 130 m^2$$

Umumiy issiqlik almashinish yuzasi

$$F = F_1 + F_2 = 91,4 + 130 = 221,4 m^2$$

6.19-jadvaldan AVT tipdagi 3 seksiyali qurilma tanlaymiz [136]. Har bir seksiya yuzasi

$$F_c = \frac{F}{3} = \frac{221,4}{3} = 73,8 m^2$$

Yuza bo'yicha taxminan 25% li zaxira bilan 4-9 jadvaldan quyidagi seksiyani tanlaymiz:

F_c=98 m^2; L=8 m; n_c=6; n_x=141; z_x=1; K_{op}=9; Truba – monometallik.

4-9 jadval

Qovurg'alanish koeffitsiyenti, K_{qr}	Seksiyadagi truba qatorlari soni, n_c	Yo'llar soni, z_x	Bir qatordagi trubalar soni, n_x	Truba tashqi tomoni yuzasi, F_n, m^2			
				Qovurg'alanmagan truba uzunligi, m		Qovurg'alangan truba uzunligi, m	
				4	8	4	8
9	4	1 2 4	94 27 24; 23	33	66	295	590
9	6	1 2 3 6	141 71; 70 47 24; 23	49	98	440	880

4-9 jadvalning davomi

	8	1 2 4 8	188 94 47 24; 23	65	130	582	1162
14,6	4	1 2 3	82 41 21; 20	28	57	415	830
	6	1 2 3 6	123 61; 62 41 21; 20	42	85	632	1265
	8	1 2 4 8	164 82 41 21; 20	57	114	850	1700

Aniqlovchi hisob. Havoning o'rtacha temperaturasi

$$\theta = t_{o'r} - t_{o'r2} = 72,7 - 20 = 52,7°C$$

Ushbu temperaturada havoning xossalari

$$\rho_x = \frac{1,29 \cdot 273}{273 + 53} = 1,08\, kg/m^3$$

– qovushoqlik $\mu_x = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa·s;
– solishtirma issiqlik sig'im $c_x = 1000$ J/(kgK);
– issiqlik o'tkazuvchanlik $\lambda_x = 0,028$ Vt/(mK);

Havoning umumiy sarfi

$$V_x = \frac{Q_1 + Q_2}{\rho_x \cdot c_x \cdot (\theta_2 - \theta_1)} = \frac{1690000}{1,08 \cdot 1000 \cdot (60 - 32)} = 55,9\, m^3/s$$

4-10 jadval

n_s	Bosim p (MPa) bo'lganda δ_t (mm) qiymatlari					
	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4
4	20	25	32	39	50	62
6	25	32	39	50	62	78
8	30	39	50	60	76	96

Teshikli panjara qalinligi δ_t=39 mm (4-10 jadval) bo'lganda trubalararo bo'shliq ko'ndalang kesimi yuzasi:

$$f_{trar} = z_c \cdot b \cdot (L - 2\delta_p) \cdot f_c = 2 \cdot 1,26 \cdot (8 - 2 \cdot 0,039) \cdot 0,34 = 6m^2$$

bu yerda, b=1,26 m – seksiyadagi bo'sh kenglik; f_c – seksiya nisbiy erkin ko'ndalang kesim (f_c=0,34, K_{av}=9 da; f_c=0,38, K_{av}=14,6 da).

Trubalar o'rami eng tor ko'ndalang kesimidagi havo tezligi

$$w_{trar} = \frac{55,9}{6} = 9,32\ m/s$$

Havo uchun Prandtl kriteriysi

$$\Pr = \frac{1000 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{0,028} = 0,714$$

K_{or}=9 da havodan trubaga issiqlik berish koeffitsiyenti

$$\alpha_2 = c_2 \cdot \lambda_x \cdot \left(\frac{w \cdot \rho_x}{\mu_x}\right)^{0,65} \cdot \Pr^{0,35} =$$

$$= 0,5 \cdot 0,028 \cdot \left(\frac{9,32 \cdot 1,08}{2 \cdot 10^{-5}}\right)^{0,65} \cdot 0,714^{0,35} = 65\, Vt/m^2 \cdot K$$

Unda $\alpha_{yp} = c_1 \cdot \alpha_2 = 0,83 \cdot 65 = 54 Vt/m^2 K$

bu yerda K_{or}=9 da; c_1=0,83 va c_2=0,5; K_{or}=14,6 da c_1=0,65 va c_2=0,48.

Kondensatsiyalanayotgan uglevodorod bug'idan gorizontal devorga issiqlik berish

$$\alpha_1 = 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{r \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3 \cdot g}{\mu \cdot \ell \cdot \Delta t_{kon}}} = 0,72 \sqrt[4]{\frac{3,19 \cdot 10^5 \cdot 760^2 \cdot 0,013^3 \cdot 9,81}{3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,022 \cdot \Delta t_{kon}}} = \frac{5940}{\Delta t_{kon}^{0,25}}$$

Bu formuladagi $\Delta t = t_2 - t_d$, bo'lgani uchun, issiqlik hisobi kondensatsiyalanayotgan bug' devori temperaturasi t_d, quyidagi formuladan topiladi.

$$q = \alpha_1 \cdot (t_1 - t_{g1}) = \frac{t_{g1} - t_{g2}}{r_{if1} + \frac{\delta_g}{\lambda_g} + r_{if2}} = (t_{g1} - \theta_{o'r}) \cdot \alpha_{pr} \cdot K_{or}$$

bu yerda iflosliklar termik qarshiligi r_{if1}=4·10^{-4} m^2·K/Vt – uglevodorodlardan; r_{if2}=3·10^{-4} m^2·K/Vt havodan. Aluminiy devorning δ_g=3 mm da termik qarshiligi λ_g=203 Vt/m·K.

Unda

$$\frac{\delta_g}{\lambda_g} = \frac{0,003}{203} = 1,5 \cdot 10^{-5}\ m^2 \cdot K / Vt$$

Kondensatsiya zonasidagi o'rtacha temperatura

$$\theta_{o'r} = t_1 - \Delta t_{o'r1} = 110 - 64 = 46^{\circ}C$$

Ushbu ko'rsatkichlarda, α_{pr}=54 Vt/m^2·K va K_{or}=9 larni inobatga olib

$$q = 5940 \cdot \Delta t_{kon}^{0,25} = \frac{\Delta t_2}{7,15 \cdot 10^{-4}} = 436,5 \cdot \Delta t_2$$

bu yerda $\Delta t_1 = t_1 - t_{o1}$, $\Delta t_o = t_{o1} - t_{o2}$, $\Delta t_2 = t_{o2} - \theta_{o'r}$

Ushbu tenglama bo'yicha q ning ma'lumotlari 4-11 jadvalda keltirilgan.

4-11 jadval

Δt_{o1}, °C	Δt_1, °C	$q = 5940 \cdot \Delta t_1^{0,75}$	$\Delta t_o = 7,15 \cdot 10^{-4} \cdot q_1$	$t_{o2} = t_{o1} - \Delta t_o$	$\Delta t_2 = t_{o2} - \theta_{yp}$	$q = 436,5 \cdot \Delta t_2$
105,5	4,5	18350	13,1	92,4	48,4	21100
105	5	19860	14.2	90,8	46.8	20400

Jadvalning oxirgi qatoridan quyidagini olamiz.

$$q_{o'r} = \frac{19860 + 20400}{2} = 20130\ Vt/\text{m}^2$$

Kondensatsiya zonasi uchun zarur issiqlik almashinish yuzasi

$$F_1 = \frac{Q_1}{q_{o'r}} = \frac{1170000}{20130} = 58\ m^2$$

Sovitish zonasida turbulent rejim ($Re>10^4$) deb qabul qilamiz. Unda, uglevodorodning trubadagi tezligi

$$w = \frac{\text{Re} \cdot \mu_2}{d_x \cdot \rho_2} = \frac{10000 \cdot 7{,}3 \cdot 10^{-4}}{0{,}022 \cdot 760} = 0{,}437\ m/s$$

Bu yerda, monometallik truba uchun d_x=22 mm deb qabul qilingan. Uglevodorodlarning hajmiy sarfi

$$V_2 = \frac{3{,}78}{760} = 0{,}005\ m^3/s$$

Uglevodorod turbulent rejimida bir yo'ldagi trubalar soni

$$n_x = \frac{0{,}005}{0{,}785 \cdot 0{,}022^2 \cdot 0{,}437} = 30\ dona$$

F_s=98 m^2 da 4-9 jadvaldan z_x=6 va n_x=24 li seksiya tanlaymiz va truba ichida uglevodorod tezligining aniq tezligini topamiz.

$$w = \frac{0{,}005}{0{,}785 \cdot 0{,}022^2 \cdot 24} = 0{,}548\ m/s$$

Re va *Pr* kriteriylarini hisoblaymiz.

$$\text{Re} = \frac{0{,}548 \cdot 760 \cdot 0{,}022}{7{,}3 \cdot 10^{-4}} = 12550$$

$$\text{Pr} = \frac{2150 \cdot 7{,}3 \cdot 10^{-4}}{0{,}14} = 11{,}2$$

Issiqlik almashinish intensivligi

$$Nu = 0{,}021 \cdot \text{Re}^{0.8} \cdot \text{Pr}^{0.43} = 0{,}021 \cdot 12550^{0.8} \cdot 11{,}2^{0.43} = 112$$

Issiqlik berish koeffitsiyenti (uglevodoroddan devorga)

$$\alpha_1 = \frac{112 \cdot 0{,}14}{0{,}022} = 713\ Vt/m^2 \cdot K$$

Devor termik qarshiligi Σr_∂=7,15·10^{-4} m^2·K/Vt bo'lganda, sovitish zonasidagi umumiy issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagiga teng

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + r_{g1} + \frac{\delta_g}{\lambda_g} + r_{g2} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{713} + 7{,}15 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{54{,}9}} = 239{,}5 \approx 240\ Vt/m^2 \cdot K$$

Sovitish zonasining aniq issiqlik almashinish yuzasi

$$F_2 = \frac{Q_2}{K_2 \cdot \Delta t_{o'r2}} = \frac{520000}{240 \cdot 20} = 108{,}3\ m^2$$

Umumiy issiqlik almashinish yuzasi

$$F = F_1 + F_2 = 58 + 108{,}3 = 166{,}8 m^2$$

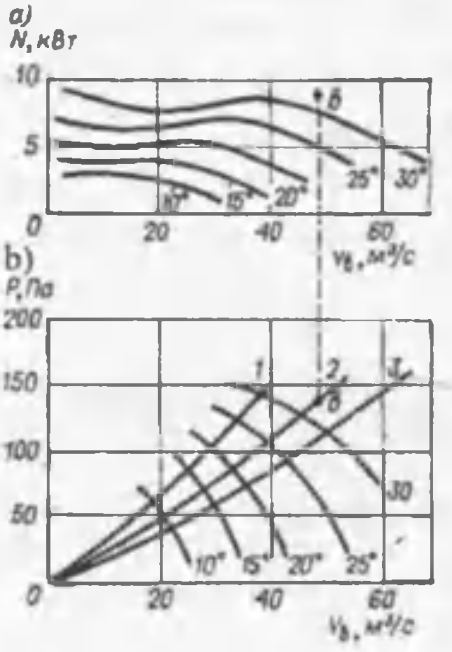
Unda. bitta seksiya uchun zarur issiqlik almashinish yuzasi

$$F_s = \frac{F}{3} = \frac{166{,}3}{3} = 55{,}4\ m^2$$

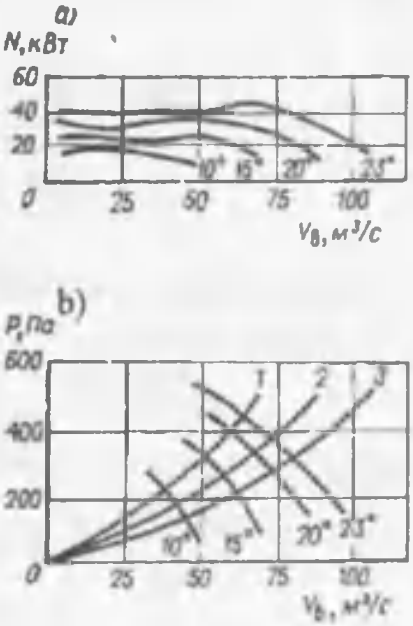
Aniqlovchi hisob asosida (2.13-jadvaldan) bitta seksiya yuza F_c=66 m^2, seksiyadagi trubalar qatori n_c=4, yo'llar soni z_x=4 li ABГ tipidagi qurilmani tanlash mumkin.

Ventilatorni tanlash uchun 4.74 va 4.74-rasmlardan foydalanamiz.

Ventilatorni tanlash: 4.74-rasmdagi 2-chiziqda havo sarfi V_x=48,5 m^3/s da nuqta «b» ni topamiz va uning yaqinida parragi 30^0 bo'lgan ventilator xarakteristikasi o'tadi. Bu ko'rsatkichlarda, aylanish chastotasi n=3,55 c^{-1} da uzatma quvvati N=7,5 kVt bo'lishi kerak. 4-12 jadval tavsiyalari asosida N=10 kVt li elektr yuritkich tanlaymiz.



4.74-rasm. Aylanish chastotasi 3,55 c^{-1}, da ABГ va ventilatorlarning aerodinamik xarakteristikalari
a-iste'mol quvvati; b-ABГ qarshiligi
(qator soni 1 da – 8; 2 da – 6; 3 da – 4)



4.75-rasm. Aylanish chastotasi 7,5 c^{-1}, da ABГ va ventilatorlarning aerodinamik xarakteristikalari
a-iste'mol quvvati; b-ABГ qarshiligi
(qator soni 1 da – 8; 2 da – 6; 3 da – 4).

4-12 jadval

AB turidagi havo bilan sovutiladigan issiqlik almashinish qurilmalarining asosiy parametrlari

Qurilma turi	Iss.alm. yuzasi F, m^2	Seksii. soni z_c	Seksii. truba soni n_c	Truba uzun-ligi, L, m	Qovur-g'alanish soni K_{qr}	Venti-lator diametri, m	Venti-lator soni	Yuritkich quvvati, kVt	
								B3	HB3
ABM	105-840	1	4;	1,5-3	9; 14;	0,8		22;	
АВГ		3	6; 8	4; 8	6;20; 22	2,8	1,2	30; 37; 40	10; 18; 25
АВГ-В	840-3590				7;8;				
АВГ-ВВ	630-1270	8	5		5;15				
АВГ-Г	7060-26870	12	4; 6; 8	8	9; 14;		4	37;40; 75;90	
АВ3	265-9800	6		6	6;	5,0	1		40
АВ3-Д	3540-13100			8	20; 22	2,8	2	22;30; 37;30	10; 18; 25

Yuqorida o'tkazilgan hisoblashlar asosida

$$ABГ\frac{9-Ж-6-M1-HB3}{4-4-8}$$

Tipidagi qurilma tanlaymiz, ya'ni gorizontal havo bilan sovitiladigan qurilma, qovurg'alanish koeffitsiyenti K_{qr}=9, shartli bosim P=0,6 MPa, monometallik trubali (M1), portlash xavfi bor elektr yuritkichli (HB3) ventilator, seksiyada 4 qator truba va truba uzunligi 8 m, yo'llar soni 4 ta.

4.21. Issiqlik injektorli bug'latish qurilmasini hisoblash

Boshlang'ich ma'lumotlar:

– qurilmaga kirayotgan eritma miqdori - G_0=5 t/soat;
– boshlang'ich konsentratsiya - b_0=15%;
– oxirgi konsentratsiya - b_1=25%;
– bug' bo'shlig'ida - P_2=1 atm;
– isituvchi bug' - P_3=2atm;
– injektorga uzatilayotgan bug' bosimi - P_1=12 atm;
– eritma boshlang'ich temperaturasi - t_0=800°C;
– eritma qaynash temperaturasi - t_1=1100°C;
– uzatilayotgan bug' temperaturasi - t_3=3000C;
– eritma solishtirma issiqlik sig'imi - C_0=0,85 kkal/kg·°C.

Dastavval, 1 kg bug' uchun injektor issiqlik hisobini o'tkazamiz.

Soplo. Bug'ning 12 atm dan 1 atm gacha adiabatik kengayishida (i-S diagramma) issiqlik o'zgarishi h_{ad}=118 kkal/kg. Soplo uchun tezlik yo'qotilish koeffitsiyentini φ_1=0,93 deb qabul qilib, haqiqiy oqib chiqish tezligini aniqlaymiz:

$$fw_2 = 91,5 \cdot \phi_1 \cdot \sqrt{h_{ad}} = 91,5 \cdot 0,93 \cdot \sqrt{118} = 920\, m/s$$

Soploda energiya yo'qotilishi

$$\Delta i = \left(1-\phi_1^2\right) \cdot h_{ad} = \left(1-0,93^2\right) \cdot 118 = 15,9\, kkal/kg (66,6\ J/kg)$$

i-S diagrammadan «*C*»nuqtaga oid, i_2=62 kkal/kg, v_2=1,65 m^3/kg topiladi (4.67 - rasm).

Soploda haqiqiy issiqlik o'zgarishi

$$h_1 = h_{ad} - \Delta i_1 = 118 - 15,9 = 102,1\, kkal/kg$$

Soploning f.i.k. $\eta_1 = \varphi_1^2 = 0,93^2 = 0,865$

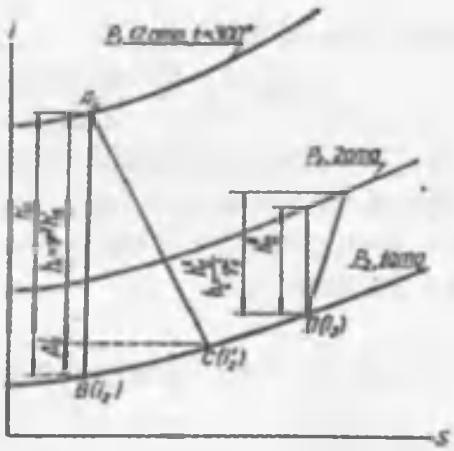
Aralashtirish va siqish kameralari. Haqiqiy tezlik (u=0,5 va φ_2=0,9):

$$w_3 = \frac{\phi_2 \cdot w_2}{1+u} = \frac{0,9 \cdot 920}{1+0,5} = 550\, m/s$$

Aralashma entalpiyasi

$$i_3 = \frac{i_1 + u \cdot i_0}{1+u} - \frac{\phi_1^2 \cdot \phi_2^2 \cdot h}{(1+u)^2} = \frac{726,6 + 0,5 \cdot 638,5}{1+0,5} - \frac{0,93^2 \cdot 0,9^2 \cdot 118}{(1+0,5)^2} =$$

$$= 658,2\, kkal/kg$$



4.76-rasm. i-S diagrammada bug'-injektordagi jarayonning tasviri.

bu yerda, i_1=726,6 kkal/kg (P=12 atm, t=300°C); i_6=638,5 kkal/kg (R=1 atm).

Agar P_2 va i_3 ma'lum bo'lsa, *i-S* diagrammada «*D*» nuqtani topamiz (t=135°C, v_3=1,9 m^3/kg, so'ng diagrammadan adiabatik issiqlik o'zgarish (absolyut bosim 2 atm gacha) ni $h_{ad}^{'} = 33\, kkal/kg$.

φ=0,9 da aralashtirish kamerasining f.i.k. ni aniqlaymiz.

$$\eta_2 = \frac{\varphi_2^2}{1+u} = \frac{0,9^2}{1+0,5} = 0,54$$

φ_3=0,95 deb qabul qilib, «u» ning qiymatini tekshiramiz.

$$u = \phi_1 \cdot \phi_2 \cdot \phi_3 \sqrt{\frac{h_{ad}}{h_{ad}^{'}}} - 1 = 0,93 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \sqrt{\frac{118}{33}} - 1 = 0,5$$

Ko'rinib turibdiki, «u» dastavval olingan va hisoblangan qiymatlari bir-biriga teng. Demak, hisoblash to'g'ri o'tkazilgan.

Injektordan chiqayotgan bug' entalpiyasi

$$i_4 = \frac{i_1 + u \cdot i_0}{1+u} = \frac{726,6 + 0,5 \cdot 638,5}{1+0,5} = 695\, kkal/kg$$

unda

$$\eta_3 = \varphi_3^2 = 0{,}95^2 = 0{,}9$$

Injektor f.i.k.

$$\eta_{inj} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0{,}865 \cdot 0{,}54 \cdot 0{,}9 = 0{,}42$$

Agar P_3 va i_4 larni bilsak, *i-S* diagrammada injektordan chiqayotgan bug' holati (P_3=2 atm, t=240^{0}C) ga tegishli nuqtani topish mumkin (4.76-rasm).

Bug'latilgan suv miqdori

$$W = 5000 \cdot \left(1 - \frac{15}{25}\right) = 2000\, kg/soat$$

Ishchi bug' sarfi

$$D_p = \frac{[G_0 \cdot c_0 \cdot (t_1 - t_0) + W(i - t_1 \cdot c_1)] \cdot z}{(\lambda - t_x \cdot c_x) \cdot (1 + u)} =$$

$$= \frac{[5000 \cdot 0.85 \cdot (110 - 80) + 2000 \cdot (638{,}5 - 110)] \cdot 1{,}05}{(645{,}8 - 117) \cdot (1 + 0{,}5)} = 1590\, kg/soat$$

Injektorda hosil bo'layotgan o'ta qizigan bug' parametrlari: P_4=2 atm, i_4=695 kkal/kg va t=240^{0}C. Lekin qurilmaga to'yingan bug' uzatilishi zarur. Buning uchun unga x kg suv purkalib, namlanishi kerak.

Zarur suv miqdori ushbu formuladan topiladi:

$$1500\lambda = x \cdot i_4$$

undan

$$x = \frac{1500 \cdot \lambda}{i_4} = \frac{1500 \cdot 645{,}8}{695} = 1480\, kg/soat$$

Ishchi bug' 1500 kg/soat sarfga injektor hisobini o'tkazamiz:

Soplo. Soploning minimal ko'ndalang kesimi

$$f_{min} = \frac{D_{sek}}{\beta \cdot \sqrt{\frac{P_1}{v_1}}} = \frac{1500}{3600 \cdot 2{,}09 \cdot \sqrt{\frac{12 \cdot 10^4}{0{,}218}}} = 0{,}00027\, m^2 = 2{,}7\, sm^2$$

$$d_{min} = \sqrt{\frac{2{,}7}{0{,}785}} = 1{,}86\, sm$$

Soploning chiqish ko'ndalang kesimi

$$f_2 = \frac{D_{sek} \cdot v_2}{w_2} = \frac{1500 \cdot 1{,}65}{3600 \cdot 920} = 0{,}00075\, m^2 = 7{,}5\, sm^2$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{7,5}{0,785}} \cong 3,1\ sm$$

α=10^0 da f_{min} dan f_2 ko'ndalang kesimlar orasidagi masofa

$$\ell_1 = \frac{d_2 - d_{min}}{2tg\frac{\alpha}{2}} = \frac{3,1-1,86}{2 \cdot 0,0875} = 9,2\ sm$$

Aralashtirish kamerasi. Ikkilamchi bug'ning kirish shtuseri diametri ushbu formuladan topiladi:

$$\frac{D_{ик} \cdot v_{ик}}{3600 \cdot w_0} = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$$

bundan $$d_0 = 0,0188\sqrt{\frac{2000 \cdot 1,725}{25}} = 0,214\ m = 21,4\ sm$$

Aralashtirish kamerasi diametri

$$d_k = \sqrt{d_2^2 + \frac{D_{ik} \cdot v_{ik}}{2826 \cdot w_0}} = \sqrt{0,031^2 + \frac{2000 \cdot 1,725}{2826 \cdot 25}} = 0,223\,\text{m} = 22,3\ sm$$

Kameraning chiqish shtuseri diametri

$$d_3 = 0,0188\sqrt{\frac{D_n \cdot (1+u) \cdot v_3}{w_3}} = 0,0188\sqrt{\frac{1500 \cdot 1,5 \cdot 1,9}{550}} = 0,055\text{m} = 5,5\ sm$$

Aralashtirish kamerasi uzunligi

$$l_2 = \frac{d_3 - d_2}{2tg\frac{\alpha}{2}} = \frac{5,5-3,1}{2 \cdot 0,0875} = 13,7\ sm$$

Siqish kamerasi. Bug'ning solishtirma hajmi v_4=1,197 m^3/kg. Bug'ning tezligi w_4=25 m/s.

Siqish kamerasi diffuzorining chiqish patrubkasi diametri

$$d_4 = 0,0188\sqrt{\frac{D_n \cdot (1+u) \cdot v_4}{w_4}} = 0,0188\sqrt{\frac{1500 \cdot 1,5 \cdot 1,197}{25}} = 0,202\ m = 20,2\ sm$$

Diffuzor uzunligi

$$l_3 = \frac{d_4 - d_1}{2tg\frac{\alpha}{2}} = \frac{20,5-5,5}{2 \cdot 0,0875} = 84\ sm$$

4-bob. Bug'latish bo'yicha
Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Bug'latish jarayonining nazariy asoslari.
2. Bug'latish jarayoni qaysi sharoitlarda olib boriladi?
3. Bug'lanish nima va qaysi temperaturalarda sodir bo'ladi?
4. Temperatura depressiya nima?
5. Tishchenko formulasini yozing va parametrlarni ta'riflab bering.
6. Gidravlik depressiya nima?
7. Gidrostatik depressiya nima?
8. Bir korpusli bug'latish qurilma konstruksiyasini chizing, afzallik va kamchiliklarini ta'riflab bering.
9. Jarayonning moddiy balansini tuzing.
10. Bug'latkichning isitish yuzasini aniqlash formulasini yozing.
11. Bir korpusli bug'latkichda 1 kg suvni bug'latish uchun qancha isituvchi bug' zarur?
12. Ikki korpusli bug'latkichda 1 kg suvni bug'latish uchun qancha isituvchi bug' zarur?
13. Uch korpusli bug'latkichda 1 kg suvni bug'latish uchun qancha isituvchi bug' zarur?
14. To'rt korpusli bug'latkichda 1 kg suvni bug'latish uchun qancha isituvchi bug' zarur?
15. Besh korpusli bug'latkichda 1 kg suvni bug'latish uchun qancha isituvchi bug' zarur?
16. Bug'latkichlarning optimal sonini aniqlashda qaysi ko'rsatkichlar inobatga olinadi?
17. Turbokompressorli bug'latish jarayonining fizik asoslari nimada?
18. Injektor issiqlik nasosli bug'latish jarayonining fizik asoslari nimada?
19. Ichki isituvchi kamera va markaziy sirkulatsiya trubali bug'latkich konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
20. Osma isituvchi kamerali bug'latkich konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
21. Erkin sirkulatsiyali bug'latkich konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
22. Majburiy sirkulatsiyali bug'latkich konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
23. Yupqa qatlamli bug'latkich konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
24. Rotor-yupqa qatlamli bug'latkich konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
25. Barbotajli bug'latkich konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
26. Samarador issiqlik almashinish trubalarining konstruksiyalarini chizing va izohlang.
27. Issiqlik almashinish qurilmalarini hisoblash ketma-ketligi.

5-bob. MASSA ALMASHINISH JARAYONLARI

Massa almashinish asoslari

Bir yoki bir necha komponentlarni binar yoki murakkab aralashmalarda bir fazadan ikkinchi fazaga o'tishida ro'y bergan jarayonlar ***massa almashinish*** jarayoni deb yuritiladi (masalan, gazdan gazga, suyuqlikdan gazga, qattiq jismdan suyuqlik yoki gazga). Odatda, komponentlarning bir fazadan ikkinchisiga o'tishi molekular yoki turbulent diffuziya orqali sodir bo'ladi. Shuning uchun, bu jarayonlar **diffuzion jarayonlar** deb ataladi.

Massa almashinish jarayonlari faol komponent va inert tashuvchi fazalar bilan xarakterlanadi. Faol komponent – bu fazadan fazaga o'tuvchi massa, inert tashuvchilarning miqdori esa jarayon davomida o'zgarmaydi.

Massa almashinish jarayonini harakatga keltiruvchi kuch – konsentratsiyalar farqi.

5.1. Umumiy tushunchalar

Sanoat texnologiyalarida ishlatiladigan absorbsiya, haydash, rektifikatsiya, ekstraksiya («suyuqlik - suyuqlik», «qattiq jism – suyuqlik» sistemalarida), adsorbsiya, quritish, kristallanishlarda massa almashinish jarayonlari sodir bo'ladi.

Absorbsiya – bu gaz aralashmasidan biror moddaning suyuq fazaga selektiv ravishda yutilish jarayonidir. Ya'ni bu jarayonda modda bug' yoki gaz fazadan suyuq fazaga o'tishini kuzatishimiz mumkin.

Moddani o'ziga yutuvchi faza absorbent deb nomlanadi. Absorbsiya 2 xil bo'ladi: fizik absorbsiya – bu gazning suyuqlikda oddiy yutilishi; xemosorbsiya – bu gazning suyuqlikda yutilishi davrida kimyoviy birikma hosil bo'lishi.

Absorbsiyaga teskari jarayon, ya'ni yutilgan komponentlarni suyuqlikdan ajratib olish **desorbsiya** deb ataladi.

Suyuqliklarni haydash va rektifikatsiya – bu suyuq va bug' fazalar orasida komponentlar o'zaro massa almashinish yo'li bilan suyuq aralashmalarni komponentlarga ajratish jarayonidir. Ushbu jarayon issiqlik ta'sirida olib borilib, komponentlarning qaynash temperaturasi har xil bo'lishiga asoslanadi. Bu jarayon 2 xil bo'ladi: oddiy haydash (distillash) va murakkab haydash (rektifikatsiya). Shuni alohida ta'kidlash kerakki, bunda modda suyuq fazadan bug'ga va bug'dan suyuq fazaga o'tadi

Ekstraksiya – bu eritma yoki qattiq jismdan erituvchi yordamida bir yoki bir necha komponent ajratib olish jarayonidir. «Suyuqlik–suyuqlik» sistemasida faol komponent bir suyuq fazadan ikkinchisiga o'tadi. «Qattiq jism – suyuqlik» sistemasida modda qattiq jismdan suyuq fazaga o'tadi. Bunday sistemada komponentning suyuq fazaga o'tishi **eritish jarayoni** deb nomlanadi.

Adsorbsiya – bu gaz, bug' yoki suyuq aralashmalardan bir yoki bir necha komponentlarni qattiq, g'ovakli jism bilan yutilish jarayonidir. Juda katta faol yuzaga ega qattiq jismlar **adsorbentlar** deb ataladi. Ushbu jarayon sanoatning turli sohalarida ishlatiladi va gaz, bug' yoki suyuq aralashmalardan u yoki bu komponentni ajratib olish uchun xizmat qiladi.

Adsorbsiya jarayonida suyuq yoki gaz fazadagi komponent qattiq jismga o'tadi.

Quritish – bu qattiq nam materiallarni qizdirib suyuqlikni bug‘ shaklida ajratib olish jarayonidir. Ushbu jarayonda faol komponent – namlik suyuq fazadan gaz yoki bug‘ fazasiga o‘tadi.

Kristallanish – bu suyuq eritmalar tarkibidagi qattiq fazani kristall shaklida ajratib olish jarayonidir. Ushbu jarayonda suyuq fazadan moddaning qattiq fazaga o‘tishi ro‘y beradi.

Yuqorida keltirilgan jarayonlardan ko‘rinib turibdiki, ularning hammasi uchun bir fazadan ikkinchisiga massa o‘tishi yoki massa o‘tkazish xos.

Moddaning bir fazadan ikkinchiga ajratib turuvchi yuza orqali o‘tishi **massa o‘tkazish jarayoni** deb nomlanadi.

Bir faza ichida, fazadan ajratib turuvchi yuza yoki ajratib turuvchi yuzadan fazaga moddaning o‘tishiga **massa berish jarayoni** deyiladi.

5.2. Massa o‘tkazish kinetikasi

Muvozanat holatiga erishish yo‘nalishida moddaning bir fazadan ikkinchisiga o‘tish jarayoniga massa o‘tkazish deyiladi.

Massa almashinish jarayonida eng kamida 3 ta modda ishtirok etadi: 1) birinchi fazani tashkil etuvchi modda; 2) ikkinchi fazani tashkil etuvchi modda; 3) bir fazadan ikkinchisiga o‘tgan tarqaluvchi modda.

Massa almashinish jarayonida muvozanat holatlarini aniqlashda ***fazalar qoidasidan*** foydalaniladi:

$$\Phi + C = K + 2 \qquad (5.1)$$

bu yerda, Φ – fazalar soni; C – erkinlik darajasi soni; K – sistemadagi komponentlar soni.

Bu qoidaga binoan, muvozanat holatlarini hisoblashda parametrlarning (bosim, temperatura, konsentratsiya) nechtasini o‘zgartirish imkoniyati borligini aniqlash mumkin.

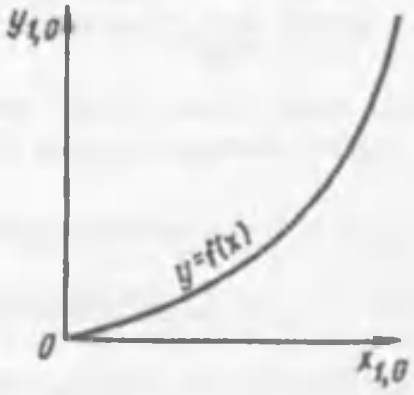
Birinchi fazani – G, ikkinchisini – L va tarqaluvchi massani – M bilan belgilab olamiz. Hamma massa almashinish jarayonlari qaytar, shuning uchun modda G fazadan L ga va teskari yo‘nalishda o‘tishi mumkin.

Dastavval, tarqaluvchi modda faqat G fazada va y konsentratsiyali bo‘lsin. Boshlang‘ich davrda L fazada tarqaluvchi modda yo‘q bo‘lsa, unda fazadagi konsentratsiyasi $x = 0$.

Agar fazalarni aralashtirib yuboradigan bo‘lsak, unda tarqaluvchi modda G fazadan L fazaga o‘tadi. L fazada tarqaluvchi modda M bo‘lishi bilan teskari o‘tish boshlanadi, ya’ni L fazadan G fazaga. Ma’lum vaqtgacha, G fazadan L ga o‘tayotgan tarqaluvchi modda zarrachalarining soni M, L fazadan G fazaga o‘tayotgannikidan ko‘proq bo‘ladi.

Ya’ni biror fursatdan so‘ng, M moddaning to‘g‘ri va teskari o‘tish tezliklari tenglashadi. Sistemaning bunday holati **fazaviy muvozanat** deyiladi. Muvozanat paytida x ning ma’lum qiymatiga boshqa fazadagi tegishli aniq bir qiymatli muvozanat konsentratsiyasi y_M to‘g‘ri keladi. Xuddi shunday, y ning ma’lum qiymatiga tegishli muvozanat konsentratsiyasi x_M mos keladi. Muvozanat paytida fazalardagi tarqaluvchi komponent konsentratsiyalari o‘rtasida umumiy bog‘liqlik quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\overline{y}_P = f_1(\overline{x}); \qquad \overline{x}_P = f_2(\overline{y}) \qquad (5.2)$$



5.1-rasm. p=const va t=const bo'lgandagi muvozanat diagramma.

Ushbu tenglamalar grafikda muvozanat chizig'i bilan ifodalanadi va massa almashinish jarayonining turiga qarab to'g'ri yoki egri chiziqli ko'rinishda bo'ladi. 5.1-rasmda gaz fazasidagi muvozanat konsentratsiyasining suyuq fazadagi konsentratsiya bilan bog'liqligi berilgan.

Muvozanat paytidagi fazalar konsentratsiyalarining nisbati **tarqalish koeffitsiyenti** ***m*** deb nomlanadi.

$$m = \frac{y_M}{\bar{x}}$$

Odatda, ko'pchilik eritmalar uchun muvozanat chizig'i to'g'ri chiziq shaklida bo'ladi. Tarqalish koeffitsiyentining qiymati ko'pincha o'zgarmas bo'lib, muvozanat chizig'ining qiyalik burchagi tangensiga tengdir.

Turli - tuman massa almashinish jarayonlariga oid qonunlarning aniq turlari tegishli boblarda ko'rib chiqiladi.

Muvozanat bog'liqliklar jarayon yo'nalishi bilan birga, bir fazadan ikkinchisiga tarqaluvchi modda o'tish tezligini ham aniqlash imkonini beradi.

Muvozanat va haqiqiy konsentratsiyalar orasidagi farq massa almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuchi deb hisoblanadi.

Massa almashinish jarayonlarining tezlik koeffitsiyenti va harakatga keltiruvchi kuchini hisoblash massa o'tkazish kinetikasining asosiy masalasidir.

Massa o'tkazishning asosiy tenglamasi kinetikaning umumiy tenglamasidan keltirib chiqarilishi mumkin.

Ushbu tenglamaga binoan, massa almashinish jarayonlarining tezligi harakatga keltiruvchi kuchga to'g'ri va jarayon diffuzion qarshiligiga teskari proporsionaldir.

Agar diffuzion qarshilik teskari kattalikni $K = 1/R$ (bu yerda R – diffuzion qarshilik) deb belgilasak, ushbu tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\frac{dM}{F \cdot d\tau} = K \cdot \Delta C \qquad (5.3)$$

bu yerda, M – bir fazadan ikkinchisiga o'tgan massa miqdori, kg: F – massa o'tkazish yuzasi, m^2; τ – jarayon davomiyligi, s; K – massa o'tkazish koeffitsiyenti. Ko'rinib turibdiki, $dM/Fd\tau$ ajratib turuvchi yuza birligiga to'g'ri keladigan massa o'tkazish tezligidir.

Demak, agar K=const bo'lsa, butun massa almashinish yuzasi uchun

$$M = K \cdot \Delta C \cdot F\tau$$

$$M = K_u F \Delta y_{o'r} \cdot \tau \quad \text{yoki} \quad M = K_x F \Delta x_{o'r} \cdot \tau \qquad (5.4)$$

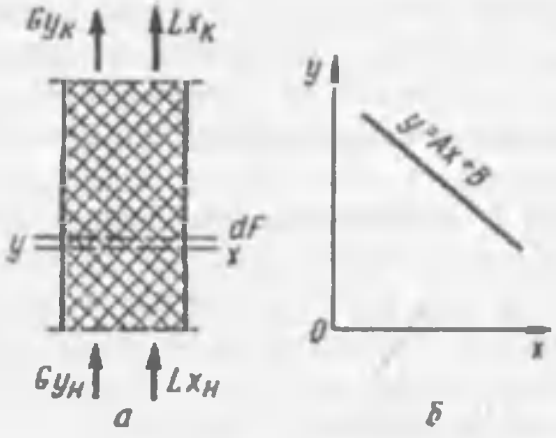
(5.4) massa o'tkazish jarayonining asosiy tenglamasi deb nomlanadi. Ushbu tenglamaga binoan, bir faza yadrosidan ikkinchi faza yadrosiga uzatilgan massa miqdori fazalar yadrosidagi konsentratsiyalar farqi, ajratib turuvchi yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir.

Massa o'tkazish koeffitsiyenti vaqt birligi ichida harakatga keltiruvchi kuch birga teng bo'lganda, ularni ajratib turuvchi yuza birligidan o'tgan massa miqdorini xarakterlaydi.

(5.4) tenglamani tashkil etuvchi parametrlar birliklariga qarab, massa o'tkazish koeffitsiyenti quyidagi o'lchov birligiga ega bo'ladi: m/s; kg/(h·k·k·b·m^2·s); kmol/(h·k·k·b·m^2·s).

5.3. Massa almashinish jarayonining moddiy balansi

Bir xil yo'nalishli fazalar o'rtasida massa almashinish ro'y berayotgan elementar massa almashinish qurilmasining sxemasini ko'rib chiqamiz. Fazalarni ajratib turuvchi yuzaga nisbatan massaviy tezliklarini G va L (kg/soat), tarqaluvchi modda konsentratsiyalarini esa – y va x (kg/kg) deb belgilab olamiz (5.2-rasm).



5.2-rasm. Jarayonning moddiy balansini tuzishga va ishchi chiziq tenglamasini keltirib chiqarishga oid.
a- qurilmadagi oqimlar sxemasi;
b- u-x koordinatlarida ishchi chiziqni tasvirlash.

Agar $y>y_M$ deb faraz qilsak, tarqaluvchi modda G fazadan L fazaga o'tadi, ammo G fazada konsentratsiya $\bar{y}_б$ dan $\bar{y}_{ox}$ gacha kamayadi.

L fazada esa, mos ravishda konsentratsiya $\bar{x}_б$ dan $\bar{x}_{ox}$ gacha ortadi.

Qurilmaning cheksiz kichik dF yuzasi uchun:

$$dM = G\left(-d\bar{y}\right) = Ld\bar{x} \qquad (5.5)$$

Qurilmada tarqaluvchi modda konsentratsiyalari o'zgarishi chegarasida (5.5) tenglikni integrallab, quyidagi tenglamani olamiz:

$$M = -G\left(\bar{y}_{ox} - \bar{y}_б\right) = G\left(\bar{y}_б - \bar{y}_{ox}\right) = L\left(\bar{x}_{ox} - \bar{x}_б\right) \qquad (5.6)$$

Bundan, fazalarning massaviy sarfini aniqlaymiz:

$$G = L\frac{\bar{x}_{ox} - \bar{x}_b}{\bar{y}_b - \bar{y}_{ox}}; \qquad L = G\frac{\bar{y}_б - \bar{y}_{ox}}{\bar{x}_б - \bar{x}_{ox}} \qquad (5.7)$$

(5.5) tenglamani boshlang'ich va oxirgi konsentratsiyalar oralig'ida integrallab quyidagi ifodani olamiz:

$$G\left(\bar{y}_b - \bar{y}\right) = L\left(\bar{x} - \bar{x}_b\right)$$

Bundan, joriy konsentratsiyalar orasidagi bog'liqlik topiladi:

$$\bar{y} = \frac{L}{G}\bar{x} + \frac{G\bar{y}_b - L\bar{x}_{ox}}{G} \qquad (5.8)$$

yoki

$$\bar{y} = Ax + B \qquad (5.9)$$

bu yerda, $A = L/G$; $B = \left(G\bar{y}_b - L\bar{x}_{ox}\right)/G$.

(5.8) va (5.9) lar ishchi chiziq tenglamasini xarakterlaydi. Ulardan, massa almashinish qurilmalarini hisoblashda foydalaniladi.

Shunday qilib, muvozanat va ishchi chiziq tenglamalaridan jarayonning yo'nalishini ham aniqlash mumkin.

Haqiqiy (ishchi) konsentratsiyalar orasidagi bog'liqlikni ifodalovchi to'g'ri chiziq tenglamasi (5.9) **jarayonning ishchi chizig'i** deb nomlanadi.

5.4. Massa o'tkazishning asosiy qonunlari

Massa o'tkazish jarayonlari bir necha massa almashinish yo'li bilan amalga oshirilishi mumkin: gaz (yoki bug') va suyuqlik oqimlari orasida; suyuqlik oqimlari orasida; suyuqlik oqimi va qattiq faza orasida; gaz (yoki bug') oqimi va qattiq faza orasida.

Massa o'tkazishning asosiy qonunlari bo'lib molekular diffuziya (Fikning 1-qonuni), massa berish (Nyuton – Shukarev qonuni) va massa o'tkazuvchanlik qonunlari hisoblanadi.

Molekular diffuziya qonuni (Fikning 1- qonuni). Molekula, atom, ion va kolloid zarrachalarning xaotik harakati natijasida moddalarning tarqalishi **molekular diffuziya** deb nomlanadi. Ma'lumki, moddalar har doim konsentratsiyasi yuqori zonadan konsentratsiyasi past zonaga qarab tarqaladi. Ushbu qonunga binoan, diffuziya yo'li bilan tarqalgan modda miqdori konsentratsiyalar gradiyenti, diffuzion oqim yo'nalishidagi perpendikular ajratuvchi yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir:

$$dM = -D\frac{\partial c}{\partial n}Fd\tau \quad \text{yoki} \quad M = -D\frac{dc}{dn}F\tau \qquad (5.10)$$

bu yerda, dM – diffuziya yo'li bilan tarqalgan massa miqdori; D – diffuziya koeffitsiyenti; $\partial c/\partial$ konsentratsiyalar gradiyenti; F – diffuziya o'tayotgan yuza; $d\tau$ – diffuziya davomiyligi.

Diffuziya koeffitsiyenti, 1 m^2 ajratuvchi yuza orqali 1 soat davomida 1 m oraliqdagi konsentratsiyalar farqi 1 ga teng bo'lganda tarqalgan modda miqdorini xarakterlaydi.

Tenglamadagi «minus» ishora molekular diffuziya jarayonida konsentratsiya kamayib borishini ifodalaydi.

(5.10) tenglamadagi diffuziya koeffitsiyentining o'lchov birligini aniqlaymiz:

$$[D] = \left[\frac{M \cdot dn}{dc \cdot F \cdot \tau}\right] = \left[\frac{kg \cdot m \cdot m^3}{kg \cdot m^2 \cdot s}\right] = \left[\frac{m^2}{s}\right]$$

Molekular diffuziya koeffitsiyenti o'zgarmas fizik kattalik bo'lib, moddaning diffuziya yo'li bilan qo'zg'almas muhitga kirish qobiliyatini xarakterlaydi. Ushbu koeffitsiyent jarayonning gidrodinamikasiga bog'liq emas. Lekin u tarqaluvchi modda va muhitning issiqlik-diffuzion xossalari, temperatura va bosimga bog'liqdir, ya'ni temperatura oshishi va bosim pasayishi bilan uning qiymati ortadi.

Odatda, diffuziya koeffitsiyentining qiymatlari adabiyotlardan yoki quyidagi formulalardan aniqlanadi:
gazlar uchun:

$$D = 4{,}35 \cdot 10^{-2} \frac{T^2}{P\left(V_A^{0,33} + V_B^{0,33}\right)} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \qquad (5.11)$$

suyuqliklar uchun:

$$D = \frac{8{,}2 \cdot 10^{-12} T}{\mu \cdot V_a^{0,33}} \left[1 + \left(\frac{3V_B}{V_A}\right)^{0,66}\right] \qquad (5.12)$$

bu yerda, T – temperatura, K; P – bosim, Pa; V_A va V_V – jarayonda ishtirok etuvchi moddalar mol hajmi, sm^3/mol; M_A va M_V – moddalarning molekular massasi, kg/kmol: μ — dinamik qovushqoqlik, mPa·s; A va B – moddaning tabiatiga bog'liq tajribaviy konstanta.

Diffuziya koeffitsiyenti sistemaning agregat holatiga bog'liq. Gazlar uchun D ning qiymatlari $(0{,}1\ldots1{,}0)\cdot10^{-4}$ m^2/s. Suyuqliklarning diffuziya koeffitsiyenti to'rt darajaga past bo'ladi. Ma'lumki, temperatura ortishi bilan D ortadi, bosim oshishi bilan esa – kamayadi.

Gazlardagi diffuziya koeffitsiyenti konsentratsiyaga umuman bog'liq emas. Lekin suyuqliklarda esa, diffuziya koeffitsiyenti konsentratsiyaga bog'liqligi bor. Paxta yog'ining normal sharoitda ekstraksion benzindagi diffuziya koeffitsiyenti $D = 0{,}71\cdot10^{-5}$ sm^2/s; gazning boshqa bir gazdagi tarqalish diffuziya koeffitsiyenti ~ 0,1…1,0 sm^2/s; gazning suyuqliklardagi diffuziya koeffitsiyenti $10^4\ldots10^5$ marotaba kam bo'lib, taxminan 1 sm^2/sutkaga teng.

Xulosa qilib aytganda, molekular diffuziya juda sekin o'tadigan jarayondir.

Turbulent diffuziya. Turbulent tebranish ta'sirida oqimning harakatida bir fazadan ikkinchisiga moddaning tarqalishi **turbulent diffuziya** deb nomlanadi.

Turbulent diffuziya tezligi oqimning turbulentlik darajasiga, jarayonning gidrodinamik rejimida bog'liqdir. Istalgan fazada turbulent diffuziya yo'li bilan tarqalgan moddaning miqdori ushbu tenglamadan topiladi:

$$dM = -\varepsilon_Д \frac{dc}{dn} \cdot dF \cdot d\tau$$

yoki

$$M = -\varepsilon_Д \frac{dc}{dn} F \cdot \tau \qquad (5.13)$$

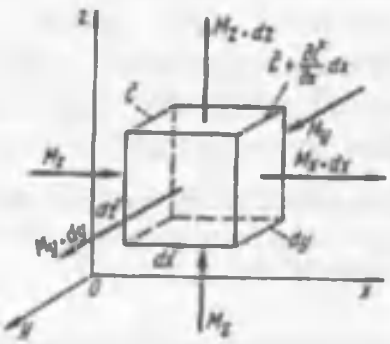
bu yerda, ε_D – turbulent diffuziya koeffitsiyenti.

(5.13) tenglamadan ε_D aniqlaymiz

$$\left[\varepsilon_Д\right] = \left[\frac{M \cdot dn}{dc \cdot F \cdot \tau}\right] = \left[\frac{kg \cdot m \cdot m^2}{s \cdot m^2 \cdot kg}\right] = \left[\frac{m^2}{s}\right]$$

Turbulent diffuziya koeffitsiyenti vaqt birligi ichida konsentratsiya gradiyenti birga teng bo'lganda ajratuvchi yuza birligidan turbulent diffuziya yo'li bilan tarqalgan moddaning miqdorini bildiradi va u jarayonning gidrodinamik rejimiga bog'liq. Bu yerda gidrodinamik rejim deganda oqimning tezligi va turbulentlik masshtabi nazarda tutiladi.

Molekular diffuziyaning differensial tenglamasi (Fikning 2-qonuni). Biror fazaning oqimida ajratib olingan elementar parallelepiped uchun tarqaluvchi moddaning moddiy balansi ko'rib chiqiladi va undan konvektiv diffuziya yoki massa berish jarayonining tenglamasini keltirib chiqarish mumkin (5.3-rasm).



5.3-rasm. Molekular diffuziyaning differensial tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

Elementar kichik parallelepiped orqali molekular diffuziya yo'li bilan modda tarqalayotgan bo'lsin.

Agar ***dydz, dxdy*** va ***dxdz*** tomonlari orqali M_x, M_z va M_y miqdorda moddalar o'tayotgan bo'lsa, qarama-qarshi tomonlardan esa M_{x+dx}, M_{z+dz} va M_{y+dy} miqdorda moddalar chiqadi. Ya'ni, parallelepipedning elementar hajmi $dM = (M_x - M_{x+dx}) + (M_y - M_{y+dy}) + M_{x+dx}$ miqdorda tarqalgan modda yutib oladi. Bunda, moddaning konsentratsiyasi $(\partial C/\partial\tau)\partial\tau$ miqdorga ortadi. Fikning 1 - qonuniga binoan:

$$M_x = -D\frac{\partial\overline{C}}{\partial x}dydzd\tau$$

$$M_{x+dx} = -D\frac{\partial\left(\overline{C} + \frac{\partial\overline{C}}{\partial x}dx\right)}{\partial x}dydzd\tau = -D\frac{\partial\overline{C}}{\partial x}dydzd\tau - D\frac{\partial^2\overline{C}}{\partial x^2}dxdydzd\tau$$

Demak:

$$M_x - M_{x+dx} = D\frac{\partial^2\overline{C}}{\partial x^2}dxdydzd\tau$$

Xuddi shunday qilib parallelepipedning qolgan tomonlari uchun ham o'tgan moddalar farqini aniqlab olamiz.

Parallelepiped bilan yutilgan umumiy modda miqdori:

$$dM = D\left(\frac{\partial^2\overline{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\overline{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\overline{C}}{\partial z^2}\right)dxdydzd\tau \qquad (5.14)$$

Ushbu modda miqdorini parallelepiped hajmini tarqalayotgan modda konsentratsiyasiyaning $\partial\tau$ vaqt ichida o'zgarishiga ko'paytirib ham topsa bo'ladi:

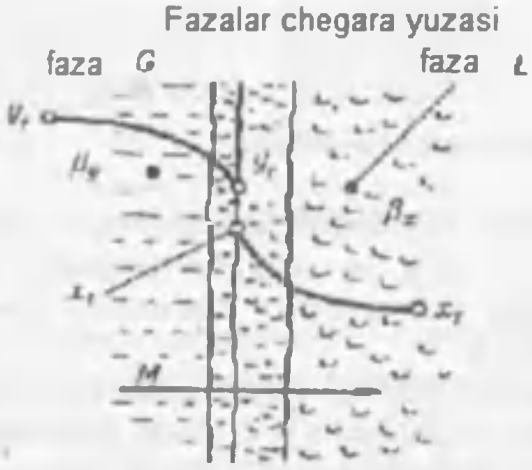
$$dM = dxdydz\frac{\partial\overline{C}}{\partial\tau}d\tau \qquad (5.15)$$

(5.14) va (5.15) larni tenglashtirib, ushbu ko'rinishdagi molekular diffuziyaning differensial tenglamasini olamiz:

$$\frac{\partial \overline{C}}{\partial \tau} = D\left(\frac{\partial^2 \overline{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \overline{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \overline{C}}{\partial z^2}\right) \qquad (5.16)$$

(5.16) tenglama Fikning 2-qonuni deb yuritiladi. $\partial C/\partial \tau$ – fazoda olingan istalgan nuqtadagi konsentratsiyaning vaqt bo'yicha o'zgarish tezligini xarakterlaydi.

Massa berishning asosiy qonuni. Ushbu qonun qattiq jismlar erishini o'rganish paytida rus olimi Shukarev tomonidan aniqlangan. Bu qonunga binoan, fazalarni ajratib turuvchi yuzadan biror faza yadrosiga yoki teskari yo'nalishda massa berish yo'li bilan o'tgan modda miqdori fazalar konsentratsiyasi farqiga, fazaga va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir.



5.4-rasm. Massa berish tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

Diffuzion chegaraviy qatlam nazariyasiga asosan tarqaluvchi modda suyuqlik oqimi yadrosidan fazalarni ajratuvchi yuzaga suyuqlik konvektiv oqimlari va molekular diffuziya yo'li bilan o'tadi. Ko'rilayotgan sistemada oqim yadrosi va chegaraviy diffuzion qatlamlar bor (5.4-rasm). Faza yadrosida moddaning tarqalishi asosan suyuqlik yoki gaz oqimi bilan amalga oshiriladi. Oqimlarning turbulent harakati davrida tarqaluvchi modda konsentratsiyasi o'zgarmas bo'ladi. Chegaraviy diffuzion qatlamga yaqinlashgan sari moddaning turbulent tarqalishi kamayadi va molekular diffuziya hisobiga massa berish ulushi ortadi.

Bunda, tarqaluvchi moddaning konsentratsiya gradiyenti hosil bo'ladi va fazalarni ajratuvchi chegaraga yaqinlashib borgan sari, uning qiymati oshib boradi. Shunday qilib, chegaraviy diffuzion qatlam atrofi–bu konsentratsiya gradiyenti hosil bo'lishi va o'sishi sohasidir. Undan tashqari, bu soha – umumiy massa o'tkazishga molekular diffuziya tezligining ta'siri ko'payadigan sohadir.

G fazadan L fazaga tarqalayotgan modda miqdori M bo'lsin. Agar fazalar yadrosidagi moddalar konsentratsiyasini y_f va x_f deb, fazalarni ajratib turuvchi yuzadagi konsentratsiyalarni esa – y_u va x_u deb belgilasak, unda massa berish jarayonida o'tgan modda miqdorlarini quyidagi tenglamalardan aniqlash mumkin:

$$dM = \beta_y(y_f - y_u) \cdot F d\tau; \qquad dM = \beta_x(x_u - x_f) \cdot F d\tau \qquad (5.17)$$

bu yerda, β_y, β_x – konvektiv va molekular oqimlar bilan modda uzatilishini xarakterlovchi massa berish koeffitsiyentlari; $y_u = y_M$ va $x_u = x_M$ deb qabul qilinadi.

Massa berish koeffitsiyentining o'lchov birligi quyidagicha:

$$[\beta] = \left[\frac{M}{(y_f - y_u) \cdot F \cdot \tau}\right] = \left[\frac{kg \cdot m^3}{kg \cdot m^2 \cdot soat}\right] = \left(\frac{m}{soat}\right)$$

Massa berish koeffitsiyenti vaqt birligida jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi

birga teng bo'lganda, yuza birligidan fazalarni ajratuvchi yuzadan fazaning yadrosiga yoki teskari yo'nalishda o'tgan modda miqdorini xarakterlaydi.

Massa berish koeffitsiyenti fazalarning zichligi, qovushoqligi va boshqa xossalariga, suyuqlik harakat rejimiga, qurilmaning tuzilishi va o'lchamlariga bog'liqdir. Shuning uchun ham uning qiymatini tajriba yoki hisoblash yo'li bilan aniqlash qiyin. Lekin har bir aniq sharoit va suyuqliklar uchun β ning qiymatini tajriba yo'li bilan topish mumkin.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, massa berish koeffitsiyenti fizik ma'nosi bo'yicha massa o'tkazish koeffitsiyentidan farq qilsa ham, lekin bir xil o'lchov birligiga ega.

5.5. Qattiq jism ishtirokida massa almashinish

Bunday jarayonlarga adsorbsiya, desorbsiya, kristallanish, quritish, eritish, qattiq materiallardan ekstraksiyalash kabilar kiradi. Albatta, bu noturg'un jarayonlarning o'ziga xos alohida xususiyatlari bor. «Qattiq jism-suyuqlik» sistemasida massa almashinish juda murakkab jarayon deb hisoblanadi.

G'ovaksimon qattiq jismdan fazalarni ajratib turuvchi chegara orqali gaz (yoki bug') suyuqlik muhitga yoki gaz (yoki bug') muhitdan qattiq jismga moddaning tarqalishi, o'tkazish potensiali gradiyenti mavjud bo'lgandagina ro'y beradi. Boshqacha qilib aytganda, «qattiq jism – suyuqlik» sistemada massa o'tkazish jarayoni ichki va tashqi diffuziyalardan tashkil topgan bo'ladi. Bu sistemada massa almashinish jarayoniga qattiq jismning tuzilishi katta ta'sir ko'rsatadi. Ma'lumki, qattiq jism murakkab, geometrik sistema bo'lib, g'ovaklilik, polidisperslik, kapillarlar shakli va kovakchalarni o'lchami bo'yicha taqsimlanishi bilan ajralib turadi.

Kapillar-kovakli tuzilishiga qarab qattiq jismlar quyidagi sinflarga ajratiladi: yirik kovakli ($d_k \geq 100$ Nm); o'rtacha kovakli va ultramikrokovakli materiallar bo'ladi.

«Qattiq jism – suyuqlik» sistemasida massa berish jarayoni bilan **massa o'tkazuvchanlik** (qattiq jismda moddaning tarqalishi) bir vaqtda o'tadi.

Bu sistemada kechadigan jarayonlarning tezligi vaqt o'tishi bilan molekular diffuziya tezligiga qaraganda kamayib borish xosdir. Shuning uchun ushbu jarayonlarni ifodalashda «siqiq diffuziya» degan atamadan foydalaniladi.

Eritmaning «siqiq diffuziya»si uchun Kadi va Vilyamslar tomonidan ushbu formula taklif etilgan:

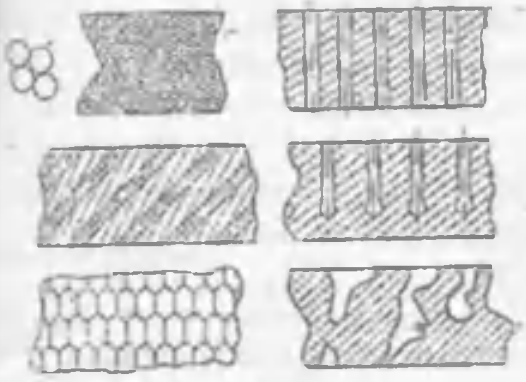
$$D_{SI} = D\frac{1}{1+a\left(\frac{r}{R}\right)} \qquad (5.18)$$

bu yerda, D_{SI} – «siqiq diffuziya» koeffitsiyenti; D – molekular diffuziya koeffitsiyenti; r – tarqalayotgan molekula o'lchami; R - qattiq jism g'ovakchalarining ko'ndalang o'lchami.

«Siqiq diffuziya» o'rniga jarayonni har tomonlama to'liq ifodalovchi umumiy kinetik xarakteristika – massa o'tkazuvchanlikni aniqlash maqsadga muvofiqdir. Unda, qattiq jismda tarqalgan moddaning uzatilishini ifodalovchi qonun sifatida qabul qilinish mumkin: qattiq jismda massa o'tkazuvchanlik hisobiga tarqalgan massa miqdori konsentratsiyalar gradiyenti, oqim yo'nalishiga perpendikular yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni:

$$dM = -k\frac{\partial \bar{c}}{\partial x}dFd\tau \qquad)$$

bu yerda k – massa o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, m^2/s.



5.5-rasm. G'ovaksimon jismlar tuzilishi modifikatsiyalari.

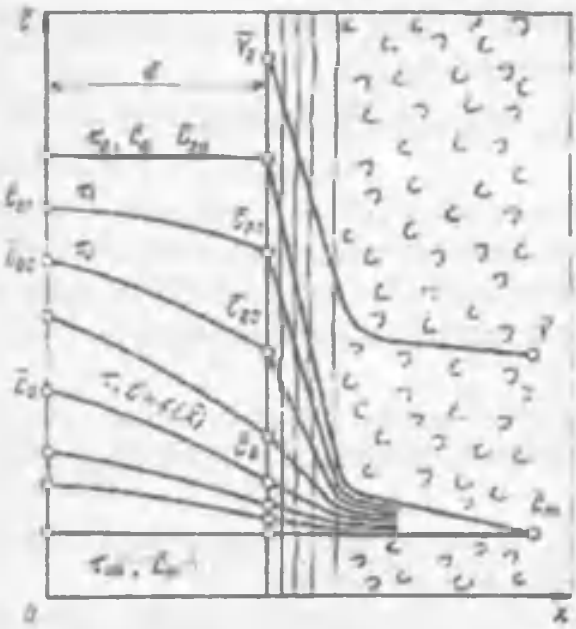
Ushbu koeffitsiyent temperatura va qattiq jismda tarqalgan modda konsentratsiyalariga bog'liqdir.

5.5-rasmda g'ovaksimon qattiq jismlarning tipik tuzilishlari keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, bunday tuzilishli jismlarda jarayonning kinetikasi turlicha bo'lishi tabiiydir.

Qattiq jismdan namlikni desorbsiyasi misolida massa almashinish jarayonini ko'rib chiqamiz (5.6-rasm).

Boshlang'ich vaqt $\tau=\tau_0$ da plastinaning butun hajmida konsentratsiya o'zgarmas bo'ladi ($c=const$). Qattiq jism bilan massa almashinuvchi suyuqlik fazada tarqaluvchi moddaning konsentratsiyasi o'zgarmas va y_f ga tengdir. Dastlabki davrda, tarqalayotgan modda qattiq jismdan suyuqlikka qarab harakat qiladi.

Qattiq materialdan erkin bog'langan namlikning chiqib ketishi bilan jismning temperaturasi o'zgarmaydi va u ho'l termometr temperaturasiga teng bo'ladi. Material ustidagi bug' bosimi esa, suyuqlikning to'yingan bug'lari bosimiga barobardir. Shu davrda materialdan namlikning bug' holatida chiqib ketishi o'zgarmas tezlikda sodir bo'ladi.



5.6-rasm. Kapillar - g'ovakli jismda massa almashinish modeli.

Vaqt o'tishi bilan jismning konsentratsiyasi uzluksiz ravishda pasayib boradi.

Biror kritik konsentratsiya x_{kr} dan boshlab, bug'lanish zonasi jismning ichiga suriladi. Bu hol, albatta o'tkazish potensiali gradiyentining kamayishiga va jarayonni sekinlashuviga olib keladi. Namlikni bug'lanishi nafaqat o'zgaruvchan koordinatali yuzalarda bo'libgina qolmasdan, balki jismning «avvalgi» qatlamlarida ham boradi. Lekin jismning tashqi yuzasiga yaqinlashgan sari, jarayon intensivligi kamayadi. Bunday hol namlikni material bilan turli usullarda bog'langanligidan dalolat beradi.

Jarayon tezligi pasayishi davrida massa almashinish jarayonining tezligi massa o'tkazuvchanlik tezligi bilan belgilanadi. O'z navbatida, massa o'tkazuvchanlik tezligi massa almashinish mexanizmiga bog'liqdir.

Qattiq faza ishtirok etadigan massa almashinish jarayonlarining eng murakkabi – bu quritish jarayonidir, chunki bunda massa va issiqlik almashinish jarayonlari bir vaqtda ro'y beradi.

Massa o‘tkazuvchanlik differensial tenglamasi issiqlik o‘tkazuvchanlik differensial tenglamasiga o‘xshash keltirib chiqariladi va u ushbu ko‘rinishga ega:

$$\frac{\partial \overline{C}}{\partial \tau} = k\left(\frac{\partial^2 \overline{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \overline{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \overline{C}}{\partial z^2}\right) \tag{5.20}$$

Ko‘rinib turibdiki, massa o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti o‘zgaruvchan kattalik va u jarayon turi (adsorbsiya, quritish, eritish), qattiq jism tuzilishi va molekular diffuziya koeffitsiyentiga ta’sir etuvchi parametrlarga bog‘liq.

(5.20) differensial tenglama fazalarni ajratuvchi chegarasida massa o‘tkazish shartlarini belgilovchi tenglama bilan birgalikda ko‘rilishi kerak. Ushbu shartlarni (5.19) tenglamani $dM = \beta(y_u - y_M)F \cdot d\tau$ tenglama bilan taqqoslab topish mumkin. Tenglamalarning o‘ng tomonlarini bir-biriga tenglab, ushbu ko‘rinishga ega ifodani olamiz:

$$-k\frac{\partial \overline{C}}{\partial x} = \beta \Delta \overline{y} \tag{5.21}$$

O‘xshashlik nazariyasini qo‘llab quyidagi o‘lchamsiz kompleksni keltirib chiqaramiz:

$$Bi_Д = \frac{\beta \cdot l}{k} \tag{5.22}$$

Ushbu kompleks **Bio diffuzion kriteriysi** deb nomlanadi.

Bio kriteriysi qattiq fazadan yuvib turuvchi suyuq fazaga modda tarqalishi tezligining massa o‘tkazuvchanlik tezligiga nisbatani ifodalaydi.

Massa o‘tkazuvchanlik tenglamasidan Furye diffuzion kriteriysini keltirib chiqarish mumkin:

$$Fo_Д = \frac{k\tau}{l^2} \tag{5.23}$$

Furye kriteriysi qattiq jism ichida massa almashinish tezligining vaqt o‘tishi bilan o‘zgarishini xarakterlaydi.

(5.21) tenglama tahlili shuni ko‘rsatadiki, massa o‘tkazish tezligi massa o‘tkazuvchanlik va massa berishga bog‘liq. Ekstraksiya jarayonining massa o‘tkazishga ta’siri 3 xil bo‘ladi:

– massa berish jarayoni tezligi massa o‘tkazish tezligiga nisbatan ancha katta. Bunda massa o‘tkazish tezligi massa o‘tkazuvchanlik orqali topiladi;

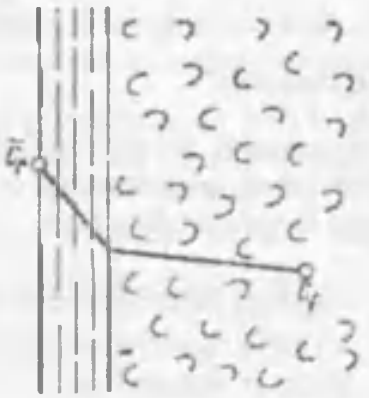
– massa o‘tkazuvchanlik tezligi massa berish jarayonining tezligiga nisbatan ancha katta bo‘ladi. Bunda massa o‘tkazish tezligi massa berish jarayoni β asosida hisoblanadi;

– massa o‘tkazuvchanlik va berish jarayonlarining tezligini o‘zaro solishtirish mumkin bo‘ladi. Bunda massa o‘tkazishning tezligini topishda D_l va β koeffitsiyentlar hisobga olinadi.

Qattiq jismdan kerakli komponentni ajratib olish murakkab jarayondir. Bunda, qattiq jism ichida va atrof-muhitda konsentratsiyalar miqdori vaqt davomida yoki qurilmaning uzunligi bo‘yicha o‘zgartirib turadi (5.6-rasm).

5.6. Konvektiv diffuziyaning differensial tenglamasi

Diffuzion chegaraviy qatlam nazariyasiga binoan, suyuqlik oqimi fazalami ajratuvchi chegarasida tarqalayotgan modda molekular diffuziya va bevosita suyuqlik oqimi bilan uzatiladi (5.7-rasm). Ko'rilayotgan sistemada oqimni 2 qismdan iborat deb hisoblasa bo'ladi, ya'ni yadro va chegaraviy diffuzion qatlamdan. Turbulentlik ancha yuqori bo'lganda ham, yadroda moddaning tarqalishi asosan suyuqlik harakati tufayli ro'y beradi. Turg'un rejimda ushbu ko'ndalang kesimda tarqaluvchi modda konsentratsiyasi o'zgarmasdir. Chegaraviy diffuzion qatlamga yaqinlashgan sari, turbulentlik darajasi pasayadi. Shuning uchun, fazalarni ajratuvchi chegarada moddaning tarqalishi asosan molekular diffuziya hisobiga o'tadi. Undan tashqari, bu zonaga yaqinlashish bilan konsentratsiyalar gradiyenti ham ortadi.



5.7-rasm. Konvektiv diffuziya qonunini keltirib chiqarishga oid.

Shunday qilib, chegaraviy diffuzion qatlam – bu konsentratsiya gradiyenti hosil bo'ladigan va ortadigan hamda molekular diffuziya qiymatining minimumdan maksimumgacha ko'payadigan zonasidir.

Konvektiv diffuziya jarayonida fazaning elementar hajmida tarqaluvchi moddaning konsentratsiyasi ham molekular diffuziya, ham mexanik harakat ta'siri ostida o'zgaradi. Bunday hollarda, tarqalayotgan moddaning konsentratsiyasi x, y, z koordinatalar va vaqt τ ning funksiyasi bo'lib qolmay, balki element siljish tezligi w_x, w_y va w_z larga ham bog'liq bo'ladi.

Molekular diffuziya yo'li bilan moddaning tarqalishi (5.16) tenglama yordamida topiladi.

Konvektiv diffuziya paytida esa, element fazoning bir nuqtasidan ikkinchisiga ko'chadi. Bunda, elementda tarqalayotgan modda konsentratsiyasining o'zgarishi substansional hosila orqali ifodalanadi:

$$\frac{D\bar{c}}{D\tau} = \frac{\partial\bar{c}}{\partial\tau} + \frac{\partial\bar{c}}{\partial x} w_x + \frac{\partial\bar{c}}{\partial y} w_y + \frac{\partial\bar{c}}{\partial z} w_z \qquad (5.27)$$

Ushbu tenglamadagi qo'shiluvchilar yig'indisi $\frac{\partial\bar{c}}{\partial x} w_x + \frac{\partial\bar{c}}{\partial y} w_y + \frac{\partial\bar{c}}{\partial z} w_z$ - konsentratsiyaning konvektiv o'zgarishini, $\frac{\partial\bar{c}}{\partial\tau}$ esa lokal o'zgarishini xarakterlaydi.

Molekular diffuziya hisobiga tarqalayotgan moddaning ortishi (5.16) tenglama yordamida aniqlanadi. Agar (5.16) va (5.27) tenglamalarni tenglashtirsak va konsentratsiyaning lokal o'zgarishi $\frac{\partial\bar{C}}{\partial\tau}$ ni (5.27) dagi to'liq $\frac{D\bar{C}}{\partial\tau}$ ga almashtirsak, konvektiv diffuziyaning differensial tenglamasini keltirib chiqarish mumkin:

Qattiq jismda konsentratsiyalar miqdorining o'zgarish tezligiga quyidagi omillar sababchi bo'ladi:

1. Qattiq jism va tarqalayotgan moddaning diffuziya xossalari, bu xossalar massa o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti D_t orqali ifodalanadi;

2. «Qattiq jism – suyuqlik» chegarasida massa o'tkazish sharoitlari;

3. Qattiq jism va suyuq fazalar miqdorlarining nisbati

$$\frac{C_b - C_0}{C_b' - C_0'} = n$$

bilan ifodalanadi.

bu yerda, C_b' va C_0' – jarayonning boshlanish va oxirida suyuq fazadagi ekstraksiyalangan moddaning konsentratsiyalari; C_b va C_0 – jarayonning boshlanishi va oxirida qattiq fazadagi ekstraksiyalanishi zarur bo'lgan moddaning konsentratsiyasi; $n=W/N$ – o'zaro to'qnashish holatida bo'lgan suyuqlik miqdori W ning qattiq jism miqdori N ga nisbati.

4. Qattiq material zarrachalarining suyuqlik bilan o'zaro ta'sir qilish usuli;

5. Qattiq material zarrachalarining shakli va o'lchamlari.

Massa o'tkazuvchanlik yo'li bilan massa almashinish jarayonining o'xshashligini ifodalashda geometrik o'xshashlik ham inobatga olinishi zarur.

Bir o'lchamli oqim uchun massa o'tkazuvchanlikning kriterial tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{C - C_m}{C_b - C_m} = f\left(Bi_Д, Fo_Д, \frac{x}{\delta}\right) \qquad (5.24)$$

bu yerda, C – vaqt momenti τ da qattiq fazaning berilgan nuqtasidagi konsentratsiyasi; C_b - qattiq fazadagi boshlang'ich konsentratsiya; C_m – qattiq fazadagi ekstraksiyalanayotgan moddaning muvozanat konsentratsiyasi: δ – qattiq jismning aniqlovchi o'lchami; x – qattiq jismning berilgan nuqtasidagi koordinatasi.

(5.24) tenglamaning yechimi faqat eng oddiy shakldagi jismlar (shar, silindr va cheksiz plastina) uchun bor.

«Qattiq jism – suyuqlik» sistemasida massa o'tkazish jarayonini ifodalash uchun massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan foydalanish mumkin. Unda, massa o'tkazish koeffitsiyenti ushbu formuladan hisoblanadi:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{1}{(\psi + n)\cdot km} \qquad (5.25)$$

bu yerda, ψ – shakl koeffitsiyenti, plastina uchun 1 ga, silindr uchun 2 va shar uchun 3 teng; n – daraja ko'rsatkichi

Tashqi diffuziya sohasida jarayon o'tkazilganda va $Bi_Д \leq 3{,}0$ bo'lganda (5.25) formula ushbu ko'rinishni oladi:

$$K \approx \beta_y \qquad (5.25a)$$

Ushbu holatda jarayon tezligi faqat ichki diffuziya omillari bilan aniqlanadi.

Issiqlik va massa almashinish jarayonlari birgalikda sodir bo'lganda, issiqlik va massa berish koeffitsiyentlarini topish uchun ushbu kriterial tenglama tavsiya etiladi:

$$Nu = A \cdot \mathrm{Re}^n \cdot \mathrm{Pr}^{0,33} \cdot Gu^{0,175} \qquad (5.26)$$

bu yerda, Gu – adiabatik sharoitda suyuqlikning hajmiy bug'lanishini xarakterlovchi Guxman kriteriysi. Konstanta A va daraja ko'rsatkichi n qurilmadagi gidrodinamik rejimga bog'liq bo'ladi.

$$\frac{\partial \overline{C}}{\partial \tau} + \frac{\partial \overline{C}}{\partial x} w_x + \frac{\partial \overline{C}}{\partial y} w_y + \frac{\partial \overline{C}}{\partial z} w_z = D\left(\frac{\partial^2 \overline{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \overline{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \overline{C}}{\partial z^2}\right) \quad (5.28)$$

Fazalarni ajratuvchi chegara atrofida fazadan fazaga tarqalayotgan modda miqdori konvektiv diffuziya qonuni (5.17) yordamida aniqlanadi. Yuqorida aytilgandek, fazalarni ajratuvchi yuza oldida, moddaning bir fazadan ikkinchisiga o'tishi esa, molekular diffuziya (5.10) hisobiga amalga oshadi.

(5.10) va (5.17) tenglamalarni bir-biriga tenglashtirib, ushbu formulani olamiz:

$$\beta \Delta \overline{C} = -D \frac{\partial \overline{C}}{\partial x} \quad (5.29)$$

bu yerda. $\Delta C = C_c - C_f$ – jarayonni harakatga keltiruvchi kuch.

Konvektiv diffuziyaning kriterial tenglamalari. Bunday formulalar (5.28) va (5.29) tenglamalardan keltirib chiqariladi. Diffuzion kriteriylarni olish uchun o'xshashlik nazariyasidan foydalanamiz. (5.29) tenglamadan o'lchamsiz $\beta \Delta C \partial x / D \partial \overline{C}$ kompleksni olamiz va ba'zi qisqartirishlardan so'ng Nusselt diffuzion kriteriysini hosil qilamiz:

$$Nu_Д = \frac{\beta \cdot l}{D} \quad (5.30)$$

bu yerda, β – massa berish koeffitsiyenti; l – aniqlovchi o'lcham; D – molekular diffuziya koeffitsiyenti.

(5.28) tenglamaning ikkala qismini $D\partial C / \partial x$ ga bo'lib, ushbu o'lchamsiz kompleksni olish mumkin:

$$\frac{\partial \overline{C} \cdot \partial x^2}{\partial \tau \cdot \partial^2 \overline{C}} \quad \text{va} \quad \frac{\partial \overline{C} \cdot w_x \cdot \partial x^2}{\partial x \cdot D \cdot \partial^2 \overline{C}}$$

Bulardan esa Furye diffuzion kriteriysi:

$$Fo_Д = \frac{D\tau}{l^2} \quad (5.31)$$

va Pekle diffuzion kriteriysi:

$$Pe_Д = \frac{wl}{D} \quad (5.32)$$

keltirib chiqariladi.

bu yerda, τ – jarayon davomiyligi; w – oqim tezligi.

Furye kriteriysi vaqt o'tishi bilan tarqalayotgan massa oqimi tezligi o'zgarishini ifodalaydi va noturg'un massa berish jarayonlarni xarakterlaydi.

Pekle kriteriysi o'xshash sistemalarning o'xshash nuqtalarida konvektiv va molekular diffuziyalar orqali o'tayotgan massalarning nisbatini ifodalaydi.

Pekle kriteriysini o‘zgartirib, ushbu ko‘rinishda yozamiz:

$$Pe = \frac{wl}{D} = \frac{wl}{\nu} \cdot \frac{\nu}{D} = \mathrm{Re} \cdot \mathrm{Pr}_{Д}$$

bu yerda

$$\mathrm{Pr}_{Д} = \frac{\nu}{D} \tag{5.33}$$

Prandtl kriteriysi fizik kattaliklar maydonlarining o‘xshashligini xarakterlaydi va moddalar fizik xossalari nisbatining o‘zgarmasligini ifodalaydi.

Massa berish jarayonini xarakterlovchi o‘xshashlik kriteriylari aniqlangandan so‘ng, konvektiv diffuziyaning umumiy kriterial tenglamasi tuzilishi mumkin:

$$f\left(\mathrm{Re}, Gr, Nu_{Д}, \mathrm{Pr}_{Д}, Fo_{Д}\right) = 0 \tag{5.34}$$

Nusseltning diffuzion kriteriysi asosiy aniqlanuvchi kriteriy bo‘lgani uchun (5.34) tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$Nu_{D} = f\left(\mathrm{Re}, Gr, \mathrm{Pr}_{Д}, Fo_{Д}\right) \tag{5.35}$$

(5.39)dagi Grasgof kriteriysi erkin konveksiya paytida konvektiv diffuziyani xarakterlaydi.

Agar jarayon turg‘un bo‘lsa, umumiy kriterial tenglamadan, Furye kriteriysi tushirilib qoldiriladi:

$$Nu_{D} = f\left(\mathrm{Re}, Gr, \mathrm{Pr}_{Д}\right) \tag{5.36}$$

Suyuqlik oqimining majburiy harakati paytida erkin konveksiyani hisobga olmasa bo‘ladi. Bu holda (5.36) tenglamadan Grasgof kriteriysi tushib qoladi:

$$Nu_{D} = f\left(\mathrm{Re}, \mathrm{Pr}_{D}\right) \tag{5.37}$$

Kriterial tenglamalardan aniqlangan Nusselt kriteriysi qiymatlaridan massa berish koeffitsiyentini hisoblab topish mumkin:

$$\beta = \frac{Nu \cdot D}{l} \tag{5.38}$$

Massa berish koeffitsiyentlarining qiymatlari yordamida massa o‘tkazish koeffitsiyenti K ni topish mumkin.

Gidrodinamik o‘xshashlik asosida massa berish koeffitsiyenti β ni oqim o‘rtacha tezligi w ga nisbatini aniqlash mumkin. Bu o‘lchamsiz kattalik Stanton diffuzion kriteriysi deb nomlanadi va ushbu ko‘rinishga ega:

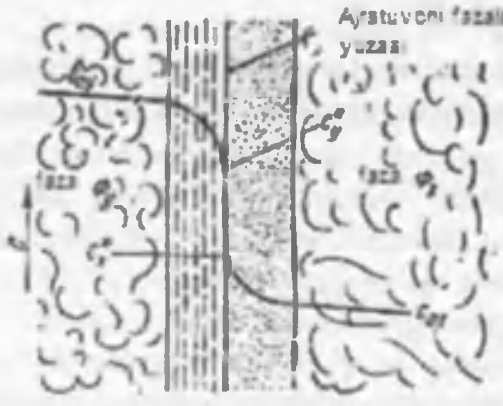
$$St_{D} = \frac{\beta}{w} = \frac{Nu_{D}}{Pe_{D}} = \frac{\beta \cdot l / D}{w \cdot l / D} \tag{5.39}$$

Stanton kriteriysi turbulent oqimlarda massa berish jarayonida konsentratsiya va tezlik maydonlari o'xshashligini xarakterlaydi.

5.6.1. Massa almashinish jarayoni mexanizmi

Ma'lumki biror modda massasining ikkinchi fazaga ajratib turuvchi yuza orqali o'tishi ***massa o'tkazish*** deb nomlanadi. Bu jarayon juda murakkabdir, chunki massa berish va turbulent oqimlarning gidrodinamik qonuniyatlari yaxshi o'rganilmagan.

5.8-rasmda suyuqlik va gaz (bug') yoki ikkala faza orasida massa o'tkazish jarayonini tushuntiruvchi sxema keltirilgan.



5.8-rasm. Massa o'tkazish jarayonida fazalarda konsentratsiyalar taqsimlanish sxemasi.

Fazalar bir - biriga nisbatan turbulent rejimga oid tezlikda harakat qilmoqda va ular o'rtasida ajratuvchi yuza mavjud.

Tarqaluvchi modda massasi M faza Φ_y (ammiakning havo bilan aralashmasi)dan suyuq faza F_x (suv) ga o'tmoqda. Shunday qilib, Φ_y faza yadrosidan fazalarni ajratib turuvchi yuzaga va ajratib turuvchi yuzadan Φ_x fazaning yadrosiga massa berish jarayoni sodir bo'ladi.

Ajratuvchi yuza qarshiligini (agar uning miqdori sezilarli bo'lsa) yengib, bir fazadan ikkinchisiga massa o'tadi, ya'ni massa o'tkazish jarayoni ro'y beradi.

Ma'lumki, massa almashinish jarayoni har bir fazadagi oqim turbulentlik tuzilishi bilan uzviy ravishda bog'liq.

Gidrodinamikadan ma'lumki, suyuqlik oqimining devor yaqinida harakat paytida chegaraviy qatlam hosil bo'ladi. Har bir faza yadro va chegaraviy qatlamdan tashkil topgan bo'ladi. Faza yadrosida moddaning tarqalishi ko'pchilik hollarda turbulent pulsatsiya yordamida amalga oshadi va tarqaluvchi moddaning konsentratsiyasi 5.8-rasmda ko'rsatilgandek, o'zgarmas bo'ladi. Chegaraviy qatlamda esa turbulentlik asta - sekin so'nib, konsentratsiya esa o'zgarib boradi. Ajratuvchi yuzaga yaqinlashgan sari, konsentratsiya o'zgarishi keskinlashadi. Bevosita ajratuvchi yuzada moddaning tarqalish tezligi juda kichik bo'ladi va u molekular diffuziyaning tezligiga bog'liq bo'lib qoladi. Fazalararo ishqalanish va sirtiy taranglik kuchlari ta'sirida ajratuvchi yuza yaqinida konsentratsiya keskin, to'g'ri chiziqli qonun bo'yicha o'zgaradi.

Shunday qilib, suyuqlik oqimining turbulent harakati paytida faza yadrosidan ajratuvchi yuzagacha yoki teskari yo'nalishda massaning berilishi ham molekular, ham turbulent diffuziyalar usulida boradi. Lekin tarqalayotgan massaning asosiy qismi turbulent diffuziya usulida o'tadi.

Demak, massa almashinish jarayonini intensivlash uchun oqim turbulentlik darajasini ko'paytirib, chegaraviy qatlam qalinligini kamaytirish zarur.

Ma'lumki, oqim turbulentlik darajasini ko'paytirish uchun suyuqlik tezligini oshirish kerak bo'lsa, chegaraviy qatlam qalinligini kamaytirish uchun aralashtirish, pulsatsiya, tebranish, elektromagnit maydon yoki ultratovush kabi usullarni qo'llash mumkin.

5.6.2. Massa o'tkazish va berish koeffitsiyentlari o'rtasidagi bog'liqlik

Ishchi va muvozanat konsentratsiyalari orasida chiziqli bog'liqlik sharoitida, biror ***G*** fazadan ***L*** fazaga massa o'tkazish jarayonini ko'rib chiqamiz (5.4-rasm). Fazalarni ajratuvchi chegarada muvozanat holatiga erishiladi deb qabul qilamiz.

G fazadan fazalarni ajratuvchi chegaraviy yuzaga tarqalgan modda miqdori ushbu tenglamadan topiladi:

$$dM = \beta_y \cdot (y - y_u) \cdot dF$$

Fazalarni ajratuvchi chegaraviy yuzadan ***L*** faza yadrosiga berilgan modda miqdori esa quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$dM = \beta_x (x_u - x) \cdot dF$$

Muvozanat konsentratsiya $y_m = m \cdot x$ ekanligi ma'lum bo'lgani uchun, ***L*** fazadagi konsentratsiya x ni ***G*** fazadagi muvozanat konsentratsiyasi orqali ifodalash mumkin:

$$dM = \beta_x (x_{ch} - x) \cdot dF = \frac{\beta_x}{m} (y_{mch} - y_m) \cdot dF$$

bundan:

$$y_{mch} - y_m = \frac{dM \cdot m}{\beta_x dF}; \qquad y - y_{ch} = \frac{dM}{\beta_y dF}$$

Yuqorida keltirilgan oxirgi ikki tenglamalarning chap va o'ng tomonlarining yig'indisi hamda $y_{ch} = y_{mch}$ ga tengligini hisobga olsak, ushbu ko'rinishdagi tenglamani olamiz:

$$y - y_m = \frac{dM}{dF\left(\frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y}\right)} \tag{5.40}$$

Massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan:

$$y - y_m = \frac{dM}{dF} \cdot \frac{1}{K} \tag{5.41}$$

(5.40) va (5.41) tenglamalarni o'ng tomonlarini tenglashtirib, ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\frac{1}{K_y} = \frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y} \qquad \text{yoki} \qquad K_y = \frac{1}{\frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y}} \tag{5.42}$$

Xuddi shu usulda ***L*** faza uchun massa o'tkazish koeffitsiyentini aniqlash formulasini keltirib chiqaramiz:

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{m\beta_y} + \frac{1}{\beta_x} \qquad \text{yoki} \qquad K_x = \frac{1}{\frac{1}{m\beta_y} + \frac{1}{\beta_x}} \tag{5.43}$$

Bu tenglamalarning chap tomonlari massaning bir fazadan ikkinchisiga o'tishi uchun umumiy diffuzion qarshilikni, o'ng tomonlari esa – fazalardagi massa berish jarayonlari diffuzion qarshiliklarning yig'indisini ifodalaydi. Shuning uchun ham, (5.42) va (5.43) tenglamalar fazaviy qarshiliklarning ***additivlik tenglamalari*** deb yuritiladi.

K_y va K_x koeffitsiyentlar $K_y = K_x/m$ tenglik bilan bog'liq bo'ladi. Massa o'tkazish koeffitsiyentlarning qiymati massa berish koeffitsiyentlarining son qiymatlari va muvozanat chizig'ining qiyalik burchagi bilan belgilanadi. Massa berish koeffitsiyentlari kriterial tenglamalardan aniqlanadi.

5.6.3. Massa almashinish jarayonlarining modellari

Massa berish mexanizmi bir vaqtda ham molekular, ham konvektiv, usullarda massa o'tish bilan xarakterlanadi. Massa o'tkazish esa, undan ham murakkab jarayondir, chunki fazalarni ajratuvchi chegaraning ikkala tomonida massa berish jarayonlari ro'y beradi. Shu kungacha fazalar orasidagi harakatchan yuza chegarasida boradigan massa o'tkazish jarayonining nazariyasi yaratilmagan. Shuning uchun ham massa o'tkazish mexanizmining bir qator soddalashtirilgan nazariy modellari ishlab chiqilgan.

Ko'pchilik modellar quyidagi taxminlar asosida yaratilgan:

1. Bir fazadan ikkinchisiga massa o'tish jarayonidagi umumiy qarshilik ikkala faza va ularni ajratuvchi yuza qarshiliklarining yig'indisiga teng. Lekin ko'pincha ajratuvchi yuzadagi qarshilik nolga teng deb hisoblanadi. Unda, umumiy qarshilikni fazalar qarshiliklari yig'indisi deb qarash mumkin;

2. Ajratuvchi yuzada fazalar muvozanat holatida bo'ladi.

Yupqa qatlamli model. Bu model eng birinchilaridan bo'lib, Lyuis va Uitmenlar tomonidan taklif etilgan. Ushbu modelga binoan, har bir fazada uning bevosita chegarasiga qo'zg'almas yoki laminar harakatlanuvchi yupqa qatlam yondashib turadi.

Yupqa qatlamda massa faqat molekular diffuziya usulida tarqaladi. Massa berishga qarshilikning hammasi yupqa qatlamda mujassamlashgan. Shuning uchun, konsentratsiyalar gradiyenti faqat chegaraviy yupqa qatlam ichida hosil bo'ladi, chunki fazalar yadrosida konsentratsiyalar o'zgarmas va son jihatidan o'rtacha konsentratsiyalarga tengdir.

Undan tashqari, yuqorida qabul qilingan taxminlar bu modelga ham taalluqli. Shunday qilib, ushbu model sxemasining 5.8-rasmdagidan farqi shundaki, chegaraviy qatlamda turbulent pulsatsiyalar yordamida aralashtirish to'g'ri chiziq qonuniga bo'ysunadi.

Yupqa qatlamli modelga binoan, vaqt birligida tarqalgan massa miqdori quyidagi tenglamadan aniqlanishi mumkin:

$$M = \frac{D}{\delta_{ef}}(C_0 - C_{ch}) \qquad (5.44)$$

bu yerda, C_0 va C_{ch} – faza yadrosi va ularni ajratib turuvchi chegaradagi konsentratsiyalar; δ – chegaraviy yupqa qatlamning effektiv qalinligi; D/δ_{ef} – massa berish tezligini xarakterlovchi koeffitsiyent.

Ushbu modelda ajratuvchi yuza atrofidagi gidrodinamik sharoitlar ancha soddalashtirilgan. Molekular va turbulent diffuziyalarni ajratib turuvchi chegarasida turbulent pulsatsiyalarning so'nishi, sistemaning fizik va geometrik kattaliklari hisobga olinmagan. Shu sabablarga ko'ra, ko'pchilik tajribalarda olingan natijalarda $M \sim D$ bog'liqlik isbotlanmagan.

Bu tenglamalarning chap tomonlari massaning bir fazadan ikkinchisiga o'tishi uchun umumiy diffuzion qarshilikni, o'ng tomonlari esa – fazalardagi massa berish jarayonlari diffuzion qarshiliklarning yig'indisini ifodalaydi. Shuning uchun ham, (5.42) va (5.43) tenglamalar fazaviy qarshiliklarning ***additivlik tenglamalari*** deb yuritiladi.

K_y va K_x koeffitsiyentlar $K_y = K_x/m$ tenglik bilan bog'liq bo'ladi. Massa o'tkazish koeffitsiyentlarning qiymati massa berish koeffitsiyentlarining son qiymatlari va muvozanat chizig'ining qiyalik burchagi bilan belgilanadi. Massa berish koeffitsiyentlari kriterial tenglamalardan aniqlanadi.

5.6.3. Massa almashinish jarayonlarining modellari

Massa berish mexanizmi bir vaqtda ham molekular, ham konvektiv usullarda massa o'tish bilan xarakterlanadi. Massa o'tkazish esa, undan ham murakkab jarayondir, chunki fazalarni ajratuvchi chegaraning ikkala tomonida massa berish jarayonlari ro'y beradi. Shu kungacha fazalar orasidagi harakatchan yuza chegarasida boradigan massa o'tkazish jarayonining nazariyasi yaratilmagan. Shuning uchun ham massa o'tkazish mexanizmining bir qator soddalashtirilgan nazariy modellari ishlab chiqilgan.

Ko'pchilik modellar quyidagi taxminlar asosida yaratilgan:

1. Bir fazadan ikkinchisiga massa o'tish jarayonidagi umumiy qarshilik ikkala faza va ularni ajratuvchi yuza qarshiliklarining yig'indisiga teng. Lekin ko'pincha ajratuvchi yuzadagi qarshilik nolga teng deb hisoblanadi. Unda, umumiy qarshilikni fazalar qarshiliklari yig'indisi deb qarash mumkin;

2. Ajratuvchi yuzada fazalar muvozanat holatida bo'ladi.

Yupqa qatlamli model. Bu model eng birinchilaridan bo'lib, Lyuis va Uitmenlar tomonidan taklif etilgan. Ushbu modelga binoan, har bir fazada uning bevosita chegarasiga qo'zg'almas yoki laminar harakatlanuvchi yupqa qatlam yondashib turadi.

Yupqa qatlamda massa faqat molekular diffuziya usulida tarqaladi. Massa berishga qarshilikning hammasi yupqa qatlamda mujassamlashgan. Shuning uchun, konsentratsiyalar gradiyenti faqat chegaraviy yupqa qatlam ichida hosil bo'ladi, chunki fazalar yadrosida konsentratsiyalar o'zgarmas va son jihatidan o'rtacha konsentratsiyalarga tengdir.

Undan tashqari, yuqorida qabul qilingan taxminlar bu modelga ham taalluqli. Shunday qilib, ushbu model sxemasining 5.8-rasmdagidan farqi shundaki, chegaraviy qatlamda turbulent pulsatsiyalar yordamida aralashtirish to'g'ri chiziq qonuniga bo'ysunadi.

Yupqa qatlamli modelga binoan, vaqt birligida tarqalgan massa miqdori quyidagi tenglamadan aniqlanishi mumkin:

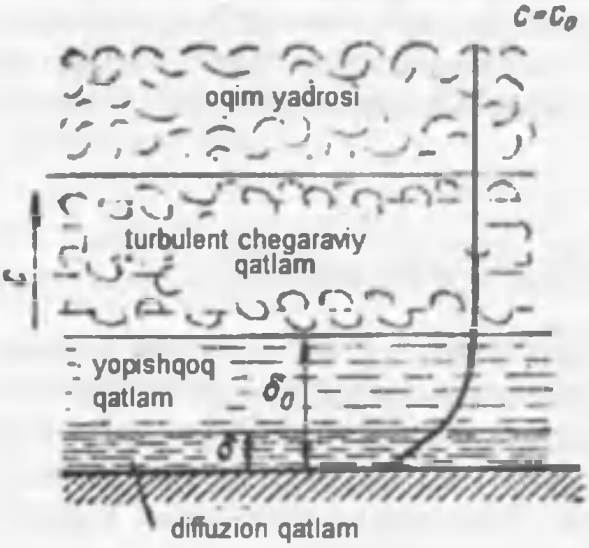
$$M = \frac{D}{\delta_{ef}}\left(C_0 - C_{ch}\right) \qquad (5.44)$$

bu yerda, C_0 va C_{ch} – faza yadrosi va ularni ajratib turuvchi chegaradagi konsentratsiyalar; δ – chegaraviy yupqa qatlamning effektiv qalinligi; D/δ_{ef} – massa berish tezligini xarakterlovchi koeffitsiyent.

Ushbu modelda ajratuvchi yuza atrofidagi gidrodinamik sharoitlar ancha soddalashtirilgan. Molekular va turbulent diffuziyalarni ajratib turuvchi chegarasida turbulent pulsatsiyalarning so'nishi, sistemaning fizik va geometrik kattaliklari hisobga olinmagan. Shu sabablarga ko'ra, ko'pchilik tajribalarda olingan natijalarda $M \sim D$ bog'liqlik isbotlanmagan.

Undan tashqari, chegaraviy qatlamning effektiv qalinligini o'lchash yoki formulalar yordamida hisoblash qiyin.

Diffuzion chegaraviy qatlamli model. Ushbu modelda fazalarni ajratuvchi chegara yaqinidagi sharoitlar aniqroq hisobga olingan (5.9-rasm).



5.9-rasm. Fazadagi oqimning tuzilishi va konsentratsiyaning o'zgarishi.

«Qattiq jism – suyuqlik» sistemasidagiga nisbatan yuqori aniqlikka ega model rus olimlari Landau va Levich tomonidan yaratilgan. Ko'rinib turibdiki, faza yadrosida konsentratsiya o'zgarmas (C_0=*const*) bo'lib, turbulent chegaraviy qatlamda asta-sekin kamaya boshlaydi. Qovushoq qatlamga yaqinlashgan sari turbulent pulsatsiyalar so'nib boradi. Lekin qovushoq qatlamda konsentratsiya sezilarli darajada kamayadi. Bu qatlamda ishqalanish kuchlari katta bo'lgani uchun suyuqlik harakati laminar rejimga to'g'ri keladi. Natijada molekular diffuziya usulida tarqalayotgan moddaning ulushi ortib boradi.

Lekin qovushoq qatlam δ_0 ning katta qismiga turbulent diffuziya usulida tarqaladigan massaning miqdori molekular diffuziyanikiga qaraganda nisbatan ko'p. Faqat diffuzion qatlam δ dagina massaning o'tishi butunlay molekular diffuziya yo'li bilan tarqaladi.

Diffuzion qatlamda konsentratsiya keskin o'zgaradi va bu o'zgarish to'g'ri chiziq bo'yicha boradi.

Qovushoq qatlam qalinligi va δ_0 diffuzion qatlam qalinligi δ o'rtasida quyidagi bog'liqlik bor:

$$\delta = \left(\frac{D}{\nu}\right)^{1/m} \cdot \delta_0 \qquad (5.45)$$

δ ning qiymatini (5.44) ga qo'yib, ushbu tenglamani olamiz:

$$M = \frac{D^{\frac{m-1}{m}}}{\nu^{1/m}\delta_0}(C_0 - C_{ch}) \qquad (5.46)$$

bu yerda, ν – kinematik qovushoqlik; m – fazalarni ajratuvchi chegarada turbulent diffuziya usulida massa tarqalishining so'nish qonuniyatini ifodalovchi daraja ko'rsatkichi.

Ko'pincha, tajriba yo'li bilan aniqlanadi va «qattiq jism – suyuqlik» sistemasi uchun m=3, «suyuqlik – gaz», «suyuqlik – suyuqlik» sistemasi uchun – m = 2 va (5.46) tenglamaga asosan $M \sim D^{0.66}$ hamda $M \sim D^{0.5}$.

Shunday qilib, turbulentlik asta-sekin va uzluksiz ravishda so'nib boradi va qattiq jism yuzasi yaqinida pulsatsion tezlik nolga tenglashadi, $\varepsilon_D = 0$.

Harakatchan ajratuvchi yuzaga ega bo'lgan «suyuqlik – gaz» va «suyuqlik – suyuqlik» sistemalaridagi sirtiy taranglik kuchlari xuddi qattiq yuzada ishqalanish kuchi

kabi ta'sir etadi. Lekin shu kungacha turbulent pulsatsiyalarning so'nish qonuni topilmaganligi uchun m ning qiymatini nazariy yo'l bilan aniqlab bo'lmaydi.

Yuqorida ko'rib chiqilgan modellarda modda o'tishi uzluksiz deb taxmin qilingan. Lekin to'qnashish yuzasining yangilanish modeli (Dankverts va Kishinevskiylar tomonidan yaratilgan) da massa almashinish jarayoni uzlukli bo'ladi, ya'ni vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadi.

Kishinevskiy M.X tomonidan taklif etilgan modelga binoan, fazalarni ajratuvchi chegaragacha massa berishda molekular va turbulent diffuziya birgalikda boradi deb qabul qilinadi. Shuning uchun, bu modelda o'tayotgan massa miqdori quyidagi formuladan hisoblanadi:

$$M = 2\sqrt{\frac{D+\varepsilon_{\Pi}}{\pi\tau}}(C_0 - C_{ch}) \qquad (5.47)$$

bu yerda, τ – fazalarning to'qnashish vaqti; C_0-C_{ch} – fazalar chegarasi va yadrosidagi konsentratsiyalar farqi.

Dankvers modeliga binoan, fazalarni ajratuvchi yuzalar chegarasida moddaning tarqalishi faqat molekular diffuziya hisobiga boradi deb qabul qilingan. Lekin har bir element yangisi bilan almashish ehtimoli bor deb qaraladi. Shu bilan birga, elementlarning ajratuvchi yuzada bo'lish vaqti bir xil emas va moddaning tarqalishi eksponensial qonunga bo'ysinadi, ya'ni (5.47) tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$M = \sqrt{Ds}(C_0 - C_{ch})$$

bu yerda, s – vaqt birligi ichida yangilanayotgan yuzaning ulushi, s^{-1}.

Ma'lumki, turbulent harakat shu kungacha mukammal o'rganilmagan. Shuning uchun ham, aniq va mukammal massa o'tkazish modellari ishlab chiqilmaganligi uchun (5.17) tenglama ishlatiladi.

5.6.4. Massa almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuch

Issiqlik almashinish jarayonlarida kabi massa almashinishda ham fazalar yo'nalishi parallel, qarama - qarshi, o'zaro kesishgan va murakkab bo'lishi mumkin.

Ma'lumki, fazalar harakatining o'zaro yo'nalishi va ularning ta'sir qilish usuli massa almashinish jarayonining harakatga keltiruvchi kuch qiymatini belgilaydi. Fazalar ajratuvchi yuza bo'yicha harakatlanganda, ularning konsentratsiyasi o'zgaradi. Bu hol esa o'z navbatida harakatga keltiruvchi kuchning o'zgarishiga olib keladi. Shuning uchun, massa o'tkazishning asosiy tenglamasida o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch kattaligi ishlatiladi.

Massa o'tkazish jarayonining o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi. Ushbu kuchning ifodalanishi muvozanat chizig'i to'g'ri yoki egri chiziq shaklida ekanligiga bog'liq.

Qarama - qarshi yo'nalishli kolonnada massa almashinish jarayonini ko'rib chiqamiz (5.10-rasm).

Jarayon quyidagi shartlarga amal qilgan holatda yuz bermoqda:

1) muvozanat egri chizig'i $y^* = f(x)$;
2) fazalar sarflari o'zgarmas ($G = const$, $L = const$), ya'ni ishchi chiziq to'g'ri chiziq funksiyasidir.

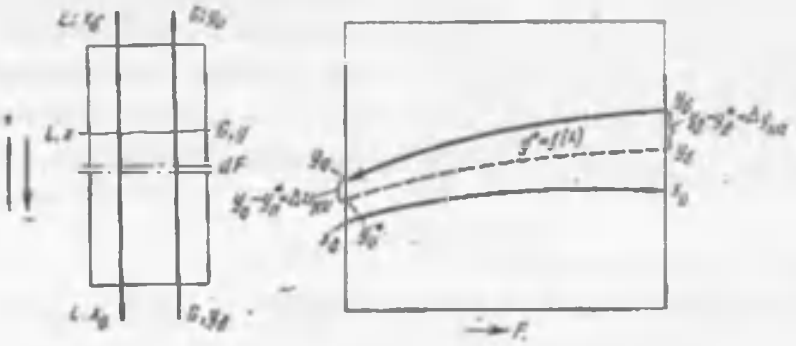
3) massa o'tkazish koeffitsiyenti qurilmaning balandligi bo'yicha o'zgarmaydi, ya'ni $K_x = const$, $K_y = const$.

Massa o'tkazish jarayonida dF elementar yuzadan Φ_y fazaning konsentratsiyasi dy ga kamayadi va tarqalgan massa dM ning miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$dM = -Gdy$$

Tenglama o'ng tomonidagi manfiy ishora Φ_y fazadagi konsentratsiyaning kamayishini ifodalaydi.

Xuddi shu miqdordagi dM massa Φ_x fazaga o'tib, uning konsentratsiyasini dx qiymatga oshiradi. Unda, dF elementar yuza uchun massa o'tkazish tenglamasini ushbu ko'rinishda yozish mumkin:



5.10-rasm. Massa o'tkazish jarayonining o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchini aniqlashga oid.

$$dM = -Gdy = K_y(y - y^*) \cdot dF \qquad (5.48)$$

O'zgaruvchi y va F qiymatlarni ajratib (5.48) tenglamani integrallasak (konsentratsiya bo'yicha y_b dan y_{ox} gacha, to'qnashish yuzasi bo'yicha O dan F gacha), quyidagi tenglamani olamiz:

$$\int_{y_b}^{y_{ox}} \frac{d_y}{y - y^*} = \int_{O}^{F} \frac{K_y}{G} dF$$

bundan

$$\int_{y_b}^{y_{ox}} \frac{d_y}{y - y^*} = \frac{K_y}{G} F \qquad (5.49)$$

Moddiy balans tenglamasiga binoan, butun qurilma uchun bir fazadan ikkinchisiga o'tgan modda massasi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$M = G \cdot (y_b - y_{ox})$$

Oxirgi ifodadagi G ning qiymatini (5.49) tenglamaga qo'ysak, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\int_{y_{ox}}^{y_b} \frac{d_y}{y-y^*} = \frac{K_y \cdot F}{M}(y_b - y_{ox})$$

bundan:

$$M = K_y F \frac{y_b - y_{ox}}{\int_{y_{ox}}^{y_b} \frac{dy}{y-y^*}} \tag{5.50}$$

(5.50) tenglamani (5.4) bilan taqqoslab, (5.50) tenglamaning oxirgi ko'paytmasi massa almashinish jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchini ifoda etishini bilamiz:

$$\Delta y_{o'r} = \frac{y_b - y_{ox}}{\int_{y_{ox}}^{y_b} \frac{dy}{y-y^*}} \tag{5.50a}$$

Xuddi shunday Φ_x fazadagi $\Delta x_{o'r}$ ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\Delta x_{o'r} = \frac{x_{ox} - x_6}{\int_{x_6}^{x_{ox}} \frac{dx}{x^*-x}} \tag{5.50b}$$

Muvozanat chizig'i to'g'ri chiziq ($y^*=mx$) funksiyasi bo'lgan holda o'rtacha logarifmik yoki arifmetik kattalik sifatida aniqlash mumkin.

Shunday qilib, Φ_y fazasi uchun massa o'tkazishning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi ushbu tenglama bilan ifodalanadi:

$$\Delta y_{o'r} = \frac{(y_b - y_b^*) - (y_{ox} - y_{ox}^*)}{\ln \frac{y_b - y_b^*}{y_{ox} - y_{ox}^*}} = \frac{\Delta y_{ka} - \Delta y_{ki}}{2{,}3 \lg \frac{\Delta y_{ka}}{\Delta y_{ki}}} \tag{5.51}$$

Φ_x fazasi uchun massa o'tkazishning o'rtacha logarifmik harakatga keltiruvchi kuchini esa quyidagi tenglama orqali topish mumkin:

$$\Delta x_{o'r} = \frac{(x_{ox}^* - x_{ox}) - (x_6^* - x_6)}{\ln \frac{x_{ox}^* - x_{ox}}{x_b^* - x_b}} = \frac{\Delta x_{ka} - \Delta x_{ki}}{2{,}3 \lg \frac{\Delta x_{ka}}{\Delta x_{ki}}} \tag{5.52}$$

Agar $\Delta y_{ka} / \Delta y_{ki} < 2$ bo'lgan sharoitda, texnik hisoblashlar uchun yetarli aniqlikda, massa o'tkazishning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi, o'rtacha arifmetik qiymat sifatida topiladi:

$$\Delta y_{o'r} = \frac{\Delta y_{ka} + \Delta y_{ki}}{2} \tag{5.53}$$

Xuddi shunday, Φ_x fazasi uchun:

$$\Delta x_{o'r} = \frac{\Delta x_{ka} + \Delta x_{ki}}{2} \tag{5.54}$$

O'tkazish birligining soni. (5.50a) va (5.50b) tenglamalari mahrajidagi integral **o'tkazish birligining soni** deb nomlanadi va u n_{oy}, n_{ox} bilan belgilanadi:

$$n_{oy} = \int_{y_{ox}}^{y_b} \frac{dy}{y - y^*}$$

$$n_{ox} = \int_{x_b}^{x_{ox}} \frac{dx}{x^* - x} \tag{5.55}$$

(5.55) tenglamadan ko'rinib turibdiki, o'tkazish birligining soni va o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch o'rtasida ma'lum bog'liqlik bor:

$$n_{oy} = \frac{y_b - y_{ox}}{\Delta y_{o'r}}$$

$$n_{ox} = \frac{x_{ox} - x_b}{\Delta x_{o'r}} \tag{5.56}$$

Shunday qilib, o'tkazish birligi soni jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchiga teskari proporsionaldir.

O'tkazish birligining balandligi. Faraz qilaylik, Φ_y fazadan Φ_x ga massa o'tkazish jarayoni sodir bo'lib, o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch Φ_y faza konsentratsiyasida ifodalanganda, tarqalgan modda M miqdori ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$M = G \cdot (y_b - y_{ox})$$

bu yerda, $G - \Phi_y$ faza sarfi.

Undan tashqari, tarqalgan modda miqdori hajmiy massa o'tkazish koeffitsiyenti orqali ifodalangan massa berish tenglamasi yordamida topilishi mumkin:

$$M = K_y \cdot aSH\Delta y_{o'r}$$

Agar oxirgi ikki tenglamalarning o'ng tomonlarini tenglashtirsak, ushbu ifodani olamiz:

$$K_y \cdot aSH\Delta y_{o'r} = G \cdot (y_b - y_{ox})$$

bundan qurilmaning ishchi balandligi:

$$H = \frac{G}{K_y \cdot aS} \cdot \frac{y_b - y_{ox}}{\Delta y_{o'r}} \tag{5.57}$$

(5.57) tenglama o'ng tomonidagi birinchi ko'paytmasini n_{oy} deb belgilab, (5.49) va (5.55) tenglamalarni hisobga olgan holda quyidagiga erishamiz:

$$h_{oy} = \frac{H}{n_{oy}} = \frac{HG}{K_y F}$$

Agar fazalar to'qnashish yuzasi $F = aSH$ ekanligini inobatga olsak:

$$h_{oy} = \frac{HG}{K_y aSH} = \frac{G}{K_y \cdot aS} \qquad (5.58)$$

yoki

$$h_{ox} = \frac{L}{K_x \cdot aS}$$

$K_y \cdot a = K_v$ va $G/S = W$ – suyuqlik massaviy tezligi, bo'lgani uchun:

$$h_{oy} = \frac{W}{K_y}$$

yoki

$$h_{ox} = \frac{L}{K_y} \qquad (5.59)$$

Shunday qilib, o'tkazish birligining balandligi bitta o'tkazish birligiga ekvivalent bo'lgan qurilma balandligini ifodalaydi. O'tkazish birligining balandligi massa o'tkazishning hajmiy koeffitsiyentiga teskari proporsionaldir. Demak, qurilmada massa o'tkazish intensivligi qanchalik yuqori bo'lsa, o'tkazish birligining balandligi shunchalik kichik bo'ladi.

O'tkazish birligi balandligi uzunlik o'lchov birligi (m) yordamida o'lchanadi.

Ajratib olish koeffitsiyenti. Massa almashinish jarayoni nuqtayi nazaridan qaralganda, qurilmaning samaradorligi tarqaluvchi komponentni gaz (yoki suyuqlik) fazadan ajratib olish darajasi yordamida xarakterlanadi.

Qurilmada bir fazadan ikkinchisiga o'tgan komponent haqiqiy massasining maksimal o'tishi mumkin bo'lgan komponent massasiga nisbati massa almashinish qurilmalarining asosiy xarakteristikasi bo'lib, ***ajratib olish*** yoki **boyitish koeffitsiyenti** deb nomlanadi.

$$\varphi = \frac{y_b - y_{ox}}{y_b - y_{ox}^*} \qquad (5.60)$$

5.7. Massa almashinish qurilmalarining asosiy o'lchamlarini hisoblash

Massa almashinish qurilmalarini texnologik hisoblash ularning asosiy o'lchamlari: qurilma unumdorligini xarakterlovchi – diametr va unda ro'y berayotgan jarayon intensivligini ifodalovchi – ishchi balandliklar aniqlanishi zarur.

Qurilma diametri. Ushbu parametrni hisoblash uchun suyuqlik sarfi tenglamasidan foydalaniladi:

$$V = w_o \cdot F$$

bu yerda, V – fazaning hajmiy sarfi, m^3/s; w_o – fazaning soxta tezligi, m/s; F – qurilma ko'ndalang kesimining yuzasi, m^2.

Dumaloq ko'ndalang kesim yuzasi $F = \pi D^2 / 4$. Demak:

$$V = w_o \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$

Bundan qurilmaning diametri:

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi w_0}} \qquad (5.61)$$

Odatda, V kattalik berilgan bo'ladi va qurilma diametrini aniqlash uchun tegishli fazaning soxta tezligini tanlash zarur. Faza tezligini tanlash quyidagi talablar asosida amalga oshiriladi: suyuqlik oqimining tezligi ortishi bilan massa o'tkazish koeffitsiyenti ko'payadi; suyuqlik tezligi ortishi bilan qurilmaning gidravlik qarshiligi ham oshadi; gidravlik qarshilik ortishi bilan jarayonni o'tkazish uchun zarur energiya sarfi ko'payadi. Shuning uchun gaz yoki suyuqlikning optimal tezligini topish texnik-iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir. Lekin amaliyotda soxta tezlikni hisoblab chiqish va uning maksimal qiymatini topish bilan chegaralaniladi.

Qurilma balandligi. Massa almashinish qurilmasining balandligi jarayonda ishtirok etuvchi fazalar to'qnashuvi uzluksiz yoki pog'onali bo'lishiga qarab aniqlanishi mumkin.

Uzluksiz to'qnashishli qurilmaning balandligi. Fazalari uzluksiz to'qnashuvda bo'lgan qurilmalarda uning balandligi hajmiy massa o'tkazish koeffitsiyenti orqali ifodalangan massa o'tkazish formulasi asosida hisoblash mumkin:

$$M = K_y a \cdot V \cdot \Delta y_{o'r} \qquad (5.62)$$

yoki

$$M = K_x \cdot a \cdot V \cdot \Delta x_{o'r} \qquad (5.63)$$

Qurilmaning ishchi hajmi:

$$V = FH$$

bu yerda, F – qurilma ko'ndalang kesimi yuzasi, m; H – qurilmaning ishchi balandligi. m.

Agar V ning qiymatini (5.63) ga qo'yib, tenglamani H ga nisbatan yechsak, qurilmaning balandligini topamiz:

$$H = \frac{M}{K_y \cdot a \cdot F \cdot \Delta y_{o'r}} \qquad (5.64)$$

yoki

$$H = \frac{M}{K_x \cdot a \cdot F \cdot \Delta x_{o'r}}$$

(5.64) tenglamadan H ni aniqlashda solishtirma yuza a va massa o'tkazishning sirtiy koeffitsiyenti (K_y yoki K_x) ni yoki ushbu kattaliklarning ko'paytmasi bo'lmish hajmiy massa o'tkazish koeffitsiyenti K_V ni bilish kerak.

Qurilmaning ishchi balandligini aniqlashda o'tkazish birligi soni yordamida ham topish mumkin, ya'ni:

$$H = h_{oy} \cdot n_{oy}$$

yoki

$$H = h_{ox} \cdot n_{ox} \qquad (5.65)$$

Pog'onali to'qnashishli qurilmaning balandligi. Bunday turdagi qurilmalarning, shu jumladan, tarelkali kolonnalarning balandligi hajmiy massa o'tkazish koeffitsiyenti orqali ifodalanadi.

Lekin K_V ni aniqlash uchun kerakli harakatchan faza hajmini topish juda qiyin. Shunday uchun, H ni hisoblashda qurilma pog'onalarining soni analitik yoki grafik usulda topilishi mumkin.

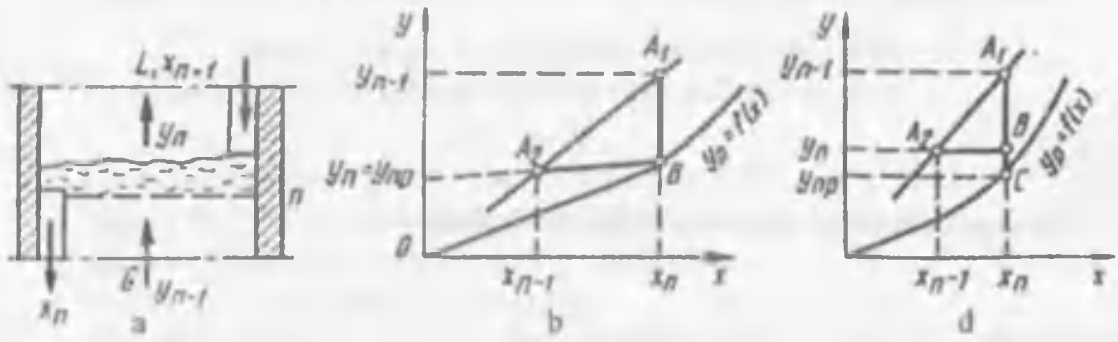
Qurilmaning ishchi balandligi pog'onalarning haqiqiy soni orqali aniqlanishi mumkin:

$$H = n_x \cdot h$$

bu yerda. h – pog'onalar orasidagi masofa.

Pog'onalar sonini aniqlashning analitik usuli. n – pog'onali. qarama-qarshi yo'nalishli, kolonnali qurilmada massa almashinish jarayonini ko'rib chiqamiz (5.11-rasm).

Kolonna tarelkasiga y_{n-1} konsentratsiyali G gaz faza va x_{n+1} konsentratsiyali L



5.11-rasm. Tarelkada massa almashinish (a) va jarayonni u-x koordinatlarida tasvirlash

b – tarelka muvozanat bo'lgan sharoitda – ideal jarayon;

d – tarelkada muvozanat bo'lmagan sharoitda – haqiqiy jarayon.

suyuq faza uzatilmoqda. Massa almashinish natijasida gaz fazaning konsentratsiyasi y_n miqdorgacha pasaysa. suyuq fazaniki x_n miqdorgacha ko'payadi. Tarelkadan chiqib ketayotgan gaz y_n va undan oqib tushayotgan suyuqlik x_n tarkiblarining muvozanat holati konsentratsiyalari muvozanat chizig'ida V nuqta bilan ifodalanadi (5.11-rasm).

Nazariy pog'onada gaz fazasi konsentratsiyasining o'zgarishiga A_1B vertikal chiziq to'g'ri keladi. Suyuq fazada konsentratsiyaning x_n dan x_{n+1} gacha o'zgarishi BA_2 gorizontal chiziq bilan ifodalanadi.

Shunday qilib, A_1BA_2 «pog'ona» nazariy tarelkada ikkala fazalar konsentratsiyalarining o'zgarishini tasvirlaydi. Kolonnali qurilmalarda nazariy tarelkalar sonini aniqlash uchun boshlang'ich va oxirgi konsentratsiyalar oralig'ida ketma-ket shunday «pog'onalar» quriladi.

Haqiqiy tarelkalar sonini topish uchun qurilmaning f.i.k. dan foydalaniladi. Ushbu koeffitsiyent haqiqiy tarelkadagi massa almashinish jarayonining real kinetikasini hisobga oladi va tarelkalar tuzilishiga qarab η=0,5...0,8 oraliqda bo'ladi.

F.i.k. hisobga olingan hollarda, tarelkalarning haqiqiy soni ushbu nisbatdan topiladi:

$$n_x = \frac{\eta_H}{\eta} \qquad (5.66)$$

bu yerda, η_n – nazariy tarelkalar soni; η – f.i.k.

Tarelkalar f.i.k. uning tuzilishiga, gaz va suyuqliklarning fizik-kimyoviy xossalariga hamda oqimlar gidrodinamikasiga bog'liqdir.

Shuni nazarda tutish kerakki, nazariy tarelkalar soni yordamida qurilma balandligini aniqlash taxminiy usul bo'lib hisoblanadi. Bundan, faqat massa o'tkazish koeffitsiyenti yoki f.i.k. ning ishonchli qiymatlari bo'lmagan holatlarda foydalanish mumkin.

Ko'pincha, massa almashinish jarayonlarida muvozanat holatiga erishib bo'lmaydi. Shuning uchun, haqiqiy to'qnashish pog'onalarini aniqlash bu jarayonlarda asosiy masaladir.

Pog'onaning samaradorligi fazaning pog'onadagi konsentratsiyalar o'zgarishini shu fazaning pog'onaga kirishdagi harakatga keltiruvchi kuchi nisbati bilan belgilanadi.

n – pog'ona tarelkasidagi konsentratsiyaning o'zgarishi $y_{n-1}-y_n$ farq bilan (5.11v-rasm, A_1B kesma), suyuqlikni ideal aralashtirish paytidagi harakatga keltiruvchi kuch esa $y_{n-1}-y_{pr}$ (5.11v-rasm, A_1C kesma) farq bilan ifodalanadi.

Unda, pog'onalarning samaradorligi yoki f.i.k. quyidagicha hisoblanadi:

$$E_y = \frac{y_{n-1} - y_n}{y_{n-1} - y_{pr}} \tag{5.67}$$

Qurilma balandligi esa ushbu nisbatdan topiladi:

$$H = \frac{n_x \cdot h_x}{\eta} \tag{5.68}$$

$y>y_p$ bo'lganda, n – tarelka uchun harakatga keltiruvchi kuch quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta y_{ur} = \frac{\left(y_{n-1} - y_{pr}\right) - \left(y_n - y_{pr}\right)}{\ln \dfrac{y_{n-1} - y_{pr}}{y_n - y_{pr}}} = \frac{y_{n-1} - y_n}{\ln \dfrac{y_{n-1} - y_{pr}}{y_n - y_{pr}}} \tag{5.69}$$

O'tkazish birligining soni esa,

$$m_y = \ln \frac{y_{n-1} - y_{pr}}{y_n - y_{pr}} \tag{5.70}$$

Bundan

$$e^{m_y} = \frac{y_{n-1} - y_{pr}}{y_n - y_{pr}} \tag{5.71}$$

5.11-rasmdan ko'rinib turibdiki, $e^{m_y} = AC/BC$ yoki $BC = ACe^{-m_y}$. Agar e^{-m_y} ma'lum bo'lsa, BC kesma bo'yicha B, B_1, B_2 nuqtalar o'rnini topish mumkin. B, B_1, B_2,... nuqtalarni birlashtirib, har bir tarelkadan chiqishdagi fazaning konsentratsiyasini ifodalovchi jarayonning kinetik chizig'ini olamiz.

Massa o'tkazish koeffitsiyenti β_y va β_x larni hisobga olgan holda aniqlanadi:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}}$$

Shunday qilib, K_y va e^{-m_y} qiymatlarni hamda *CB* kesmani hisoblab, kinetik chiziq o'rnini topish mumkin.

Pog'onalar samadorligi va o'tkazish birligining soni orasida esa quyidagi bog'liqlik bor:

$$e^{-m_y} = 1 - \frac{y_{n-1} - y_n}{y_n - y_{pr}} = 1 - E_y \qquad (5.72)$$

bundan

$$E_y = 1 - e^{-m_y} \qquad (5.73)$$

5-bob. Massa almashinish asoslari bo'yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Massa almashinish jarayoni deb nimaga aytiladi?
2. Massa almashinish jarayonlarning turlari.
3. Massa o'tkazish jarayonining ta'rifini bering.
4. Fazalar qoidasi nimani ifodalaydi?
5. Massa o'tkazishning asosiy tenglamasini yozing va unga kiruvchi parametrlarni ta'riflang, o'lchov birliklarini aniqlang.
6. Massa o'tkazish koeffitsiyentining fizik ma'nosi va o'lchov birligi.
7. Fikning 1-qonunining fizik ma'nosini va formulasini yozing.
8. Diffuziya koeffitsiyentining o'lchov birligi va nimani bildiradi ?
9. Turbulent diffuziyaning fizik ma'nosi va formulasini yozing.
10. Turbulent diffuziya koeffitsiyentining o'lchov birligi va fizik ma'nosi.
11. Fikning 2-qonunining fizik ma'nosi va formulasini yozing.
12. Massa berish va uni ifodalovchi formulasini yozing.
13. Massa berish koeffitsiyenti va uning o'lchov birligi.
14. Konvektiv diffuziya kriterial tenglamalarini yozing va izohlang.
15. Massa almashinish jarayoni mexanizmini tushuntiring.
16. Massa berish va o'tkazish orasidagi bog'liqlik formulalarini yozing.
17. Massa almashinish jarayoni yupqa qatlamli modelining mohiyati nimada?.
18. Massa almashinish jarayoni diffuzion chegaraviy qatlamli modelining ma'nosini izohlang.
19. Massa almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuch qanday aniqlanadi?
20. Diffuzion Nusselt kriteriysining fizik ma'nosi va formulasini yozing.
21. Diffuzion Prandtl kriteriysining fizik ma'nosi va formulasini yozing.
22. Diffuzion Furye kriteriysining fizik ma'nosi va formulasini yozing.
23. Diffuzion Pekle kriteriysining fizik ma'nosi va formulasini yozing.
24. Massa almashinish qurilmalarining qaysi asosiy o'lchamlari hisoblanadi?

ABSORBSIYA

5.8. Umumiy tushunchalar

Gaz yoki bug'li aralashmalardagi gaz yoki bug' komponentlarining suyuqlikda yutilish jarayoni **absorbsiya** deb nomlanadi. Yutilayotgan gaz yoki bug' ***absorbtiv***, yutuvchi suyuqlik esa – **absorbent** deb ataladi. Ushbu jarayon selektiv va qaytar jarayon bo'lib, gaz yoki bug' aralashmalarini ajratish uchun xizmat qiladi.

Absorbtiv va absorbentlarning o'zaro ta'siriga qarab, absorbsiya jarayoni 2 ga bo'linadi: fizik absorbsiya; kimyoviy absorbsiya (yoki xemosorbsiya).

Fizik absorbsiya jarayonida gazning suyuqlik bilan yutilishi paytida kimyoviy reaksiya yuz bermaydi, ya'ni kimyoviy birikma hosil bo'lmaydi. Agar suyuqlik bilan yutilayotgan gaz kimyoviy reaksiyaga kirishsa, bunday jarayon **xemosorbsiya** deyiladi.

Ma'lumki, fizik absorbsiya ko'pincha qaytar jarayon bo'lgani sababli, ya'ni suyuqlikka yutilgan gazni ajratib olish imkoni bo'ladi. Bunday jarayon ***desorbsiya*** deb nomlanadi. Absorbsiya va desorbsiya jarayonlarini uzluksiz ravishda tashkil etish, yutilgan gazni sof holda ajratib olish va absorbentni ko'p marta ishlatish imkonini beradi.

Absorbsiya jarayoni sanoat korxonalarida uglevodorodli gazlarni ajratish, sulfat, azot, xlorid kislotalar va ammiakli suvlarni olishda, gaz aralashmalaridan qimmatbaho komponentlarni ajratish va boshqa hollarda keng miqyosda ishlatiladi.

Absorbsiya jarayoni ishtirok etadigan texnologiyalarni qurilmalar bilan jihozlash murakkab emas. Shuning uchun, kimyo, oziq - ovqat va boshqa sanoatlarda absorberlar ko'p qo'llaniladi.

5.9. Absorbsiya jarayonining fizik asoslari

Gaz faza suyuqlik bilan o'zaro ta'siri natijasida ikkita faza ($\Phi=2$) va uchta komponent, ya'ni tarqaluvchi modda va ikkita modda tashuvchi ($K=3$) lardan iborat sistema hosil bo'ladi.

Fazalar qoidasiga binoan, bunday sistema 3 ta erkinlik darajasiga ega:

$$C = K + 2 - \Phi = 3 + 2 - 2 = 3$$

Sistemadagi fazaviy muvozanatni belgilovchi asosiy uchta parametrlar quyidagilardir: bosim, temperatura va konsentratsiya. Demak, «gaz – suyuqlik» sistemada ikkala fazaning bosimi p, temperaturasi t va konsentratsiyasi x o'zgarishi mumkin. Absorbsiya jarayoni o'zgarmas bosim va temperaturada borayotgan bo'lsa, bir fazada tarqalayotgan moddaning har bir konsentratsiyasiga, ikkinchi fazadagi aniq konsentratsiya to'g'ri keladi.

O'zgarmas temperatura ($t=const$) va umumiy bosimli sharoitda muvozanat konsentratsiyalari orasidagi bog'liqlik Genri qonuni bilan ifodalanadi. Bu qonunga binoan, biror temperaturada eritma ustidagi gazning parsial bosimi, uning mol ulushiga to'g'ri proporsionaldir:

$$p = E \cdot x$$

yoki

$$x = \frac{p}{E} \tag{5.74}$$

bu yerda, p – muvozanat holatidagi eritmada x konsentratsiyali yutilayotgan gazning parsial bosimi; E – Genri kontantasi.

Genri konstantasi absorbtiv va absorbentlarning xossalariga hamda temperaturaga bog'liq bo'ladi:

$$\ln E = -\frac{q}{RT} + C \tag{5.75}$$

bu yerda, q – gazning erish issiqligi, kJ/kmol; R = 8,325 kJ/(kmol·K) – universal gaz doimiysi; T – absolyut temperatura, K; C – yutayotgan suyuqlik va gazlarning tabiatiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas kattalik.

(5.75) tenglamadan ko'rinib turibdiki, temperatura ortishi bilan gazning suyuqlikda erishi kamayadi.

Dalton qonuniga binoan, gaz aralashmasidagi komponentning parsial bosimi, ushbu komponent mol ulushining umumiy bosimga ko'paytirilganiga tengdir, ya'ni:

$$p = P \cdot y \qquad \text{va} \qquad y = \frac{p}{P} \tag{5.76}$$

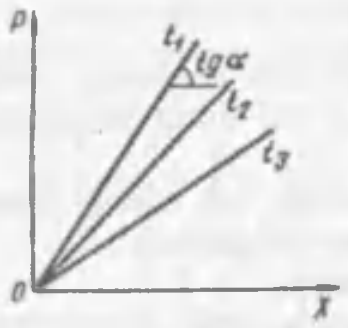
bu yerda, P – gaz aralashmasining umumiy bosimi; y – tarqalayotgan moddaning aralashmadagi konsentratsiyasi; mol ulushi.

(5.74) va (5.76) tenglamalarni taqqoslab, quyidagi ifodaga kelamiz:

$$y = \frac{p}{P} = \frac{E}{P} \cdot x$$

yoki fazaviy muvozanat konstantasi E/P ni m orqali belgilab, quyidagi ifodani olamiz:

$$y = m \cdot x \tag{5.77}$$



5.12-rasm. Turli temperaturalarda ($t_1 > t_2 > t_3$) gazning suyuqlikda erishi.

(5.77) tenglama, gaz aralashmasi va suyuqlikda tarqalayotgan moddalarning muvozanat konsentratsiyalari orasidagi bog'liqlik to'g'ri chiziq bilan ifodalanishini ko'rsatadi. Ushbu chiziq koordinatalar boshidan o'tadi va uning qiyalik burchagi tangensi m ga teng. Qiyalik burchak tangensi temperatura va bosimga bog'liq. 5.12-rasmdan ko'rinib turibdiki bosim oshishi va temperatura kamayishi bilan gazning suyuqlikda eruvchanligi ortadi (m esa kamayadi). Suyuqlik bilan gazlar aralashmasi muvozanat holatida bo'lganida, aralashma gaz komponentining har biri Genri qonuniga bo'ysunadi.

Absorbsiya jarayoni nisbiy mol konsentratsiyalarda ham hisoblanishi mumkin. Bunda, gaz fazasining suyuqlikdagi kichik konsentratsiyalari x da Genri qonuni ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$Y = m \cdot X$$

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, o'ta suyultirilgan eritmalar, hamda kichik bosimlarda o'z xossalari bo'yicha ideal suyuqliklarga o'xshash eritmalar ham Genri qonuniga bo'ysunadi.

Yuqori konsentratsiyali eritmalar va katta bosimlarda gaz bilan suyuqlikning o'zaro muvozanat holati Genri qonuniga bo'ysunmaydi, chunki fazalarning muvozanat konsentratsiyalari orasidagi bog'liqlik egri chiziq bilan ifodalanadi.

5.10. Adsorbsiyaning moddiy balansi va kinetik qonuniyatlari

Qurilma balandligi bo'ylab fazalar sarfini o'zgarmas deb qabul qilamiz. Inert gaz sarfini – G (kmol/s), gaz aralashmasida absorbtivning boshlang'ich va oxirgi konsentratsiyalari y_b va y_{ox} (kmol/kmol inert gaz), absorbent sarfini – L (kmol/s) va uning konsentratsiyalarini x_b va x_{ox} (kmol/kmol absorbent) deb belgilab olamiz.

Unda, absorbsiya jarayonining moddiy balansi quyidagi ko'rinishdagi umumiy tenglama bilan ifodalanadi:

$$G(y_b - y_{ox}) = L(x_{ox} - x_b)$$

Oxirgi tenglamani boshlang'ich va oxirgi konsentratsiyalar oralig'ida integrallagandan so'ng, undan absorbent sarfini (kmol/s) aniqlash mumkin:

$$L = G\frac{y_b - y_{ox}}{x_{ox} - x_b} \qquad (5.78)$$

1 kmol inert gaz uchun zarur solishtirma sarf:

$$l = \frac{L}{G} = \frac{y_b - y_{ox}}{x_{ox} - x_b} \qquad (5.79)$$

Absorberda konsentratsiyaning o'zgarishi (5.8) va (5.9) tenglamalar bilan ifodalanadi. Jarayon ishchi chizig'i y-x koordinatalarida to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'ladi. Uning qiyalik burchagi tangensi $l = L/G$.

Absorbent solishtirma sarfining absorber o'lchamiga va suyuq fazada tarqalayotgan moddaning oxirgi konsentratsiyasiga ta'sirini ko'rib chiqamiz.

Absorberda fazalar yo'nalishi parallel deb qabul qilamiz.

y-x koordinatalarning V nuqtasida aniqlanayotgan suyuq fazada tarqalayotgan moddaning boshlang'ich konsentratsiyasi x_b, gaz fazasidagi boshlang'ich konsentratsiya y_b, oxirgisi esa – y_{ox} (5.13-rasm).

Fazalar muvozanat holati $y_m = f(x)$ tenglamaga binoan turli qiyalik burchagi ostida bir nechta ishchi chiziqlar o'tkazamiz. Rasmdagi A_1, A_2, A_3 nuqtalar gaz faza va absorbentdagi boshlang'ich va oxirgi konsentratsiyalarni xarakterlaydi. Jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi ishchi va muvozanat chiziqlar o'rtasidagi farq bilan aniqlanadi, ya'ni $\Delta y = y - y_m$. Butun qurilma uchun o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch o'rtacha logarifmik qiymat sifatida topiladi. Agar ishchi chiziq BA vertikal chiziq bilan

ustma-ust tushsa, harakatga keltiruvchi kuch eng katta qiymatga ega bo'ladi. Agar (5.79) tenglamaga $x_{ax} = x_6$ qo'yilsa, absorbentning sarfi cheksiz bo'ladi.

Boshqa holatda esa, ya'ni ishchi chiziq BA_3 muvozanat chizig'i bilan tutashsa, absorbentning sarfi minimal va tutashish nuqtasida harakatga keltiruvchi kuch nolga teng bo'ladi, chunki $y_6 = y_m$.

Birinchi holatda absorberning o'lchamlari minimal bo'ladi, chunki absorbentning cheksiz sarfida $\Delta y_{o'r}$ maksimal qiymatga egadir. Ikkinchi holatda esa, absorbentning sarfi minimal bo'lganda absorbentning o'lchamlari cheksiz bo'ladi.

Massa almashinish, shu jumladan, absorbsiya jarayonida ham muvozanatga erishib bo'lmaydi, chunki har doim ($x_{ax} < x_m$). Demak, absorbentning sarfi har doim minimal qiymatdan katta bo'lishi kerak. Absorbentning minimal sarfini quyidagi tenglamadan topish mumkin:

$$l_{min} = \left(\frac{L}{G}\right)_{mm} = \frac{y_b - y_{ax}}{x_{kr} - x_b} \qquad (5.80)$$

Absorbentning optimal sarfi texnik-iqtisodiy hisoblashlar asosida aniqlanadi.

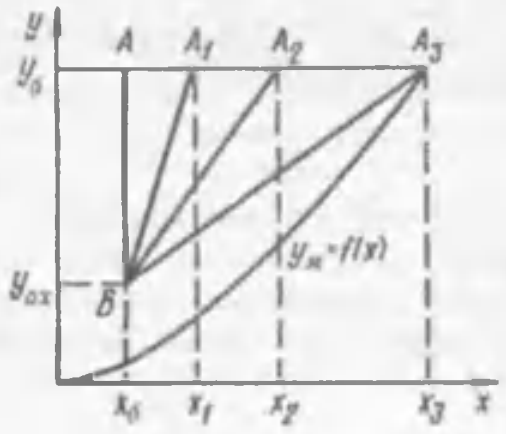
1 kmol gazni yutish uchun zarur sarflar gaz va ekspluatatsiya narxi S_1, amortizatsiya va ta'mirlash uchun sarflar, energiya narxi S_2, gazni uzatish va desorbsiya S_3 ga ketadigan xarajatlar yig'indisiga teng:

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

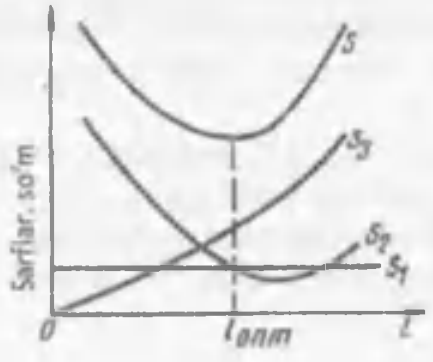
Ma'lumki, S_1 kattalik absorbentning solishtirma sarfiga bog'liq emas. Agar l ortsa, absorberning ishchi balandligi va uning gidravlik qarshiligi kamayadi. Lekin bunda qurilmaning diametri kattalashadi.

Shunday qilib, $S_2 = f(l)$ funksiya minimumga ega bo'lishi mumkin.

Absorbentning solishtirma sarfi l oshishi bilan gazni uzatish va desorbsiyasiga ketadigan sarflar S_3 ko'payadi. 5.14-rasmda yuqorida keltirilgan bog'liqliklar xarakteristikalari tasvirlangan. Hamma egri chiziqlar ordinatalarini qo'shsak, 1 kmol gazni absorbsiya qilish uchun zarur sarflar yig'indisi egri chizig'ini olamiz. Ushbu egri chiziqning minimumi, absorbent optimal solishtirma sarfiga to'g'ri keladi.



5.13-rasm. Absorbentning solishtirma sarfini aniqlashga oid.



5-14-rasm. Absorbentning optimal solishtirma sarfini aniqlashga oid.

Absorsiya jarayonining asosiy tenglamasi absorsiya jarayoni ikki fazali sistemalarning massa o'tkazish tenglamasi bilan ifodalanishi mumkin:

$$M = K_y F \Delta y_{o'r} \cdot \tau$$

yoki

$$M = K_x F \Delta x_{o'r} \cdot \tau$$

Ko'pincha, absorbsiya jarayonining massa o'tkazish tenglamasida harakatga keltiruvchi kuch $y\text{-}y_m$ bosimlar farqi bilan ifodalanadi:

$$M = K_m (p - p_m) \cdot F\tau$$

yoki

$$M = K_m \cdot \Delta p_{o'r} \cdot F\tau \qquad (5.81)$$

bu yerda, p – gaz aralashmasida tarqalayotgan gazning ishchi parsial bosimi; p_m – absorbent ustidagi gazning muvozanat bosimi; K_m – massa o'tkazish koeffitsiyenti; M – gaz fazasidan suyuq fazaga o'tgan massa miqdori; $\Delta p_{o'r}$ – jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi.

Agar muvozanat chizig'i to'g'ri bo'lsa, jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi ushbu formuladan topiladi:

$$\Delta p_{o'r} = \frac{\Delta p_{ka} - \Delta p_{ki}}{2{,}3 \lg \frac{\Delta p_{ka}}{\Delta p_{ki}}}$$

bu yerda, $\Delta p_{ka} = p_h - p_{ox}^{*}$ va $\Delta p_{ki} = p_{ox} - p_b^{*}$ absorberning oxirgi qismlaridagi harakatga keltiruvchi kuchlar; p_b va p_{ox} – absorberga kirayotgan va chiqayotgan gazning parsial bosimi; p_{ox}^{*}, p_b^{*} – absorberga kirayotgan va chiqayotgan gazning muvozanat parsial bosimi.

Absorbsiya jarayonida massa almashinish mexanizmi quyidagicha: har bir faza asosiy massa va chegaraviy yupqa qatlamdan iborat bo'ladi. Asosiy massaga yutiluvchi komponent konvektiv diffuziya yo'li bilan o'tadi.

Ikkala chegaraviy yupqa qatlamda esa, yutiluvchi komponentning o'tishi molekular diffuziya usulida boradi. Shuning uchun, absorbsiya jarayonida massa o'tkazishga bo'lgan qarshilik chegaraviy yupqa qatlamlar yig'indisidan iborat bo'ladi. Suyuq, yupqa qatlamdagi massa o'tkazishga bo'lgan qarshilik $1/\beta_y$, gazdagi esa – m/β_x bo'lsa, massa o'tkazish koeffitsiyenti ushbu tenglamadan hisoblanadi.

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}} \qquad (5.82)$$

$$K_x = \frac{1}{\frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y m}} \qquad (5.83)$$

bu yerda, β_y – gaz oqimidan fazalarni ajratuvchi yuzasiga massa berish koeffitsiyenti; β_x – fazalarni ajratuvchi yuzadan suyuqlik oqimiga massa berish koeffitsiyenti; m – proporsionallik koeffitsiyenti. absorbtiv va absorbent xossalariga va temperaturaga bog'liq.

Koeffitsiyent m ning kattaligi massa o'tkazish tenglamasining tuzilishiga ham ta'sir etadi. Yaxshi eriydigan gazlar uchun m ning qiymati juda kichik bo'ladi. Shuning uchun, suyuqlik fazasidagi diffuzion qarshilik ham kichikdir. $1/\beta_y >> m/\beta_x$ bo'lgani uchun, (5.82) tenglama quyidagicha yoziladi:

$$K_y \cong \beta_y$$

Qiyin eriydigan gazlar uchun proporsionallik koeffitsiyent m ning qiymati juda kattadir. Shuning uchun gaz fazasidagi diffuzion qarshilikni inobatga olmasa ham bo'ladi. $1/\beta_x >> 1/\beta_y m$ bo'lgani uchun, (5.83) tenglama quyidagicha yoziladi:

$$K_x \cong \beta_x$$

ya'ni hamma diffuzion qarshilik suyuq fazada mujassamlangan bo'ladi.

5.11. Absorbsiya jarayonini olib borish usullari

Xalq xo'jaligining turli tarmoqlarida absorbsiya jarayonini tashkil etishda quyidagi prinsipial sxemalar qo'llaniladi:

– parallel yo'nalishli;
– qarama - qarshi yo'nalishli;
– bir pog'onali, qisman resirkulatsiyali;
– ko'p pog'onali, qisman resirkulatsiyali.

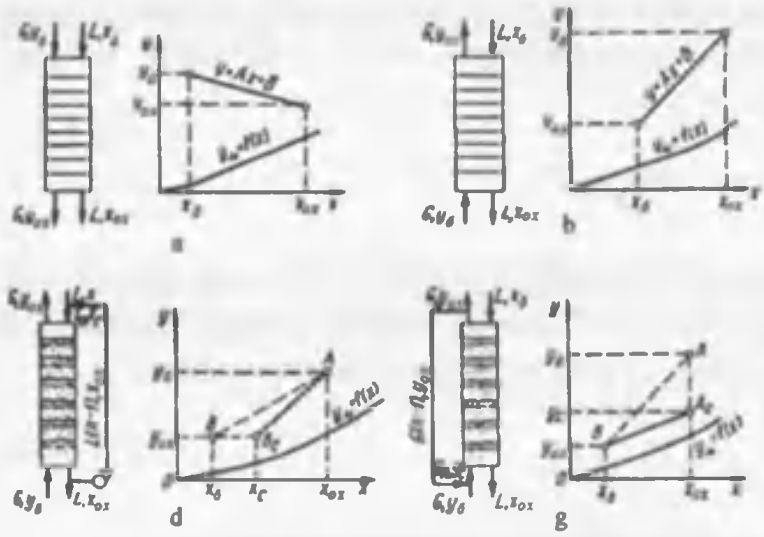
Parallel yo'nalishli sxema 5.15a-rasmda ko'rsatilgan. Bunda gaz oqim va absorbent parallel (bir xil) yo'nalishda harakatlanadi. Absorberga kirishda, absorbtiv konsentratsiyasi katta bo'lgan gaz faza, absorbtiv konsentratsiyasi past bo'lgan suyuq faza bilan to'qnashuvda bo'lsa, qurilmadan chiqishda esa – absorbtiv konsentratsiyasi kichik bo'lgan gaz faza, absorbtiv konsentratsiyasi yuqori bo'lgan suyuqlik bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi.

Qarama - qarshi yo'nalishli sxema 5.15b-rasmda ko'rsatilgan.

Ushbu sxemali absorberlarning bir uchida absorbtiv konsentratsiyasi yuqori gaz va suyuqlik to'qnashuvda bo'lsa, ikkinchi uchida esa – konsentratsiyalari past fazalar o'zaro ta'sirda bo'ladi. Qarama-qarshi yo'nalishli sxemalarda parallel yo'nalishliga qaraganda, absorbentdagi absorbtiv eng yuqori qiymatiga erishsa bo'ladi. Lekin jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi parallel yo'nalishliga nisbatan kam bo'lgani uchun, qarama-qarshi yo'nalishli absorberning gabarit o'lchamlari katta bo'ladi.

Absorbent yoki gaz fazaning resirkulatsiyali sxemalari (5.15d,e - rasm). Bunday sxemalarda absorbent ko'p marta o'tadi. 5.15d - rasmda absorbent bo'yicha resirkulatsiyali sxema keltirilgan. Bunda, gaz faza absorberning tepa qismidan kirib, past qismidan chiqib ketsa, suyuq faza esa qurilmadan bir necha marta qaytarib o'tkaziladi.

Absorbent qurilmaning tepa qismiga uzatiladi va gaz fazasiga qarama - qarshi yo'nalishda harakatlanadi. Yangi x_b konsentratsiyali absorbent absorberdan chiqayotgan suyuq faza bilan aralashishi natijasida uning konsentratsiyasi x_s ga ko'tariladi. Jarayonning ishchi chizig'i y-x diagrammada AB to'g'ri chizig'i bilan ifodalanadi. Absorbtivning aralashtirishdan keyingi konsentratsiyasi x_s ni moddiy balans tenglamasidan topish mumkin.



5.15-rasm. Absorbsiya sxemalari va jarayonni u-x koordinatlarda tasvirlash.
a - parallel; b - qarama - qarshi;
d - absorbent retsirkulatsiyasi bilan;
e - absorbtiv retsirkulatsiyasi bilan.

Agar absorberga kirishdagi absorbent miqdorini yangi absorbent miqdoriga nisbatini n deb belgilasak, moddiy balans tenglamasi ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$G\cdot\left(y_b - y_{ox}\right) = L\cdot\left(x_{ox} - x_b\right) = Ln\cdot\left(x_{ox} + x_c\right)$$

bundan

$$x_c = \frac{x_{ox}\left(n-1\right)+x_b}{n} \qquad (5.84)$$

Gaz fazasi resirkulatsiyali absorbsiya sxemasi 5.15g-rasmda keltirilgan. Ishchi chiziq holati A_c (y_c, x_{ox}) va B (y_{ox}, x_b) nuqtalari bilan belgilanadi. y_c konsentratsiya moddiy balans tenglamasidan aniqlanadi:

$$y_c = \frac{y_{ox}\left(n-1\right)+y_b}{n} \qquad (5.85)$$

Absorbent harakat tezligi ortishi bilan massa berish koeffitsiyenti ko'payadi, bu esa o'z navbatida massa o'tkazish koeffitsiyentini o'sishiga olib keladi.

Qiyin eruvchan gazlarni absorbsiya qilish paytida absorbentni resirkulatsiya qilish usulini qo'llash maqsadga muvofiqdir. Agar absorbtiv resirkulatsiya qilsa, gaz fazasida massa berish koeffitsiyenti ko'payadi. Bu usul yaxshi eriydigan gazlarni absorbsiya qilishda yuqori samara beradi.

5.12. Absorberlar konstruksiyalari

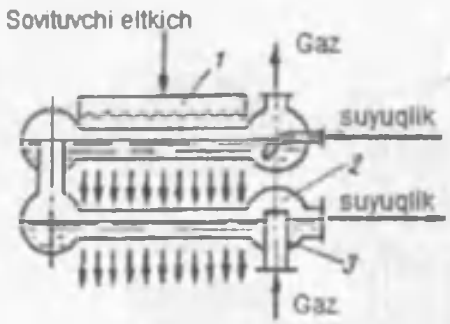
Kimyo va neft-kimyosi sanoatlarida absorbsion qurilmalarining evolyutsiyasi texnologiyalarning umumiy rivojlanishi, ya'ni chiqindisiz yoki kam chiqindili katta quvvatli sistemalar yaratilishi bilan bevosita bog'liqdir. Qurilmalar quvvatini

oshirish va sanoat korxonalarini shaharga yaqin joylashgan maydonlarga yig'ish yangi, samarali va chiqindi gazlarni chuqur va to'liq tozalovchi absorbsion qurilmalar yaratishni taqozo etadi.

Agar 25..35 yil avval bitta texnologik liniyadan chiqayotgan gazlar miqdori, chunonchi oddiy yoki qo'shaloq superfosfat ishlab chiqarish korxonasiniki 30...40 ming m^3/soatni tashkil etsa, hozirgi kundagi azotli, fosforli va kaliyli o'g'itlar ishlab chiqarish texnologiyalaridan chiqayotgan chiqindi gazlar hajmi 150-200 ming m^3/soatdan ortiqdir.

Absorbsiya jarayoni fazalarni ajratuvchi yuzada sodir bo'ladi. Shuning uchun ham, suyuqlik va gaz fazalar to'qnashuvda bo'ladigan absorberlar yuzasi iloji boricha katta bo'lishi kerak. Massa almashinish yuzalarini tashkil etish va loyihalash bo'yicha absorberlar 4 guruhga bo'linadi: sirtiy va yupqa qatlamli absorberlar; nasadkali absorberlar; barbotajli absorberlar; purkovchi absorberlar.

Sirtiy absorberlarda harakatlanayotgan suyuqlik ustiga gaz uzatiladi. Bunday qurilmalarda suyuqlik tezligi juda kichik va to'qnashuv yuzasi kam bo'lgan uchun bir nechta qurilma ketma - ket qilib o'rnatiladi.



5.16-rasm. Sirtiy absorber.
1 - taqsimlagich;
2- truba; 3- ostona.

Suyuqlik va gaz qarama - qarshi yo'nalishda harakatlantiriladi. 5.16 - rasmda gorizontal trubalardan tarkib topgan yuvilib turuvchi absorber tasvirlangan. Trubalar ichida suyuqlik oqib o'tsa, unga teskari yo'nalishda gaz harakat qiladi. Trubalar ichidagi suyuqlik sathi ostona 3 yordamida bir xil balandlikda ushlab turiladi.

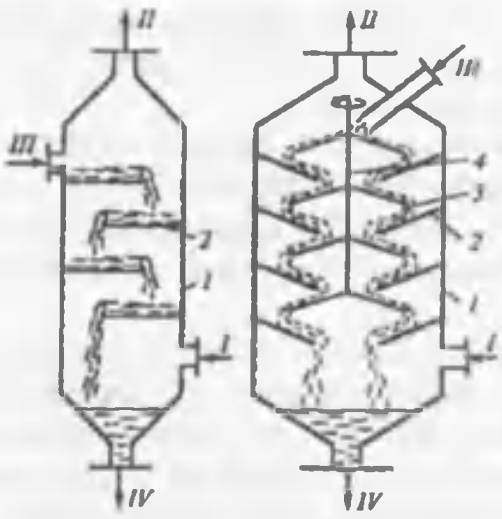
Absorbsiya jarayonida hosil bo'layotgan issiqlikni ajratib olish uchun trubalar taqsimlash moslamasi 2 dan oqib tushayotgan suv bilan yuvilib turadi. Sovutuvchi suvni bir me'yorda taqsimlash uchun tishli taqsimlagich 1 qo'llaniladi. Bu turdagi absorberlar yaxshi eriydigan gazlarni yutish uchun ishlatiladi.

Yupqa qatlamli absorberlar ixcham va yuqori samaralidir (5.16a-rasm). Bu absorberlarda fazalarning to'qnashish yuzasi oqib tushayotgan suyuqlik yupqa qatlami yordamida hosil bo'ladi. Agar gaz oqimi suyuqlik yupqa qatlamini yorib, yaxlitligini buzsa, ko'pikli qatlam hosil bo'ladi va natijada massa almashinish yuzasi ortadi. Yupqa qatlamli qurilmalar guruhiga trubali, list-nasadkali, ko'tariladigan qatlamli absorberlar kiradi.

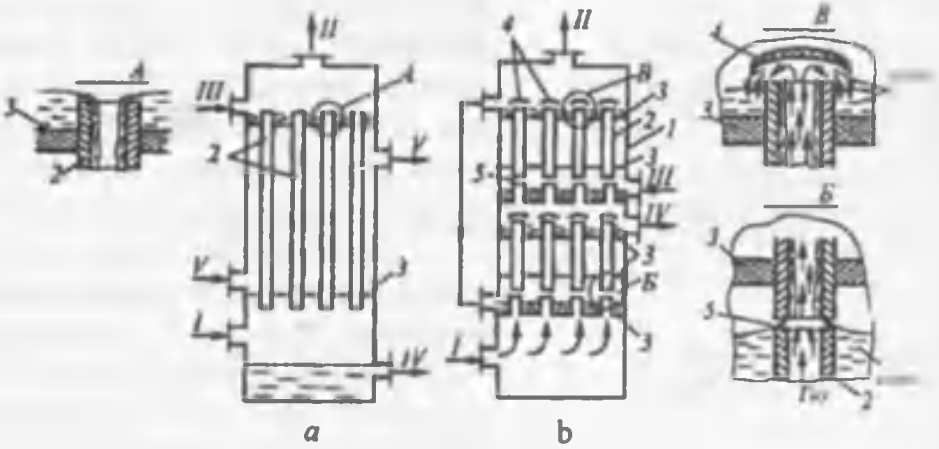
Trubali absorberlarda suyuqlik vertikal trubalarning tashqi yuzasidan pastga qarab oqib tushsa, gaz faza esa qarama - qarshi yo'nalishda yuqoriga qarab harakatlanadi (5.17-rasm). Qolgan turdagi absorberlarda ham fazalarning harakat yo'nalishi trubali absorberlarnikiga o'xshashdir.

Trubali absorberlar tuzilishiga qarab qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmasiga o'xshaydi. Qurilmada hosil bo'lgan issiqlikni ajratib olish uchun trubalar ichiga suv yoki boshqa sovuqlik eltkich yuboriladi.

Gazning sarfi yuqori, ya'ni trubadagi tezliklar 10-15 m/s bo'lganda, qarama-qarshi yo'nalishda jarayonni davom ettirish qiyinlashadi. Bunday hollarda absorbent va gaz aralashmasining tepaga yo'nalgan harakati tashkil etiladi (5.17b-rasm). Yuqori tezlikda harakatlanayotganda o'zi bilan suyuqlik yupqa qatlamini torta boshlaydi (5.17b-rasmdagi B bo'lak).



5.16a-rasm. Yupqa qatlamli absorber.
a-tokchali kaskadli: 1-qobiq; 2-gorizontal tokcha;
b-konus sistemali absorber: 1-qobiq; 2-tashqi konus; 3-ichki konus; 4-o'q.
I-ifloslangan gaz; II-tozalangan gaz; III-yangi absorbent;
IV-ishlatib bo'lingan absorbent

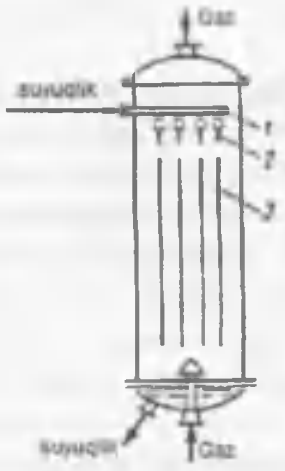


5.17-rasm. Trubali absorber.
a-bir bosqichli, qarama-qarshi yo'nalishli: b-ikki bosqichli, qarama-qarshi yo'nalishli. 1-qobiq; 2-trubalar; 3-truba teshikli panjarasi; 4-tomchi qaytargich; 5-absorbentni truba yo'naltirish tirqishlari. I-ifloslangan gaz; II-tozalangan gaz; III-yangi absorbent; IV-ishlatib bo'lingan absorbent; V-sovutuvchi eltkich. A –pastga qarab harakatlanganda suyuqlikni kiritish; B – yupqa qatlam yuqoriga qarab oqqanda fazalarning trubaga kirishdagi harakati; V – trubadan chiqishda fazalarning harakati.

Trubadan chiqayotgan gaz-suyuqlik aralashmasi tomchi qaytargich 4 ga urila boshlaydi (5.17b-rasmdagi V bo'lak). Gaz suyuqlikdan ajralib tepaga qarab chiqib ketadi, suyuqlik esa trubali panjara 3 da yig'iladi va pastda joylashgan keyingi bosqichga (qurilmaga) o'tkaziladi. Ajratish darajasini oshirish uchun ko'p bosqichli trubali absorberlarni qo'llash maqsadga muvofiq.

5.18-rasmda tekis, parallel nasadkali absorber tasvirlangan.

Nasadkalar vertikal listlar ko'rinishida bo'lib, absorber hajmini bir nechta seksiyaga



5.18-rasm. Yupqa qatlamli tekis parallel nasadkali absorber.
1 - truba; 2 - taqsimlash moslamasi; 3-tekis parallel nasadka.

bo'ladi. Absorberga suyuqlik truba orqali uzatiladi va taqsimlash moslamasi yordamida nasadkaga taqsimlanadi. Natijada tekis listning ikkala tomoni ham suyuqlik bilan yuvilib turadi. Gaz va yupqa qatlamli suyuqliklarning nisbiy harakat tezligiga qarab, suyuqlik yupqa qatlami pastga oqib tushishi yoki gaz oqimiga ilashib, tepaga ham harakatlanishi mumkin. Agar fazalar oqimining tezligi ko'paysa, massa berish koeffitsiyentining qiymati va fazalar to'qnashish yuzasi oshadi. Bunga sabab, chegaraviy qatlamning turbulizatsiyasi va unda uyurmalar hosil bo'lishidir.

Yupqa qatlamning o'rtacha tezligi ushbu tenglamadan topilishi mumkin:

$$w_{o'r} = \sqrt[3]{\frac{gL_c^2}{3\rho\mu}} \qquad (5.86)$$

bu yerda, L_c – to'kish moslamasi perimetrining suyuqlik bilan solishtirma purkalish zichligi, kg/(m·s); ρ – suyuqlik zichligi, kg/m^3; μ – suyuqlik dinamik qovushoqligi, Pa·s.

Yupqa qatlam yaqinidagi suyuqlikning tezligi:

$$w = 1,5 \cdot w_{o'r} \qquad (5.87)$$

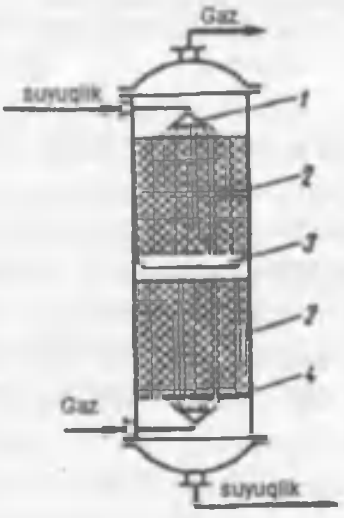
Yupqa qatlamning qalinligi:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot L_c \cdot \mu}{g\rho^2}} \qquad (5.88)$$

Yupqa qatlamning harakat tezligi Reynolds kriteriysidan aniqlanadi:

$$\mathrm{Re} = \frac{w_{o'r} \cdot d_e \cdot \rho}{\mu} \qquad (5.88a)$$

bu yerda, d_e – yupqa qatlamning ekvivalent diametri, m.



5.18a-rasm. Nasadkali absorber.
1 – taqsimlagich; 2 – nasadka; 3 – suyuqlik-ni qayta taqsimlash moslamasi; 4 - teshikli panjara.

Yupqa qatlamning ekvivalent diametri:

$$d_e = \frac{4\Pi \cdot \delta}{\Pi} = 4\delta \qquad (5.89)$$

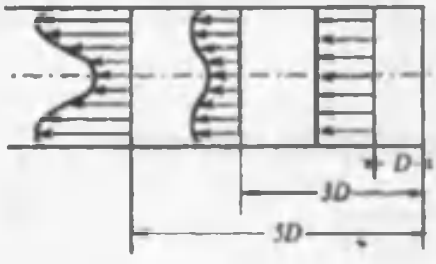
bu yerda, Π – suyuqlik oqib chiqayotgan to'kish moslamasining perimetri, m.

Nasadkali absorberlar. Turli shaklli qattiq nasadkalar bilan to'ldirilgan vertikal silindrsimon kolonnalarninng tuzilishi sodda, ixcham va yuqori samarador bo'lgani uchun sanoatda ko'p ishlatiladi. Odatda, nasadkalar qatlami teshikli panjaralarga joylashtiriladi. Gaz faza teshikli panjara ostiga yuboriladi va undan o'tib, qatlam orqali yuqoriga qarab harakatlanadi (5.18a-rasm).

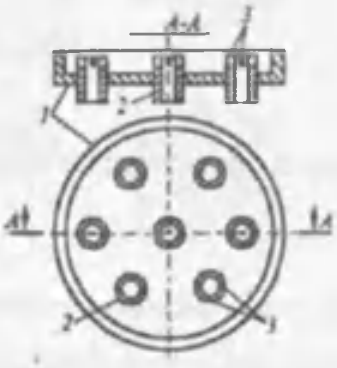
Suyuqlik faza absorberning yuqori qismidan taqsimlash moslamasi 1 yordamida purkaladi va nasadka qatlamida gaz fazasi bilan o'zaro ta'sir etadi. Qurilma samarali ishlashi uchun suyuq faza bir tekisda purkalishi va taqsimlanishi zarur. Bu turdagi absorberlarda nasadkalar ham suyuqlikni bir me'yorda taqsimlashga salmoqli hissa qo'shadi.

Nasadkali absorberlarda taqsimlagich 1 yordamida suyuqlik bir me'yorda qurilma ko'ndalang kesimi bo'yicha purkaladi. Lekin bu turdagi kolonnalarning eng asosiy kamchiligi shundaki, qurilma ko'ndalang kesimi bo'ylab yupqa qatlamli suyuqlik bir tekis oqib tushmaydi. Bunga sabab devor oldi effektidir. Pastga oqib tushishi bilan ushbu kamchilik yanada ortib boradi (5.18b-rasm). Suyuqlik sarfi kichik bo'lgani uchun kolonna o'qida absorberning samaradorligi yomonlashadi. Qurilma ko'ndalang kesimi bo'ylab suyuqlik oqimi notekisligini bartaraf qilish uchun nasadka seksiyalari orasiga qayta taqsimlash moslamasi o'rnatiladi (5.18d-rasm). Ushbu moslama suyuqlikni o'rtaga yig'ib, nasadkaga bir tekisda taqsimlab, suyuqlik bilan yaxshi yuvilishini ta'minlaydi.

Nasadkalar quyidagi talablarga javob berishi kerak: katta solishtirma yuzaga ega bo'lishi; gaz oqimiga ko'rsatadigan gidravlik qarshiligi kichik bo'lishi; ishchi suyuqlik bilan yaxshi ho'llanilishi; absorber ko'ndalang kesim yuzasi bo'ylab suyuqlikni bir tekisda taqsimlashi; ikkala faza ta'siri ostida yemirilmaydigan bo'lishi; yengil va arzon bo'lishi kerak.



5.18b-rasm. Kolonnali qurilmada baland qatlamli nasadka orqali oqib tushayotgan suyuqlik tezligining epyuralari.



5.18d-rasm. Qayta taqsimlash tarelkasi. 1-tarelka; 2-patrubok; 3-patrubka tirqishlari.

Sanoatda qo'llaniladigan nasadkalarning ba'zi bir turlari va ularni qurilmada joylash usullari 5.19-rasmda keltirilgan.

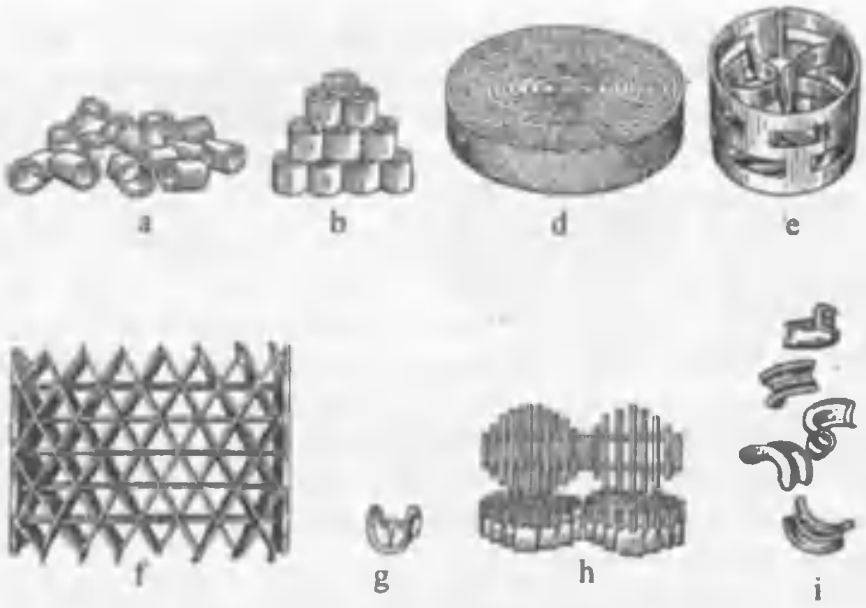
Bu nasadkalarning ichida eng keng tarqalgan nasadka Rashig halqalaridir. Undan tashqari, keramik jism, koks, maydalangan kvars, polimer halqa, metall to'r va panjara, shar, propeller va parrak, egarsimon element va boshqa jismlar ishlatiladi.

Rashig halqalari 15x15x2,5; 25x25x3; 50x50x5 mm o'lchamli qilib yasaladi. Shar va silindrga qaraganda 30% ko'proq yuzaga ega. Nasadkalarning geometrik xarakteristikasi bo'lib ekvivalent diametr hisoblanadi:

$$d_e = \frac{4V_{bx}}{a} \qquad (5.90)$$

bu yerda, V_{bx} – bo'sh hajm, m^3/m^3; a – solishtirma yuza, m^2/m^3.

Rashig halqalarining o'lchamlari kattalashishi bilan solishtirma yuzasi 300;



5.19-rasm. Nasadka turlari.

a – Rashig halqasi (tartibsiz joylashgan); b – to'siqli halqa (tartibli joylashgan): d – Gudloye nasadkasi; e – Pal halqasi; f – «Spreypak» nasadkasi; g – Byorl egari; h – vatarli nasadka; i -»Intalloks» egari.

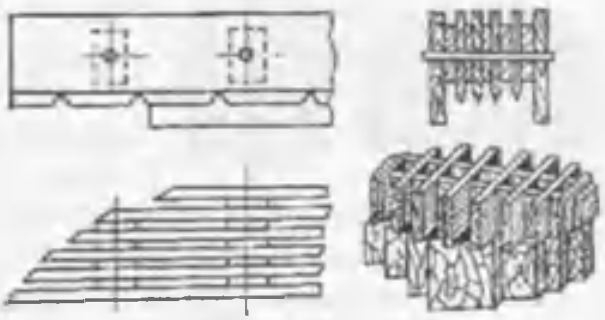
Rashig halqalari

204; 87,5 m^2/m^3 va bo'sh hajmi 0,7; 0,74; 0,785 m^3/m^3 miqdorlarga teng bo'ladi. Ularni uglerodli va legirlangan po'lat hamda rangli metal trubalardan tayyorlash mumkin. Truba devorining qalinligi 0,4-1,5 mm. Hozirgi kunda farfor, shamot, keramika, shisha, polietilen, polipropilen va boshqalardan Rashig halqalari tayyorlanmoqda. Rashig halqalarining gidravlik qarshiligi kichik va gazlarning yuqori tezliklarda harakatini ta'minlaydi

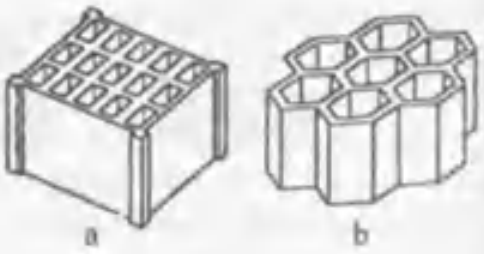
Vatarli nasadka. Ushbu nasadka qovurg'asiga qo'yilgan qalinligi 10-13 mm li va balandligi 100-150 mm li yog'och taxta 1 lardan iborat bo'lib, o'zaro temir chiviq 2 lar yordamida mahkamlangan va panjara ko'rinishiga ega (5.19k-rasm). Taxtalar orasidagi masofa 10-15 mm. Panjaralar bir-birining ustiga 90° burib taxlanadi. Bunday konstruksiya nasadkaning hamma elementlarida suyuqlikning bir tekisda yupqa qatlamli harakati ta'minlanadi. Shunday qilib, vatarli nasadka o'rnatilgan absorberlarni yupqa qatlamli boshqariladigan absorberlar qatoriga qo'shsa bo'ladi. Vatarli nasadkalar grafit, plastmassa, metall va ko'pincha maxsus eritma shimdirilgan yog'ochdan tayyorlanadi. Pastki panjaraga ortiqcha yuklama tushmasligi uchun panjaralar 15-20 dona qilib taxlanadi. Pastki qator nasadkalarga katta og'irlik tushmasligi uchun har bir seksiya alohida o'zining tayanch moslamasiga o'rnatiladi.

Vatarli nasadka juda qulay bo'lgani sababli, issiq gazlarni sovitish yoki tozalash uchun juda ko'p ishlatiladi. Nasadkaning asosiy afzalligi bu konstruksiyasining soddaligidir. Kamchiliklari: solishtirma yuzasi va bo'sh hajmi kam.

Blokli nasadka. Blokli nasadka plastmassa yoki keramikadan tayyorlanadi va ularni qator-qator qilib qo'yiladi (5.19i-rasm).



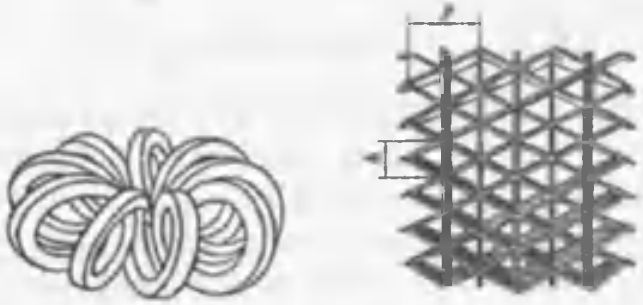
5.19h-rasm. Vatarli nasadka.



5.19i-rasm. Blokli nasadka.

Suyuqlikni taqsimlash uchun maxsus moslama yo'qligi, suyuqlikning bir tekisda taqsimlanishini ta'minlamaydi va samaradorligini pasaytiradi. Ushbu turdagi nasadkalar gaz oqimining tezligi juda yuqori bo'lganda va gaz aralashmasini tozalashga talablar yuqori bo'lmagan hollarda ishlatiladi.

Absorberlar samaradorligini oshirish uchun qo'llaniladigan nasadkalar solishtirma yuzasi (m^2/m^3) katta bo'lishi kerak. Solishtirma yuza miqdorini ancha oshirsa bo'ladi, agar nasadkalarning kichik o'lchamligi qo'llanilsa. Lekin bunda gidravlik qarshilik gaz oqimi bo'yicha ko'payib ketadi va gazni uzatish uchun energiya sarfi ortib ketadi. Shuning uchun, kichik gidravlik qarshilik va yuqori samaradorlikka ega nasadkalar yaratish shu kunda ham dolzarb muammo bo'lib qolmoqda. Ushbu nasadkalar qatoriga simdan yasalgan spirallar (masalan, sim diametri 3 mm, spiral diametri 30 mm va spirallar orasidagi masofa 5 mm li), Teller rozetkasi (5.19j-rasm) va metal to'r pardalar kiradi.



5.19j-rasm. Teller rozetkasi.
a – Teller rozetkasi; b – «Spreypak» panjarali nasadkasi.

Pal halqasi. Ushbu turdagi nasadka metall, keramika, polipropilen yoki boshqa plastmassalardan yasalishi mumkin (5.19e-rasm). Ularning gidravlik qarshiligi nisbatan kichik, gaz fazasi bo'yicha yuqori o'tkazuvchanlik xossasiga ega va perforatsiya qilingan konstruksiyasini yaxshi ho'llanishi hisobiga va gazlarni yuqori darajada ajratish qobiliyati bor. Gaz fazasining tezligi yuqori bo'lgani uchun massa almashinish jarayoni samarali kechadi. Pal halqalari hozirgi kunda etilen ajratish kolonnalari, H_2S va CO_2 larni ajratish absorberlari, «suyuqlik – suyuqlik» sistemalari ekstraktorlari, SO ning konvektorlari, dimetiltereftalatni haydash kolonnalari, texnik ammiak olish kolonnalari va neft-kimyosi va meditsina sanoatidagi qurilmalarida keng ko'lamda qo'llanilmoqda.

«Spreypak» nasadkasi. Bu nasadka listni hajmiy qirqish yoki bir yoki bir necha simli yacheykalar o'lchami 3...4 mm li yig'ilgan to'r parda qatlamidan iborat. To'r parda gofrirlanadi va o'zaro birlashtirilganda romb shaklidagi yacheykalar hosil bo'ladi. Romb uchlarining orasidagi maksimal masofa 250 mm. Kolonnalarda ushbu nasadkalar

seksiya ko'rinishida montaj qilinadi. Bu turdagi nasadkalar o'rnatilgan kolonnalarda bug' fazasi yuqori tezliklarda harakatlanadi va bosim yo'qotilishi kam.

Bug' fazasi ushbu nasadkaning romb shaklidagi teshiklar orqali harakatlanganda, ular bug' oqimini turbulizatsiya qiladi va oqibatda massa almashinish jadallashtiradi.

Bu tarelkaning afzalliklari: quyilish trubasiz ishlashi mumkin; bug' fazasining tezligi juda yuqori; katta hajmiy sarflarda yuqori samarali ishlaydi;

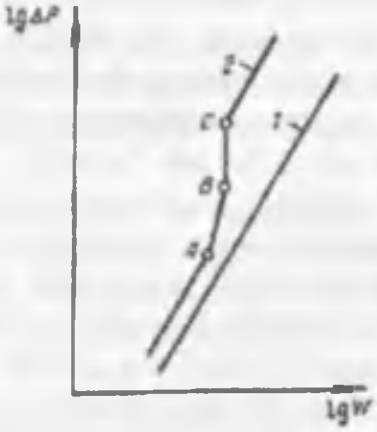
«Intalloks» egari. Ushbu nasadka yuzasi tor shaklining bir qismi ko'rinishida (5.19i-rasm). Egarsimon nasadka gidravlik qarshiligi kichik va ajratish samaradorligi Rashiga halqasiga qaraganda ko'proq. «Intalloks» egari va Rashig halqalarining o'lchamlari bir xil bo'lganda, egarsimonning yuzasi 25% ga va g'ovakliligi birmuncha ortiq bo'ladi. Undan tashqari, egarsimon nasadkalar suyuqlik bilan ho'llanishi Rashig halqalarinikiga nisbatan yaxshi va o'ta tartibsiz joylashishni ta'minlaydi. Bunday holat suyuqlik fazasi uchun keng kanallar hosil bo'lmasligiga olib keladi.

Byorl egari. Bu nasadka shakli egarsimon ko'rinishga ega (5.19g-rasm). Byorl egari va Rashig halqalarining o'lchamlari bir xil bo'lganda, egarning yuzasi 25% ga va g'ovakliligi birmuncha ortiq bo'ladi. Undan tashqari, egarsimon nasadka gidravlik qarshiligi kam va samaradorligi Rashig halqalarinikiga nisbatan yuqori. Ho'llanish darajasi yaxshi va o'ta tartibsiz joylashtirish mumkin. Nasadkani bunday joylashtirish suyuqlik fazasi uchun keng kanallar hosil bo'lmasligini ta'minlaydi. Bu turdagi nasadkalar samaradorligi (Rashig halqasiga nisbatan) 30% ga ko'proq va uzoq muddat davomida benuqson ishlaydi.

Gudloye nasadkasi. Bu nasadka gofrirlangan lentani o'rab hosil qilinadi (5.19d-rasm). Gidravlik qarshiligi nisbatan yuqori va bo'sh hajmi kam. Afzalligi: nasadkaning solishtirma yuzasi boshqa nasadkalarga qaraganda ancha yuqori. Kamchiligi: gidravlik qarshilik katta va tayyorlash texnologiyasi murakkab.

Fasonli nasadkalar. Ushbu nasadkalar xilma-xil bo'lib, solishtirma yuzasining miqdori bilan farqlanadi (5.19k-rasm). Odatda bu nasadkalar kolonnali qurilmalarga tartibsiz ravishda yuklanadi.

5.19k-rasm. Fasonli nasadkalar.



5.20-rasm. Nasadka gidravlik qarshiligining kolonnadagi gaz tezligiga bog'liqligi.
1 - quruq nasadka;
2 - namlangan nasadka.

Fasonli nasadkalr keramika, plastmassa, shisha, uglerodli va legirlangan, hamda rangli metallardan tayyorlanadi.

Kolonnali qurilmalarda ishlatiladigan nasadkalar katta solishtirma yuza va katta erkin bo'shliqqa ega bo'lishi kerak. Undan tashqari, nasadka qatlamining gaz oqimiga qarshiligi iloji boricha kichik bo'lishi, suyuqlikni yaxshi taqsimlashi va tegishli muhitlarga korrozion bardoshligi yuqori bo'lishi kerak. Qurilma devori va nasadka qatlamini ko'tarib turgan moslamalarga tushayotgan yuklamasini kamaytirish maqsadida uning hajmiy og'irligi imkon doirasida kichik bo'lishi darkor.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, qurilmaning birlik hajmida nasadka yuzasi katta bo'lgani uchun, nisbatan kichik hajmda juda katta massa o'tkazish yuzalarini barpo qilish mumkin. Istalgan turdagi nasadkani qo'llashdan maqsad issiqlik va massa almashinish jarayonlarni intensivlashdir.

Nasadkali absorberlarda taqsimlovchi moslama orqali purkalayotgan suyuqlik gazning kichik tezliklarida, nasadka ustida yupqa qatlam ko'rinishida oqadi. Nasadkaning ho'llangan yuzasi fazalarga to'qnashish yuza vazifasini bajaradi. Shuning uchun, nasadkali absorberlarni yupqa qatlamli qurilmalar deb qarash mumkin. Suyuq faza qurilmalar devori atrofida yig'ilib qolmasligi uchun nasadka bir necha scksiyaga yuklanadi. Suyuqlikni bir tekisda taqsimlash uchun seksiyalar orasida qayta taqsimlash moslamalari o'rnatiladi. Nasadkali kolonnalarda gaz va suyuqlik qarama - qarshi harakat qiladi.

Gidrodinamik rejimlar. Absorbsiya jarayonining samaradorligi gidrodinamik rejimlarga bog'liq. Bu rejimlar uzatilayotgan suyuqlik miqdori (namlash zichligi) va gaz oqimining tezligi bilan belgilanadi. Qurilmada ro'y beradigan rejimlar nasadka gidravlik qarshiligini gaz oqimining soxta tezligiga bog'liqlik funksiyasi sifatida tasvirlanadi (5.20-rasm).

1 - rejim – **yupqa qatlamli rejim** – gaz oqimining tezligi kichik va uzatilayotgan suyuqlik miqdori kam bo'lganda ro'y beradi. Suyuqlik nasadka bo'ylab yupqa qatlam ko'rinishida oqib tushadi. Yupqa qatlamli rejim birinchi o'tish nuqtasi (A nuqta, 5.20-rasm) da tamom bo'ladi va u **osilib turish nuqtasi** deb nomlanadi. Bu rejimda fazalararo to'qnashish yuzasi kichik va jarayon samaradorligi kamroq bo'ladi.

2 - rejim – **osilib turish rejimi**. Bunda fazalar qarama - qarshi yo'nalishi harakati tufayli gaz va suyuqlik orasidagi ishqalanish kuchlari ortadi. Bu hol suyuqlikni nasadkadan oqib tushish tezligini sekinlashtiradi, yupqa qatlam qalinligi va undagi suyuqlik miqdori ortadi. Shu bilan birga fazalar orasidagi to'qnashish yuzasi ko'payadi, jarayonning samaradorligi birmuncha kattaroq bo'ladi. Bu rejim ikkinchi o'tish nuqtasi (V) da tamom bo'ladi.

Shuni ta'kidlash kerakki, osilib turish rejimida qatlamning sekin oqishi buziladi; uyurma va tomchilar hosil bo'ladi, ya'ni barbotaj holatiga o'tish sharoitlar tug'iladi. Yuqorida qayd etilgan massa almashinish jarayonini intensivlashtiradi.

3 - rejim – **emulgatsion rejim** – nasadkaning bo'sh hajmida suyuqlik yig'ilishi natijasida paydo bo'ladi. Suyuqlik yig'ilishi ko'tarilayotgan gaz va oqib tushayotgan suyuqlik orasidagi ishqalanish kuchi bilan og'irlik kuchi teng bo'lgunga qadar davom etadi. Natijada «gaz – suyuqlik» dispers sistemasi va tashqi ko'rinishi bo'yicha barbotajli (ko'pikli) qatlam yoki gaz suyuqlikli emulsiya hosil bo'ladi. Ma'lumki, qurilma ko'ndalang kesimida yuklangan nasadka qatlamining zichligi bir xil emas. Shuning uchun, qatlamning eng tor joylarida emulgatsion rejim paydo bo'la boshlaydi. Gaz uzatishni o'ta aniq rostlash yo'li bilan nasadka qatlamining butun balandligida emulgatsion rejim o'rnatish mumkin. Kolonnaning gidravlik qarshiligi keskin ravishda ortadi (VS kesma).

Shuning uchun, yuqori bosimda ishlaydigan absorberlarda gidravlik qarshilikning ta'siri sust yoki bo'lmagani uchun absorbsiya jarayoni emulgatsion rejimda olib boriladi.

Emulgatsion rejim samarali rejim deb hisoblanadi. Bu rejimda fazalar to'qnashish yuzasi katta bo'lgani uchun jarayon juda intensiv kechadi.

Atmosfera bosimida ishlatiladigan absorberlarda gidravlik qarshilik juda yuqori bo'lgani uchun, ularni yupqa qatlamli rejimda ishlatish maqsadga muvofiqdir.

Shunday qilib, har bir aniq sharoit uchun, eng optimal gidrodinamik rejim texnik - iqtisodiy hisoblashlar asosida topiladi.

Agar gaz oqimi tezligini emulgatsion rejim tezligidan ozgina oshirsak, tiqilib qolish hodisasiga duch kelamiz.

Tiqilib qolish holatiga to'g'ri keladigan gaz tezligi prof. Kasatkin A.G. tomonidan keltirib chiqarilgan formula yordamida hisoblanadi:

$$\lg\left(\frac{w_T^2 \cdot a}{gV^3_{bx}} + \frac{\rho_{\Gamma}}{\rho}\mu^{0,16}\right) = 0,076 - 1,75\left(\frac{L}{G}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_{\Gamma}}{\rho}\right)^{0,125} \qquad (5.91)$$

bu yerda, a – nasadkaning solishtirma yuzasi, m^2/m^3; V_{bo} – nasadkaning bo'sh hajmi, m^2/m^3; L va G – suyuqlik va gazning massaviy sarflari; kt/s; w_T – tiqilib qolish tezligi, m/s.

Kolonnadagi gaz yoki bug'ning optimal tezligini ushbu kriterial tenglamadan aniqlash mumkin:

$$\mathrm{Re} = 0,045 \cdot Ar^{0,57} \cdot \left(\frac{G}{L}\right)^{0,43} \qquad (5.92)$$

bu yerda

$$\mathrm{Re} = \frac{w d_e \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}}; \qquad Ar = \frac{g d_e^3}{\upsilon_{\Gamma}^2} \cdot \frac{\rho - \rho_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}}$$

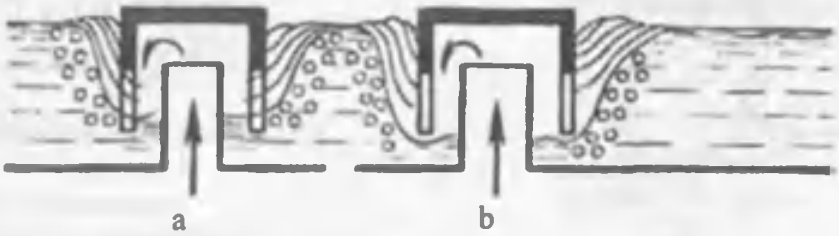
w – gaz (yoki bug') optimal tezligi; d_e – nasadkaning ekvivalent diametri; ρ va ρ_G – suyuqlik va gazning zichligi; μ, υ – gaz (yoki bug') dinamik va kinematik qovushoqligi; G va L – gaz (yoki bug') va suyuqlik massaviy tezliklari.

4 – rejim – **uchib chiqish rejimida** suyuq faza kolonnadan gaz oqimi bilan tashqariga chiqa boshlaydi. Ushbu rejim sanoatda ishlatiladigan qurilmalarda qo'llanilmaydi.

Nasadkalarni tanlashda ularning o'lchamlariga katta ahamiyat berish kerak. Agar nasadka elementlari qanchalik kichik bo'lsa, gidravlik qarshilik shunchalik kam va gazning tezligi yuqori bo'ladi. Bunday nasadkali absorberlar narxi nisbatan arzon bo'ladi.

Agar absorber yuqori bosim ostida ishlaydigan bo'lsa, kichik o'lchamli nasadkalar qo'llaniladi. Chunki bu turdagi qurilmalarda gidravlik qarshilikning ahamiyati yo'q. Undan tashqari, nasadkalarning o'lchami kichik bo'lganda, uning solishtirma yuzasi nisbatan katta bo'ladi va absorbsiya jarayonida bir fazadan ikkinchisiga o'tgan massa miqdori ko'p bo'ladi.

Absorberlarda gazlar yutilishi paytida ajralib chiqadigan issiqlikni neytrallash



5.21-rasm. Barbotaj jarayoni sxemalari.

a - kichik tezlikda qalpoqchali nasadkadan gazning chiqishi;

б - katta tezlikda qalpoqchali nasadkadan gazning chiqishi.

qiyin. Bunday qurilmalardagi issiqlikni kamaytirish va nasadkalar ho'llanishini oshirish maqsadida suyuqlikni nasos yordamida resirkulatsiya qilish zarur. Bu usulda ishlaydigan absorberlar tuzilishi murakkablashadi va narxi ortadi. Undan tashqari, ifloslangan suyuqliklarni ajratish uchun qaynovchi absorberlarda plastmassadan yasalgan sharlar ishlatilib, gaz tezligi oshishi bilan mavhum qaynay boshlaydi. Odatda, qaynovchi absorberlarda gazning tezligi juda katta bo'ladi, ammo qatlamning gidravlik qarshiliga juda oz miqdorga ortadi.

Tarelkali absorberlar samarali va eng keng tarqalgan qurilmalardan bo'lib, uning ichida butun balandligi bo'yicha bir xil masofada bir nechta tarelkalar o'rnatilgan. Teshikli tarelkalar orqali ham gaz, ham suyuqlik harakatlanadi va undan o'tish paytida bir fazadan ikkinchisiga massa o'tadi. Gaz fazaning suyuqlik qatlamidan o'tishi davrida pufakcha va ko'piklarning hosil bo'lish jarayoni **barbotaj** deb nomlanadi. Suyuqlik va gaz (yoki bug') ni bir-biri bilan to'qnashishi zarur bo'lgan hollarda barbotaj qo'llaniladi. 5.21-rasmda qalpoqchali nasadkadan gaz yoki bug'ning o'tishi tasvirlangan.

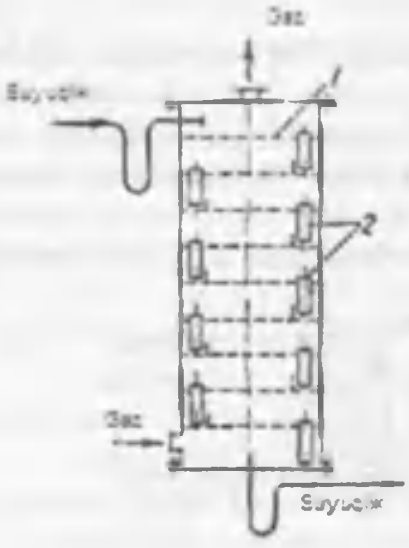
Barobataj asosan ikki rejimda kechishi mumkin: pufakchali va oqimchali. Gaz yoki bug'ning sarfi kichik bo'lsa, pufakchali rejimni kuzatish mumkin. Bunda, gaz pufakchalari suyuqlik qatlamini bitta-bitta bo'lib yorib chiqadi. Pufakchalar o'lchami barbotyor tuzilishiga, suyuqlik va gaz xossalariga bog'liq.

Agar gaz tezligi oshirib berilsa, oqimchali rejim paydo bo'ladi. Barbotyordan chiqayotgan gaz oqimi shakli va o'lchami o'zgarmaydigan «mash'ala» hosil bo'ladi. Odatda, mash'ala balandligi 30...40 mm dan oshmaydi.

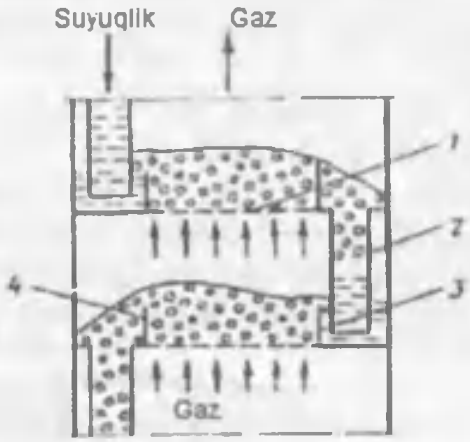
Tarelkali kolonnalar qalpoqchali, klapanli, plastinali va elaksimon tarelkali bo'ladi. Fazalarning bir tarelkadan ikkinchisiga o'tishiga qarab quyilish moslamali va quyilish moslamasiz absorberlarga bo'linadi.

5.22-rasmda quyilish moslamali, tarelkali absorber konstruksiyasi tasvirlangan.

Ko'rinib turibdiki, quyilish trubasining pastki qismi quyida joylashgan tarelka ustidagi ostonaga tushib turadi va gidravlik tamba vazifasini bajaradi. Odatda, suyuq faza qurilmaning tepa qismidan tarelkaga uzatiladi va uning pastki qismidan chiqariladi. Gaz faza esa, qurilmaning pastidan uzatilib, tarelkalar orqali pufakchalar ko'rinishida chiqib ketadi. Tarelkada hosil bo'ladigan gaz – suyuqlik ko'pik qatlamida asosiy issiqlik va massa berish jarayonlari yuz beradi. Absorbsiya jarayonida tozalangan gaz qurilmaning tepa qismidan chiqib ketadi.



5.22-rasm. Quyilish moslamali, tarelkali absorber.



5.23-rasm. Elaksimon tarelkali kolonna.
1 - tarelka; 2 – quyilish moslamasi; 3, 4 - ostonalar.

Tarelka, quyilish trubasi va ostona shunday joylashtiriladiki, suyuq faza albatta qarama - qarshi yo'nalishda harakat qiladi.

Tarelkali absorberlar gidrodinamik rejimi ma'lumki, istalgan konstruksiyali tarelkalarning samaradorligi uning gidrodinamik rejimlariga uzviy bog'liqdir. Gazning tezligiga va suyuqlikni purkash zichligiga qarab barbotajli tarelkalarning 3 ta asosiy gidrodinamik rejimi bo'ladi: pufakchali, ko'pikli va oqimchali (yoki injeksion).

Pufakchali rejim. Gazning tezliklari juda kichik va suyuqlik qatlamidan alohida pufakchalar holatida o'tish davrida pufakchali rejimni kuzatish mumkin. Bu rejimda tarelkadagi fazalar to'qnashish yuzasi kam bo'ladi.

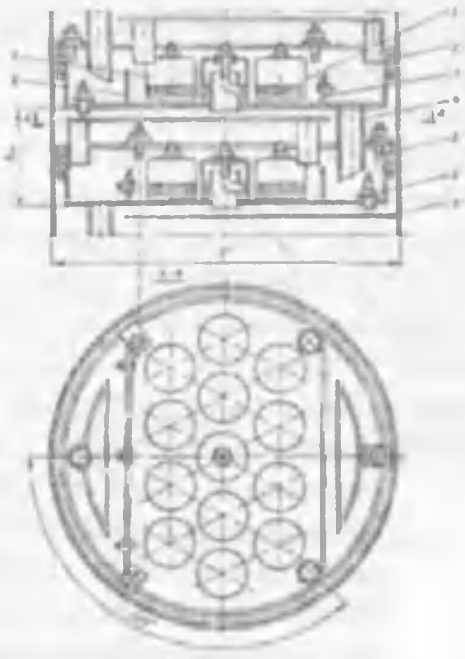
Ko'pikli rejim. Gaz fazasining tezligi ortishi bilan teshiklardan chiqayotgan pufakchalar qo'shilib oqimcha hosil qiladi. Tarelkadan ma'lum bir masofada qatlam qarshiligi tufayli oqimcha buziladi va ko'p miqdordagi pufakchalarga ajrab ketadi. Natijada, «gaz – suyuqlik» dispers sistema, ya'ni ko'pik paydo bo'ladi. Ushbu rejimda gaz va suyuq fazalar to'qnashishi pufakchalar va gaz oqimchasi hamda suyuq tomchilar sirtiga to'g'ri keladi. Ko'pikli rejimda barbotajli tarelkalarda fazalarning to'qnashish yuzasi maksimal miqdorga egadir.

Oqimchali (injeksion rejim). Agar gaz tezligi yanada oshirilsa, gaz oqimchasining uzunligi ko'payadi va u barbotaj qatlamidan chiqib qoladi. Shu bilan birga, barbotaj qatlam buzilmaydi va ko'p miqdorda yirik tomchilar hosil bo'ladi. Bunday rejimda fazalarning to'qnashish yuzasi keskin ravishda kamayib ketadi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, bir rejimdan keyingisiga o'tish asta-sekin bo'ladi. Barbotajli, tarelkalar gidravlik rejimlari chegarasini hisoblashning umumiy usullari shu kungacha yaratilmagan. Shuning uchun ham, tarelkali absorberlarni loyihalashda tarelka ishlashining pastki va tepa oraliqlari hisoblash yo'li bilan topiladi. So'ng esa, gazni ishchi tezligi topiladi.

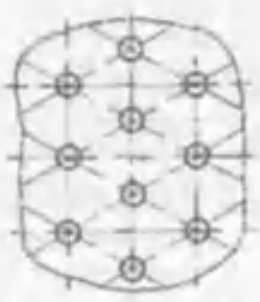
Elaksimon tarelkali absorber. Bu turdagi qurilma 5.23-rasmda tasvirlangan.

Bu kolonna gorizontal tarelka quyilishi va ostonalardan tarkib topgan bo'ladi. Odatda bu turdagi tarelka qalinligi 2...3 mm li listdan yasaladi va yuzasi 1...6 mm li teshiklardan iborat. Bu turdagi tarelkalar kolonna diametri 400...4000 mm oraliqda qo'llaniladi. Tarelkalar orasidagi masofa 200...450 mm.

Tarelkadan tushayotgan ko'pikni parchalash uchun ostona tarelkadagi suyuqlik sathini bir xil balandlikda ushlab turish uchun esa ostona 3 xizmat qiladi. Suyuq faza tepadagi tarelkaga uzatiladi va quyilishi moslamasi 2 dan o'tib, qurilmaning pastki qismidan chiqib ketadi.

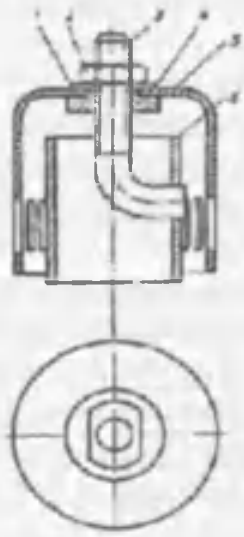


5.24-rasm. Qalpoqchali tarelka.
1-tarelka; 2-qistirma; 3-rostlovchi quyilish ostonasi; 4-quyilish patrubkasi; 5-bolt; 6-rostlovchi bolt; 7-halqa; 8-quyilish ostonasi; 9-qalpoqcha.



Elaksimon tarelka elementi.

Gaz faza har doim qurilmaning pastki qismiga kiritiladi va tarelkalardan pufakcha shaklida o'tib, yuqori qismidagi shtuserdan chiqadi.



5.25-rasm. Kapsulali qalpoqcha.
1-shayba; 2- gayka;
3- bolt; 4- vtulka;
5- qalpoqcha; 6- patrubka.

Elaksimon tarelka afzalliklari: teshiklar yuzasi tarelka yuzasining katta qismi (30% va undan ortiq)ni tashkil etadi; tayyorlash oson; kam metall sarflanadi; bug' bo'yicha unumdorligi salmoqli: qalpoqchali tarelkalarga nisbatan 30...40% ga (bug' bo'yicha) unumdorligi yuqori; ta'mirlash va montaj oson;

Kamchiliklari: o'rnatish aniqligiga juda sezgir; qattiq fazasi bor, ifloslangan suyuqliklarda yomon ishlaydi, chunki teshiklari berkilib qoladi; gaz kelishi to'xtaganda, suyuqlik tarelka teshiklari orqali to'kilib ketadi va qaytadan ishga tushirishga to'g'ri keladi.

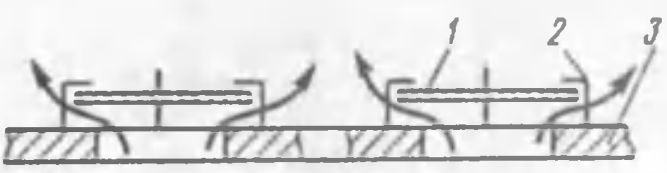
Qalpoqcha tarelkali absorber. Bu turdagi qurilma kapsula qalpoqcha va segment quyilish moslamasidan tarkib topgan (5.24-rasm). Tarelka ko'plab disklardan iborat bo'lib, tayanch halqaga qistirma yordamida boltlar bilan mahkamlanadi.

Suyuq faza yuqorida joylashgan tarelkadagi ostona 3 dan o'tib, quyida o'rnatilgan tarelkaga tushadi. Tarelka yuzasida suyuqlikni bir me'yorda taqsimlash uchun ostona 8 xizmat qiladi. Suyuqlikni tarelka yuzasida bir xil balandlikda ushlab turish uchun rostlovchi ostona 3 dan foydalaniladi. Gaz tarelkalarga patrubka 6 orqali kirib, bir necha oqimchalar holida qalpoqchalar teshigidan chiqa boshlaydi.

Qalpoqchadagi havo teshiklari tishli yoki tirqishli qilib, to'g'ri uchburchak shaklida yasaladi. Qalpoqcha diametri 50...80 mm li va tirqish o'lchami 15...30 mm li bo'lishi mumkin. Suyuqlik qatlami orqali o'tayotgan gaz yoki bug' oqimi alohida-alohida pufakchalarga bo'linib ketadi. Tarelkalardan suyuqlik quyilish patrubkasi 4 orqali to'kiladi. Bu turdagi tarelkalarda gaz ko'piklari va pufakchalarning hosil bo'lish intensivligi bug' (yoki gaz) tezligi va tarelkadagi suyuqlik qatlami balandligiga bog'liq.

Tarelkada katta massa almashinish yuzasini barpo qilish uchun o'rnatiladigan qalpoqchalar soni ko'paytiriladi. Kapsulali qalpoqchaning bo'ylama qirqimi 5.25-rasmda keltirilgan. Tarelka va qalpoqchaning pastki qismi orasidagi masofa vtulka 4 va gayka 2 yordamida amalga oshiriladi. Bu turdagi tarelkalar sanoatda keng ko'lamda qo'llaniladi. Ushbu tarelkalar cho'yan, mis, keramika, ko'mir-grafit, plastmassa va boshqa materiallardan tayyorlanishi mumkin. Qalpoqcha tarelkalar f.i.k. η=0,75...0,80.

Elaksimon tarelkali absorberlarga qaraganda qalpoqchali qurilmalar gaz aralashmalari iflos bo'lganda ham uzoq muddatda barqaror ishlay oladi. Undan tashqari, gaz yoki suyuq fazalar bo'yicha yuklama katta miqdorda o'zgarsa ham, qalpoqchali tarelka bir tekisda yaxshi ishlaydi. Ushbu tarelka kamchiliklari:



5.26-rasm. Klapanli tarelka.
1 - klapan; 2 - kronshteyn-cheklagich; 3 - tarelka.

konstruksiyasi murakkab, tayyorlash qiyin, metall sarfi ko'p, qimmat, tozalash qiyin va gidravlik qarshiligi yuqori. Undan tashqari, gaz faza sarfi kam bo'lganda, qurilma samaradorligi keskin ravishda kamayib ketadi.

Klapanli va ballastli tarelkalar. Bu turdagi tarelkalar gaz fazasining tezligi tez o'zgarib turadigan jarayonlarda qo'llanishi maqsadga muvofiqdir.

Klapanli tarelkalar elaksimon va qalpoqchali tarelkalarning yaxshi xossalarini o'zida mujassam qilgan (5.26-rasm).Klapanlar 1 dumaloq plastina shaklida, diametri esa 40...50 mm bo'ladi. Kronshteyn-cheklagich 2 dagi teshik diametri esa 30...50 mm va ular orasidagi masofa esa - 70...150 mm ga teng. Klapanlarning ko'tarilish balandligi 6...8 mm. Klapanlardan o'tadigan gaz oqimining tezligiga qarab, klapan tepaga siljidi. F.i.k. η=0,70...0,85.

Gaz yoki bug' bo'yicha yuklama keng ko'lamda o'zgarganda ham, klapanli tarelkalar bir me'yorda, barqaror ishlaydi. Lekin ularning gidravlik qarshiligi nisbatan yuqori. Optimal ish rejimlarida tarelkaning gidravlik qarshiligi nisbatan kichik.

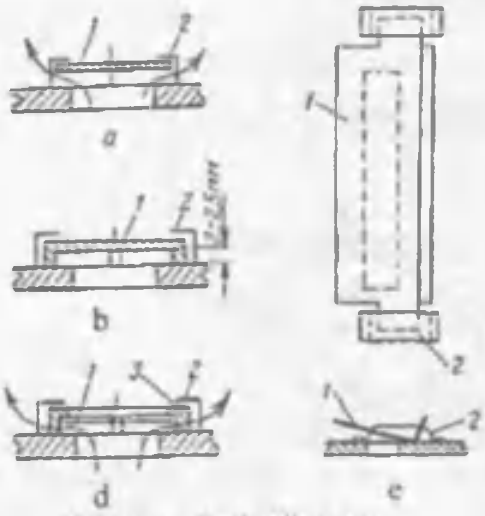
Klapanli tarelkalar unumdorligini va turg'un ishlash oralig'ini oshirish uchun ular ballastli qilib tayyorlanadi. 5.27-rasmda ballastli tarelka konstruksiyasi keltirilgan.

Ballastli tarelkalar klapanli tarelkalardan klapandan ancha og'ir ballast 3 o'rnatilgani bilan farqlanadi.

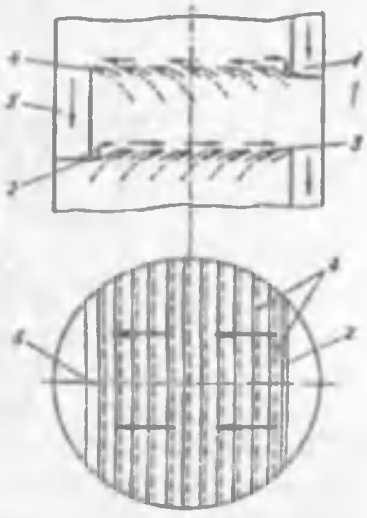
Odatda ballast klapan 1 va kronshteyn chegaralagich 2 orasiga tarelkaga tayangan qisqa oyoqchalarga o'rnatiladi. Klapan kichik tezliklarda ham ko'tarila boshlaydi. Tezlik ortishi bilan klapan ko'tarilib ballastga tiraladi va tezlik yanada ortsa ballast bilan birga tepaga ko'tariladi. Ballast tarelkalarda har qanday tezlikda ham suyuqlik pastga oqib tushmaydi.

Klapanli va ballastli tarelkalar afzalliklari: gaz bo'yicha unumdorligi juda yuqori; gaz faza bo'yicha butun tezliklar oralig'ida gidrodinamik turg'un ishlaydi.

Klapanli va ballastli tarelkalar kamchiliklari: ballastning og'irligi ortishi bilan gidravlik qarshilik ko'payadi.



5.27-rasm. Ballastli tarelka.
1 – klapan; 2 – kronshteyn chegaralagich; 3 – ballast.



5.28-rasm. Oqimchali tarelka.
1-gidravlik zatvor; 2-to'kilish to'sig'i; 3-tarelka; 4-plastinalar; 5-quyilish patrubkasi.

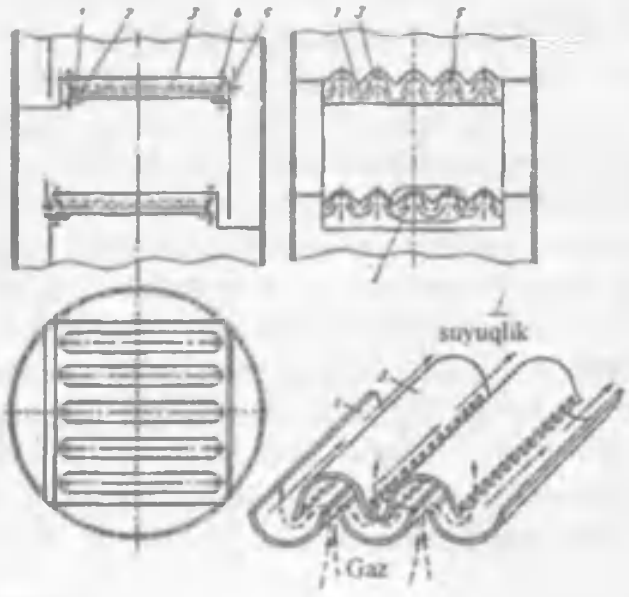
Oqimchali (yoki plastinali) tarelkalar. Bu turdagi tarelkalar qiya, parallel plastinalar ko'rinishida tayyorlanadi (5.28-rasm).

Qalpoqchali, klapanli va oqimchali tarelkalarda fazalarning yo'nalishi o'zaro kesishgan bo'ladi. Gaz yoki bug' tarelkadagi teshiklardan o'tadi, suyuqlik esa gorizontal harakatlanib, tarelkadan tarelkaga quyilish moslamasi 5 orqali o'tadi.

Boshqa tarelkalarga qaraganda, ushbu tarelkalar fazalarning parallel harakatida ishlaydi, ya'ni har bir seksiyada gaz va suyuqlik fazalari bir xil yo'nalishda bo'ladi. Bu esa, suyuqlik va gaz fazalari bo'yicha yuklamani keskin ravishda oshirish mumkinligidan dalolat beradi. Lekin kolonna miqyosida esa fazalar qarama-qarshi, ya'ni suyuqlik tepadan pastga, gaz faza esa pastdan yuqoriga qarab harakatlanadi. Gazning tezligi 20...40 m/s gacha bo'lishi mumkin. Plastinalarning qiyalik burchagi kichik bo'lgani uchun (α=10...15°) u orqali o'tayotgan gaz tarelka tekisligiga parallel yo'nalishga yaqin harakatlanadi. Shunda suyuqlik ejeksiyaga uchraydi va gaz oqimi yordamida mayda dispers tomchilarga aylanib, tarelka bo'ylab va keyingi tirqishga uloqtiriladi. Bu yerda gaz va suyuqlik fazalarining o'zaro ta'siri yana qaytariladi. Natijada suyuqlik yuqori tezlikda tarelka ustidan parallel yo'nalishda quyilish trubkasi tomon harakat qiladi.

Gaz yoki bug'ni suyuqlik bilan to'qnashuvini amalga oshirish uchun turli konstruksiyadagi tarelkalar qo'llaniladi: klapanli, qalpoqchali, elaksimon, panjarali, tirqishli, plastinali va h.k. Yuqorida qayd etilgan tarelkalardan faqat bittasi, qalpoqchali tarelka barbotajli rejimda ishlay oladi.

Neftni qayta ishlash korxonalarida tunnelli qalpoqchali tarelkalar rektifikatsion kolonnalarda ishlatiladi (5.29-rasm). Bu turdagi tarelkalarning shtamplangan tarnov 1 lari tayanch burchak 2 larga o'rnatiladi va ustiga qalpoqcha 3lar qo'yilib yig'iladi. Bug' fazani bir tekisda taqsimlash uchun qalpoqcha 2 ning ostki qismida trapetsiya shaklidagi teshiklar qilingan. Qalpoqchalar gorizontal taxtaga shpilka 4 yordamida mahkamlanadi. Suyuq fazani bir me'yorda taqsimlash uchun quyilish tarelka plankasi 5 ham to'g'ri to'rtburchak shaklidagi teshikli qilib tayyorlanadi.

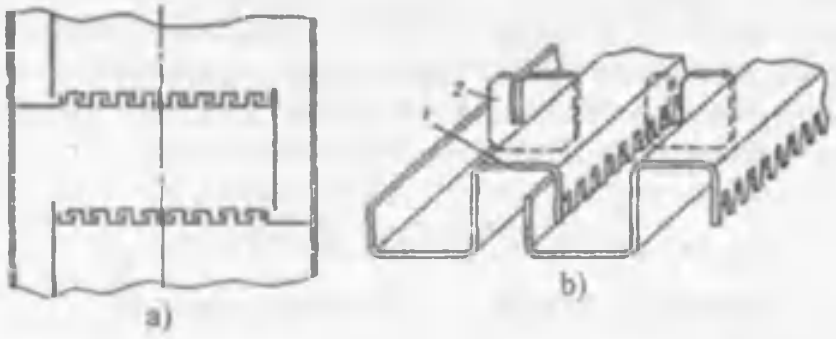


5.29-rasm. Tunnelli qalpoqchali tarelka.
1-tarnov; 2-tayanch burchak; 3-qalpoqcha; 4-shpilka.

Bu turdagi tarelka afzalliklari – qalpoqchalar soni kam va ularni tozalash oson. Tarelkaning qolgan ko'rsatkichlari past, shu sababli ular boshqa konstruksiyadagi tarelkalarga almashtirilmoqda.

S-shaklidagi elementli tarelka 1 lar ham absorbsion va rektifikatsion kolonnalarda keng ko'lamda ishlatilmoqda (5.30-rasm). Ushbu element suyuq faza

harakat yo'nalishiga perpendikular holatda o'rnatiladi. Tarelkaning ikki cheti va S-shaklli element mustahkamligini oshirish uchun elementlar orasiga tirqishli plastina 2 lar o'rnatiladi.



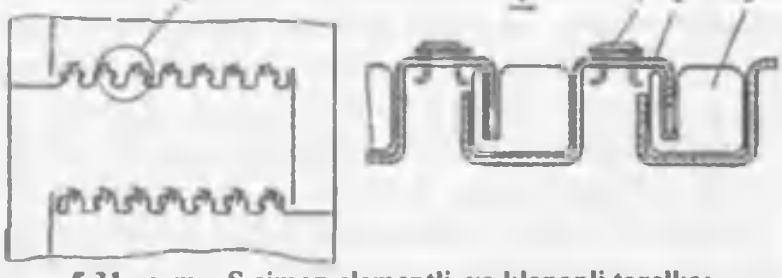
5.30-rasm. S-simon elementli tarelka:
a – umumiy ko'rinish; b – sxema.
1 - S-simon element; 2-plastinalar.

Kolonna diametri qarab tarelkalar bitta yoki ko'p quyilish moslamali bo'lishi mumkin.

Ushbu turdagi tarelkalarning afzalliklardan biri shundaki, tarelkalardan chiqqan bug' suyuq faza tomon qarab yo'nalganligidir. Ushbu holat tarelkaning quyilish va to'kilish to'siqlari oldidagi suyuqlik sathining kamayishiga olib keladi.

S-shaklli elementli tarelkalar massasi 2 barobar kam va kapsula qalpoqchali tarelkalarga qaraganda 20...30% ga ko'p. Solishtirilayotgan tarelkalarning samaradorligi taxminan bir xil, ya'ni f.i.k. 0,6...0,8. Ushbu tarelkaning gaz fazasi bo'yicha unumdorligi qalpoqchali tarelkanikiga nisbatan 10...25% kichik.

S-shakldagi elementli tarelkalar turg'un ishlash oralig'ini va unumdorligini oshirish uchun bu turdagi tarelkalar tepasiga to'g'ri to'rtburchak shaklidagi klapan 1 o'rnatiladi (5.31-rasm). Tarelka mustahkamligini oshirish uchun plastina 3 qo'yiladi. Ish unumdorligi bo'yicha ushbu tarelkalar klapanli tarelkalarga qaraganda 10% ga ko'proq.



5.31-rasm. S-simon elementli va klapanli tarelka:
a – umumiy ko'rinish; b – sxema.

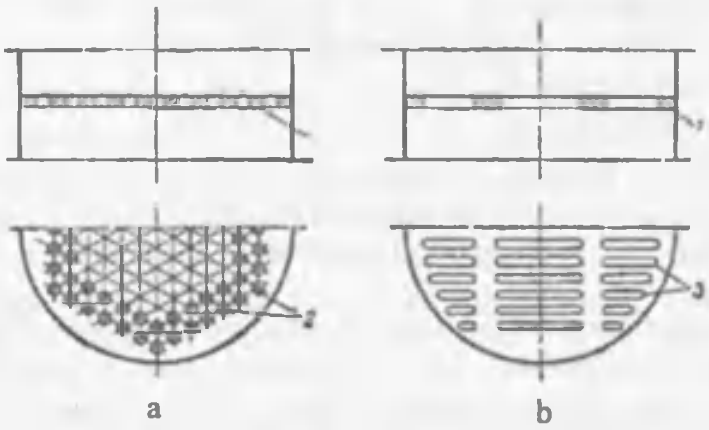
Yuqorida qayd etilgan tarelkalar samaradorligi gidrodinamik rejimlarga bog'liq. Gaz (yoki bug') tezligi va suyuqlik sarfiga qarab 3 xil rejimlar mavjud: pufakchali, ko'pikli va oqimchali. Har bir rejimda barbotajli qatlam o'ziga xos tuzilishiga ega bo'lib, u qatlamning gidravlik qarshiligi va massa almashinish yuzasi kattaligini xarakterlaydi. Bunday tarelkalarning gidravlik qarshiligi kam, ularni yasash uchun metall kam sarflanadi va tarkibida iflosliklar bo'lgan suyuqliklarni ham ishlatish mumkin. Undan tashqari, bu tarelkali qurilmalarda jarayonni harakatga keltiruvchi kuch katta bo'ladi.

Oqimchali tarelkalar kamchiliklari: tarelkaga issiqlik berish va ajralib chiqqan issiqlikni ajratib olish murakkab; suyuqlik sarfi nisbatan kam bo'lgani uchun, uning samaradorligi pastroq.

Teshikli tarelkalar. Tuzilishi bo'yicha elaksimon tarelkalarga o'xshash bo'lib, faqat quyilish trubasi yo'qligi bilan farqlanadi (5.32-rasm). Teshiklar diametrlari 4-10 mm oraliqda va ular yuzasining ulushi 10-25% ni tashkil etadi.

Panjarali tarelkalar – eni 3...8 mm li tirqishlar shtampovka yoki frezerlash usulida qilingan bo'ladi (5.35-rasm). Teshikli va panjarali tarelkalar konstruksiyasi sodda, narxi arzon, gidravlik qarshiligi nisbatan kichik va montaj qilish oson.

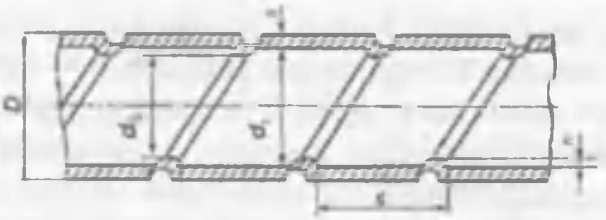
Teshikli va panjarali tarelkalar konstruksiyasi soddaligi, metall sarfi kamligi, montaj osonligi va kichik gidravlik qarshiligi bilan ajralib turadi.



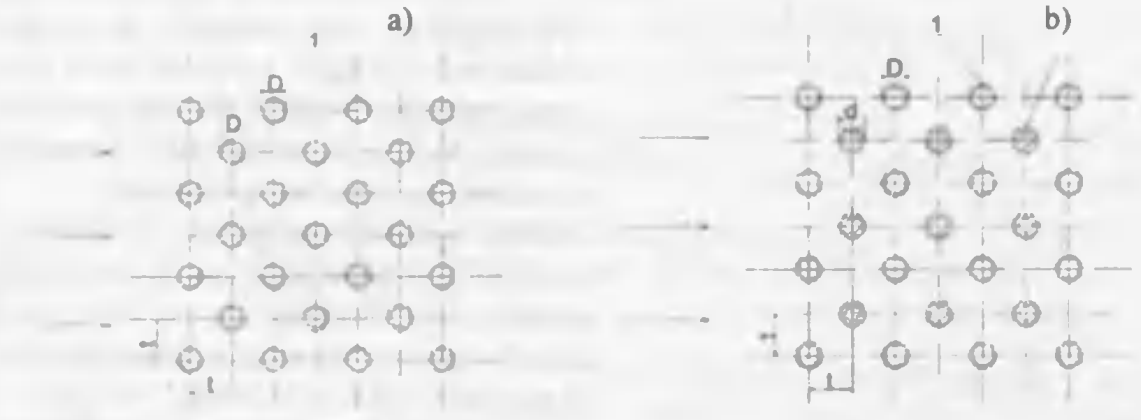
5.32-rasm. Suyuqlik oqib tushadigan tarelkalar.
a – teshikli; b – panjarali;
1-tarelka; 2-teshiklar; 3-tirqishlar.

Trubali tarelkalar. Bu turdagi tarelkalar, kollektorga ulangan parallel trubalar qatoridan iborat bo'lib, trubali panjara ko'rinishida bo'ladi (5.28v-rasm). Truba panjarali nasadkalarning eng asosiy afzalliklaridan biri, bu barbotaj qatlamida hosil bo'lgan reaksiya issiqligini ajratib olish uchun trubalar ichiga sovuqlik eltkich yuborib osongina olish mumkin. Lekin bu tarelkalarni yig'ish ancha murakkab va ishchilardan yuqori malaka talab etadi.

TDTU va TKTI olimlari hamkorligida yuqori samarador kolonnali qurilmalarining energiya tejamkor, yangi avlodini yaratish ustida ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda [142,143,144]. Kimyoviy jarayonlar kechadigan kolonnali qurilmalarda reaksiya issiqligini ajratib olish muammosi shu kunning eng dolzarb masalalaridan biridir. Buning uchun olimlar guruhi ushbu kolonnalarning sovitish bo'limidagi truba (soda ishlab chiqarish texnologiyasidagi absorber va karbonizatsion kolonnalarda 2300 ta) lar o'rniga samarador issiqlik almashinish yuzali trubalarni qo'yib jarayonni 1,5...3,5 marotabagacha intensivlashga erishishdi. Bunga sabab, trubaning tashqi tomonida silliq ariqchalar (ko'ndalang yoki spiralsimon) va ichki tomonida silliq turbulizatorlar maxsus uskunada qilinganidir. Natijada, trubaning tashqi yuzasida oqayotgan suyuqlik tartibsiz, xaotik, ya'ni turbulent rejimga xos harakatlanadi. Lekin shuni alohida ta'kidlash kerakki, harakat tartibsiz, suyuqlik zarrachalari o'zaro aralashib harakatlansa ham, Reynolds soni o'tish sohasiga mos qiymatlardir, ya'ni $Re<10^4$. Undan tashqari, ikkinchi sabab – bu samarador yuzali truba ichida sovuqlik eltkich harakatlanganda issiqlik berish jarayoni intensivlashadi, chunki silliq turbulizator (5.33-rasm) lar devor yaqinidagi yupqa qatlamning buzilishini ta'minlaydi va suyuqlik tezligi va issiqlik tarqalishi ortadi.



5.33-rasm. Spiralsimon turbulizatorli truba.
D – tashqi diametr: d_i – ichki diametr;
d_o – spiralsimon bo'rtiqlardan hosil bo'lgan diametr;
S – bo'rtiqlar joylashish qadami; δ – truba qalinligi;
h – halqasimon ariqchalar chuqurligi.



1-tekis truba. t/D=1,5.
t/D =1,5.

1-tekis truba; 2-spiralsimon-ariqchali truba. S/D =0,25.

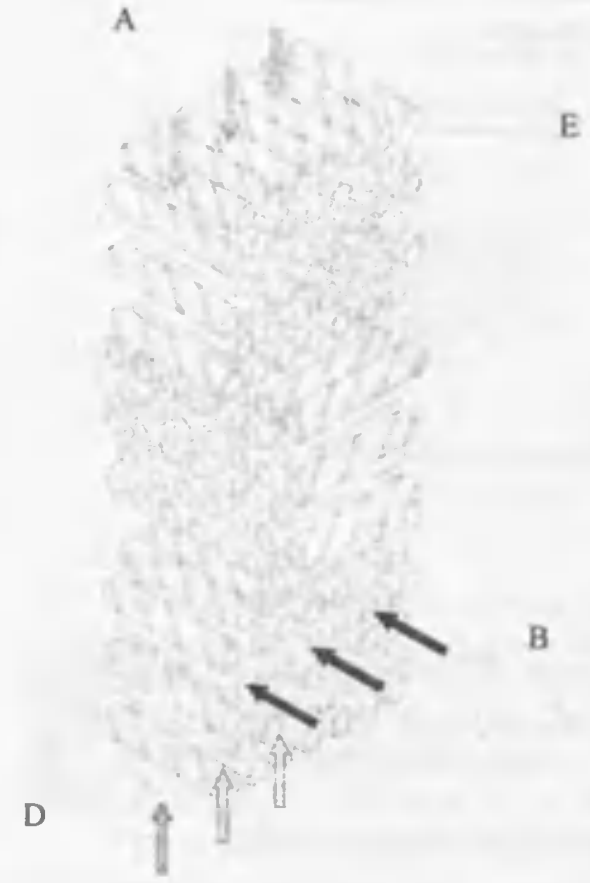
Kalsinatsiyalangan soda ishlab chiqarish texnologiyasida qo'llaniladigan absorbsiya va karbonizatsiya kolonnalarining pastki qismida trubali panjaralar joylashtiriladi (5.34-5.35-rasmlar). Ushbu trubali panjaraning funksiyasi ham suyuqlik gaz fazalarining yaxshi aralashishi va to'qnashishini ta'minlash hamda o'zaro ta'sir oqibatida kimyoviy reaksiya issiqlik ajralishi bilan kechadi.

1- tekis truba; 2-spiralsimon ariqchali truba S/D =0.25. t/D =1,5.

1- tekis truba; 2-spiralsimon ariqchali S/D =0,25. t/D =1,5.

5.34-rasm. Tekis va spiralsimon ariqchali trubalarni karbonizatsion kolonna sovitish zonasining truba-panjarali nasadkada joylashtirish sxemasi.
a) shaxmatli, tekis trubalar; b) shaxmatli, tekis va spiralsimon ariqchali trubalar ketma-ket joylashgan d/D=1,0; d) shaxmatli, turli ko'ndalang kesimli tekis va spiralsimon ariqchali trubalar qatorma-qator, d/D=0,75; G) koridorli, turli ko'ndalang kesimli tekis va spiralsimon ariqchali trubalar qatorma-qator,. d/D=0,75.

Trubalar ichida harakatlanayotgan sovuq suv reaksiya issiqligi ajratib olishi kerak. Demak, ushbu nasadka bir vaqtning o'zida 2 ta funksiyani bajaradi. Jarayon samarali bo'lishi uchun aralashish va issiqlik almashinishni intensivlash zarur. Tekis va samarali issiqlik almashinish yuzali trubalarni 5.34-rasmda keltirilgan sxemada joylashtirilsa, gaz-suyuqlik sistemasining aralashishini intensivlashtiradi, bu esa o'z navbatida issiqlik almashinish jarayonini jadallashtiradi. Truba paketlarini 90° Cga burib joylash qo'shimcha samara berishi tajribalar asosida aniqlandi (5.35-rasm).



5.35-rasm. Sovitish kamerasida truba paketlarning joylashish sxemalari va suyuqlik va gaz oqimlarning harakat yo'nalishlari.
A – ammoniylashgan namokob oqimi;
B – sovuq suv oqimi; D – uglerod dioksidii gaz oqimi; E- trubalar.

To'lqinsimon tarelkalar. Bu turdagi tarelkalar teshiklari 4-8 mm teshikli gofrirlangan metall listdan iborat.

Trubali tarelkalar afzalliklariga reaksiya issiqligini olish osonligi, ya'ni truba ichidan sovuq eltkich yuborish yo'li bilan ajratish mumkin. Ammo bunday tarelkalar nisbatan (teshikli va panjaraliga qaraganda) murakkabroq va montaj qilish qiyin.

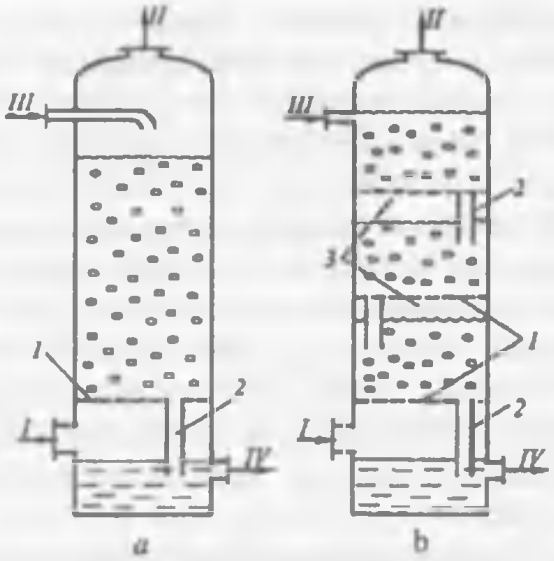
Teshikli, panjarali va trubali tarelkalardan yasalgan kolonnalarning asosiy kamchiligi shundaki, qurilmaning turg'un va samarali ishlash rejimi suyuq va gaz fazalarning juda kichik oralig'iga to'g'ri keladi.

Ushbu kamchilikdan to'lqinsimon tarelkalar holi bo'lgani bilan, teshikli va panjaraliga qaraganda tuzilishi va montaj qilinishi murakkabroq.

Suyuqlik oqib tushadigan tarelkalarning asosiy kamchiligi shundan iboratki, turg'un va samarali ishlashi gaz va suyuqlik tezliklarining juda kichik o'zgarish oralig'iga to'g'ri keladi.

Barbotajli absorberlar. Bu turdagi qurilmalar ichida eng oddiysi to'liq barbotaj qatlamli absorberdir (5.36a-rasm). Bu yerda gaz taqsimlash panjarali tarelka 1 orqali o'tib, suyuqlik qatlamida ko'tariladigan mayda pufakchalarga bo'linadi. Ushbu qurilma kamchiligi, vertikal yo'nalishda massa almashinish jarayonining harakatga intensiv sirkulatsiya hosil bo'ladi va u keltiruvchi kuchini pasaytiradi.

Vertikal yo'nalishda sirkulatsiya tufayli ro'y bergan zararli ta'sirni qurilmani seksiyalarga ajratish orqali bartaraf qilish mumkin (5.36b-rasm). Buning uchun bir nechta elaksimon tarelka 1 lar o'rnatiladi va oqibatda har bir seksiyada barbotaj qatlamining balandligi chegaralanadi. Natijada har bir tarelka ostida gaz pufakchalari yig'ilib, bir butun gaz fazasini hosil qiladi.

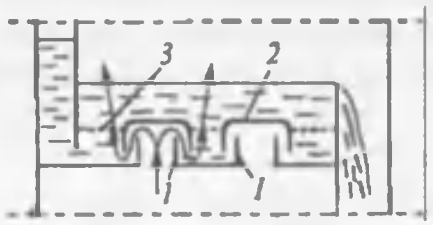


5.36-rasm. Barbotajli absorber.

a – bir seksiyali, qarama-qarshi oqimli; b – seksiyalashtirilgan qarama-qarshi oqimli.

1-panjarali tarelka; 2-quyilish trubasi; 3-gaz qatlami.

I-ifloslangan gaz; II-tozalangan gaz; III-yangi absorbent; IV-ishlatib bo'lingan absorbent.



5.37-rasm. Elaksimon-qalpoqchali tarelka.

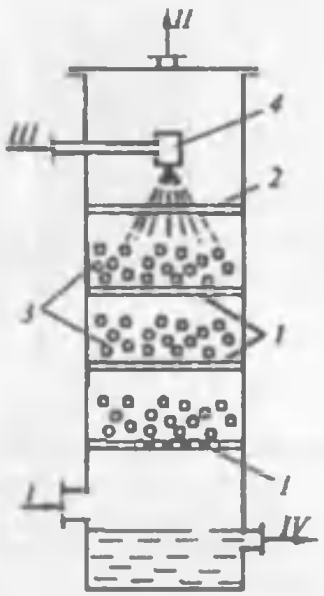
1-patrubok; 2-qalpoqcha; 3- elaksimon tarelka elementi

Gaz fazasidagi bosim shunday bo'lishi kerakki, tarelka ustidagi suyuqlik qatlamidan barbotaj qilib o'tishini ta'minlash darkor. Bunday tarelka konstruksiyalarining eng keng tarqalgani 5.37-rasmda keltirilgan, ya'ni elaksimon-qalpoqchali tarelka. Fazalarning to'qnashish yuzasini oshirish uchun gaz fazasini ikki marotaba suyuqlik qatlamidan o'tadi.

Bu yerda gaz oqimi patrubok 1 orqali va qalpoqcha 2 dan chiqishda suyuqlik qatlamini barbotaj qiladi. Bunda hosil bo'lgan pufakchalar tarelka 3 elementlari orqali o'tayotganda qo'shimcha barbotajga uchraydi. Lekin to'qnashish oshgan va yangilangan yuzali tarelkalarning f.i.k. 20% dan ortiq emas. Shuning uchun ham absorbsiya jarayonida boshqa massa almashinish jarayonlariga qaraganda fazalarning to'qnashish yuzasi ko'proq yupqa qatlamli yoki nasadkali qurilmalar qo'llaniladi.

Nisbatan sodda va o'ta samarali qurilma bo'lib nasadkali mavhum qaynash qatlamli tarelkali absorber hisoblanadi (5.38-rasm).

Tayanch panjara 1 ga joylashtirilgan nasadka 3 lar zichligi suyuqlik zichligidan kam bo'lishi shart. Diametri 10...30 mm li sharsimon nasadkalar ichi bo'sh bo'lib, odatda polietilen,



5.38-rasm. Sharsimon nasadkali mavhum qaynash qatlamli absorber.

1-tayanch panjarasi; 2-chegaralovchi panjara: 3- sharsimon nasadka; 4-suyuqlik taqsimlagich.

I-ifloslangan gaz; II-tozalangan gaz; III-yangi absorbent; IV-ishlatib bo'lingan absorbent.

polipropilen va boshqa polimer materiallar, hamda metal yoki rezinadan tayyorlanadi. Gazning kritik tezlikdan yuqori bo'lgan tezliklarida tarelka ustida zichligi suyuqliknikidan kam bo'lgan nasadkalar mavhum qaynash holatiga o'tadi. Tezlik o'sishi bilan nasadka qatlamining balandligi ko'payadi, ya'ni qatlam g'ovakliligi ortadi. Intensiv aralashish davrida nasadkalar bilan suyuqlik faol harakat qiladi Ushbu hol suyuqlikning ko'ndalang notekislikni kamaytiradi va qurilma samaradorligini oshiradi.

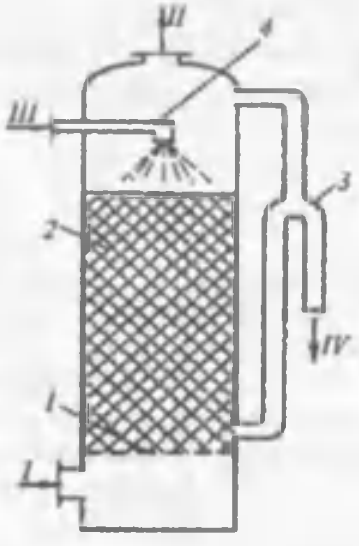
Gaz oqimi bilan ko'tarilib ketayotgan suyuqlikning mayda tomchilarining ko'p qismi mavhum qaynash holatidagi ho'llangan sharlar bilan ushlanib qolinadi va nasadka pastga tushganda suyuqlik qatlamiga qaytadan qo'shiladi. Eng tepadagi seksiyadan sharsimon nasadkalar uchib ketmasligi uchun teshikli panjaraga 2 o'rnatilgan. Ushbu qurilmada eng yuqori tezliklarda ishlash imkoniyati mavjud. Suyuqlikni purkash zichligi 0,05 $m^3/(m^2 s)$ gacha bo'lganda gazning ishchi tezligi 4...5 m/s tashkil etadi. Ushbu turdagi absorberlar afzalliklari:

– bir bosqichning massa almashinish yuzasi katta va suyuqlik yupqa qatlamining qalinligi kichikligi sababli massa berish koeffitsiyentining qiymatlari va f.i.k. juda yuqori;

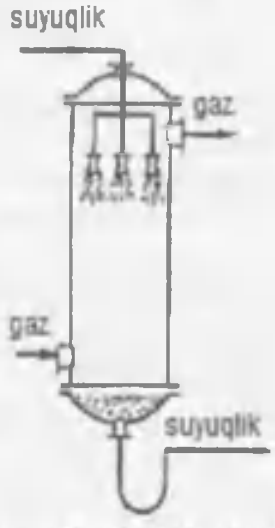
– absorber samaradorligining ortishi: gaz fazasi bo'yicha 4...6 marotaba, suyuqlik bo'yicha esa undan ham ko'p;

– tarkibida qattiq fazali, ifloslangan suyuqlik va gazlarni ham tozalash mumkin.

Kamchiliklari: qurilmaning bo'ylama yo'nalishida konsentratsiyaning bir xil bo'lishi massa o'tkazish jarayonining o'rtacha harakatga keltiruv kuchining kamayishiga olib keladi. Bo'ylama aralashishni bartaraf qilish uchun qurilma seksiyalarga bo'linishi kerak (5.38-rasm).



5.39-rasm. Nasadkali emulgatsion absorber.
1-tayanch panjarasi; 2-nasadka; 3- gidravlik zatvor; 4-suyuqlik taqsimlagich.
I-ifloslangan gaz; II-tozalangan gaz; III-yangi absorbent; IV-ishlatib bo'lingan absorbent.



5.40-rasm. Purkovchi absorber.

Turg'un ish rejimini ushlab turish jihatidan murakkab deb nasadkali emulgatsion absorber hisoblanadi (5.39-rasm).Ushbu absorber emulgatsiya rejimida ishlaydi, ya'ni gidravlik zatvor yordamida har doim bir xil hajmda suyuqlik bo'lishini ta'minlaydi. Fazalarning o'zaro ta'siri bo'yicha ushbu turdagi qurilmalar barbotajli, lekin konstruksiyasi bo'yicha esa – tipik nasadkali qurilma.

Purkovchi absorberlar. Bunday qurilmalarda fazalarning to'qnashishi suyuq fazani – gaz oqimiga purkab berish usuli yordamida amalga oshiriladi. Purkovchi absorberlarning eng sodda konstruksiyasi 5.40-rasm keltirilgan.

Bu absorber ichi bo'sh qobiq va suyuqlikni purkovchi mexanik forsunkadan tarkib topgan bo'ladi.

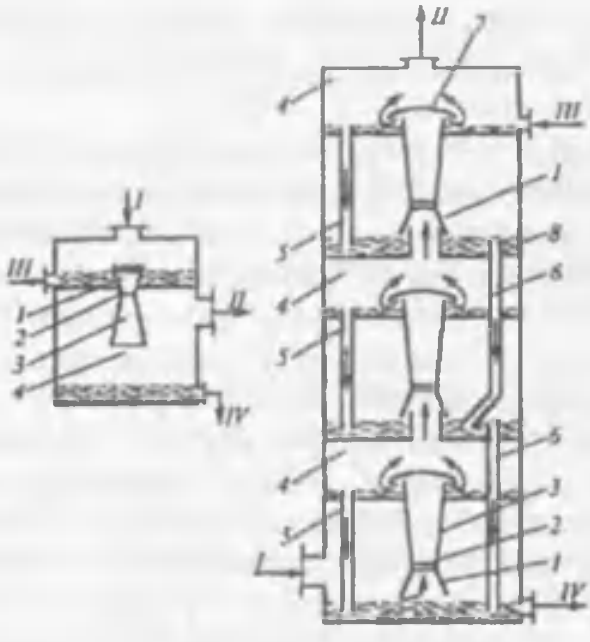
Suyuqlikni purkash paytida massa o'tkazish koeffitsiyenti eng katta miqdorga ega. Vaqt o'tishi va fazalar o'zaro ta'sir yuzasi kamayganligi sababli jarayon samaradorligi pasayadi. Shuning uchun ham, ko'pincha forsunkalar qurilmaning butun balandligi bo'yicha o'rnatiladi.

Odatda, purkovchi absorberlar yaxshi eriydigan gazlarni absorbsiya qilish uchun ishlatiladi. Purkovchi absorberlar qatoriga mexanik absorberlarni ham kiritish mumkin. Bunday qurilmalarda suyuqlik aylanma mexanizm yordamida sochib beriladi. Suyuqlikdagi teshikli disklar qo'zg'almas silindrik qobiq ichida aylanadi. Natijada, disk yordamida suyuqlik mayda tomchilar shaklida atrofga sochiladi.

Purkagichli absorberlarda gazning tezliklari 1...1,5 m/s va suyuklikni purkash zichligi 0,003 $m^3/(m^2 s)$ bo'ladi. Tuzilishi sodda, narxi arzon, gidravlik qarshiligi katta emas va ifloslangan suyukliklarni ham tozalay olishiga qaramasdan, purkovchi absorberlar qo'llanishi chegaralangan. Bunga sabab qurilma kichik samaradorligidir. Ushbu kamchilik qurilmaning bo'ylama yo'nalishida konsentratsiyaning bir xil bo'lishi massa o'tkazish jarayonining o'rtacha harakatga keltiruv kuchini kamayishi tufayli hosil bo'ladi. Agar gazning tezligi 5 m/s va suyuqlikni purkash 0,01...0,015 $m^3/(m^2 s)$ gacha oshirilsa, qurilma samaradorligi ko'payadi. Lekin shu bilan birga suyuqlik mayda tomchilarining gaz bilan chiqib ketishi salmoqli ortadi.

Mexanik purkagichli absorberlar ixcham va konstruksiyasi sodda bo'ladi.

Venturi absorberi. Turli konstruksiyalarda bajarilishiga qaramasdan Venturi absorberlari o'zining yuqori samaradorligi bilan ajralib turadi (5.41-rasm) . Shuni alohida ta'kidlash kerakki, diffuzor-konfuzorda gaz va suyuqlik oqimlari parallel yo'nalishda harakatlanadi.



a b

5.41-rasm. Venturi absorberi.

1-konfuzor; 2-moslama eng tor joyi; 3- diffuzor; 4-separatsion bo'shliq; 5-sirkulatsion truba; 6-quyilish trubasi; 7-tomchi qaytargich; 8-qobiq. I- gaz kirishi; II- gaz chiqishi; III-suyuqlik kirishi; IV-suyuqlik chiqishi.

5.41a-rasmda suyuqlikni yupqa qatlamda kiruvchi bir bosqichli Venturi absorberi keltirilgan. Suyuqlikning yupqa qatlami moslama eng tor joyida 20...30 m/s tezlikda harakatlanayotgan gaz oqimi yordamida mayda tomchilarga aylantiriladi. Gaz va suyuqlikni fazalarga ajralishi separatsion bo'shliq 4 da ro'y beradi. Bu absorberlar ish unumdorligi yuqori bo'lishiga qaramay, fazalar bir yo'nalishda harakatlangani uchun massa almashinish jarayoni sust kechadi.

Ko'p bosqichli, qarama-qarshi yo'nalishli Venturi absorberini qo'llash uchun suyuqlik albatta ejeksiya qilinishi shart (5.41b-rasm). Bu yerda, har bir seksiyada konfuzor 1 ning pastki uchi va suyuqlik yuzasi orasidagi ingichka tirqish orqali o'tayotgan gaz suyuqlikning yupqa qatlamini o'zi bilan ilashtirib ketadi. Suyuqlikning yupqa qatlami moslamaning eng tor joyi 2 da gaz oqimi yordamida mayda tomchilarga parchalanadi va massa o'tkazish uchun katta yuza hosil qiladi. Suyuqlik va gaz fazalarining harakatini qarama-qarshi qilish jarayonning harakatga keltiruvchi kuchi hisobiga qurilmaning massa almashinish qobiliyatini ortishiga olib keladi.

Chiqindi gazlar tarkibidagi ftorli birikmalarni ajratib olish uchun gorizontal purkovchi juvali absorber va vertikal ichi bo'sh purkovchi forsunkali absorberlar qo'llaniladi Hozirgi kunda yuqori samarali va unumdorlikka ega bo'lgan forsunkali Venturi absorberlari keng ko'lamda qo'llanilmoqda. Bu turdagi absorberlar gaz fazasining tezligi 20...30 m/s.

Gaz va suyuqlik fazalari parallel yo'nalishda harakatlanadi. Suyuqlik oqimi o'rtadan yoki chetdan kiritilishi mumkin. Venturi absorberlarining ishchi hajmi torayish (konfuzor), tor, ingichka tekis truba va asta-sekin kengayish (diffuzor) qismlardan tarkib topgan. Gaz-suyuqlik aralashmasi avval diffuzorga uzatiladi, u yerda uning tezligi pasayadi. So'ng, u separatsion bo'limga o'tadi va u yerda suyuq faza gazdan ajratiladi. Venturi absorberlari forsunkasiz ham bo'lishi mumkin va ularning gidravlik qarshiligi 1,2...1,5 kPa (120...150 mm.suv.ust.), ftorni ajratish darajasi 75-85%. Absorbsion qurilmalar o'z ichiga bir nechta Venturi absorberlari va separatsion kameralarini oladi va katta maydonlarni egallaydi. Ushbu absorberlar kamchiligi shundaki, katta hajmdagi purkaladigan suyuqliklarni uzatish uchun, xususan, yuqori korrozion faollikka ega bo'lgan geksaftorkremniy kislotasini uzatish uchun nasos qo'llanishidir.

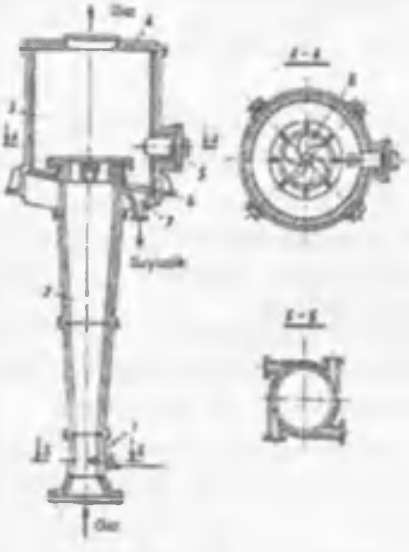
Tezkor, purkovchi Venturi absorberlarining yana bir turi – bu **a e r o m i k s** lardir. Bu turdagi absorberlarda suyuqlik fazasini uzatish uchun nasos qo'llanilmaydi (5.42-rasm). Ushbu konstruksiyali absorberlar soatiga 50 ming m^3 gacha bo'lgan chiqindi gazlarni tozalash uchun mo'ljallangan.

Aeromiks tipidagi absorberlarda gaz pastdan yuqoriga harakatlanadi, purkaladigan suyuqlik esa tangensial yo'nalishda eng tor, tekis truba joyidan uzatiladi. Gaz fazasining tezligi 25...40 m/s ni, gidravlik qarshiligi 1,4...1,6 kPa va ftorsimon birikmalarni ajratish darajasi 80% ni tashkil etadi. Diffuzor orqali chiqayotgan gaz-suyuqlik oqimi tomchi ushlagichga va so'ng separatorga yo'naltiriladi. Separatorda gaz–suyuqlik oqimining tezligi 1,4...2 m/s gacha pasayadi. Ushbu tezlikda suyuqlikni gazdan ajralishi to'liq bo'ladi. Purkalayotgan suyuq faza separatorning pastki qismida to'planadi. Suyuq faza to'kish shtuseri orqali yig'gichga va purkash uchun absorberga yoki sistemadan chiqariladi. Odatda, aeromiksda suyuq fazaning 1 m^3 gazga bo'lgan sarfi 3...5 dm^3 ni tashkil qiladi.

Katta hajmdagi chiqindi gazlar (100 ming m^3/soat) ni tozalash uchun intensiv va samarali absorbsion qurilmalar: harakatchan (masalan, halqasimon) nasadkali yoki tezkor ko'pikli absorberlar qo'llaniladi [137,138].

Harakatchan (halqasimon) nasadkali absorber uchta kameraga bo'lingan silindrik qobiqli qurilmadir (5.43a-rasm).

Gaz faza qurilmaning pastki kamerasiga uzatiladi va u yerda bir tekisda taqsimlanadi. Pastki va yuqori kameralarni teshiklarining ulushi 50% bo'lgan tayanch-taqsimlovchi panjara ajratib turadi. Ushbu panjara ustiga halqasimon nasadka joylanadi. Nasadka halqalarini yasash uchun suyuq faza bardosh turli polimer material (masalan, polipropilen, penoplast va h.)lar ishlatiladi. Qo'zg'almas qatlamli nasadka balandligi 0,15...0,2 m ni tashkil etadi. Gazning tezligi 4...5 m/s bo'lganda o'rta kamerada nasadka qatlami mavhum qaynash holatiga keladi. Nasadkalar qurilmadan uchib ketmasligi uchun o'rta kamera yuqori kameradan teshiklarining ulushi 80-85% li chegaralovchi panjara bilan ajratilgan.



5.42-rasm. Venturi trubasi (aeromiks) tipidagi absorber.
1-tor, tekis truba; 2-diffuzor; 3-separator; 4-separator qopqog'i; 5,7-to'kish shtuserlari; 6-tomchi ajratgich.

Gaz va purkalayotgan suyuqlik qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanadi va kontakt yuzasi katta bo'lgan o'rta kamerada o'zaro to'qnashadi. So'ng, gaz separatorli yuqori kameraga o'tadi va undan atmosferaga chiqariladi yoki keyingi tozalash bosqichiga uzatiladi. Suyuq faza qurilmaning pastki qismidagi shtuser orqali to'kiladi. Qurilmaning ishchi kamerasida gaz fazasining tezligi 4,5...11 m/s, absorberni suyuqlik bilan purkash zichligi 50...70 $m^3/(m^2 \cdot soat)$. Ushbu turdagi qurilmalar nasadkasiz ishlaganda ham absorbsiya jarayonining yuqori samaradorligini ta'minlaydi.

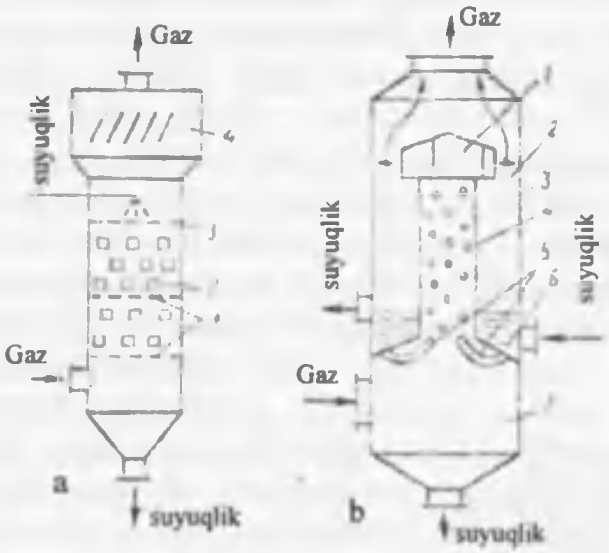
Ko'pincha harakatchan (halqasimon) nasadkali absorberlar mustaqil purkash siklli, ko'p bosqichli kolonna (2...3 ta tozalash bosqichli) ko'rinishida tayyorlanadi. Ushbu turdagi qurilmalar nasadkasiz ishlaganda ham absorbsiya jarayonining yuqori samaradorligini ta'minlaydi. Buning uchun suyuqlikni purkash zichligini (ko'pikli qatlam hosil qilish) va suyuqlik sirkulatsiyasining karralagini oshirish kerak. Bunday qurilmalarda gazsimon turli jinsli sistemalar (masalan, ftorli birikmalar) ni ajratish darajasi 98...99%.

Tezkor ko'pikli absorber silindrik qobiqli bo'lib, unda quyilish trubkali va kontakt patrubkali silindrik to'siq, hamda markazdan qochma uyurmalagich o'rnatilgan (5.43b-rasm).

Gaz absorberning pastki kamera (gaz taqsimlash) siga, suyuq faza esa halqasimon kameradan quyilish trubalari orqali pastga tushayotganda gaz fazasi bilan to'qnashadi. Ushbu to'qnashuvda hosil bo'lgan gaz–suyuqlik aralashmasi ko'pikli qatlamni eslatadi. Suyuqlikni gazdan ajratish markazdan qochma uyurmalagichda amalga oshiriladi, chunki suyuqlik tangensial oqim bilan separatsion kameraning ichki devoriga uloqtiriladi va pastga qarab oqib tushadi, gaz esa – keyingi tozalash bosqichiga yoki atmosferaga chiqarib yuboriladi.

Kontakt patrubkasida suyuqlik purkalish zichligi 150...250 $m^3/(m^2 \cdot soat)$ bo'ladi. Bu turdagi absorberlar qo'shimcha suyuqlikning kichik sarfi va sirkulatsion nasossiz ham ishlashi mumkin, chunki eritmaning ichki sirkulatsiyasi juda intensiv.

Bunday absorberlar ham ko‘p bosqichli qilib tayyorlanadi. Kontakt patrubkasining ko‘ndalang kesimidagi gazning tezligi 14...25 m/s oraliqda bo‘lishi mumkin.



5.43-rasm. Harakatchan nasadkali (a) va tezkor (b) absorberlar.
a – harakatchan, halqasimon nasadkali; 1-tayanch-taqsimlovchi panjara;
2-halqa nasadka; 3-chegaralovchi panjara; 4-tomchi ushlagich;
b - tezkor ko‘pikli absorber; 1 – markazdan qochma uyurmalagich;
2 - halqasimon kamera; 3 - qobiq; 4 - kontakt patrubkasi; 5 -quyilish trubasi;
6 – konussimon to‘siq; 7 -pastki kamera.

Bir bosqichli absorberning gidravlik qarshiligi 1,25...1,55 kPa, ftorni ajratish darajasi 98...99%.

Tezkor ko‘pikli absorberlarda gaz-suyuqlik oqimining dinamik ko‘pikli qatlam hosil bo‘ladi va u kontaktli patrubkada sirkulatsiya qiladi. Ushbu absorber samarali bo‘lgani bilan, sanoat miqyosida mo‘tadil ko‘pik qatlamli absorberlar keng ko‘lamda ishlatilmoqda [139].

Bu turdagi absorberlarda gaz va suyuqlik oqimlari o‘zaro kesishgan yoki qarama-qarshi yo‘nalishlarda harakat qiladi.

Ko‘pikli absorberlarning asosiy konstruktiv elementi teshikli panjara bo‘lib, ustidagi ko‘pik qatlami bilan birga tokcha deb nomlanadi [140]. Tokchalar soniga qarab bir yoki ko‘p tokchali ko‘pikli, teshikli panjaradan suyuqlikni olish bo‘yicha quyilish moslamali va qarama-qarshi yo‘nalishli absorberlar bo‘ladi.

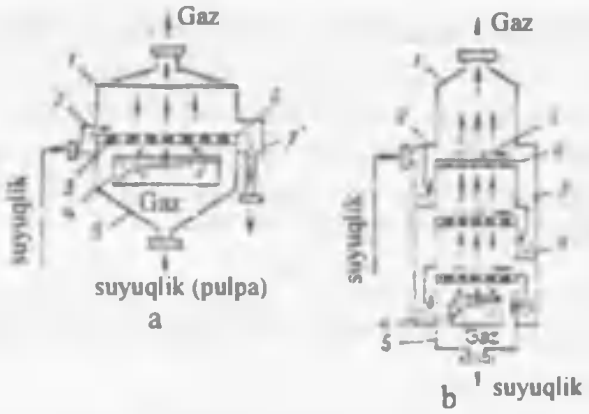
Quyilish moslamali ko‘pikli absorber vertikal qobiqli, ichida bitta yoki bir nechta gorizontal teshikli panjaralar bo‘ladi (5.44-rasm. Teshikli panjarada teshiklar yuzasining butun panjara yuzasiga nisbati ~10...40% oraliqda bo‘lishi mumkin.

Teshikli panjara ustida ko‘pikli gaz-suyuqlik qatlami hosil bo‘ladi. Bunda gaz pastdan yuqoriga, suyuqlik esa panjara bo‘ylab gorizontal yo‘nalishda harakatlanadi. Ko‘pikli qurilmalarda suyuqlik fazasining panjara teshiklari orqali pastga oqib tushish va gaz oqimi bilan tomchilarning uchib chiqish ehtimoli bor.

Gaz va suyuqlik fazalarining qarama-qarshi yo‘nalishli ko‘pikli absorberlarida suyuqlikning bir tarelkadan ikkinchisiga o‘tishi uchun quyilish trubkalari yo‘q. Bu turdagi qurilmalarda panjaraga beriladigan suyuqlik teshiklar orqali oqib tushadi.

Shuni alohida ta’kidlash kerakki, ko‘pikli qatlam balandligi faqat gidrodinamik omillar (gaz tezligi va suyuqlikni purkash zichligi) va teshikli panjara xarakteristikalari bilan rostlanadi.

Bu turdagi qurilmalar konstruksiyalari 5.45-rasmda keltirilgan.

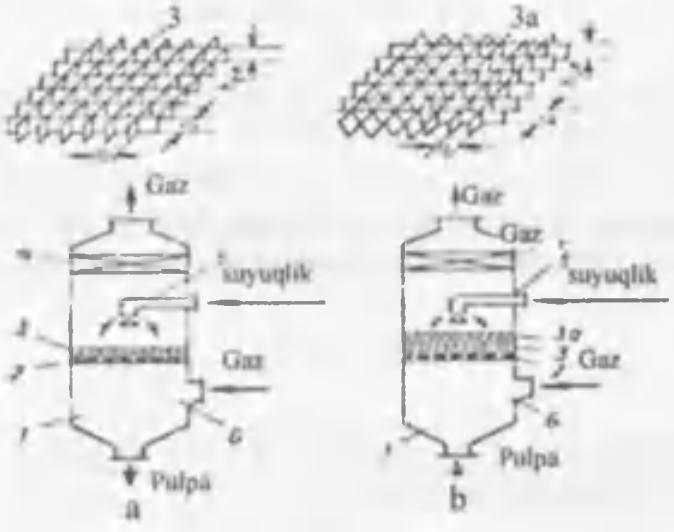


5.44-rasm. Bir (a) va ko'p (b) tokchali ko'pikli absorberlar.
1-qobiq; 2-qabul qutisi; 3-panjara; 4-diffuzor; 5-konussimon dnishche; 6-ostona-to'siq; 7-to'kish ostonasi; 8-gidravlik zatvor.

Jadallashgan ko'pikli qurilmalarda asosan ikki turdagi panjaralar qo'llaniladi: teshikli va tirqishli.

Ko'pikli qurilmalarda jarayonni jadallashtirish uchun panjara teshiklari o'lchamlarini kattalashtirish darkor deb hisoblashadi [9]. Katta teshikli panjaralarda fazalarning o'zaro to'qnashishi alohida e'tiborga sazovor. Gaz fazasining tezligi ortishi bilan panjara teshigida fazalarning uyurmaviy o'zaro ta'siri tufayli ikkilamchi ko'pik hosil bo'ladi.

Qatlamni mo'tadillovchi panjarali ko'pikli qurilma vertikal qobiqli bo'lib, uning ichida qarama-qarshi yo'nalishli gorizontal panjara o'rnatilgan. Teshikli panjarada ko'pikni mo'tadillovchi moslama, ya'ni vertikal o'rnatilgan plastinalardan yacheykali panjara ko'rinishida bo'lab, oddiy panjara ustiga o'rnatiladi.



5.45-rasm. Jadallashgan ko'pikli qurilma.
a – bitta mo'tadillagichli ; 6 - ikkita mo'tadillagichli; 1-qobiq; 2-qarama-qarshi yo'nalishli panjara; 3-ko'pik mo'tadillagich; 3a-qo'shimcha mo'tadillagich; 4-tomchi ushlagich; 5 – purkash moslamasi; 6 - diffuzor.

Gaz odatda panjara osti bo'shliqqa uzatiladi, so'ng panjaradan o'tadi va purkalayotgan suyuqlik o'zaro ta'siri hisobiga ko'pikli qatlam barpo bo'ladi.

Tozalangan gaz tomchi ushlagich qurilmasiga yo'naltiriladi va qurilmaning tepa shtuseri orqali atmosferaga chiqariladi. Suyuqlik panjara teshiklari orqali o'tib, qurilmaning ostidagi shtuser orqali chiqariladi.

Ko'pikli qurilmalarda teshikli panjara birlik yuzasiga to'g'ri keladigan fazalar to'qnashish yuzasi katta. Lekin ushbu ijobiy xossa katta teshikli panjaralarda va yuqori tezlik (3 m/s va undan ortiq) larda namoyon bo'ladi.

Teshikli panjara birlik yuzasiga to'g'ri keladigan fazalar to'qnashish yuzasi A (m^2/m^2) quyidagi formulalardan aniqlash tavsiya etiladi [140]:

– mayda teshikli panjara uchun

$$A = 496 \cdot w_g^{0,15} \cdot L^{0,4} \cdot S^{-2,15} \cdot d_o^{0,14} \cdot \rho_s^{-1}$$

– trubali panjara uchun

$$A = 809 \cdot w_g^{0,15} \cdot L^{0,45} \cdot S^{-2,4} \cdot d_{tr}^{0,14} \cdot \rho_s^{-1,25}$$

– yirik teshikli panjara uchun

$$A = 19,6 \cdot 10^3 \cdot w_g^{0,135} \cdot L^{0,5} \cdot S^{-2,47} \cdot d_E^{0,8} \cdot \rho_s^{-1,25}$$

bu yerda, w_g – qurilma to'liq ko'ndalang kesimidagi gaz tezligi, m/s; L – purkash zichligi, $m^3/(m^2 \cdot ch)$; S – panjara teshiklari yuzasining ulushi, %; d_o, d_{tr}, d_e – panjara teshiklari diametri, panjara trubasi diametri va panjara teshiklari ekvivalent diametri; ρ_s – suyuqlik zichligi, kg/m^3:

5.12.1. Absorbsion qurilmalar gidravlik qarshiligi

Tarelkali qurilmalarning bitta pog'onasining gidravlik qarshiligi umumiy holatda tashkil etuvchilarning yig'indisi sifatida aniqlanadi:

$$\Delta P = \Delta P_q + \Delta P_\sigma + \Delta P_{g-s} \tag{8.4}$$

bu yerda, ΔP_q – quruq tarelka qarshiligi; ΔP_σ – sirt taranglik kuchlari tufayli hosil bo'lgan qarshilik; ΔP_{g-s} – tarelkadagi gaz-suyuqlik qatlamining qarshiligi.

Absorbsion qurilmalarni sanoat miqyosida qo'llash shuni ko'rsatdiki, ΔP_σ ning qiymati tarelkaning umumiy qarshiligiga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi. Shuning uchun, tarelka gidravlik qarshiligi ushbu formuladan aniqlash mumkin:

$$\Delta P = \Delta P_q + \Delta P_{g-s} \tag{8.5}$$

Quruq tarelka gidravlik qarshiligi kontakt moslama devoridagi naporning yo'qotilishi orqali ifodalash mumkin

$$\Delta P_q = \xi \cdot (\frac{w^2}{2g}) \cdot \rho_g \tag{8.6}$$

bu yerda, ξ – quruq tarelka gidravlik qarshilik koeffitsiyenti; w_t – tarelka teshiklaridagi gazning tezligi, m/s; g – erkin tushish tezlanishi, m/s^2; ρ_g – gazning zichligi, kg/m^3.

Venturi truba (tor joyi diametri d_t=20 mm va diffuzorning konuslik burchagi α_0=8) si uchun ΔP_{g-s} quyidagi formula yordamida hisoblab topiladi [104]:

bir tekisdagi rejim uchun

$$\Delta P = \Delta P_q + \Delta P_{g-s}\ \Delta P_{g-s} = 0,008 \cdot w_g^{2,2} \cdot (\frac{L}{G})^{1,1L} \tag{8.7}$$

pulsatsion rejim uchun

$$\Delta P_{g-s} = w_g^{1,03} \cdot (\frac{L}{G})^{0,55} \quad (8.8)$$

bu yerda, w_g – Venturi trubasining eng tor qismida gazning tezligi, m/s; L/G –suyuqlikning solishtirma sarfi, dm^3/m^3.

Injeksion kontakt moslamalar uchun ΔP ni hisoblash uchun gaz va suyuqlik oqimlarining harakati davrida ishqalanish tufayli hosil bo'ladigan qarshilikni ham inobatga olish zarur:

$$\Delta P = \frac{\xi w_y}{\frac{2g}{G_v}} \cdot (B \cdot L_y \cdot \gamma_s + G_v \cdot \gamma_\Gamma) \quad (8.9)$$

bu yerda, w_y – kontakt tirqishdagi gazning tezligi, m/s; G_v – gazning hajmiy sarfi, m^3/soat; $V=w_{s.f}/w_s$ ($w_{s.f}$ - – kontakt tirqishdagi suyuqning tezligi, m/s), L_v – suyuqlikning hajmiy sarfi, m^3/soat.

Seksiyali quruq tarelka gidravlik qarshiligini aniqlash uchun quyidagi formula tavsiya etiladi:

$$Eu_q = \frac{\Delta P_q}{\rho_\Gamma w'_{kz}} = 426 \cdot (\frac{d_{sh}}{d_{kz}}) \quad (8.10)$$

bu yerda, d_{sh} – gaz oqimi o'tadigan tirqishning ekvivalent diametri, m; d_{kz} – kontakt tirqishining ekvivalent diametri, m; f – kontakt tirqishlarlar yuzasining kolonna to'liq ko'ndalang kesimiga nisbatining ulushi, %.

Bir tekisdagi rejimda tarelka uchun gidravlik qarshilik ΔP_{g-s} quyidagi formuladan topiladi:

$$Eu = 0,955 \cdot (\frac{La}{G})^{0,8} \quad (8.11)$$

bu yerda, a – tarelka seksiyalari soni.

Yuqori zichlikda purkalayotgan kontakt moslamaning gaz–suyuqlik aralashmasi qatlamining gidravlik qarshiligini ushbu formuladan aniqlash tavsiya etiladi:

$$\Delta P_{g-s} = 2,2 \cdot G^{0,65} \cdot L^{1,45} \cdot H^{0,36} \cdot d_{tesh}^{0,75f-1,95} \quad (8.12)$$

bu yerda, G – gazning hajmiy sarfi, $m^3/(m^2 \cdot s)$; L – purkash zichligi, $m^3/(m^2 \cdot s)$; H – kontakt truba uzunligi, m; d_{tesh} – teshik diametri, m; f – kontakt truba ko'ndalang kesim yuzasi , % (kolonna kesimiga nisbatan).

Venturi absorberining to'liq gidravlik qarshiligi tashkil etuvchilarning yig'indisi sifatida aniqlash maqsadga muvofiq [137]:

$$\Delta P = \Delta P_{tr} + \Delta P_{ycx} + \Delta P_{ok} \quad (8.13)$$

ΔP_{ycx} ning qiymati truba o'lchamiga bog'liq bo'lmagani uchun va umumiy gidravlik qarshilik ΔP ning bir necha o'ndan bir ulushiga teng bo'lgani uchun hisoblashlarda inobatga olmasa ham bo'ladi.

Venturi trubasi uchun gaz-suyuqlik oqimining ko'tarilishi hisobiga bosimning yo'qotilishi ΔP_{ok} umumiy qarshilik ΔP ning 1...2% ni tashkil etadi va u ushbu formulada yordamida aniqlanadi [104]:

$$\Delta P_{ok} = (1 + \frac{L}{G}) \cdot \rho_g \cdot g \cdot H \qquad 14)$$

bu yerda, H – truba balandligi, m.

(8.14) formulani inobatga olgan holda Venturi trubasi uchun bosimning umumiy yo'qotilishi ushbu formulada hisoblanadi:

$$\Delta P = (a + b \cdot d_g) \cdot (\frac{L}{G})^{p+nd_r} + (1 + \frac{L}{G}) \cdot \rho_g \cdot g \cdot H \qquad (8.15)$$

bu yerda, a, b, p, n – o'zgarmas koeffitsiyentlar; d_r – Venturi trubasining eng tor joyi diametri, m.

Xuddi shu usulda, trubadagi ishqalanish tufayli bosimning yo'qotilishi $\Delta P_{yo'q}$ ni aniqlash mumkin [104]:

$$\Delta P_{yo'q} = \Delta P - \Delta P_{ok} \qquad (8.16)$$

Venturi trubasida (purkagichsiz) ΔP_{ok} aniqlash uchun ushbu formulalar taklif etiladi:

$$\Delta P_{ok} = 465 \cdot w_g^{1,11} \cdot d_g^{0,4} \cdot (\frac{L}{G})^{0,65 d_g^{0,36}} \qquad (8.17)$$

$$\Delta P_{ok} = (840 \cdot d_g^{1,74} - 0,6) \cdot w_g^{0,54 d_g^{-0,13}} \cdot (\frac{L}{G})^{\frac{d_r}{1,73 d_g - 0,0107}} \qquad (8.18)$$

Ayrim olimlar bosimning bir qismi suyuqlikni purkash (h_{pur}) uchun sarflanadi deb hisoblashadi va purkagichsiz Venturi truba uchun umumiy qarshilikni ushbu tenglikdan topishni tavsiya etadi [104]:

$$\Delta P = \frac{\xi \cdot (\gamma + l) \cdot w_g^2}{2 \cdot g} + (\gamma + l) \cdot h + h_{pur} \qquad (8.19)$$

bu yerda, γ – gazning solishtirma sarfi, kg/m^3; l – suyuqlikning solishtirma sarfi, kg/m^3; w_g – eng tor joydagi gaz tezligi, m/s.

(8.19) tenglamadagi h_{pur} ni hisoblash uchun quyidagi formula tavsiya qilinadi:

$$h_{pur} = 1,8 \cdot w_g^{1,08 l^{0,63}} \qquad (8.20)$$

Venturi trubali injeksion tarelkaning umumiy gidravlik qarshiligini hisoblash uchun ushbu formula qo'llaniladi [104]:

$$\Delta P = \frac{\xi_{op} \cdot w^2 \cdot \rho_g}{2 \cdot g} \qquad (8.21)$$

bu yerda, ξ_{op} – suyuqlik bilan purkalayotgan tarelka gidravlik koeffitsiyenti.

$$\xi_{up} = 3,3 \cdot \left[\frac{Q_s \cdot \rho_g}{Q_g \cdot \rho_s} \right]^{0,46}$$

bu yerda, Q_s, Q_g– kontakt patrubkadagi suyuqlik va gaz sarflari, m^3/s.

Gaz va suyuqlik fazalarining sarfiga, hamda soplo diametriga qarab Venturi trubali injeksion tarelkaning umumiy gidravlik qarshiligi ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\Delta P = 3720 \cdot L^2 \cdot d_s^{-4} \cdot (\frac{L}{G})^{-1,54} \quad (8.22)$$

bu yerda, d_S – soplo diametri, m; L, G – gaz va suyuqlik fazalar sarflari, kg/ch.

Purkovchi–urinma tarelkalarning to'liq gidravlik qarshiligi quyidagicha topiladi:

$$\Delta P = 0,416 \cdot 10^{-6} \cdot w_0 \cdot d^{-4} \cdot h^{-2,31} \cdot L^{0,38} \quad (8.23)$$

bu yerda, w_0 – patrubkadagi tezlik, m/s; d –patrubka diametri, m; h – patrubka balandligi, m; L – purkash zichligi, $m^3/(m^2 \cdot s)$.

Gaz fazasining haqiqiy tezligini ushbu formuladan topiladi [138]:

$$w_e = \frac{w_0 \cdot S}{S - \frac{q}{H}} \quad (8.24)$$

bu yerda, w_0 – patrubkaning to'la ko'ndalang kesimiga nisbatan tezligi, m/s; S – patrubkaning to'la ko'ndalang kesimi, m^2; q – suyuqlik zaxirasi, m^3; H – patrubka balandligi, m;

$$\rho_{g-s} = 9514 \cdot w^{-0,78} \cdot L^{0,92} \cdot H^{0,26} \quad (8.25)$$

$$\rho_{g-s} = 0,023 \cdot L^{0,58} \cdot H^{0,24} \quad (8.26)$$

Ko'pikli qurilmalarning gidravlik qarshiligi ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\Delta P = \Delta P_q + \Delta P_{qat} + \Delta P_\sigma + \Delta P_a \quad (8.27)$$

bu yerd,a ΔP_{qat} – ko'pik qatlamining qarshiligi; ΔP_σ – sirtiy tarangliknn yengish qarshiligi; ΔP_a – qurilma qobig'ining qarshiligi.

Panjara teshiklarining yuzasi panjara $S \geq 0,18$ m^2/m^2 bo'lganda ΔP_q ni hisoblash uchun ushbu formuladan foydalanish mumkin [104]:

$$\Delta P_q = \frac{\xi_P \cdot \rho_g \cdot w_g^2}{2 \cdot g \cdot S^2} \quad (8.28)$$

bu yerda, ξ_p – quruq panjaraning mahalliy qarshilik koeffitsiyenti.

Ko'pikli gaz-suyuqlik qatlamining gidravlik qarshiligi ΔP_{qat} quyidagi formula orqali aniqlanishi mumkin:

– mayda teshikli panjara uchun

$$\Delta P_{qat} = 4{,}38 \cdot H_{П} \cdot \rho_s \cdot w_g^{-0{,}15}, \quad (8.29)$$

– trubali panjara uchun

$$\Delta P_{qat} = 4{,}10 \cdot H_{П} \cdot \rho_s \cdot w_g^{-0{,}5} \quad (8.30)$$

– yirik teshikli panjara uchun

$$\Delta P_{qat} = 3{,}97 \cdot H_{П} \cdot \rho_s \cdot w_g^{-0{,}5} \quad (8.31)$$

Sirtiy taranglik kuchlarini yengish uchun sarflanadigan bosim yo'qotilishlarini hisoblash uchun ushbu formula tavsiya etiladi [140]:

– teshikli panjara uchun

$$\Delta P_\sigma = \frac{4\sigma}{d_0} \quad (8.32)$$

– trubali panjara uchun

$$\Delta P_\sigma = \frac{2 \cdot \sigma}{b_e} \quad (8.33)$$

bu yerda, b_e – tirqish eni.

Odatda, qarshilik ΔP_σ ning qiymati uncha katta emas.

Qurilma qobig'ining qarshiligi:

$$\Delta P_a = \frac{\xi_a \cdot w_g^2 \cdot \rho_g}{2} \quad (8.34)$$

bu yerda, ξ_a – qurilmaning mahalliy qarshilik koeffitsiyenti (kontakt pog'onasiz).

Qarama-qarshi yo'nalishli purkaluvchi qurilmalarning katta teshikli panjaralarining $S \geq 0{,}18$ m^2/m^2 bo'lganda umumiy gidravlik qarshiligi ΔP ni ushbu formula yordamida hisoblash mumkin [9]:

$$\Delta P = \frac{\xi_P \cdot \rho_g \cdot w_g^2}{2 \cdot g \cdot S^2} + 3{,}97 \cdot H_{П} \cdot \rho_s \cdot w_g^{-0{,}5} + \frac{\xi_a \cdot w_g^2 \cdot \rho_g}{2} \quad (8.35)$$

Absorbsion qurilmalarning gidravlik qarshiligiga qarab nafaqat energiya sarfi bo'yicha fikr yuritsa bo'ladi, balki jarayonning intensivligini ham aniqlash mumkin, chunki qurilmaning asosiy yo'qotilishlari gaz va suyuqlik fazalari o'rtasidagi kontakt yuzasini shakllantirishga sarflanadi. Masalan, sanoat miqyosidagi ko'pikli qurilmalarda ΔP_q ning qiymati 100 dan 200 Pa gacha, ΔP_{qat} niki esa – 200 dan 1500 Pa gacha.

5.13. Absorberlarni hisoblash

Absorberlarni hisoblashda quyidagi parametrlar aniqlanadi: absorbent sarfi, qurilmaning diametri, balandligi va gidravlik qarshiligi. Buning uchun esa quyidagi

parametrlar ma'lum yoki berilgan bo'lishi kerak: gaz sarfi, gaz aralashmaning tarkibi, boshlang'ich va oxirgi konsentratsiyalari, absorbentdagi gazning boshlang'ich konsentratsiyasi.

Absorbentning sarfi moddiy balans tenglamasi (5.7) dan topiladi.

Absorberning gidravlik qarshiligi qurilmaning konstruksiyasi va uning gidrodinamik rejimiga bog'liq. Odatda gidravlik qarshilik gazning optimal tezligi bo'yicha hisoblanadi, u esa o'z navbatida texnik-iqtisodiy hisoblashlar asosida aniqlanadi.

Absorber diametri gazning chiziqli tezligiga binoan (5.61) tenglamadan hisoblanadi.

Absorber balandligi esa, massa o'tkazishning modifikatsiyalashgan tenglamasi (5.65) dan topish mumkin.

Yupqa qatlamli va nasadkali absorberlarni hisoblash sxemalari bir xildir.

Yupqa qatlamli absorberlarni hisoblashda gidravlik qarshilik Darsi - Veysbax tenglamasidan aniqlanadi:

$$\Delta p = \lambda \frac{H}{d_e} \frac{\rho w_H^2}{2}$$

bu yerda, λ – gidravlik qarshilik koeffitsiyenti; H – yupqa qatlam oqib tushayotgan yuzaning balandligi, m; d_e – gaz harakatlanayotgan kanalning ekvivalent diametri, m; $w_H = w + w_{o'r}$ – gazning nisbiy tezligi, m/s; $w_{o'r}$ – yupqa qatlam harakatining o'rtacha tezligi, m/s; ρ – gaz zichligi, kg/m^3.

Yupqa qatlam harakatining o'rtacha tezligi $w_{o'r}$ (5.86) tenglamadan aniqlanadi.

Gidravlik qarshilik koeffitsiyenti, gaz va yupqa qatlamlar, Reynolds kriteriyining qiymatlariga bog'liq. Suyuqlik yupqa qatlamining harakat rejimini aniqlovchi Reynolds kriteriysi (5.88a) tenglamadan topiladi.

Trubali absorberlar diametri gazning sarfi va tezligi orqali (truba ichki diametrini ma'lum qiymatiga teng deb qabul qilinadi) aniqlash mumkin.

Trubalar soni esa:

$$n = \frac{G}{0{,}785 w d^2 \rho_\Gamma} \qquad (5.93)$$

bu yerda, G – gazning massaviy sarfi, kg/s.

Trubalar soni ma'lum bo'lsa, ular orasidagi masofa $t = (1{,}25...1{,}5)\cdot d_t$ va trubaning qalinligi δ ni aniqlab, absorberning diametri sekundli sarf tenglamasidan aniqlanadi.

Trubalar balandligi hamma trubalarning ichki yuzalari orqali aniqlanadi:

$$H = \frac{F_m}{n \cdot \pi \cdot d_{ich}} \qquad (5.94)$$

bu yerda $F_m =$ [illegible]

Modifikatsiyalashgan massa o'tkazish tenglamasi (5.63) ni hisobga olsak:

$$H = \frac{\mu}{n \pi d_{ich} \cdot K_{uv} \cdot \Delta y_{o'r}}$$

Gaz fazasidagi massa berish koeffitsiyentini hisoblash uchun quyidagi kriterial tenglama taklif etiladi:

$$Nu_{Дg} = 0{,}023 \cdot \mathrm{Re}_{g}^{0{,}83} \cdot \mathrm{Pr}_{Дg}^{0{,}43} \qquad (5.95)$$

bu yerda, $Re_г$ – gaz oqimi uchun Reynolds kriteriysi; $Pr_{Дg}$ – gaz uchun Prandtl kriteriysi.

Ushbu tenglamada aniqlovchi o'lcham sifatida gaz oqimi harakatlanayotgan kanalning ekvivalent diametri qo'llaniladi.

Suyuq fazasidagi massa berish koeffitsiyentini ushbu tenglama yordamida hisoblash mumkin:

$$Nu_{ДС} = 0{,}069\,\mathrm{Re}_{s}^{0{,}33} \cdot \mathrm{Pr}_{ДС}^{0{,}3} \cdot Ga^{0{,}167} \left(\frac{h}{d_э}\right)^{-0{,}5} \qquad (5.96)$$

bu yerda, Re_s – suyuqlik yupqa qatlami uchun Reynolds kriteriysi; Pr_s – suyuqlik uchun Prandtl kriteriysi; Ga – Galiley kriteriysi; h – qurilma ishchi qismining balandligi, m; d_e – yupqa qatlamning ekvivalent diametri, m.

Re_s ni hisoblashda suyuqlik yupqa qatlamining oqib tushish tezligi ishlatiladi.

Nasadkali absorberlarni hisoblashda quruq nasadkadagi naporning yo'qotilishi ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$\Delta p = \lambda \frac{H}{d_e} \frac{\rho_g w^2 g}{2}$$

Ma'lumki, naporning yo'qotilishi nasadka xarakteri, gaz tezligi va namlanish zichligiga bog'liq.

Ho'llangan nasadka qarshiligini prof. A.N.Planovskiy tomonidan taklif etilgan formula yordamida hisoblash mumkin:

$$\Delta p = \Delta p_к \left[1 + 8{,}4 \cdot \left(\frac{L}{G}\right)^{0.4} \cdot \left(\frac{\rho_г}{\rho_c}\right)^{0.23}\right] \qquad (5.97)$$

bu yerda, $\Delta p_к$ – quruq nasadka gidravlik qarshiligi.

Absorber diametri esa quyidagi formuladan topiladi:

$$D = \sqrt{\frac{G}{3600\pi\rho_г \cdot w}}$$

bu yerda, G – gaz sarfi, kg/soat; $\rho_г$ – gaz zichligi, kg/m^3; w – kolonna bo'sh ko'ndalang kesimidagi tezlik, m/s. Gaz tezligi (5.92) tenglamadan hisoblab topiladi.

Absorber balandligini modifikatsiyalashgan massa o'tkazish tenglamasi (5.65) dan aniqlash mumkin.

Gaz fazasidagi massa berish koeffitsiyentini hisoblash uchun quyidagi kriterial tenglamani qo'llash mumkin:

$$Nu_{Д'} = 0{,}407\,\mathrm{Re}_g^{0{,}655}\,\mathrm{Pr}_{Дg}^{0{,}33}\left(\frac{h}{d_{ek}}\right)^{-0{,}47}$$

Ushbu tenglamada aniqlovchi o'lcham sifatida nasadkaning ekvivalent diametri d_{ek} xizmat qiladi. Re_g kriteriysiga nasadka bo'sh kanallaridagi gazning tezligi qo'yiladi.

Suyuq fazadagi massa berish koeffitsiyentini hisoblash ushbu formulani qo'llash mumkin:

$$Nu_{ДS} = 0{,}00216\,\mathrm{Re}_S^{0{,}77} \cdot \mathrm{Pr}_{ДS}^{0{,}5} \qquad (5.98)$$

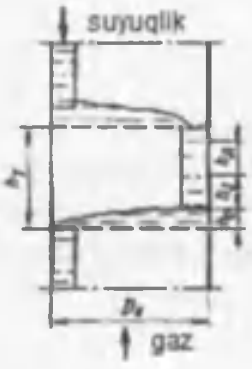
Formuladagi $Nu_{ДS}$ – yupqa qatlam keltirilgan qalinligida hisoblangan:

$$\delta_{yuq} = \left(\frac{\mu_s^2}{g\rho_s^2}\right)^{0{,}33} \qquad (5.99)$$

Tarelkali absorberlarni hisoblashda qurilmaning gidravlik qarshiligi, diametri, balandligi va tarelkalar soni aniqlanadi.

Tarelka turi tanlangandan so'ng, bug' yoki gazning ruxsat etilgan eng katta tezligi aniqlanadi. Buning uchun Kirshbaum tomonidan taklif etilgan formuladan foydalanish mumkin:

$$w_k = 0{,}05\sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_r}} \qquad (5.100)$$



5.46-rasm. Tarelkalar orasidagi minimal masofani hisoblashga oid.

Kolonna bo'sh ko'ndalang kesimidagi gazning tezligi (0,8...0,9) w_k ga teng deb qabul qilinadi.

Zamonaviy qurilmalarda tarelkalar orasidagi masofa iloji boricha kam bo'lishi kerak.

Tarelkalar orasida kerakli gidravlik tamba hosil qiluvchi minimal masofa ushbu ifodadan topiladi (5.46-rasm).

$$h_T \geq h_Д + h_3 + h_0 \qquad (5.101)$$

bu yerda. $h_Д$ – suyuqlik tezligini hosil qilish uchun quyilish patrubkasidagi suyuqlik ustunining balandligi, m^2; h_3 – gidravlik tamba hosil qilish uchun quyilish patrubkasidagi suyuqlik ustunining balandligi, m; h_0 – tarelkadan quyilish patrubkasining pastki uchigacha bo'lgan masofa, m.

Quyilishi patrubkasidagi suyuqlik ustunining balandligi:

$$h_Д = \frac{w^2}{2g}(1 + \xi_1 + \xi_2) \qquad (5.102)$$

bu yerda. w – quyilish patrubkasidagi suyuqlik tezligi, odatda 0,02...0,06 m/s oraliqda bo'ladi; ξ_1 –

patrubkadan chiqishdagi qarshilik koeffitsiyenti; ξ_2 – quyilish patrubkasining qarshiligini ifodalovchi koeffitsiyent.

Ushbu koeffitsiyentni quyidagi formuladan topish mumkin:

$$\xi_2 = \lambda \frac{l_k}{d_k}$$

bu yerda, λ – gidravlik qarshilik koeffitsiyenti; l_k – quyilish patrubkasi ishchi uzunligi, $(h_1 + h_2)$ m; d_k – quyilish patrubkasi diametri, m.

Suyuqlik ustunining balandligi h_3 tarelkalar orasidagi bosimni tenglashtirib turadi.

Elaksimon tarelkaning gidravlik qarshiligi (Pa) quyidagi tenglamadan aniqlanishi mumkin:

$$\Delta p = \Delta p_k + \Delta p_a + \Delta p_s \qquad (5.103)$$

bu yerda. Δp_k – quruq tarelka qarshiligi; Δp_a – sirtiy taranglik kuchlarini yengish uchun zarur bosimlar farqi; Δp_s – tarelkadagi suyuqlik ustunining qarshiligi.

Δp_a suyuqlikning sirtiy taranglik kattaligiga qarab aniqlanadi:

$$\Delta p_a = \frac{4\sigma}{d_0} \qquad (5.104)$$

bu yerda, σ – fazalar chegarasidagi sirtiy taranglik, N/m; d_0 – tarelka teshigining diametri, m.

Quruq tarelka Δp_k va undagi suyuqlik ustunining qarshiligi Δp_s lar prof. A.N.Planovskiy tavsiya etgan formulalardan hisoblab topilishi mumkin:

$$\Delta p_k = 1{,}83 \frac{w_0^2 \cdot \rho_g}{2} \qquad (5.105)$$

$$\Delta p_s = 1{,}3\, k\, h + \sqrt[3]{k \cdot \Delta h} \qquad (5.106)$$

bu yerda, w_0 – tarelka teshiklaridagi gaz oqimining tezligi, m/s; k=0,5 – tarelkadagi ko'pik zichligining suyuqlik zichligiga nisbati; h – quyilish ostonasi balandligi, m; Δh – ostona atrofidagi barbotaj bo'lmagan suyuqlik balandligi, m;

$$\Delta h = \sqrt{\left(\frac{4}{\varphi b}\right)^2} \qquad (5.107)$$

bu yerda, L – suyuqlik massaviy sarfi, kg/soat; φ – quyilish to'sig'idan o'tayotgan suyuqlikning sarf koeffitsiyenti (φ=6400...10000); b – quyilish to'sig'ining eni, m.

Qalpoqchali tarelkaning gidravlik qarshiligi ushbu tenglikdan aniqlanadi:

$$\Delta p = \Delta p_k + \Delta p_{tir} + \Delta p_s \qquad (5.108)$$

bu yerda, Δp_k – qalpoqchali tarelkadan gaz oqimi o'tishidagi bosimning yo'qotilishi, Pa: Δp_{tir} – qalpoqchali tarelka tirqishidan gaz o'tishi paytidagi bosimning yo'qotilishi, Pa: Δp_s – tarelkadagi suyuqlik ustunining qarshiligi, Pa.

Qalpoqchali tarelkaning gidravlik qarshiligi Δp_K ni, mahalliy qarshiliklarni yengish paytidagi bosimlar yo'qotilishlarning yig'indisi orqali topish mumkin. Odatda qalpoqchaning hamma ko'ndalang kesimlarida gaz oqimi tezliklari teng bo'lsa, gidravlik qarshilik minimal bo'ladi:

$$\frac{\pi d_p^2}{4} = \pi d_p \cdot h_k = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d_q^2 - d_p^2\right) \qquad (5.109)$$

bu yerda, d_p – patrubka diametri, m; d_q – qalpoqcha diametri, m; h_k – qalpoqcha va patrubka orasidagi masofa, m.

Diametri 40...60 mm va bug' patrubkalarining kesim yuzalari kolonna ko'ndalang kesim yuzasiga nisbati 0,1...0,15 bo'lgan qalpoqchalar eng yaxshi gidrodinamik xarakteristikalarga ega.

Qalpoqchaning qarshiligi ushbu formuladan topilishi mumkin:

$$\Delta p_k = \sum \xi \cdot \left(\frac{w^2 \rho_g}{2}\right)$$

bu yerda, w – patrubkadagi gaz tezligi, m/s; $\sum\xi$ – hamma qarshiliklar yig'indisi.

Qalpoqcha tirqishlarining qarshiligi esa:

$$\Delta p_{tir} = \xi_{tir}\left(\frac{w_{tir}^2 \cdot \rho_g}{2}\right) + \Delta p_a$$

bu yerda, ξ_{tir} =1.5 – tirqishdan gaz o'tishidagi mahalliy qarshilik koeffitsiyenti; w_{tir} – tirqishdagi gaz tezligi, m/s; Δp_a – sirtiy taranglik kuchlari tufayli hosil bo'lgan qarshilik.

Ushbu holatda:

$$\Delta p_a = \frac{4\sigma}{d_g}$$

bu yerda, d_g – tirqish ochiq teshigining gidravlik diametri, m

Suyuqlik ustunining qarshiligi (5.102) formuladan hisoblab topish ham mumkin.

Absorber diametri (5.62) tenglamadan hisoblanadi.

Agar tarelkalar soni n va ular orasidagi masofa h_t ma'lum bo'lsa, absorberlar balandligi ushbu formuladan topiladi:

$$H = h_g n + h_e \qquad (5.110)$$

bu yerda, h_e – eng yuqori tarelka va absorber qopqog'i orasidagi masofa, m.

Massa o'tkazish koeffitsiyentlari (5.82), (5.83) formulalardan aniqlanadi.

Tarelkali absorberlarda gaz fazasida massa berish koeffitsiyenti prof. G.P.Salamaxa tomonidan keltirib chiqarilgan tenglama orqali hisoblab topilishi mumkin:

qalpoqchali tarelkalar uchun:

$$Nu_{Дg} = 0{,}265 \cdot \mathrm{Re}_g \cdot \mathrm{Pr}_{Дg}^{0,5} \cdot We^{-0,32} \qquad (5.111)$$

quyilish moslamali elaksimon tarelkalar uchun:

$$Nu_{Дg} = 2{,}5 \cdot \mathrm{Re}_g^{0{,}72} \cdot \mathrm{Pr}_{Дg}^{0{,}5} \cdot We^{-0{,}25} \quad (5.112)$$

plastinali va elaksimon tarelkalar uchun:

$$Nu_{Дg} = 1{,}53 \cdot \mathrm{Re}_g^{0{,}72} \cdot \mathrm{Pr}_{Дg}^{0{,}5} \cdot We^{-0{,}25} \quad (5.113)$$

bu yerda. $We = \sigma / g\rho_c h_n^2$ – Veber kriteriysi. Bu yerda σ – sirtiy taranglik, N/m; ρ_s – suyuqlik zichligi, kg/m^3; h_n – tarelkadagi statik suyuqlik qatlamining balandligi, m.

Nu_{dg} va Re kriteriylarida chiziqli o'lcham bo'lib kapillar konstanta χ hisoblanadi va u $\chi = \sqrt{(\sigma/\rho_c \cdot g)}$ ifoda orqali aniqlanadi. Suyuq fazadagi massa berish koeffitsiyentini hisoblash uchun ushbu formuladan foydalanish tavsiya etiladi:

$$Nu_{Дg} = 540 \cdot \mathrm{Re}_s^{0{,}33} \cdot \mathrm{Pr}_{Дs}^{0{,}45} \quad (5.114)$$

Tenglamadagi Re kriteriysini hisoblashda w parametr o'rniga kolonna bo'sh ko'ndalang kesimidagi gazning tezligi qo'yiladi.

Tarelkali absorberni hisoblash. Koks gazidan benzol uglevodorodlarini toshko'mir moyi yordamida ajratib olish uchun absorbsion qurilma hisoblansin:

Boshlang'ich ma'lumotlar:

1. Normal sharoitda gaz bo'yicha unumdorlik V_0=10000 m^3/soat.
2. Normal sharoitda gazdagi benzol uglevodorodlarining konsentratsiyasi:

absorberga kirishda - $y_n = 40 \cdot 10^{-3}$ kg/m^3;

absorberdan chiqishda - $y_k = 3 \cdot 10^{-3}$ kg/m^3;

3. Yutuvchi moy tarkibi tarkibidagi uglevodorodlar miqdori - x_n=0,1%.
4. Absorbsiya izotermik, absorberdagi oqimlarning o'rtacha temperaturasi - t=25^{0}C.
5. Absorberga kirishda gazning bosimi - P=0,2 MPa.

Koks gazidan benzol uglevodorodlarini toshko'mir moyi yordamida ajratish ko'p komponentli absorbsiya jarayonidir. Bunda, bir vaqtning o'zida aralashmadan benzol, toluol, ksilol va solvent kabi komponentlar ajratib olinadi. Koks gazining inert qismi ko'p komponentlardan – H_2, CH_4, CO, N_2, CO_2, O_2, NH_3, H_2 tashkil topgan. Toshko'mir moyining tarkibi ham murakkab, ya'ni aromatik uglevodorod va fenolli geterosiklik birikma aralashmasidir.

Hisoblash ishlarini soddalashtirish uchun gaz aralashmasi va yutuvchi moylar binar aralashma deb qabul qilamiz. Ikkala fazaning fizik xossalari o'rtacha qiymatlaridan foydalanamiz.

Absorbsiya ishchi chizig'ini tenglamasini to'g'ri chiziqli qilish uchun fazalar tarqalayotgan faza nisbiy massaviy konsentratsiyalarida, fazalar bo'yicha yuklamani inert tashuvchi massaviy sarfida ifodalaymiz.

Yutilayotgan modda massasi va yutuvchi sarfini aniqlash. Gaz aralashmadan benzol uglevodorodlarini yutuvchisiga o'tayotgan massa M ni moddiy balans tenglamasidan topiladi:

$$M = G(\overline{Y}_н - \overline{Y}_к) = L(\overline{X}_н - \overline{X}_н)$$

bu yerda. L,G – gazning inert qismi va toza yutuvchilar sarflari. kg/s; $\overline{X}_н$ $\overline{X}_к$ – yutuvchi moydagi benzol uglevodorodlarining boshlang'ich va oxirgi konsentratsiyalari. kg BU/kg M; $\overline{Y}_н$, $\overline{Y}_к$ – gazdagi benzol uglevodorodlarining boshlang'ich va oxirgi konsentratsiyalari. kg BU/kg G.

O'lchov birlikni hisoblash uchun fazalar bo'yicha yuklama va konsentratsiyalarni qayta hisoblaymiz:

$$\overline{Y}_b = \frac{y_н}{\rho_{0y} - y_н} \qquad \overline{X}_b = \frac{x_н}{100 - x_н}$$

bu yerda, ρ_{0y} – normal sharoitda koks gazining zichligi

$$\overline{Y}_b = \frac{40 \cdot 10^{-3}}{0{,}44 - 40 \cdot 10^{-3}} = 0{,}1 \ \ kg \ \ BU / kg \cdot g$$

$$\overline{Y}_{ok} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{0{,}44 - 3 \cdot 10^{-3}} = 0{,}00686 \ \ kg \ BU / kgg$$

$$\overline{X}_b = \frac{0{,}1}{100 - 0{,}1} = 0{,}001 \ \ kg \ \ BU / kgM$$

Yutuvchi moydagi benzol uglevodorodlarining oxirgi konsentratsiyasi $\overline{X}_{ok}$ uning sarfini belgilaydi. O'z navbatida sarf absorber o'lchamlari va suyuqlikni uzatish va regeneratsiya qilishga ketadigan energetik sarflarga ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun, $\overline{X}_{ok}$ ni tanlashda yutuvchi fazaning optimal sarfidan kelib chiqqan holda amalga oshiriladi. Sanoatda toshko'mir moyining sarfi L ni L_{min} dan 1,5 barobar ko'p qilib qabul qilinadi. Bunday hollarda oxirgi konsentratsiya $\overline{X}_{ok}$ moddiy balansdan aniqlanadi:

$$M = L_{min}(\overline{X}^{*}_{\overline{Y}_н} - \overline{X}_b) = 1{,}5L_{min}(\overline{X}_{ox} - \overline{X}_b)$$

Bundan:

$$\overline{X}_{ox} = \frac{\overline{X}^{*}_{\overline{Y}_н} + 0{,}5\overline{X}_b}{1{,}5} = \frac{0{,}05 + 0{,}5 \cdot 0{,}001}{1{,}5} = 0{,}034 \ \ kg \ BU / kgM$$

bu yerda. $\overline{X}^{*}_{\overline{Y}_н}$ – suyuq fazada benzol uglevodorodlarining konsentratsiyasi.

Gaz inert qismining sarfi:

$$G = V_0(1 - y_{haj})(\rho_{0y} - y_b)$$

bu yerda, y_{haj} – gazdagi benzol uglevodorodlarining hajmiy ulushi.

Unda $$y_{hal} = \frac{y_n}{M_{BY}} \upsilon_0 = \frac{40 \cdot 10^{-3}}{83} 22{,}4 = 0{,}01 \ \ м^3 \ \ BU / м^3 g$$

$$G = \frac{10000}{3600}(1 - 0.01)(0.44 - 0.04) = 1.1 \ \ kg / s$$

Yutilayotgan komponent bo'yicha absorber unumdorligi

$$M = G(\overline{Y}_b - \overline{Y}_{ok}) = 1{,}1(0{,}1 - 0{,}00686) = 0{,}1 \ \ kg / s$$

Yutilayotgan komponent (toshko'mir moyi) sarfi:

$$L = \frac{M}{\overline{X}_{ox} - \overline{X}_b} = \frac{0{,}1}{0{,}034 - 0{,}001} = 3{,}03 \ \ kg / s$$

Fazalar sarfming nisbati yoki yutuvchi fazaning solishtirma sarfi:

$$l = \frac{L}{G} = \frac{3.03}{1.1} = 2.75 \ \ kg / kg$$

Harakatga keltiruvchi kuchni hisoblash. Nasadkali absorberda suyuq va gaz fazalar qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanadi. Ideal siqib chiqarish modelini tanlaymiz va harakatga keltiruvchi kuchni ushbu formuladan topamiz:

$$\Delta\overline{Y}_{o'r} = \frac{\Delta\overline{Y}_{ka} - \Delta\overline{Y}_{ki}}{2{,}3 \lg(\Delta\overline{Y}_{ka} / \Delta\overline{Y}_{ki})}$$

bu yerda, $\Delta\overline{Y}_b$ va $\Delta\overline{Y}_m$ – absorberga kirish va chiqishdagi katta va kichik harakatga keltiruvchi kuch, kg BU/kg G

Ushbu holatda $$\Delta\overline{Y}_{ka} = \overline{Y}_b - \overline{Y}^*_{\overline{X}_{ox}} \qquad \Delta\overline{Y}_{ki} = \overline{Y}_{ox} - \overline{Y}^*_{\overline{X}_b}$$

bu yerda, $\overline{Y}^*_{\overline{X}_b}$ va $\overline{Y}^*_{\overline{X}_{ok}}$ – absorberga kirish va chiqishdagi suyuq faza konsentratsiya bilan muvozanatdagi, gazdagi benzol uglevodorodlar konsentratsiyasi :

$$\Delta\overline{Y}_{ka} = 0{,}1 - 0{,}068 = 0{,}032 \ \ kg \ BU / kg \ g$$

$$\Delta\overline{Y}_{ki} = 0{,}00686 - 0{,}002 = 0{,}00486 \ \ kg \ BU / kg \ g$$

$$\Delta\overline{Y}_{o'r} = \frac{0{,}032 - 0{,}00486}{2{,}3 \lg\left(\frac{0.032}{0.00486}\right)} = 0.0144 \ \ kg \ \ BU / kg \ g$$

Gaz tezligi va absorber diametrini hisoblash. Elaksimon tarelkalarning turg'un ishlash oralig'ida gaz fazasining tezligi ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$Y = Be^{-4X}$$

Bu yerda

$$X = (L/G)^{1/4}(\rho_y/\rho_x)^{1/8}$$

$$Y = \frac{w^2}{gd_e F_c^2} \cdot \frac{\rho_y}{\rho_x}\left(\frac{\mu_x}{\mu_e}\right)^{0,16}$$

bu yerda, w – kolonnadagi gaz tezligi, m/s; d_e – tarelka teshigi yoki tirqishining ekvivalent diametri, m; F_c – tarelka teshiklari yuzasining ulushi; μ_x, μ_e – yutuvchi moy va suvning qovushqoqlik koeffitsiyentlari (20^0C temperaturada), Pa s.

O'rniga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$X = \left(\frac{3,03}{1,1}\right)^{1/4}\left(\frac{0,796}{1057}\right)^{1/8} = 0,52$$

Tarelkaning pastki normal ishlash chegarasi uchun koeffitsiyent B= 2,95 va yuqori chegara uchun B=10. Tarelkalarning eng intensiv ishlash rejimi yuqori chegaraga to'g'ri keladi. Gaz bo'yicha yuklamaning tebranishini inobatga olib B=6-8 ni qabul qilamiz.

Unda:

$$Y = 8 \cdot 2,72^{-4\,0\,52} = 1$$

Gazning ishchi tezligi ushbu formuladan topiladi:

$$w = 0,05\sqrt{\rho_x/\rho_y}$$

Unda

$$w = 0,05\sqrt{1057/0,796} = 1,82 \quad m/s$$

Absorber diametrini sarf tenglamasidan aniqlaymiz:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4V_0 \dfrac{T_0 + t}{T_0} \cdot \dfrac{P_0}{P}}{\pi w}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,78 \dfrac{298}{273} \cdot \dfrac{1,013}{2}}{3,14 \cdot 1.82^2}} = 768 \quad mm$$

Absorber qobig'ining standart diametrini d=1 m deb qabul qilamiz. Bunda, kolonnadagi gazning haqiqiy tezligi quyidagiga teng bo'ladi:

Suyuqlikning tiniq qatlamining balandligini hisoblash. Tarelkadagi suyuqlikning tiniq qatlamining balandligi h_0 ushbu nisbatdan topiladi:

$$\Delta P_П = g\rho_X h_0 = g\rho_x(1-\varepsilon)h_П$$

bu yerda, $h_п$ – tarelkadagi ko'pikli qatlam balandligi, m

Bundan

$$h_0 = (1-\varepsilon)h_п$$

Elaksimon tarelkalar uchun ko'pikli qatlam balandligi:

$$Fr = \frac{0.0011B}{C} \times \frac{\rho_x}{\rho_y}$$

bu yerda, $Fr = \frac{w_0^2}{gh_п}$ – Frud kriteriysi; w_0 – teshiklar yuzalari egallab turgan yuzadagi gazning tezligi, m/s; B – koeffitsiyent;

S ning qiymati:

$$C = \left(\frac{U^6 \mu_x^2 \rho_x}{g\sigma^3} \right)^{0.067}$$

Quyilish trubasiz elaksimon tarelkalar uchun purkash zichligi U ushbu formuladan topiladi:

$$U = \frac{L}{\rho_x 0{,}785 d^2}$$

O'rniga qo'yib quyidagini olamiz:

Unda

$$U = \frac{3{,}03}{1057 \cdot 0{,}785 \cdot 1^2} = 0{,}00365 \quad m^3/m^2 s$$

$$C = \left(\frac{0{,}00365^6 \cdot (17{,}5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1057}{9{,}8 \cdot (29{,}2 \cdot 10^{-3})} \right)^{0{,}067} = 0{,}17$$

Kolonnada gazning haqiqiy tezligini inobatga olib B koeffitsiyentini qaytadan hisoblaymiz:

$$B = 8 \cdot \left(\frac{1{,}07}{1{,}82} \right)^2 = 2{,}8$$

O'rniga qo'yib quyidagini olamiz:

$$Fr = \frac{0{,}0011 \cdot 2{,}8 \cdot 1057}{0{,}17 \cdot 0{,}796} = 24{,}06$$

$$w = 1{,}82 \left(\frac{0{,}768}{1} \right)^2 = 1{,}07 \quad m/s$$

Bundan, gaz-suyuqlik qatlamining balandligini topamiz:

$$h_{\Pi} = \frac{w_0^2}{gFr} = \frac{w^2}{F_0^2 gFr} = \frac{1{,}07^2}{0{,}135^2 \cdot 9{,}8 \cdot 24.06} = 0{,}266$$

Ko'pikli qatlamda gaz faza miqdorini ushbu tenglamadan aniqlaymiz:

$$\varepsilon = 1 - \frac{0{,}21}{\sqrt{F_c}\, Fr^{0\,2}} = 1 - \frac{0{,}21}{\sqrt{0{,}135} \cdot 24{,}06^{0{,}2}} = 0{,}7 \ \ m^3/m^3$$

Barbotajli turdagi barcha tarelkalar gaz faza miqdorini umumiy bo'lgan ushbu tenglamadan topish mumkin:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{Fr}}{\left(1 + \sqrt{Fr}\right)}$$

bu yerda, $Fr = \dfrac{w^2}{gh_0}$.

Elaksimon tarelkalar uchun suyuqlikning tiniq qatlami balandligini ushbu tenglamada hisoblash mumkin:

$$h_0 = 0.787 q^{0\,21} h_{per}^{0.56} w^m \left[1 - 0.31 \exp\left(-0.11 \mu_x\right)\right] \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_B}\right)^{0\,09}$$

bu yerda, m – daraja ko'rsatkichi, $0{,}05\text{-}4{,}6h_{per}$ ga teng. Bu yerda μ_x – mPa s, σ_x, σ_B – mN/m da.

$$h_0 = 0.787 \cdot 0{,}57^{0\,21} 0{,}04^{0\,56} \cdot 1{,}07^{0{,}05-4{,}6\cdot 0{,}04} \cdot$$

$$\cdot \left[1 - 0.31 \exp\left(-0.11 \cdot 17{,}5 \cdot 10^{-3}\right)\right] \left(\frac{29{,}2 \cdot 10^{-3}}{72 \cdot 10^{-3}}\right)^{0\,09}$$

$$h_0 = 0{,}787 \cdot 0{,}32909 \cdot 0{,}165 \cdot 0933 \cdot 0{,}9548 \cdot 0{,}922 = 0{,}035 \ \ m$$

Massa o'tkazish koeffitsiyentini hisoblash. Odatda, tarelkali absorberlar hisobi massa o'tkazishning modifikatsiyalashgan tenglamalari yordamida, ya'ni ulardagi suyuq faza uchun massa o'tkazish koeffitsiyenti K_{xf} va gaz fazasi uchun K_{yf} tarelkaning yuza o'lchov birligiga nisbatan aniqlanadi:

$$M = K_{xf} F \Delta \overline{X}_{o'r} = K_{yf} F \Delta \overline{Y}_{o'r}$$

bu yerda, M – vaqt birligida massa o'tkazish yuzasi orqali tarqalgan modda miqdori, kg/s; F – absorberdagi tarelkalar ishchi yuzalarining yig'indisi, m^2.

Jarayonni o'tkazish uchun zarur bo'lgan tarelkalar soni n ishchi yuzalar yig'indisi F ning bitta tarelka yuzasi f ga nisbati sifatida:

$$n = \frac{F}{f}$$

Massa o'tkazish koeffitsiyentlari fazalar diffuzion qarshiligining additivlik tenglamasidan aniqlanadi:

$$K_{xf} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{xf}} + \frac{1}{m\beta_{yf}}} \qquad K_{xf} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{yf}} + \frac{1}{\beta_{xf}}}$$

bu yerda, β_{xf} i β_{yf} – suyuq va gaz fazalardagi massa o'tkazish koeffitsiyentlari, kg/(m^2 s)).

Turli konstruksiyali barbotajli tarelkalar uchun massa berish koeffitsiyentini ushbu formuladan hisoblash tavsiya etiladi [16,88]:

$$Nu' = APe'^{0,05}\Gamma c\left(\frac{\mu_n}{\mu_{ch} + \mu_n}\right)^{0,5}$$

Suyuq faza uchun

$$Nu'_x = \frac{\beta_{xf} l}{D} \qquad Pe'_x = \frac{Ul}{(1-\varepsilon)D_x}$$

Gaz faza uchun

$$Nu'_y = \frac{\beta_{yf} l}{F_c D_y} \qquad Pe'_y = \frac{wl}{\varepsilon D_y}$$

bu yerda, A – koeffitsiyent; D_y, D_x – suyuq va gaz fazalardagi tarqalayotgan komponentning molekular diffuziya koeffitsiyentlari, m^2/s; $\frac{U}{1-\varepsilon}$, $\frac{w}{\varepsilon}$ – barbotaj qatlamida gaz va suyuqlikning o'rtacha tezliklari, m/s; ε – barbotaj qatlamidagi gaz miqdori, m^3/m^2; $\Gamma c = \frac{\Delta P_n}{\rho_x g l}$ – tarelkadagi solishtirma massa almashinish yuzasining nisbiy qiymatini ifodalovchi gidravlik qarshilik kriteriysi; $\Delta P_n = g\rho_x h_0$ – tarelkadagi barbotaj qatlamining gidravlik qarshiligi, Pa; h_0 – tarelkadagi tiniq suyuqlik qatlamining balandligi, m; l – chiziqli o'lcham, barbotaj qatlamidagi pufakcha va gaz oqimchaning o'rtacha diametri, m.

Gidrodinamik intensiv rejimlarda chiziqli o'lcham l fazalar tezligi va fizik xossalarga juda kam bog'liq va o'zgarmas kattalik bo'ladi. Bunday hollarda massa berish koeffitsiyentlariga nisbatan yechilgan kriterial tenglamalar quyidagi qulay ko'rinishga keladi:

$$\beta_{xf} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot D_x^{0,5} \cdot \left(\frac{U}{1-\varepsilon}\right)^{0,5} \cdot h_0 \left(\frac{\mu_y}{\mu_x + \mu_y}\right)^{0,5}$$

$$\beta_{yf} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot F_c \cdot D_y^{0,5} \cdot \left(\frac{w}{\varepsilon}\right)^{0,5} \cdot h_0 \left(\frac{\mu_y}{\mu_x + \mu_y}\right)^{0,5}$$

Massa berish koeffitsiyentini hisoblash. Gazda benzol uglevodorodlarining diffuziya koeffitsiyentini ushbu tenglama yordamida hisoblash mumkin:

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-8} \cdot T^{\frac{3}{2}}}{P\left(\upsilon_{BU}^{\frac{1}{3}} + \upsilon_{\Gamma}^{\frac{1}{3}}\right)^2} \sqrt{\frac{1}{M_{BU}} + \frac{1}{M_g}}$$

bu yerda. M_{BU}, M_g –benzol uglevodorodlari va koks gazining mol massalari, kg/mol; υ_{BU}, υ_g – suyuq agregat holati normal qaynash temperaturasida benzol uglevodorodlari va koks gazining mol hajmlari, sm^3/mol.

O'rniga qo'yib quyidagini olamiz:

$$D_y = \frac{4{,}3\cdot 10^{-8}\cdot 298^{\frac{3}{2}}}{0{,}2\left(96^{\frac{1}{3}}+21{,}6^{\frac{1}{3}}\right)^2}\sqrt{\frac{1}{83}+\frac{1}{10{,}5}} = \frac{2{,}47\cdot 10^{-4}}{10{,}845}\cdot 0{,}33 = 7{,}5\cdot 10^{-6}\ \ m^2/s$$

Suyuq eritmalarda diffuziya koeffitsiyenti D_x yuqori aniqlikda ushbu tenglamadan topilishi mumkin:

$$D_x = 7{,}4\cdot 10^{-12}\frac{(\beta M)^{0,5}T}{\mu_x \upsilon_{BU}^{0{,}66}}$$

bu yerda. M – toshko'mir moyining mol massasi, kg/kmol; T – moy temperaturasi,K; μ_x –moy qovushqoqlik koeffitsiyenti. MPa·s; υ_{BY} – benzol uglevodorodlarining mol hajmi, sm^3/mol; β – molekulalar assotsiatsiyasini inobatga oluvchi parametr.

O'rniga qo'yib quyidagini olamiz:

$$D_x = 7{,}4\cdot 10^{-12}\frac{(170)^{0,5}\cdot 298}{17{,}5\cdot 96^{0{,}6}} = 1{,}06\cdot 10^{-10}\ \ m^2/s$$

Benzol uglevodorodlarining moydagi D_x *va* gazdagi D_y, molekular diffuziya koeffitsiyentlarini hisoblab massa o'tkazish koeffitsiyentini aniqlash mumkin:

$$\beta_{xf} = 6{,}24\cdot 10^5\left(1{,}06\cdot 10^{-10}\right)^{0,5}\left(\frac{0{,}00365}{1-0{,}74}\right)^{0.5}\cdot 0{,}035\cdot\left(\frac{0{,}0128}{17{,}5+0{,}0128}\right)^{0.5} =$$

$$= 6{,}24\cdot 10^5\cdot 1{,}03\cdot 10^{-5}\cdot 0{,}118\cdot 0{,}035\cdot 0{,}027 = 0{,}00072\ \ m/s$$

β_{xf} va β_{yf} larni tanlangan o'lchov birligida ifodalaymiz:

$$\beta_{xf} = 0{,}00072\cdot\rho_x = 0{,}761\ \ kg/m^2\cdot s$$

$$\beta_{yf} = 0{,}262\cdot\rho_y = 0{,}2\ \ kg/m^2\cdot s$$

$$m = \frac{y_b^* - y_{ox}}{\bar{x}_{ox}-\bar{x}_b} = \frac{0{,}068-0{,}00686}{0{,}034-0{,}001} = 1{,}85$$

$$\beta_{yf} = 6{,}24\cdot 10^5\cdot 0{,}135\left(7{,}5\cdot 10^{-6}\right)^{0,5}\cdot\left(\frac{1{,}07}{0{,}74}\right)^{0.5}\cdot 0{,}035\cdot 0{,}027 =$$

$$6{,}24\cdot 10^5\cdot 2{,}74\cdot 10^{-3}\cdot 0{,}14\cdot 1{,}5054\cdot 0{,}035\cdot 0{,}027 = 0{,}262\ \ m/s$$

Massa o'tkazish koeffitsiyenti K_{yf}:

$$K_{yf} = \frac{1}{\frac{1}{0,2} + \frac{1,85}{0,761}} = 0,135 \ \ kg/m^2 \cdot s$$

Absorber tarelkalarining sonini hisoblash. Absorber tarelkalarining soni ushbu formuladan topiladi:

$$n = \frac{F}{f}$$

Hamma tarelkalar yuzasi F:

$$F = \frac{M}{K_{yf} \cdot \Delta \overline{Y}_{ur}}$$

$$F = \frac{0,1}{0,135 \cdot 0,0144} = 51,4 \ \ m^2$$

Tarelkalar ishchi yuzasi f:

$$f = \varphi \cdot 0,785 \cdot d^2$$

bu yerda, φ – tarelka ishchi yuzasining ulushi, m^2/m^2; d – absorber diametri, m.

Elaksimon tarelka ishchi yuzasi f absorber ko'ndalang kesim yuzasiga teng deb olish mumkin, ya'ni $\varphi=1$.

$$f = 0,785 \cdot 1^2 = 0,785 \ \ m^2$$

Unda, zarur tarelkalar soni:

$$n = \frac{F}{f} = \frac{51,4}{0,785} = 66$$

Absorber balandligi va tarelkalari orasidagi masofani tanlash. Elaksimon turdagi tarelkalar orasidagi masofa **barbotaj** qatlami $h_П$ va separatsion bo'shliq h_c balandliklari yig'indisiga teng yoki ozgina ko'proq bo'ladi:

$$h \geq h_П + h_c$$

Separatsion bo'shliq balandligi tarelkadan ruxsat etilgan (odatda, 1 kg gazga 0,1 kg suyuqlik deb qabul qilinadi) tomchi uchishidan kelib chiqqan holda hisoblanadi:

Elaksimon tarelkalar uchun e ning qiymati quyida keltirilgan tenglamalardan aniqlanadi:

$$e = 0{,}000077(73/20)\cdot(1{,}07/h_c)^{3{,}2}$$

$$e = 0{,}000077(73/\sigma)\cdot(w/h_c)^{3{,}2}$$

h_c ga nisbatan tenglamani yechib, h_c=0,17 m ga tengligini topamiz.

Tarelkalar orasidagi masofa:

$$h = 0{,}266 + 0{,}17 = 0{,}436 \ \text{m}$$

Kolonnali qurilma tarelkalari orasidagi masofa quyidagi qatordan tanlanadi: 200; 250; 300; 350; 400; 450; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1200 mm.

Absorber tarelkalari orasidagi masofani h = 0,45m deb tanlaymiz:

$$H_T = (n-1)\cdot h = (66-1)\cdot 0{,}45 = 29{,}25 \ m$$

Absorber qopqog'i va yuqori tarelka orasidagi masofani1,5 m deb olamiz. Eng pastki tarelka va dnishche orasidagi masofani 2,5 m deb qabul qilamiz. Unda, absorberning umumiy balandligi:

$$H_a = 29{,}25 + 1{,}5 + 2{,}5 = 33 \ \text{m}$$

Absorber tarelkalarining gidravlik qarshiligini hisoblash. Absorber tarelkalarining gidravlik qarshiligi ushbu formuladan aniqlaymiz:

$$\Delta P_a = \Delta P n$$

Bitta tarelkaning gidravlik qarshiligi ΔP quyidagicha topiladi:

$$\Delta P = \Delta P_{\Pi} + \Delta P_{\Pi} + \Delta P_{\sigma}$$

Qurnq tarelka gidravlik qarshiligi:

$$\Delta P_c = \xi \frac{w^2}{2F_c^2}\rho_y$$

Turli konstruksiyali tarelkalarning qarshilik koeffitsiyent ξ larining son qiymatlari quyida keltirilgan [88.130]:

Tarelka	ξ
Qalpoqchali	4,0...5,0
Klapanli	3,6
Elaksimon	1,1...2,0

Tirqish teshikli. . . . . 1,4...1,5

ξ=2 deb qabul qilamiz:

$$\Delta P_c = 2\frac{1,07^2}{2 \cdot 0,135^2} 0,796 = 62,82 \text{ Pa}$$

Tarelkadagi gaz-suyuqlik qatlamining gidravlik qarshiligi:

$$\Delta P_{\Pi} = g\rho_x h_o$$

$$\Delta P_{\Pi} = 9,8 \cdot 1057 \cdot 0,035 = 362,5 \text{ Pa}$$

Sirtiy taranglik kuchlari tufayli hosil bo'lgan gidravlik qarshilik [88]:

$$\Delta P_\sigma = 4\sigma / d_e$$

$$\Delta P_\sigma = 4 \cdot 20 \cdot 10^{-3} / 0,017 = 4,7 Pa$$

Unda, to'liq gidravlik qarshilik:

$$\Delta P = 62,82 + 362,5 + 4,7 = 430,02 \text{ Pa}$$

Absorber hamma tarelkalarining gidravlik qarshiligi:

$$\Delta P_a = 430,02 \cdot 66 = 28381,32 \text{ Pa}$$

Nasos hisobi. Haydash yo'lida 120° li ikkita burilish va 90° li o'nta burilishlar mavjud. Burilishlar radiusi 6 ta diametrga teng. Undan tashqari liniyada 2 ta ventil o'rnatilgan.

So'rish yo'lida 2 ta ventil, 4 ta 90° li burilish. Burilishlar radiusi 6 ta diametrga teng.

a) truba quvurini tanlash.

Haydash va so'rish yo'llari truba quvurlari uchun oqimning tezligini 2 m/s deb qabul qilamiz. Unda, truba diametri:

$$d = \sqrt{4 \cdot 0,00287 / 3,14 \cdot 2} = 0,0427 \text{ m}$$

Truba quvuri po'latdan, ozgina korroziyaga uchragan deb qabul qilamiz.

b) Ishqalanish va mahalliy qarshiliklar tufayli yo'qotilishlarni aniqlash. Reynolds kriteriysini topamiz:

$$\text{Re} = \frac{\omega d \rho}{\mu} = \frac{2 \cdot 0,0427 \cdot 1057}{17,5 \cdot 10^{-3}} = 5158,16$$

ya'ni turbulent rejim. Truba quvurining absolyut g'adir-budurligini $\Delta=2\cdot10^{-4}$ m deb qabul qilamiz. Unda

$$e = \Delta / d = 2\cdot10^{-4} / 0{,}0427 = 0{,}00468$$

So'ng:

$$\frac{1}{e} = 213{,}675; \quad 560\frac{1}{e} = 119658; \quad 10\cdot\frac{1}{e} = 2136{,}75; \quad 2136{,}75 < \mathrm{Re} < 119658$$

Shunday qilib, truba quvurida aralash ishqalanish bo'lgani uchun λ ni ushbu formulada hisoblash kerak :

$$\lambda = 0{,}11\left(e + 68/\mathrm{Re}\right)^{0.25}$$

$$\lambda = 0{,}11\left(0{,}00468 + \frac{68}{51581{,}6}\right)^{0.25} = 0{,}0306$$

Haydash va so'rish yo'llari truba quvurlari uchun mahalliy qarshiliklar yig'indisini hisoblaymiz:

So'rish yo'li uchun:

1) trubaga kirish (o'tkir qirrali): = 0,5;
2) to'g'ri yo'lli ventil: $d = 0{,}038$ m = 0,85;
$d = 0{,}500$ m = 0,79;
Ekstrapolatsiya qilib $d = 0{,}0427$ m = 0,8265;

Tuzatish koeffitsiyenti $k = 1{,}39$ ga ko'paytirib, $\xi_2 = 1{,}149$ ekanligi topamiz.

3) Burilishlar: koeffitsiyent $A = 1$, koeffitsiyent $B = 0{,}09$; $\xi_3 = 0{,}09$.

So'rish yo'lidagi mahalliy qarshilik koeffitsiyentlar yig'indisi:

$$\sum\xi = \xi_1 + 2\xi_2 + 4\xi_3 = 0{,}5 + 2{,}298 + 0{,}36 = 3{,}158$$

So'rish yo'lida yo'qotilgan napor (1.2) formula yordamida topiladi:

$$h_{\text{}} = \left(\lambda\frac{l}{d_e} + \sum\xi_{.uc}\right)\frac{w^2}{2g}$$

$$h_{yo'q.so'r} = \left(0{,}0306\cdot\frac{20}{0{,}0427} + 3{,}158\right)\frac{2^2}{2\cdot9{,}81} = 3{,}566 \text{ m}$$

Haydash yo'li uchun:

1) 120° li burilish: $A = 1{,}17$, $B = 0{,}09$, $\xi_1 = 0{,}105$.
2) 90° li burilish $\xi_2 = 0{,}09$.

3) Normal ventil: $d = 0{,}08$ m uchun $\xi = 4{,}0$,

$d = 0{,}04$ m uchun $\xi = 4{,}9$.

$d = 0{,}0427$ m uchun qabul qilamiz $\xi_1 = 4{,}06075$.

4) Trubadan chiqish: $\xi_4 = 1$.

Haydash yo'lidagi mahalliy qarshiliklar yig'indisi :

$$\sum\xi = 2\xi_1 + 10\xi_2 + 2\xi_3 + \xi_4 = 2 \cdot 0{,}105 + 10 \cdot 0{,}09 + 2 \cdot 4{,}06075 + 1 = 10{,}2315$$

Haydash yo'lidagi naporning yo'qotilishi:

$$h_{yo'q\ hay} = \left(0{,}0306\frac{60}{0{,}0427} + 10{,}2315\right)\frac{2^2}{2 \cdot 9{,}81} = 10.852m$$

Naporning umumiy yo'qotilishi:

$$h_{yo'q} = h_{yo'q.so'r} + h_{yo'q\ hay} = 3{,}566 + 10{,}852 = 14{,}418 \text{ m}$$

d) Nasosni tanlash.

Nasosning napori ushbu formuladan aniqlanadi:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + H_g + h_n$$

$$H = \frac{0{,}1 \cdot 10^6}{1057 \cdot 9{,}81} + 33 + 14{,}48 = 57{,}06 \text{ m. suv. ust.}$$

Berilgan ish unumdorligida bunday naporni markazdan qochma turdagi nasos ta'minlay oladi. Bu turdagi nasos f.i.k. yuqori, ixcham va elektr yuritkich quvvatini almashtirish oson.

Nasosning foydali quvvati :

$$N_n = \rho g Q H$$

$$N_n = 1057 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}00287 \cdot 57{,}06 = 1698{,}078 \text{ Vt} = 1{,}698 \text{ kVt}$$

$\eta_{per} = 1$ va $\eta_n = 0{,}6$ deb qabul qilib

$$N = \frac{N_n}{\eta_n \eta_{per}}$$

elektr yuritkich o'qidagi quvvat:

$$N = 1{,}698 / 0{,}6 \cdot 1 = 2{,}83 \text{ kVt}$$

Ushbu ish unumdorligi va naporni X90/85 rusumli markazdan qochma nasos ta'minlay oladi.

Optimal ish rejimlarida

Q=2,5·10^{-2} m^3/s;
N = 56 m;
η_n =0,65.
Nasos elektr yuritkich AO2-81-2;
Nominal quvvati N_p = 40 kVt;
O'qning aylanishlar chastotasi n=48,3 c^{-1}.

Ventilator hisobi. Truba quvuridagi gaz tezligini w=15 m/s deb qabul qilamiz.

$$d = \sqrt{4G/\pi w}$$

$$d = \sqrt{4 \cdot 1{,}382 / 3{,}14 \cdot 15} = 0{,}343 \text{ m}$$

Truba quvuridagi gaz oqimi uchun Reynolds kriteriysi:

$$\text{Re} = \frac{15 \cdot 0{,}343 \cdot 0{,}796}{0{,}0127 \cdot 10^{-3}} = 322474$$

Truba quvuri avval ishlatilgan bo'lgani uchun Δ=0,15 mm. Unda:

$$e = \frac{1{,}5 \cdot 10^{-4}}{0{,}343} = 4{,}343 \cdot 10^{-4}; \frac{1}{e} = 2286{,}76; \; 10\frac{1}{e} = 228676{,}6; \; 560\frac{1}{e} = 1280585{,}6;$$

$$22867{,}6 < \text{Re} = 322474 < 1280585{,}6$$

Shunday qilib, gidravlik qarshilik koeffitsiyenti λ ni aralash ishqalanish sohasi uchun keltirib chiqarilgan formula bo'yicha hisoblaymiz:

$$\lambda = 0{,}11 \cdot (e + 68/\text{Re})^{0{,}25}$$

$$\lambda = 0{,}11 \cdot (4{,}373 \cdot 10^{-4} + 68/322474)^{0{,}25} = 0{,}01755$$

Mahalliy qarshilik koeffitsiyentlarini topamiz.

1) Trubaga kirish (o'tkir qirrali): $\xi_1 = 0{,}5$.

2) Zadvijka: d = 0.343 m uchun $\xi_2 = 0{,}16$.

3) Tirsak: $\xi_3 = 1,1.$

4) Trubadan chiqish: $\xi_4 = 1$

Mahalliy qarshilik koeffitsiyentlarining yig'indisi:

$$\sum \xi = 0,5 + 0,16 + 4 \cdot 1,1 + 1 = 6.06$$

Truba quvurining gidravlik qarshiligi :

$$\Delta p_n = \left(\lambda \frac{l}{d_e} + \sum \xi_{mx} \right) \frac{\rho w^2}{2}$$

$$\Delta p_П = \left(0,01755 \frac{20}{0,343} + 6,06 \right) \frac{0,796 \cdot 15^2}{2} = 5765,82 Pa$$

Foydali quvvat ushbu formuladan aniqlanadi:

$$N_n = \rho g Q H = Q \Delta p = 5765,82 \cdot 1,382 = 7968,36 Vt = 7,968 kVt$$

$\eta_{per} = 1$ va $\eta_n = 0,6$ deb qabul qilamiz:

$$N = 7,968 \cdot 0,6 = 13,2806 kVt$$

Olingan ma'lumotlarga TV-100-1,12 rusumli turbogazoduvka to'g'ri keladi va uning asosiy ko'rsatkichlari:

$$Q = 1,67 m^3 / s ,$$

$$\Delta p = \rho g H = 12000 Pa$$

Turbogazoduvka AO2 – 81-2 rusumli nominal quvvati N = 40 kVt bo'lgan elektr yuritkich bilan jihozlangan .

Obechayka qalinligining hisobi. Qurilma $p=0,2$ MPa bosimda ishlaydi: obechayka materiali – ***10X18N9TL*** legirlangan po'lat; korroziya tezligi $P \leq 0,1$ mm/yil; korroziyaga zaxira $C_K = 1$ mm; muhit –koks gazi – toshko'mir moyi; temperatura 25°C. Obechayka ichki diametri $D_B = 1$ m, payvand choki ikki tomonlama (φ_{ch}=0,95). 25°C temperaturada ***10X18N9TL*** legirlangan po'lat uchun ruxsat etilgan kuchlanish $\sigma_Д$=139 MN/m^2.

Korroziyaga zaxira va yaxlitlash inobatga olinsa, obechayka qalinligi ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\delta = \frac{D \cdot p}{2 \cdot \sigma_Д \cdot \varphi} + C_K + C_{окр} = \frac{1 \cdot 0,2}{2 \cdot 138 \cdot 0,95} + 0,001 + C_{окр} = 0,003 \text{ m}$$

Obechaykadagi ortiqcha bosim ushbu formuladan hisoblanadi:

$$p_{\Delta} = \frac{2 \cdot \sigma_{\Delta} \cdot \varphi_{ch} \cdot (\delta - C_k)}{D_{ich} + (\delta - C_k)} = \frac{2 \cdot 138 \cdot 0{,}95 \cdot (2-1) \cdot 10^{-3}}{1 + (2-1) \cdot 10^{-3}} = 0{,}262 MPa$$

Qopqoq va dnishche qalinligini hisoblash. Elliptik dnishche va qopqoqlar asosiy o'lchamlari:

5-1a jadval.

D, mm	s_D, mm	H_D, mm	h_s, mm	F_D, m^2	V_D, m^3
1000	5	250	25	1,21	0,1617

bu yerda, s_D – dnishche devorining qalinligi; H_D – bo'rtiq yoki konussimon qismining balandligi; hs – dnishche silindrik, tekis qismining balandligi; F_D – dnishche ichki yuzasi; V_D – dnishche sig'imi.

5-bob. Absorbsiya bo'yicha

Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Absorbsiya jarayonining mohiyati nimada?
2. Absorbsiya jarayonining turlari.
3. Fizik absorbsiya nima?
4. Xemosorbsiya nima?
5. Tarqalish koeffitsiyenti nimani ifodalaydi?
6. Absorbsiyada harakatga keltiruvchi kuchni hisoblash usullari.
7. Absorbsiyada tarqalgan massa miqdori qaysi formuladan topiladi?
8. Massa o'tkazish koeffitsiyentining massa berish koeffitsiyentiga bog'liqligini ifodalovchi formulalarni yozing
9. Absorbsiya jarayonini tashkil etish usullari sxemalarini chizing.
10. Sirtiy absorber konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
11. Trubali absorber konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
12. Yupqa qatlamli absorber konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
13. Nasadkali absorber konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
14. Qayta taqsimlash tarelka konstruksiyasini chizing.
15. Kolonna tepasidan oqib tushayotgan suyuq faza tezligining epyuralari qanday ko'rinishga ega?
16. Rashig halqasi konstruksiyasini chizing va ta'rifini bering.
17. Gudloye nasadkasi konstruksiyasini chizing va ta'rifini bering.
18. Pal halqasini konstruksiyasini chizing va ta'rifini bering.
19. «Spreypak» nasadkasi konstruksiyasini chizing va ta'rifini bering.
20. Byorl egari konstruksiyasini chizing va ta'rifini bering.
21. Vatarli nasadka konstruksiyasini chizing va ta'rifini bering.
22. «Intalloks» egari konstruksiyasini chizing va ta'rifini bering.

23. Blokli nasadka konstruksiyasini chizing va ta'rifini bering.
24. Teller rozetkasi konstruksiyasini chizing va ta'rifini bering.
25. Fasonli nasadkalar konstruksiyalarini chizing va ta'rifini bering.
26. Nasadkalarda suyuq va gaz fazalar to'qnashuvida qanday rejimlar hosil bo'ladi?
27. Tarelkali absorberlar konstruksiyalari, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
28. Elaksimon tarelka konstruksiyasini chizing va ta'riflab bering.
29. Qalpoqchali tarelka konstruksiyasini chizing va ta'riflab bering.
30. Kapsulali qalpoqcha tarelka konstruksiyasini chizing va ta'riflab bering.
31. Klapanli tarelka konstruksiyasini chizing va ta'riflab bering.
32. Ballastli tarelka konstruksiyasini chizing va ta'riflab bering.
33. Oqimchali tarelka konstruksiyasini chizing va ta'riflab bering.
34. Tunneli qalpoqchali tarelka konstruksiyasini chizing va ta'riflab bering.
35. S-simon elementli tarelka konstruksiyasini chizing va ta'riflab bering.
36. Suyuqlik oqib tushadigan tarelkalar konstruksiyalarini chizing va afzalliklarini izohlab bering.
37. Panjarali tarelkalar konstruksiyalari chizing va afzalliklarini tushuntiring.
38. Barbotajli absorber konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
39. Nasadkali emulgatsion absorber konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
40. Purkovchi absorber konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
41. Venturi absorberi konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
42. Harakatchan nasadkali absorber konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
43. Ko'pikli absorberlar konstruksiyalarini chizing va afzzalliklarini izohlang.
44. Absorberlar gidravlik qarshiliklarini hisoblash formulalarini yozing.
45. Absorberlarni hisoblash ketma-ketligi.

HAYDASH VA REKTIFIKATSIYA

5.14. Umumiy tushunchalar

Ikki va undan ortiq uchuvchan komponentlardan tarkib topgan bir jinsli suyuqlik aralashmalarini ajratish uchun qo'llaniladigan usullardan eng keng tarqalganlari haydash va rektifikatsiyadir.

Haydash va rektifikatsiya jarayonlari kimyo, oziq - ovqat va boshqa sanoatlarda juda keng ko'lamda ishlatiladi. Masalan, texnik va oziq – ovqat, etil spirtlarini, aromatik moddalar ishlab chiqarishda hamda aralashmalarni dag'al ajratish uchun qo'llaniladi. Juda to'la ajratish uchun rektifikatsiya jarayonidan foydalaniladi.

Haydash va rektifikatsiya jarayonlari bir xil temperaturada aralashma komponentlarining turli uchuvchanligiga asoslangandir. Yuqori uchuvchanlikka ega komponent ***yengil uchuvchan***, past uchuvchanlikka ega *komponent* **qiyin uchuvchan** deb nomlanadi. Demak, yengil uchuvchan komponent qiyin uchuvchanga qaraganda pastroq temperaturada qaynaydi. Shuning uchun ham, ular past va yuqori temperaturada **qaynaydigan komponentlar** deb ataladi.

Haydash yoki rektifikatsiya jarayonida boshlang'ich aralashma yengil uchuvchan komponenti bilan boyitilgan ***distillyat*** va qiyin uchuvchan komponent bilan boyitilgan ***kub qoldig'iga*** ajraladi. Haydash jarayonida hosil bo'lgan bug' kondensator - deflegmatorga kondensatsiyalash natijasida distillyat olinadi. Qurilma kubida esa – kub qoldig'i qoladi.

5.15. Haydash va rektifikatsiya jarayonlarining nazariy asoslari

Eng oddiy aralashma 2 ta komponentdan tarkib topgan bo'ladi va u ***binar aralashma*** deb ataladi. Binar aralashmaning erkinlik daraja soni quyidagiga teng:

$$C = K + 2 - \Phi = 2 + 2 - 2 = 2$$

bu yerda, K – komponentlar soni; Φ – fazalar soni.

Sistema holatini uchta bir - biriga bog'liq bo'lmagan parametr belgilaydi: bosim p, temperatura t va konsentratsiya x. Agar istalgan ikkita parametr tanlansa, uchinchisini aniqlash qiyin emas. Demak, muvozanat chizig'ini istalgan ikkita o'zgaruvchi parametr orqali ifodalash mumkin, ya'ni p va x, t va x, p va t, x va y.

Ma'lumki, suyuqlik aralashmalari o'zlarining fizik-kimyoviy xarakteristikalari bo'yicha katta farq qiladi.

Komponentlarning o'zaro erishiga qarab, binar aralashmalarni 3 guruhga bo'lish mumkin:

– komponentlari cheksiz eruvchan aralashmalar;

– komponentlari o'zaro erimaydigan aralashmalar;

– komponentlari qisman eruvchan aralashmalar.

Komponentlari cheksiz eruvchan aralashmalar o'z navbatida ideal va haqiqiy eritmalarga bo'linadi.

Ideal aralashmalar deb eritma tarkibidagi komponent olinishi natijasida issiqlik ajrab chiqmaydigan yoki yutilmaydigan va hajmi o'zgarmaydigan aralashmalarga aytiladi.

Yengil uchuvchan A va qiyin uchuvchan B komponentli binar, suyuq aralashmani ko'rib chiqamiz. A va B toza komponentlar to'yingan bug'larining bosimini P_A va P_B deb belgilaymiz.

Ma'lumki, ideal aralashmalar Raul qonuniga bo'ysinadi. Ushbu qonunga binoan, suyuqlik ustidagi toza komponentning bug' bosimi uning suyuqlikdagi mol ulushiga proporsionaldir:

$$p_A = P_A \cdot x \;; \qquad p_B = P_B(1-x) \tag{5.115}$$

bu yerda p_A, p_V – A va B komponentlarning parsial bosimi; x, $(1-x)$ – suyuq aralashmadagi A va B komponentlarning mol ulushlari.

Dalton qonuniga binoan sistemadagi umumiy bosim, parsial bosimlar yig'indisiga teng:

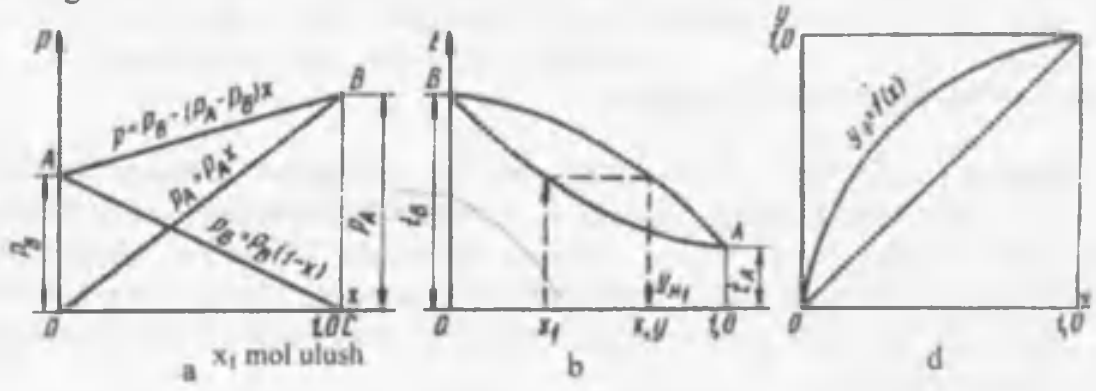
$$P = P_A \cdot x + P_B(1-x) = P_B + (P_A - P_B)\cdot x \tag{5.116}$$

bundan

$$x = \frac{P - P_B}{P_A - P_B}$$

(5.115) va (5.116) tenglamalardan ko'rinib turibdiki, bir xil o'zgarmas temperaturada suyuqlik aralashmasi ustidagi komponentlar parsial va bug'larning umumiy bosimi yengil uchuvchan komponentning mol ulushi x bilan to'g'ri chiziqli bog'liqlikda bo'ladi.

5.47-rasmda komponentlar parsial bosimi va umumiy bosim izotermalari tasvirlangan.



5.47-rasm. Ideal aralashmalar uchun suyuqlik-bug' muvozanat diagrammasi.
a - aralashma ustidagi komponent parsial bosimi va umumiy bosim izotermalari; b - t-x,y diagrammalar; d - y-x diagramma.

OB va CA to'g'ri chiziqlar komponentlar parsial bosimi (p_A va p_1) ni, AB esa – suyuqlik ustidagi umumiy bosim o'zgarishini ifodalaydi. OA va CB vertikal kesmalar toza komponentlar to'yingan bug'i bosimi (P_A va P_B) ni ko'rsatadi.

Dalton qonuniga ko'ra, bug'dagi komponentning parsial bosimi, undagi shu komponent mol ulushiga proporsionaldir:

$$p_A = P \cdot y \; ; \qquad p_B = P \cdot (1-y) \tag{5.117}$$

bu yerda, P – sistema umumiy bosim; y, $(1-y)$ – bug‘ aralashmasidagi A va B komponentlar mol ulushi.

Muvozanat sharoiti uchun:

$$P_A \cdot x = P_A \cdot y \; ; \qquad P_B(1-x) = P \cdot (1-y) \tag{5.118}$$

bundan

$$y = \left(\frac{P_A}{P}\right)x \qquad \text{yoki} \quad 1-y = \left(\frac{P_B}{P}\right)\cdot(1-x) \tag{5.119}$$

Odatda, haydash va rektifikatsiya jarayonlari izobarik jarayonda o‘tkaziladi. Shuning uchun, $P = const$ bo‘lgan holatdagi binar aralashmani ko‘rib chiqamiz.

Bunda muvozanat chizig‘ini t - x, y yoki y - x koordinatlarda tasvirlash mumkin. Agar temperatura ma’lum bo‘lsa va x, y kattaliklari hisoblab topilsa, sistemadagi muvozanatni ifodalovchi diagrammani qurish mumkin. Diagrammadagi pastki chiziq (5.47b-rasm) suyuq aralashmaning qaynash temperaturasini, yuqori chiziq esa – bug‘ aralashmani kondensatsiyalash temperaturasini ifodalaydi. $x = 0$ va $x = 1{,}0$ da ordinata o‘qlaridagi kesmalar, qiyin va yengil uchuvchan komponentlar qaynash temperaturasini ko‘rsatadi.

Suyuqlikning ma’lum tarkibi x_1 bo‘yicha bug‘ tarkibini aniqlash uchun suyuqlik konsentratsiyasiga tegishli abssissa o‘qidagi nuqtadan qaynash chizig‘i bilan kesishguncha vertikal chiziq o‘tkaziladi. So‘ng esa, kesilish nuqtasidan bug‘ kondensatsiyalanish chizig‘i bilan kesishguncha gorizontal chiziq o‘tkaziladi. Kesilish nuqtasining abssissa o‘qidagi qiymati bug‘ning muvozanat tarkibi y_{p1} ni beradi.

5.47b-rasmda ko‘rinib turibdiki, bir xil qaynash temperaturasida bug‘dagi yengil uchuvchan komponent konsentratsiyasi uning suyuqlik bug‘lari muvozanat konsentratsiyasidan katta bo‘ladi. «Suyuqlik – bug‘» sistemaning bu xossasi **Konovalovning birinchi qonuniga** bo‘ysunadi, ya’ni eritma bilan muvozanatda bo‘lgan bug‘ doim o‘zida shunday komponentni ortiqcha ushlaydiki, bunda eritmaga shu komponentdan qo‘shilganda uning qaynash temperaturasi kamayadi. Masalan, etil spirtiga suv qo‘shilsa, sistemaning qaynash temperaturasi pasayadi. Konovalovning 1-qonuniga binoan, eritmaning qaynashi davrida suv bug‘i fazasining spirt bug‘lari bilan boyishi sodir bo‘ladi.

Rektifikatsiya jarayonini hisoblash uchun y - x diagrammadan foydalanish qulaydir (5.47d-rasm).

$y_m = f(x)$ funksiya quyidagi tenglamaga mos keladi

$$y = \frac{P_A \cdot x}{P} = \frac{P_A \cdot x}{P_B + (P_A - P_B)\cdot x} \tag{5.120}$$

hamda, suyuq va bug‘ fazalar muvozanat tarkiblari orasidagi bog‘liqlikni ifodalaydi.

Komponentlar nisbiy uchuvchanligi:

$$\alpha = \frac{P_A}{P_B}$$

ma’lum bo‘lsa, ideal aralashmalar muvozanat chizig‘ini hisoblash va qurish mumkin.

$$y = \frac{\alpha \cdot x}{1 + (\alpha - 1)\cdot x} \tag{5.121}$$

Faqat yengil uchuvchan komponentlardan tarkib topgan suyuqlik bilan shu komponentdan tarkib topgan bug‘ muvozanat holatida bo‘ladi. Muvozanat chizig‘ining eng chetki nuqtalari kvadratning qarama - qarshi burchaklarida joylashgan. Kvadrat diagonali va muvozanat egri chizig‘i suyuq va bug‘ fazalarning mavjud bo‘lish sohalarini chegaralaydi.

Haqiqiy suyuqlik aralashmalari. Bunday aralashmalardan komponentlar ajratib olinganda issiqlik ajrab chiqadi, hajmi o‘zgaradi va ko‘pchilik hollarda Raul qonuniga bo‘ysunmaydi.

Undan tashqari, bu aralashmalar bug‘ fazasining molekulalari o‘zaro tortishish kuchlarini, ularning hajmlarini va boshqalarni hisobga olish zarur.

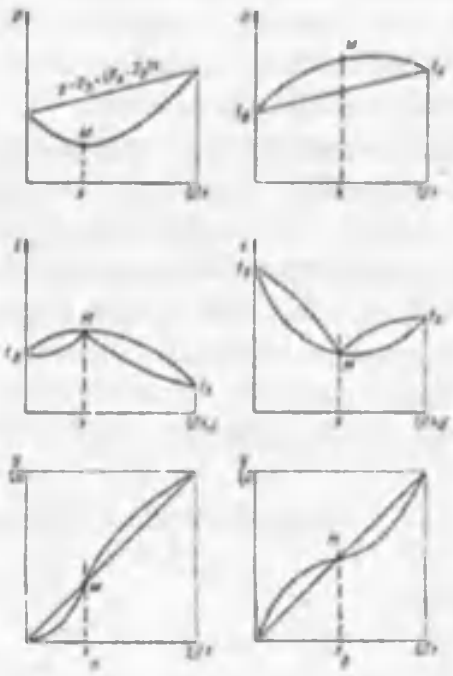
Raul qonuniga nisbatan og‘ish manfiy yoki musbat bo‘lishi mumkin. Agar og‘ish musbat bo‘lsa, eritma ustida umumiy bosim Raul qonuni bo‘yicha ideal eritma uchun hisoblangandan katta, manfiy og‘ishida esa – kichik bo‘ladi.

Musbat og‘ishda umumiy bosim chizig‘i ideal eritmanikidan yuqori, manfiy og‘ishda – pastroqdan o‘tadi.

Parsial bosimlarning konsentratsiyaga bog‘liqligi botiq yoki bo‘rtiq chiziqlar orqali tasvirlanadi (5.48-rasm).

Haqiqiy eritmalar uchun fazaviy muvozanat diagrammalari tajribaviy ma’lumotlar asosida quriladi.

Muvozanat chizig‘idan og‘ishning son qiymatlari Raul qonunidan juda katta farq qilishi va bir qator eritmalar uchun ma’lum bir konsentratsiyada qaynash temperaturasi o‘zgarmas kattalikka ega bo‘lishi mumkin.



5.48-rasm. Haqiqiy eritmalarning fazaviy diagrammalari.
a - manfiy og‘ish;
b - musbat og‘ish.

Konovalovning ikkinchi qonuniga binoan, muvozanat holatidagi eritma ustidagi bug‘ning tarkibi suyuq eritma tarkibidagiga tengdir, ya’ni $y_m = x$ (5.48-rasmdagi M nuqta). Bunday aralashmalar **azeotrop** eritmalar deb nomlanadi. Azeotrop eritmalar maksimal va minimal qaynash temperaturali bo‘lishi mumkin.

Azeotrop eritmalar tarkibi bosim (temperatura) ga bog‘liq bo‘ladi.

Biror sistemada bosim o‘zgarishi bilan uning muvozanat holati o‘zgaradi. Bu esa, o‘z navbatida bug‘ fazasi tarkibining o‘zgarishiga olib keladi.

Ushbu o‘zgarishlar mexanizmini bilish uchun **M.S.Vrevskiy** tomonidan quyidagi qonunlar yaratilgan:

a) ikki komponentli eritmaning qaynash temperaturasi (yoki bosimi) ortganda, bug‘lar tarkibida bug‘lanishi uchun katta energiya talab etuvchi komponentning nisbiy miqdori oshadi;

b) bug‘ uchuvchanligi maksimumga ega bo‘lgan eritmalarning temperaturasi (yoki bosimi) ortganda, azeotrop eritmalarda bug‘lanishi uchun katta energiya talab etuvchi komponentning nisbiy qiymati ortadi. Bug‘ning uchuvchanligi minumum

bo'lganda, eritmaning qaynash temperaturasi oshirilganda azeotrop eritmada bug'lanishi uchun kam energiya talab qiluvchi komponentning nisbiy miqdori ko'payadi.

Vrevskiy qonuniga binoan, azeotrop eritmalarni ajratish uchun bosimni o'zgartirib haydash yoki rektifikatsiya qilish jarayonlaridan foydalanish mumkin.

Bir-birida erimaydigan yoki qisman eriydigan suyuqlik aralashmalari. Agar *A* va *B* komponentlar bir-birida to'liq erisa, komponentlar molekulalarining o'zaro tortishish kuchlari nolga teng bo'ladi. Bunda, har bir komponent o'zini mustaqil tutadi va quyidagi bosimda qaynaydi:

$$P = P_A + P_B$$

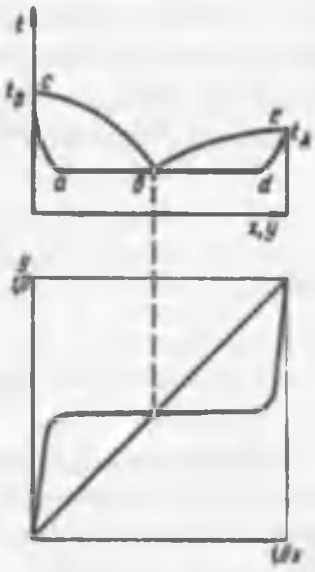
Agar aralashma komponentlari bir - birida erimasa, istalgan komponent parsial bosimi, uning o'sha temperaturada to'yingan bug' bosimiga teng.

Aralashmaning qaynash temperaturasi t_{qay} suyuq aralashmaning tarkibiga bog'liq emas (5.49-rasm *abd* chiziq).

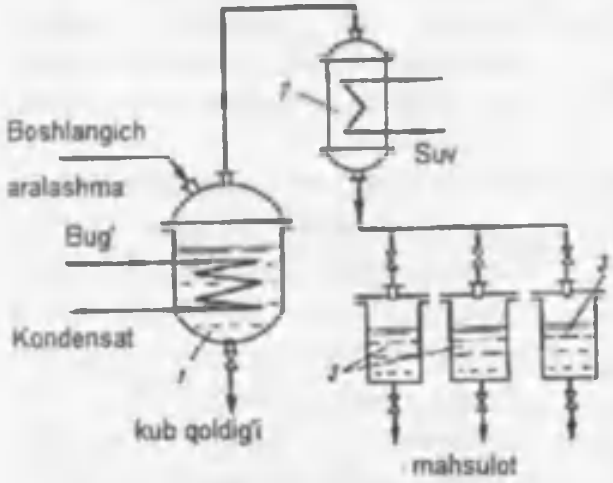
Aralashmaning qaynash temperaturasi har doim toza komponentlar qaynash temperaturalaridan past bo'ladi.

Tabiatda bir - birida absolyut erimaydigan moddalar kamdan-kam uchraydi. Agar qisman eriydigan suyuqlik aralashmalarida qaynash temperaturasi *ac* yoki *dc* chizig'i bo'ylab eritmaning asosiy komponentining qaynash temperaturasigacha o'zgaradi.

Bug'ning kondensatsiyalanish temperaturasi *cb* va *eb* chiziqlari bo'ylab o'zgaradi. Diagrammadagi *b* nuqtada $e_0 = P_0/P$ = const tarkibli bug' kondensatsiyalanadi.



5.49-rasm. Qisman eriydigan aralashmalarning fazaviy diagrammalari.



5.50-rasm. Oddiy haydash qurilmasi.
1 - kub; 2 - kondensator;
3 - distillyat yig'gichlar.

5.16. Oddiy haydash

Suyuqlik aralashmalarini bir marotaba qisman bug'latish yo'li bilan ajratish jarayoni ***oddiy haydash*** deb nomlanadi. Oddiy haydash jarayonini eritma komponentlari uchuvchanligi orasidagi farq katta bo'lgan hollardagina qo'llash maqsadga muvofiq va yuqori samara beradi.

Oddiy haydash quyidagi usullarda amalga oshiriladi: fraksiyali haydash; deflegmatsiya bilan haydash; suv bug'i bilan haydash; molekular haydash.

Fraksiyali haydash. Bu usul haydash kubidagi eritmani asta-sekin bug'latish yo'li bilan olib boriladigan ajratish jarayonidir (5.50-rasm).

Jarayon davomida hosil bo'layotgan bug' kondensator 2 ga uzatiladi va u yerda kondensatsiyalanib, distillyat holatida yig'gich 3 ga yuboriladi. Jarayon tugagandan so'ng, qurilma 1 dagi kub qoldig'i chiqarib tashlanadi. Qurilma 1 to'yingan suv bug'i yoki tutun gazlari bilan qizdiriladi.

Eritmani haydash jarayonida kub qoldig'ida yengil uchuvchan komponent miqdori va distillyat tarkibidagi miqdori maksimal qiymatdan minimalgacha kamayadi. Shuning uchun, har xil tarkibli distillyat fraksiyalari turli yig'gichlarga ajratib olinadi. Har xil tarkibli mahsulot olishga mo'ljallangan eritmalarni ajratib olish usuli ***fraksiyali haydash*** deb nomlanadi.

Oddiy haydash davrida hosil bo'layotgan bug' kubdan chiqarib olinadi va har bir onda kubda qolgan eritma bilan muvozanatda bo'ladi.

Bu usulda haydash atmosfera yoki vakuum ostida olib boriladi. Vakuum ostida haydash usuli issiqlikka chidamsiz eritmalarni ajratish imkoniyatini yaratadi, chunki bu usulda qaynash temperaturasi past bo'ladi. Shuning uchun ham bu usulda haydash davrida past temperaturali suv bug'laridan foydalaniladi.

Distillyatning o'rtacha tarkibi moddiy balans tenglamasidan aniqlanadi:

$$Fx_f = Wx_W + (F - W)x_{dyp}$$

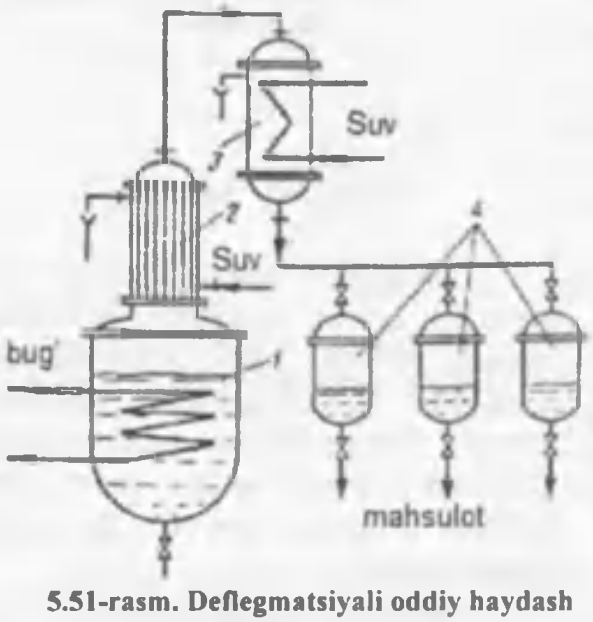
bundan

$$x_{dyp} = \frac{Fx_f - Wx_w}{F - W} \qquad (5.122)$$

bu yerda, F – boshlang'ich eritma miqdori; x_f – boshlang'ich eritma konsentratsiyasi; W – kub qoldig'i miqdori; x_w – kub qoldig'i konsentratsiyasi.

Deflegmatsiya bilan haydash Bu usul eritmalarni ajratish darajasini ko'tarish uchun qo'llaniladi (5.51-rasm).

Bu usulda, kub 1 da hosil bo'lgan bug'lar deflegmator 2 ga uzatiladi va u yerda qisman kondensatsiyalanadi. Qisman kondensatsiyalanish davrida qiyin uchuvchan komponent miqdori ko'p bo'lgan flegma hosil bo'ladi va qaytadan kubga tushiriladi. Kub 1 ga tushish vaqtida ko'tarilayotgan bug'lar bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi.



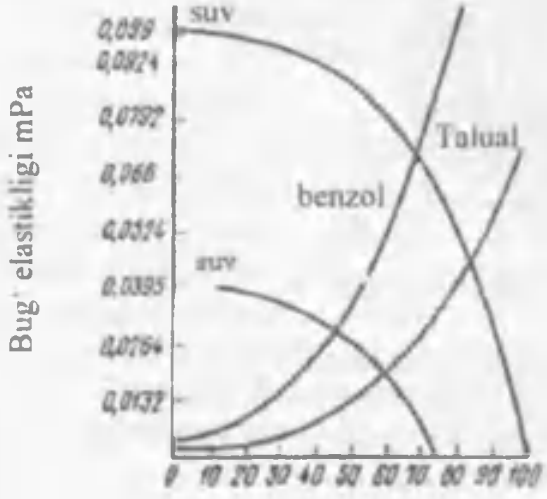
5.51-rasm. Deflegmatsiyali oddiy haydash qurilmasi.
1 - kub; 2 - deflegmator;
3 - kondensator; 4 - yig'gichlar.

Yengil uchuvchan komponent miqdori yuqori bo'lgan bug'lar kondensatorga yo'naltiriladi. Kondensatsiyalanish natijasida hosil bo'lgan distillyat yig'gich 4 ga tushadi. Kub qoldig'ining konsentratsiyasi o'rnatilgan x_w qiymatiga yetganda so'ng, kubdan chiqarib yuboriladi.

Suv bug'i bilan haydash. Eritmalar qaynash temperaturasini

pasaytirish uchun jarayonni vakuum ostida tashkil etish usuli oldindan ma'lum edi. Lekin eritmalarni suv bug'i bilan haydash usulida ham qaynash temperaturasini pasaytirish mumkin. Ayniqsa, bu usul qaynash temperaturasi 100°C dan ortiq bo'lgan va komponentlari suvda erimaydigan eritmalar uchun juda qo'l keladi. Shuning uchun, eritma komponentlari suvda erimasa, unda haydash kubiga qo'shimcha komponent sifatida suv bug'i yuboriladi.

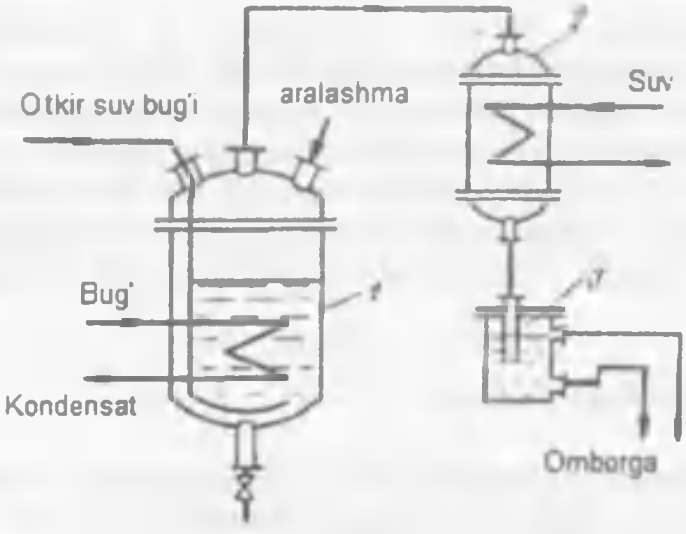
5.52-rasmda suv bug'i bilan oddiy haydash davrida qaynash temperaturasini aniqlash diagrammasi keltirilgan. Bu diagrammada qaynash temperaturasiga suv bug'ining elastiklik egri chizig'i bilan turli suyuqliklar elastiklik egri chiziqlari kesishgan nuqtasi to'g'ri keladi. Grafikdan ko'rinib turibdiki, atmosfera bosimida benzolni suv bilan haydash paytida jarayon temperaturasi 69,5°C, bosim $r = 0,0395$ MPa da 46°C atrofida, bosim $p = 0,1$MPa da toluol uchun esa– 85°C.



5.52-rasm. Suv bug'i bilan haydash paytida qaynash temperaturasini aniqlash diagrammasi.

5.53-rasmda aralashmalarni suv bug'i bilan haydash qurilmasining sxemasi keltirilgan.

Boshlang'ich eritma kub 1 ga yuklanadi va uning zmeyevikiga suv bug'i yuboriladi. So'ng, kub ichidagi eritmaga barbotyor orqali kuchli suv bug'i haydaladi. Eritmaning qaynash paytida hosil bo'lgan bug'lar kondensator 2 ga uzatiladi va undan keyin separator 3 da kondensat ajratiladi. Separatordan suv chiqariladi, suvda erimaydigan yengil uchuvchan komponent esa maxsus idishga yig'iladi. Odatda bu usul muvozanat bo'lmagan sharoitlarda amalga oshiriladi.



5.53-rasm. Suv bug'i bilan oddiy haydash qurilmasi
1 - kub; 2 - kondensator;
3 - separator.

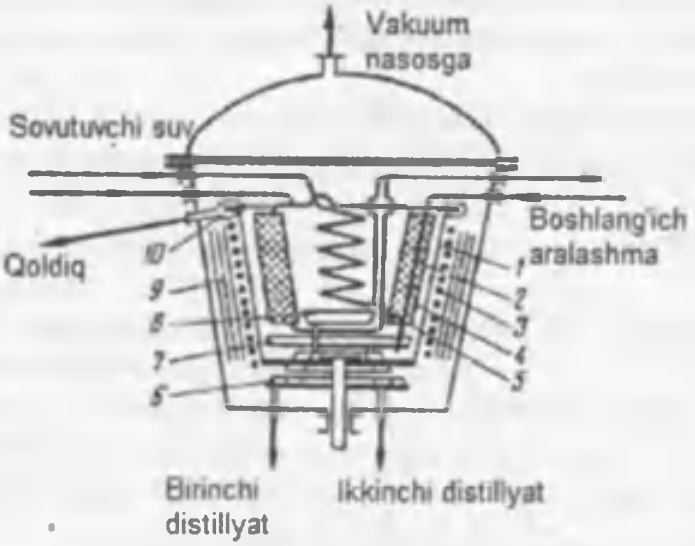
Molekular haydash. Bu usul yuqori temperaturada qaynaydigan va issiqlikka chidamsiz eritmalarni ajratish uchun qo'llaniladi.

Ushbu jarayon o'ta past vakuumda, ya'ni bosim 1,31...0,131Pa bo'lgan oraliqda olib boriladi.

Molekular haydash eritmani tashqi yuzasidan bug'latish orqali amalga oshiriladi. Jarayon bir - biriga yaqin o'rnatilgan bug'latish va kondensatsiyalash yuzalarida ro'y beradi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, ular orasidagi masofa odatda 20...30 mm, ya'ni molekulalarning erkin harakati uzunligidan kam bo'lishi kerak. Bunday holatda issiq yuzadan ko'tarilayotgan yengil uchuvchan komponent molekulalari sovuq yuzaga

urilishi bilan kondensatsiyalanadi. Bug'lanish va kondensatsiyalanish yuzalari o'rtasidagi temperaturalar farqi 100°C atrofida.

5.54-rasmda molekular haydash qurilmasining sxemasi keltirilgan.



5.54-rasm. Molekular haydash qurilmasi.

1 - rotor; 2 - boshlang'ich eritmani uzatish trubasi; 3 - elektr isitkich; 4,5 - kondensatorlar; 6 - halqasimon yig'gich; 7,8 -kondensator tagligi; 9 - konsentrik izolatsion plita;

Boshlang'ich eritma qurilmaga truba 2 orqali rotor 1 ning tubiga uzatiladi. Rotordagi eritma markazdan qochma kuch ta'sirida konus yuzasi bo'ylab yupqa qatlam holida tarqaladi. Bug'lanish yuzasidan ajralib chiqqan molekulalar kondensatsiyalanish yuzasiga qarab yo'naladi.

Uchuvchanligi past komponent bug'lari kondensator 4 yuzalarida kondensatsiyalansa, uchuvchanligi yuqori komponent bug'lari esa kondensator 5 yuzasida kondensatsiyalanadi. Birinchi fraksiya kondensator 4 dan taglik 8 ga, ikkinchisi esa, zmeyevikda kondensatsiyalanib taglik 7 ga oqib tushadi. Eritmaning bug'lanmagan qismi esa, markazdan qochma kuch ta'sirida rotor chetidan tarmoqli nov 10 ga toshib o'tadi va qurilmadan chiqarib yuboriladi. Ajratib olingan distillyat, taglik 8 chekkasidagi seksiya orqali halqasimon yig'gichga, taglik 7 dan esa markaziy seksiya orqali chiqarib olinadi.

5.17. Rektifikatsiya

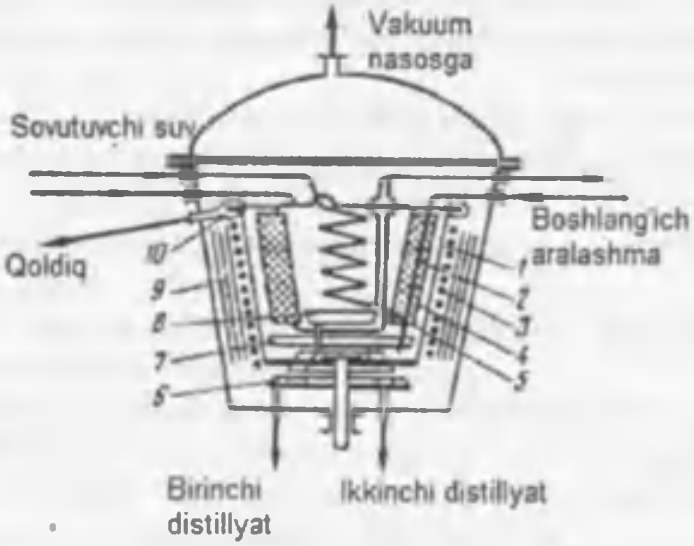
Suyuqlik aralashmalarini tashkil etuvchi komponentlarga bir necha marta qisman bug'latish va bug'larni kondensatsiyalash natijasida ajratishga **rektifikatsiya** deyiladi.

Odatda, eritmalarni to'la ajratishni faqat rektifikatsiya usuli ta'minlaydi. Bu jarayon nasadkali yoki tarelkali kolonnalarda o'tkaziladi. Kolonnada bug' va eritma qarama - qarshi yo'nalishda harakatlantiriladi va har bir to'qnashish moslamasida bug' kondensatsiyalansa, eritma esa bug'ning kondensatsiyalanish issiqligi hisobiga qisman bug'lanadi.

Shunday qilib, bug' yengil uchuvchan komponent bilan kolonnadan pastga oqib tushayotgan suyuqlik esa qiyin uchuvchan komponent bilan boyitiladi. Bug' va eritmaning ko'p marta to'qnashishi hisobiga distillyat butunlay yengil uchuvchan, kub qoldig'i esa – qiyin uchuvchan komponentdan tarkib topgan bo'ladi.

urilishi bilan kondensatsiyalanadi. Bug'lanish va kondensatsiyalanish yuzalari o'rtasidagi temperaturalar farqi 100°C atrofida.

5.54-rasmda molekular haydash qurilmasining sxemasi keltirilgan.



5.54-rasm. Molekular haydash qurilmasi.
1 - rotor; 2 - boshlang'ich eritmani uzatish trubasi; 3 - elektr isitkich;
4,5 - kondensatorlar; 6 - halqasimon yig'gich; 7,8 -kondensator tagligi;
9 - konsentrik izolatsion plita;

Boshlang'ich eritma qurilmaga truba 2 orqali rotor 1 ning tubiga uzatiladi. Rotordagi eritma markazdan qochma kuch ta'sirida konus yuzasi bo'ylab yupqa qatlam holida tarqaladi. Bug'lanish yuzasidan ajralib chiqqan molekulalar kondensatsiyalanish yuzasiga qarab yo'naladi.

Uchuvchanligi past komponent bug'lari kondensator 4 yuzalarida kondensatsiyalansa, uchuvchanligi yuqori komponent bug'lari esa kondensator 5 yuzasida kondensatsiyalanadi. Birinchi fraksiya kondensator 4 dan taglik 8 ga, ikkinchisi esa, zmeyevikda kondensatsiyalanib taglik 7 ga oqib tushadi. Eritmaning bug'lanmagan qismi esa, markazdan qochma kuch ta'sirida rotor chetidan tarmoqli nov 10 ga toshib o'tadi va qurilmadan chiqarib yuboriladi. Ajratib olingan distillyat, taglik 8 chekkasidagi seksiya orqali halqasimon yig'gichga, taglik 7 dan esa markaziy seksiya orqali chiqarib olinadi.

5.17. Rektifikatsiya

Suyuqlik aralashmalarini tashkil etuvchi komponentlarga bir necha marta qisman bug'latish va bug'larni kondensatsiyalash natijasida ajratishga **rektifikatsiya** deyiladi.

Odatda, eritmalarni to'la ajratishni faqat rektifikatsiya usuli ta'minlaydi. Bu jarayon nasadkali yoki tarelkali kolonnalarda o'tkaziladi. Kolonnada bug' va eritma qarama - qarshi yo'nalishda harakatlantiriladi va har bir to'qnashish moslamasida bug' kondensatsiyalansa, eritma esa bug'ning kondensatsiyalanish issiqligi hisobiga qisman bug'lanadi.

Shunday qilib, bug' yengil uchuvchan komponent bilan kolonnadan pastga oqib tushayotgan suyuqlik esa qiyin uchuvchan komponent bilan boyitiladi. Bug' va eritmaning ko'p marta to'qnashishi hisobiga distillyat butunlay yengil uchuvchan, kub qoldig'i esa – qiyin uchuvchan komponentdan tarkib topgan bo'ladi.

Rektifikatsiya jarayonini hisoblashda quyidagi taxminlar qabul qilinadi:

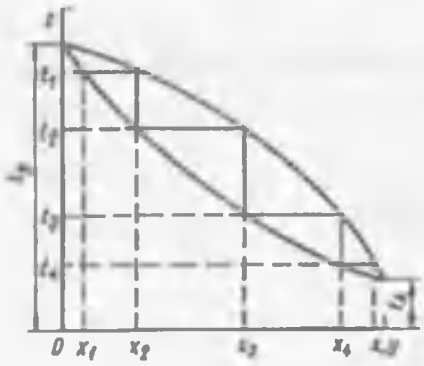
a) 1 kmol bug‘ kondensatsiyalanish davrida 1 kmol suyuqlik bug‘lanadi. Demak, rektifikatsion kolonnaning istalgan ko‘ndalang kesimida harakatlanayotgan bug‘ning miqdori bir xildir;

b) deflegmatorda kondensatsiyalanayotgan bug‘ning tarkibi o‘zgarmaydi. Demak, rektifikatsion kolonnadan chiqib ketayotgan bug‘ning tarkibi distillyatnikiga teng ($y_d = x_d$) bo‘ladi;

d) eritma bug‘lanishi davrida uning tarkibi o‘zgarmaydi. Demak, bug‘lanish davrida hosil bo‘lgan bug‘ning tarkibi kub qoldig‘inikiga tenglashadi, ya’ni ($y_w = x_w$).

Ko‘pincha rektifikatsiya jarayoni t - x, y diagramma yordamida tasvirlanadi (5.55-rasm).

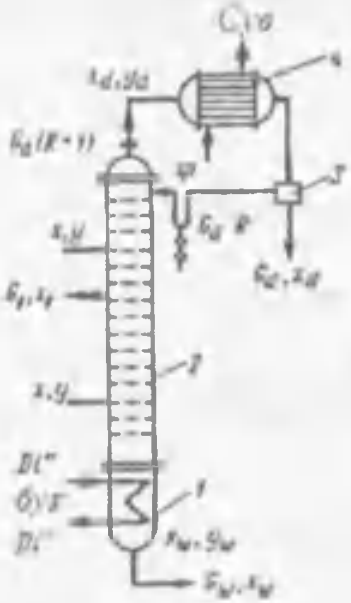
Konsentratsiyasi x_1 bo‘lgan boshlang‘ich eritma qaynash temperaturasi t_1 gacha qizdirilganda, suyuqlik bilan muvozanatdagi bug‘ olinadi va u kondensatsiyalanganda yengil uchuvchan komponentga boyitilgan x tarkibli suyuqlik hosil bo‘ladi. Ushbu suyuqlik yana qizdirilsa va uning temperaturasi t_2 gacha yetkazilsa, hosil bo‘lgan bug‘ning kondensatsiyalanishi natijasida x_3 tarkibli suyuqlikni olamiz. Shunday qilib, bug‘lanish va kondensatsiyalash jarayoni ko‘p marta qaytarilsa, boshlang‘ich eritmani toza, yengil va qiyin uchuvchan komponentlarga ajratish mumkin.



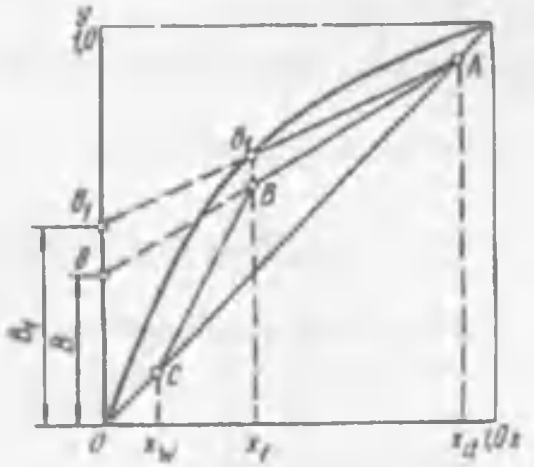
5.55-rasm. t - x, y - diagramma.

5.17.1. Rektifikatsiya jarayonining moddiy va issiqlik balanslari

Jarayonning prinsipial sxemasi asosida rektifikatsiyaning moddiy va issiqlik balanslari tuziladi (5.56-rasm). Rektifikatsion kolonnaga uzatilgan boshlang‘ich eritma distillyat va kub qoldig‘iga ajratiladi.



5.56-rasm. Rektifikatsiya jarayonining moddiy va issiqlik balanslarini tuzishga oid.



5.57-rasm. Rektifikatsiya jarayoni ishchi chizig‘ining tasviri.

Kollonnadan chiqayotgan bug'lar deflegmator 4 da kondensatsiyalanadi va ajratuvchi idish 3 ga tushadi. Bu yerda suyuqlik ikki qismga, ya'ni flegma F va distillyatga ajratiladi. Flegma kolonnada purkatilish uchun yo'naltiriladi.

Jarayon moddiy balansi ushbu ko'rinishga ega:

$$G_f = G_d + G_w \tag{5.123}$$

Yengil uchuvchan komponent bo'yicha esa:

$$G_f \cdot x_f = G_d \cdot x_d + G_w \cdot x_w \tag{5.124}$$

bu yerda, G_f, G_d, G_w – boshlang'ich eritma , distillyat va kub qoldig'i massalari, kmol; x_f, x_d, x_w – boshlang'ich eritma, distillyat va kub qoldiqlaridagi yengil uchuvchan komponentning konsentratsiyalari, mol ulushlar.

(5.123) va (5.124) tenglamalardan distillyat va kub qoldig'ining massalari aniqlanadi:

$$G_d = G_f \frac{x_f - x_w}{x_d - x_w} \tag{5.125}$$

$$G_w = G_f \frac{x_d - x_f}{x_d - x_w} \tag{5.126}$$

Boshlang'ich eritma, kub qoldig'i va flegmalarning 1 kmol distillyatga nisbatlarini quyidagicha belgilab olamiz:

$$\frac{G_f}{G_d} = F; \qquad \frac{G_w}{G_d} = W; \qquad \frac{\Phi}{G_d} = R$$

Flegma miqdorining distillyat miqdoriga nisbati ***flegma soni*** deb nomlanadi.

Rektifikatsion kolonnaning ta'minlash tarelkasi uni 2 ga ajratadi: yuqori va pastki qismlarga.

Umumiy tenglama asosida kolonnaning yuqori va pastki qismlari uchun moddiy balans tenglamalarini tuzamiz:

$$G \cdot dy = L \cdot (-dx) \tag{5.127}$$

bu yerda, $L = R \cdot G_d$ – kolonna yuqori qismida oqib tushayotgan suyuqlik miqdori.

Kolonna bo'ylab yuqoriga ko'tarilayotgan bug' miqdori:

$$G = G_d + \Phi = G_d + RG_d = G_d(1 + R) \tag{5.128}$$

Kolonnaning yuqori qismi uchun:

$$(R+1) \cdot dy = R \cdot (-dx) \tag{5.129}$$

Pastki qismi uchun:

$$(R+1)\cdot dy = (F+R)\cdot(-dx) \qquad (5.130)$$

Konsentratsiyalari x, y bo'lgan kolonna yuqori qismining istalgan ko'ndalang kesimi va konsentratsiyalari x_d, y_d bo'lgan kolonnaning yuqori qismi uchun (5.129) tenglamani yozamiz: ($x_d = y_d$ deb qabul qilingan holda)

$$(R+1)\cdot(y_d - y) = (R+1)\cdot(x_d - y) = R\cdot(x_d - x)$$

Bundan

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_d}{R+1} \qquad (5.131)$$

Konsentratsiyasi x, y bo'lgan kolonnaning pastki qismi va konsentratsiyalari x_w, y_w bo'lgan kubning istalgan ko'ndalang kesimi uchun, $x_w = y_w$ ni hisobga olib (5.130) tenglamani yozamiz:

$$(R+1)\cdot(y - y_w) = (R+1)\cdot(y - x_w) = (F+R)\cdot(x - x_w)$$

yoki

$$y = \frac{R+F}{R+1}x - \frac{F-1}{R+1}x_w \qquad (5.132)$$

Ko'rinib turibdiki (5.131) va (5.132) tenglamalar to'g'ri chiziqni ifodalaydi. (5.131) tenglamadagi $R/(R+1) = tg\alpha$ – ishchi chiziqning abssissa o'qiga og'ish burchagi tangensi $x_d/(R+1) = B$ chiziq $y - x$ diagramma ordinata o'qida ajratgan kesmasi (5.40-rasm).

Shunday qilib, (5.131) va (5.132) tenglamalar rektifikatsion kolonnaning yuqori va pastki qismlarining ishchi chiziq tenglamalarini ifodalaydi.

Agar jarayon davriy bo'lsa, rektifikatsiya jarayoni kolonna yuqori qismining ishchi chizig'i bilan ifodalanadi.

(5.129) tenglamadan kolonnaning ta'minlovchi tarelka ko'ndalang kesimi va tepasi uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$(R+1)\cdot(x_d - y_f) = R\cdot(x_d - x_f) \qquad (5.133)$$

bundan

$$R = \frac{x_d - y_f}{y_f - x_f} \qquad (5.134)$$

5.17.2. Uzluksiz ishlaydigan rektifikatsion kolonnaning issiqlik balansi

Bu turdagi qurilmalarning issiqlik balansi quyidagi tenglik bilan ifodalanadi (5.56-rasm).

$$Q_1 + G_f c_f t_f + R\cdot G_d c_d t_d = G_d(R+1)\cdot(r_d - c_d t_d) + G_w c_w t_w + Q_{yo'q} \qquad (5.135)$$

bu yerda Q_1 – kubdagi issiqlik sarfi, J/soat: c_f, c_d, s_w – boshlang'ich eritma, distillyat va kub qoldiqlarining solishtirma issiqlik sig'imi, J/(kg·K); t_f, t_d, t_w – boshlang'ich eritma, distillyat va kub qoldiqlarining temperaturalari, K; r_d – distillyatning bug' hosil qilish issiqligi, J/ kg; $Q_{yo'q}$ – atrof-muhitga issiqlikning yo'qotilishi, J/soat.

Rektifikatsion kolonna kubidagi issiqlik sarfini (5.135) tenglamadan topamiz:

$$Q_1 = G_d(R+1)\cdot r_d + G_d c_d t_d + G_w c_w t_w + G_f c_f t_f + Q_{yo'q} \qquad (5.136)$$

Agar qaynatgich suv bug'i bilan isitilayotgan bo'lsa, jarayonni o'tkazish uchun sarflanayotgan bug' sarfi ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$D = \frac{Q_1}{i'' - i'} \qquad (5.136a)$$

bu yerda, i'', i' – suv bug'i va kondensatning entalpiyalari, kJ/kg.

Ishchi chiziqni y-x diagrammada tasvirlash. Eritma tarkibini xarakterlovchi x_w, x_f, x_d konsentratsiya qiymatlari abssissa o'qiga qo'yiladi (5.57-rasm). Agar $x_d = y_d$ ekanligini hisobga olsak, x_d nuqtadan perpendikular chiqarib, diagonal chiziq bilan kesishgan, koordinatlari $x_d = y_d$ bo'lgan, A nuqtasi topiladi.

Flegma soni R ma'lum bo'lsa, $B = x_d/(R+1)$ kesma aniqlanadi va u diagrammaning ordinata o'qiga qo'yiladi. So'ng, B kesmaning uchi bo'lmish nuqta b va A lar birlashtiriladi. Boshlang'ich eritma konsentratsiyasiga oid x_f nuqtasidan Ab chizig'i bilan B nuqtada kesishguncha vertikal chiziq o'tkaziladi. AB to'g'ri chiziq kolonna yuqori qismining ishchi chizig'ini ifodalaydi. Keyin, x_w nuqtasidan perpendikular chiqarilib, diagonal bilan kesishgan C nuqtani topamiz. C va B nuqtalarni birlashtirib, kolonna pastki qismining ishchi chizig'ini topamiz. Diagrammadan ko'rinib turibdiki, B nuqta ikkala ishchi chiziq uchun umumiy bo'lib, ta'minlovchi tarelkadagi bug' va suyuqlikning ishchi konsentratsiyalarini xarakterlaydi.

Eritma konsentratsiyalari x_w, x_f, x_d bo'lganda, ishchi chiziqning holati kesma B ning qiymatiga bog'liq. O'z navbatida B kesma ishchi flegma soni R ning kattaligi bilan aniqlanadi. Agar flegma soni kamaysa, kesma B ning qiymati ortadi. Bunda ishchi va muvozanat chiziqlarining B_1 nuqtasida kesishganda, ishchi chiziq o'zining maksimal yuqori holati - Ab ga intiladi. Ushbu nuqtada jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi $\Delta y = y_m - y = 0$ bo'ladi. Demak, rektifikatsion kolonnaning fazalar to'qnashish yuzasi cheksiz katta bo'lishi kerak.

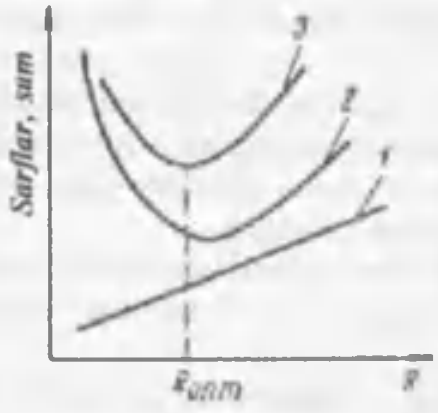
Haqiqatan ham, bunday holatda konsentratsiyalar o'zgarishining nazariy pog'onalar soni cheksiz bo'ladi va eritmani faqat cheksiz balandlikka ega shartli kolonnada ajratish mumkin. Lekin isituvchi bug' va kolonna diametri minimal ko'rsatkichli bo'ladi. Albatta, bunday sharoitda flegma soni ham minimal bo'ladi va uni ushbu tenglamadan aniqlash mumkin:

$$R_{min} = \frac{x_d - y_{fm}}{y_{fm} - x_f} \qquad (5.137)$$

Ishchi chizig'ining quyi chegaraviy holatiga cheksiz katta flegma soni to'g'ri keladi va u grafikda $B=0$ kesma bilan ifodalanadi. Bu holda ikkala ishchi chiziq diagonal bilan ustma-ust tushadi. Cheksiz katta flegma soniga maksimal harakatga keltiruvchi kuch $\Delta y_{max} = y_m - y$ va o'z navbatida konsentratsiya o'zgarish nazariy pog'onalarining minimal soni va kolonnaning minimal soni hamda kolonnaning minimal balandligi to'g'ri keladi. Lekin kolonnadagi bug', qaynatgichdagi isituvchi bug', deflegmatordagi sovuq suv sarfi va qurilma diametri maksimal bo'ladi.

5.17.3. Haqiqiy flegma soni

Haqiqiy flegma sonini tanlash o'ta murakkab masaladir, chunki uning miqdoriga qarab rektifikatsion kolonna o'lchamlari va issiqlik eltkichlar sarfi o'zgaradi. Kolonnalarni ishlatish uchun zarur sarflar va kapital xarajatlar hamda energetik sarflar flegma soniga bog'liq.



5.58-rasm. Rektifikatsiya jarayoniga bo'lgan sarflarning flegma soniga bog'iqligi.
1- ekspluatatsion sarflar:
2- kapital sarflar;
3- umumiy sarflar.

5.58-rasmda haqiqiy flegma sonining rektifikatsiya jarayoni sarflariga bog'liqligi tasvirlangan.

Ko'rinib turibdiki, flegma soni ortishi bilani ekspluatatsion sarflar proporsional ravishda ortadi. Kapital sarflarning flegma soniga bog'liqligi kolonna diametri va balandligiga teskari proporsionalligi bilan ifodalanadi. Flegma sonining ma'lum bir qiymatiga kapital sarflarning minimal kattaligi to'g'ri keladi.

Umumiy sarflar va flegma soni orasidagi bog'liqlik ham minimum nuqtasi bilan xarakterlanadi. Bu nuqtaga mos ***R*** haqiqiy flegma sonining optimal qiymatiga teng bo'ladi. Haqiqiy flegma sonini quyidagi formulada hisoblash mumkin:

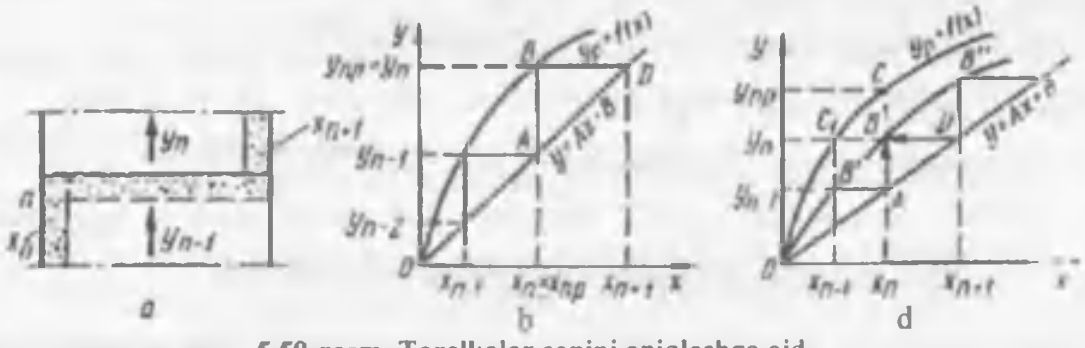
$$R_x = \beta_R R_{min} \qquad (5.138)$$

bu yerda. β_R – flegma ortiqchaligini ifodalovchi koeffitsiyent. Ko'pchilik hollarda ushbu koeffitsiyent quyidagi oraliqda bo'ladi – $\beta = 1{,}04\ldots1{,}5$.

5.17.4. Rektifikatsion kolonna ishchi balandligi va tarelkalar sonini hisoblash

Odatda ushbu parametrlarni aniqlash konsentratsiyalar o'zgarishining nazariy yoki haqiqiy pog'onalari soniga qarab olib boriladi. Bunda, nazariy pog'onada bug' va oqib tushayotgan suyuqlik muvozanat holatida bo'ladi.

Barbotaj tarelkasining ishlash prinsipini ko'rib chiqamiz (5.59-rasm).



5.59-rasm. Tarelkalar sonini aniqlashga oid.
a - tarelkada bug' va suyuqlikning o'zaro ta'siri; b - bug' va suyuqlik muvozanatga erishish jarayonini y-x diagrammada tasviri; d - bug' va suyuqlik muvozanatga erishmagan jarayonini y-x diagrammadagi tasviri.

Agar konsentratsiyasi x_{n+1} bo'lgan suyuqlik yuqoridan n – tarelkaga oqib tushsa, pastdagi tarelkadan konsentratsiyasi y_{n-1} - bo'lgan bug' ko'tariladi. Massa almashinish natijasida suyuqlikdagi yengil uchuvchan komponent bug'ga o'tsa, qiyin uchuvchan esa – bug'dan suyuqlikka o'tadi. Bug'dagi yengil uchuvchan komponent konsentratsiyasi y_n gacha ortsa, suyuqlikda esa x_{n+1} dan x_n gacha kamayadi.

Jarayonni tahlil qilishda quyidagi taxminlarni qabul qilamiz: tarelkadagi suyuqlik ideal aralashtirilgan va uning konsentratsiyasi o'zgarmas x_n ga teng; ideal siqib chiqarish rejimidagi suyuqlik qatlamida bug'ning konsentratsiyasi y_{n-1} dan y_n gacha o'zgaradi.

Bug' konsentratsiyasi y_{n-1} dan $y_n=y_{np}$ gacha o'zgarishi davrida muvozanatga erishishi vertikal AB kesma bilan tasvirlansa, konsentratsiyasining x_{n+1} dan x_n gacha o'zgarishi esa BD kesma bilan xarakterlanadi (5.59b-rasm). Shunday qilib, ABD pog'ona bitta nazariy tarelkada sodir bo'layotgan jarayonni ifodalaydi.

Rektifikatsion kolonnada o'rnatish zarur bo'lgan nazariy tarelkalar sonini aniqlash uchun ishchi va muvozanat egri chiziqlarining A va C nuqtalari orasiga pog'onalar quriladi.

Kolonnaning haqiqiy tarelkasida hech qachon muvozanat konsentratsiyasiga erishib bo'lmaydi, ya'ni $y_n < y_{np}$ (5.59d-rasm).

Kolonnadagi haqiqiy tarelkalar sonini aniqlash uchun foydali ish koeffitsiyenti qo'llaniladi. Odatda uning kattaligi tajribaviy usul bilan topiladi. Rektifikatsiya jarayonida massa berish koeffitsiyentini hisoblash uchun quyidagi tenglamalar tavsiya etiladi:

suyuq fazada:

$$Nu_{ds} = 540 \cdot \mathrm{Re}_s^{0,33} \cdot \mathrm{Pr}_{ds}^{0,45} \qquad (5.139)$$

elaksimon tarelkalarda gaz fazasi uchun:

$$Nu_{dg} = 2{,}5 \cdot \mathrm{Re}_g^{0,72} \cdot \mathrm{Pr}_{dg}^{0,5} \cdot We^{-0,25} \qquad (5.140)$$

qalpoqchali tarelkalarda gaz fazasi uchun:

$$Nu_{dg} = 0{,}265 \cdot \mathrm{Re}_g \cdot \mathrm{Pr}_{dg}^{0,5} \cdot We^{-0,25} \qquad (5.141)$$

(5.140) va (5.141) tenglamalardagi Nu_{dg} va Re_g kriteriylarda aniqlovchi o'lcham sifatida kapillar konstanta $\chi = \sqrt{\sigma / \rho_c g}$ hisoblanadi.

Viber kriteriysi $We = (\sigma / p_c) h_{cm}^2 g$,

bu yerda, σ – sirtiy taranglik, N/m; h_{cr} – tarelkadagi suyuqlik qatlamining statik balanligi, m.

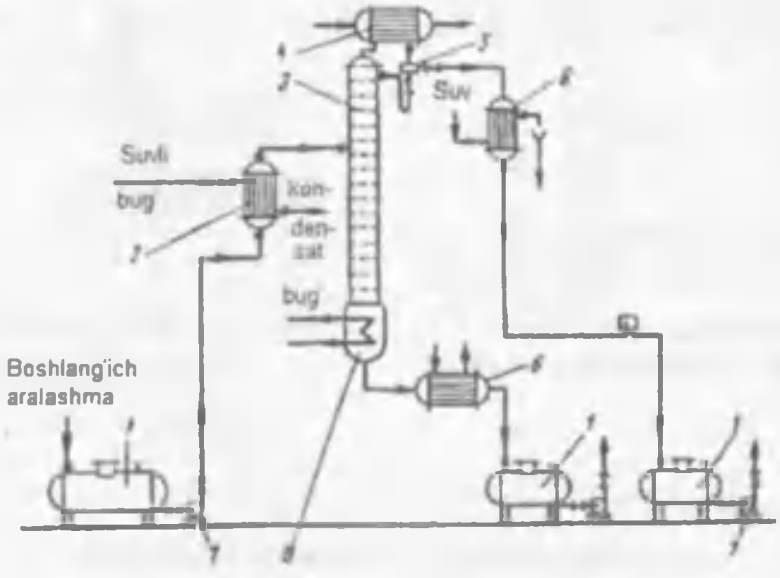
5.18. Rektifikatsiya jarayonini tashkil etish usullari

Istalgan rektifikatsion sxema tarkibida kolonna (tarelkali yoki nasadkali) va qaynatkich bo'ladi. Odatda, qobiq - trubali yoki zmeyevikli issiqlik almashinish

qurilmasidan qaynatkich sifatida foydalaniladi. Qaynatkich kolonnaning pastki qismida yoki uning tashqarisida o'rnatilishi mumkin.

Turli sanoat korxonalarida tarelkali va nasadkali kolonnalar ko'p ishlatiladi.

Uzluksiz ishlaydigan rektifikatsion kolonnaning prinsipial sxemasi 5.60-rasmda ko'rsatilgan. Boshlang'ich eritma isitkich 2 da qizdiriladi va kolonnaning ta'minlovchi tarelkasiga uzatiladi. Kolonnadagi qaynatkich 8 ning issiqligi ta'sirida rektifikatsiya jarayoni sodir bo'ladi, eritma distillyat va kub qoldig'iga ajraladi. Kolonnadan chiqayotgan bug'lar deflegmator 4 da qisman yoki to'la kondensatsiyalanadi. Agar bug' to'la kondensatsiyalansa, hosil bo'lgan distillyat ajratuvchi moslama 5 da ikki qismga bo'linadi.



5.60-rasm. Uzluksiz ishlaydigan rektifikatsion kolonna.
1 - yig gich; 2 - isitkich; 3 - rektifikatsion kolonna;
4 - deflegmator; 5 - ajratuvchi moslama;
6 - sovutkich; 7 - nasoslar;

Birinchi qism – flegma suyuqlik tambasi orqali o'tib kolonnaning yuqori tarelkasida purkaladi, ikkinchi qismi esa – distillyat sovutkich 6 dan o'tkazilib sovutiladi va yig'gich 1 da to'planadi.

Agar bug'lar deflegmatorda qisman kondensatsiyalansa, ular kondensator-sovutkich orqali o'tkaziladi, u yerda kondensatsiyalanadi va sovutiladi. Jarayon mobaynida hosil bo'layotgan kub qoldig'i uning qimmatligi va zarurligiga qarab yoki yig'gichda to'planadi, yoki oqava suv sifatida utilizatsiyaga yo'naltiriladi.

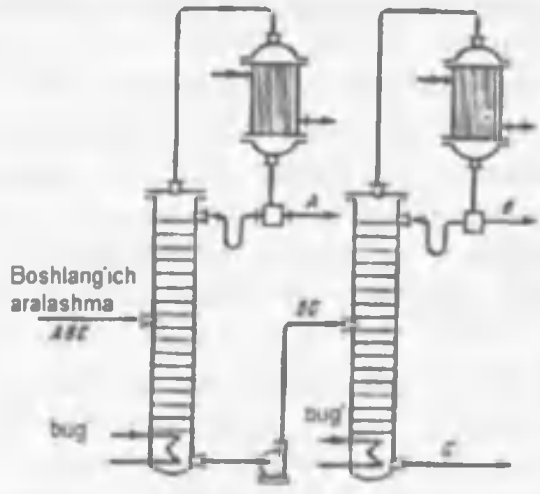
Odatda, sanoat miqyosida boshlang'ich eritma uch va undan ko'p qismlarga ajratiladi.

Ko'p komponentli eritmalarni rektifikatsiya qilish sxemasi 5.61-rasmda tasvirlangan. Ushbu sxema ko'p kolonnali bo'lib, boshlang'ich eritmani uzluksiz ravishda uch qism, ya'ni *A*, *B* va *C* komponentlarga ajratishga mo'ljallangan.

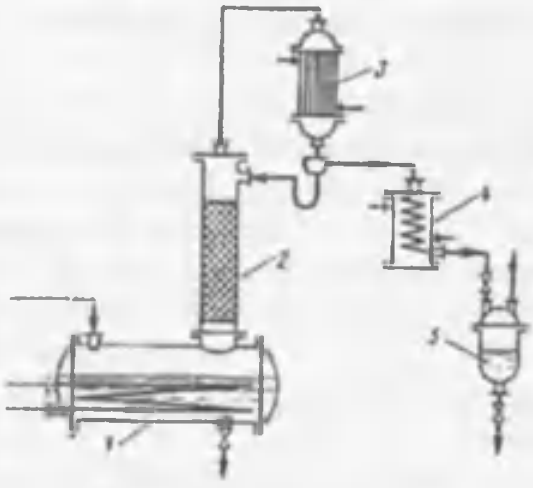
Birinchi kolonna aralashmani *A+BC* yoki *AB+C* qismlarga ajratadi. Aralashmani *n* qismga ajratish uchun *n-1* rektifikatsion kolonnalardan tarkib topgan rektifikatsion sxema zarur bo'ladi.

Davriy ishlaydigan rektifikatsion kolonnaning prinsipial sxemasi 5.62-rasmda keltirilgan.

Boshlang'ich aralashma bug' bilan isitilayotgan qaynatkichga uzatiladi. Qaynash temperaturasigacha isitilgan aralashmaning bug'lari rektifikatsion kolonnaning pastki qismiga yuboriladi. Kolonna bo'ylab tepaga ko'tarilayotgan bug'lar yengil uchuvchan komponent bilan boyib boradi, so'ng esa deflegmatorga tushadi. U yerda kondensatsiyalanadi. Xuddi uzluksiz ishlaydigan rektifikatsiya sxemasidek, kondensat flegma va distillyatga ajraydi. Qurilmadagi kub qoldig'i to'kiladi va u yangi boshlang'ich aralashma bilan to'ldiriladi.



5.61-rasm. Ko'p komponentli aralashmalarni ajratish rektifikatsion sxemasi.



5.62-rasm. Davriy ishlaydigan rektifikatsion kolonna sxemasi.
1 - qaynatkich; 2 - kolonna; 3 – deflegmator; 4 - sovutkich; 5 - yig'gich.

5.19. Rektifikatsion kolonnalarni hisoblash

Ma'lumki, xalq xo'jaligining turli sohalarida rektifikatsiya jarayoni juda ko'p ishlatiladi. Bu jarayonni amalga oshirishda tarelkali kolonnalardan keng ko'lamda foydalaniladi.

Misol tariqasida «etil spirt-suv» aralashmasini ajratish uchun uzluksiz ishlaydigan rektifikatsion kolonnani (tarelkali) hisoblashni ko'rib chiqamiz. «Etil spirt-suv» aralashmasining massaviy sarfi G=10000 kg/soat etil spirtining boshlang'ich eritmadagi konsentratsiyasi x_F = 35%; (mass); etil spirtning distillyatdagi konsentratsiyasi x_D=95%; (mass); etil spirtining kub qoldig'idagi konsentratsiyasi x_w = 1,5% (mass); flegmaning ortiqchalik koeffitsiyenti β_R = 1,3; $\eta = 0.5$; tarelkalar orasidagi masofa $h = 200$ *mm*; isituvchi bug' bosimi $p_6 = 0,3$ *MPa*; rektifikatsiya jarayoni atmosfera bosimida tashkil etilgan. Distillyat G_d, kub qoldig'i G_w va tarelkalar miqdori n, hamda kolonna balandligi N, diametri D_k va isituvchi bug' sarfi D larni aniqlash zarur. Distillyatning massaviy sarfini G_D (kg/ch), kub qoldig'inikini G_W (kg/ch) deb belgilaymiz.

Moddiy balans (5.125) formuladan hosil bo'layotgan distillyat va (5.123) formuladan esa kub qoldig'ining miqdorini aniqlaymiz:

$$G_D + G_W = 10000$$
$$G_F x_F = G_D x_D + G_W x_W$$
$$10000 \cdot 0{,}35 = G_D \cdot 0.98 + G_W \cdot 0{,}015$$

$$G_W = \frac{G_F(x_D - x_F)}{x_D - x_W} = \frac{2{,}77(0{,}98 - 0{,}35)}{0{,}98 - 0{,}015}$$

Rektifikatsiya jarayonini y-x koordinatlarida qurish uchun boshlang'ich aralashma, distillyat va kub qoldiqlari tarkibidagi yengil uchuvchan komponent konsentratsiyasini quyidagi formulalar yordamida mol ulushlarda ifodalash mumkin:

$$x_{f,d,w} = \frac{\frac{a_{f,d,w}}{M_a}}{\frac{a_{f,d,w}}{M_A} + \frac{100 - a_{f,d,w}}{M_B}}$$

bu yerda, M_A va M_B – yengil spirt va qiyin suv uchuvchan komponentlarning molekular massalari:

Boshlangich aralashma, distillyat va kub koldiq konsentratsiyalarini mol ulushlarda ifodalaymiz:

Boshlang'ich aralashmaniki

$$x_F = \frac{\frac{x}{M_b}}{\frac{x_F}{M_b} + \frac{100 - x_F}{M_T}} = \frac{\frac{35}{46}}{\frac{35}{46} + \frac{100 - 35}{18}} = 0{,}174$$

Distillyatniki

$$x_D = \frac{\frac{x_D}{M_b}}{\frac{x_D}{M_b} + \frac{100 - x_D}{M_T}} = \frac{\frac{98}{46}}{\frac{98}{46} + \frac{100 - 98}{18}} = 0{,}95$$

Kub qoldig'iniki

$$x_W = \frac{\frac{x_W}{M_b}}{\frac{x_W}{M_b} + \frac{100 - x_W}{M_T}} = \frac{\frac{1{,}5}{46}}{\frac{1{,}5}{46} + \frac{100 - 1{,}5}{18}} = 0{,}00592$$

Boshlang'ich eritmaning nisbiy mol sarfini aniqlaymiz:

$$F = \frac{x_D - x_W}{x_F - x_W} = \frac{0{,}95 - 0{,}00592}{0.17 - 0{,}00592} = 5{,}753$$

Tajriba ma'lumotlari asosida y - x koordinatlarida boshlang'ich aralashma uchun muvozanat chizig'ini ko'ramiz.

«Etil spirt-suv» aralashmasining qaynash temperaturasi (t,°C) va suyuqlik (x,%) va bug' (u,%) ning muvozanat molyar ulushlari (760 mm. rt. st.) :

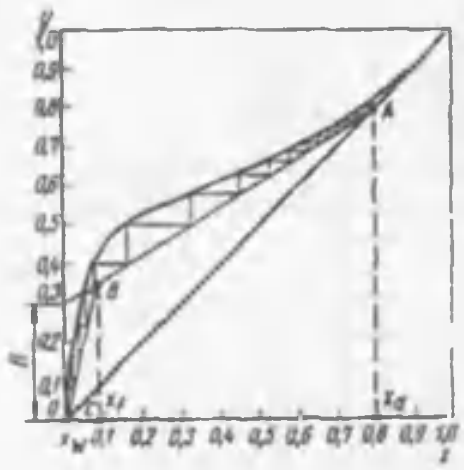
X	0	5	10	20	30	40	50
Y	0	33,2	44,2	53,1	57,6	61,4	65,4
T	100	90,5	86,5	83,2	81,7	80,8	80,0

X	60	70	80	90	100	Azeotrop aralashma
Y	69,9	75,3	81,8	89,8	100	89,4
T	79,4	79	78,6	78,4	78,4	78,15

(5.137) formula yordamida minimal flegma sonini aniqlaymiz:

$$R_{min} = \frac{x_D - y_F^*}{y_F^* - x_F} = \frac{0,95 - 0,508}{0,508 - 0,17} = 1,3076$$

bu yerda y_F^* =0,508 – boshlang'ich aralashma tarkibidagi yengil uchuvchan komponent bilan muvozanatda bo'lgan bug'dagi yengil uchuvchan (etil spirt) komponent konsentratsiyasi.



5.63-rasm. Rektifikatsion kolonna tarelkalarining sonini grafik usulda aniqlash.

Kolonna yuqori qismi uchun ishchi chizig'ini qurish uchun (5.138) formuladan haqiqiy flegma sonini hisoblaymiz:

$$R = 1,3 \cdot R_{min} + 0,3 =$$

$$= 1,3 \cdot 1,3076 + 0,3 = 1,99988$$

Kesma V ning uzunligini topamiz (5.63-rasm):

$$B = \frac{x_d}{R+1} = \frac{0,798}{0,629} = 0,3$$

So'ng, ordinata o'qida B=0,3 kesmani o'lchab, uni A nuqta ($x_d = y_d$ koordinatli) bilan birlashtiramiz va kolonnaning yuqori qismi uchun ishchi chiziq olamiz. Pastki qism uchun ishchi chiziq esa, B nuqtani (x_f, y_f - kordinatli) C nuqta ($x_w = y_w$ koordinatli) bilan birlashtirib aniqlanadi.

Ishchi chiziq tenglamasi:

a) kolonnaning yuqori qismi uchun:

$$R = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1} = \frac{1,99988}{1,99988+1}x + \frac{0,95}{1,99988+1} = \frac{1,99988}{2.99988}x + \frac{0,95}{2,99988}$$

$$y = 0,666653x + 0,3166793$$

b) kolonnaning pastki qismi uchun:

$$R = \frac{R+F}{R+1}x - \frac{F-1}{R+1}x_W = \frac{1,99988+5,753}{1,99988+1}x - \frac{5,753-1}{1,99988+1} \cdot 0,00592 =$$

$$= \frac{7,75288}{2,99988}x - \frac{4,753}{2,99988} \cdot 0,00592$$

$$y = 2.58439x - 0,009379$$

Bug'ning tezligi va kolonna diametrini aniqlash. Suyuqlikning o'rtacha konsentratsiyalari:

a) kolonnaning yuqori qismi uchun:

$$x'_{o'r} = \frac{(x_F + x_D)}{2} = \frac{(0{,}17 + 0{,}95)}{2} = 0{,}56$$

b) kolonnaning pastki qismi uchun:

$$x''_{o'r} = \frac{(x_F + x_W)}{2} = \frac{(0{,}17 + 0{,}00592)}{2} = 0{,}08796$$

Bug'ning o'rtacha konsentratsiyasini ishchi chiziq tenglamalaridan aniqlaymiz:

a) kolonnaning yuqori qismi uchun :

$$y'_{o'r} = 0{,}666653x'_{o'r} + 0{,}3166793 = 0{,}666653 \cdot 0{,}56 + 0{,}3166793 = 0{,}69$$

b) kolonnaning pastki qismi uchun:

$$y''_{o'r} = 2{,}58439x''_{o'r} - 0{,}009379 = 2{,}58439 \cdot 0{,}08796 - 0{,}009379 = 0{,}21794$$

t – x, y diagrammadan bug'ning o'rtacha temperaturasini topamiz:

а) $y_{o'r} = 0{,}69$ da $t'_{o'r} = 79{,}5^oC$,

б) $y''_{o'r} = 0.21794$ da $t''_{o'r} = 94{,}2^oC$.

Bug'ning o'rtacha mol massasi va zichligi :

a) $M'_{o'r} = 0{,}69 \cdot 46 + 18 \cdot 0{,}31 = 37{,}32$ kg/mol;

$$\rho'_{o'r} = \frac{M'_{o'r} \cdot T_0}{22{,}4 \cdot T'_{o'r}} = \frac{37{,}32 \cdot 273}{22{,}4 \cdot 352{,}5} = 1{,}291 \text{ kg/m}^3;$$

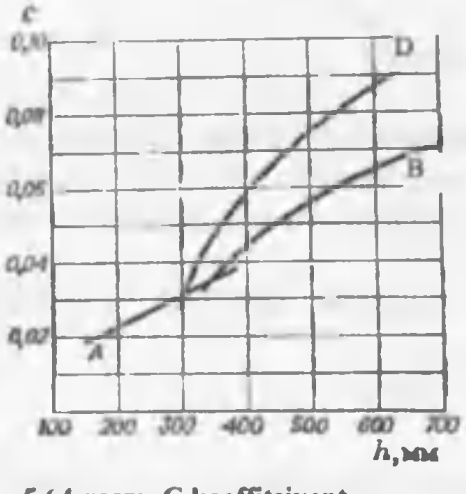
b) $M''_{o'r} = 0{,}21794 \cdot 46 + 18 \cdot 0{,}78206 = 24{,}102$ kg/mol;

$$\rho''_{o'r} = \frac{M''_{o'r} \cdot T_0}{22{,}4 \cdot T''_{o'r}} = \frac{24{,}102 \cdot 273}{22{,}4 \cdot 367{,}2} = 0{,}800389 \text{ kg/m}^3$$

Kolonnadagi bug'ning o'rtacha zichligi:

$$\rho_П = \frac{(\rho'_{o'r} + \rho''_{o'r})}{2} = \frac{(1{,}291 + 0{,}800389)}{2} = 1{,}04569 \text{ kg/m}^3$$

y_D=0,95 bo'lganda kolonna tepasidagi temperatura 78,5°C ga, kub – bug'latkichida x_W=0,00592 da 98°C ga teng.



5.64-rasm. C koeffitsiyent qiymatlari
A,B – qalpoqchali tarelkalar; D–elaksimon tarelka.

78,5°C temperaturada etil spirt zichligi ρ=799 kg/m^3, 98,2°C da suvniki ρ=954,4 kg/m^3.

Kolonnadagi suyuqlikning o'rtacha zichligi ushbu formuladan aniqlaymiz:

$$\rho_s = \frac{(799 + 959{,}4)}{2} = 879{,}2 kg/m^3$$

Kolonnadagi bug' tezligini aniqlash. «Kolonniye apparati» katalog-spravochnikdan tarelkalar orasidagi masofani h=300 mm ni tanlaymiz. Grafikdan elaksimon tarelkalar uchun C=0,032 ekanligini topamiz(5.64-rasm).

Kolonnadagi bug' tezligi:

$$w = C\sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_n}} = 0{,}032\sqrt{\frac{879{,}2}{1{,}04569}} = 0{,}9278 \text{ m/s}$$

O'rtacha temperatura quyidagicha hisoblanadi:

$$t_{o'r} = \frac{(79{,}5 + 94{,}2)}{2} = 86{,}85\,^{\circ}\text{C}.$$

Kolonnadan o'tayotgan bug'ning hajmiy sarfi:

$$V = \frac{G_D(R+1)\cdot 22{,}4\cdot T_{os}\cdot \rho_o}{M_D\cdot T_o\cdot 3600\cdot p} =$$

$$= \frac{3471{,}48\cdot(1{,}99988+1)\cdot 22{,}4\cdot 359{,}85\cdot 1{,}033}{44{,}6\cdot 273\cdot 3600\cdot 1} = 1{,}97828 m^3/s$$

bu yerda, M_D – distillyatning mol massasi:

$$M_D = 0{,}95\cdot 46 + 0{,}05\cdot 18 = 44{,}6 \text{ kg/kmol}$$

Kolonna diametri:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0{,}785\cdot\omega}} = \sqrt{\frac{1{,}97828}{0{,}785\cdot 0{,}9278}} = 1{,}648 \text{ m}$$

«Kolonniye apparati» katalog-spravochnikdan D=1600 m li standart kolonnani tanlaymiz. Unda, kolonnada bug'ning tezligi :

$$w = \frac{V}{0{,}785\cdot D^2} = \frac{1{,}97828}{0{,}785\cdot(1{,}6)^2} = 0{,}9844 \text{ m/s}$$

Tarelkaning gidravlik hisobi.

Quyidagi o'lchamli elaksimon tarelkani tanlaymiz: teshiklar diametri d_o=4 mm, quyilish to'sig'ining balandligi h_p=40 mm. Tarelka teshiklari yuzasining ulushi *8%* . Ikkita segmentli quyilish stakanlarining yuzasi tarelka umumiy yuzasining *20%* ni tashkil etadi.

Kolonna yuqori va pastki qismidagi tarelkalar gidravlik qarshiligini hisoblaymiz

$$\Delta p = \Delta p_q + \Delta p_\sigma + \Delta p_{pj}$$

a) Kolonna yuqori qismi.

Quruq tarelka gidravlik qarshiligi:

$$\Delta p_q = \frac{\xi\cdot w^2{}_o\cdot \rho_n}{2} = \frac{1{,}82\cdot(12{,}3051)^2\cdot 1{,}291}{2} = 177.8868879 \text{ Pa}$$

bu yerda, ξ=1,82 – teshiklar yuzasi 7...10% li elaksimon tarelkalar gidravlik qarshilik koeffitsiyenti.

Tarelka teshiklaridagi tezlik:

$$w_0 = \frac{0{,}9844}{0{,}08} = 12{,}3051 \text{ m/s}$$

Sirtiy taranglik kuchlari tufayli hosil bo'lgan qarshilik:

$$\Delta p_\sigma = \frac{4 \cdot \sigma}{d_o} = \frac{4 \cdot 20{,}025 \cdot 10^{-3}}{0{,}04} = 20{,}025 \text{ Pa}$$

bu yerda, σ=20,025·10^{-3} N/m – 79,5°C temperaturada kolonna yuqori qismida suyuqlikning sirtiy tarangligi; d_o= 0,004 m – tarelka teshiklarining diametri.

Tarelkadagi bug'-gaz aralashmasining qarshiligi:

$$\Delta p_{ns} = 1{,}3 \cdot h_{ns} \cdot \rho_{ns} \cdot g \cdot k$$

Bug'-gaz aralashmasining balandligi:

$$h_{ns} = h_n + \Delta h$$

Quyilish to'sig'i ustidagi qatlamning balandligi Δh qiymatini ushbu formuladan aniqlaymiz:

$$\Delta h = \left(\frac{V_s}{1{,}85 \cdot \Pi \cdot k} \right)^{\frac{2}{3}}$$

bu yerda, V_s – suyuqlik hajmiy sarfi, m^3/s; Π – quyilish to'sig'ining perimetri, m; $k=\rho_{ps}/\rho_s$ =0,5 – bug'-gaz aralamasi zichligining suyuqlik zichligiga nisbati.

Kolonna yuqori qismidan o'tayotgan suyuqning hajmiy sarfi:

$$V_s = \frac{G_D \cdot R \cdot M_{o'r}}{M_D \cdot \rho_s} = \frac{3471{,}48 \cdot 1{,}99988 \cdot 33{,}68}{44{,}6 \cdot 879{,}2 \cdot 3600} = 0{,}0016564 \text{ m}^3\text{/s}$$

bu yerda, M_{cp}=0,56·46+0,44·18=33,68 – suyuqlikning o'rtacha srednyaya mol massasi, kg/kmol.

Quyilish to'sig'ining perimetri Π ni tenglamalar sistemasini yechib topamiz:

$$\begin{cases} \left(\frac{\Pi}{2}\right)^2 + (R-b)^2 = R^2 \\ 0{,}1 \cdot \pi \cdot R^2 = \frac{2}{3} \cdot \Pi \cdot b \end{cases}$$

bu yerda, R=0,8 m – tarelka radiusi; $0{,}66P \cdot b$ – segment yuzasining taxminiy qiymati.

Yechish ushbu natijalarni beradi: Π=1,28 m; b=0,257 m. Endi, Δh ni topamiz:

$$\Delta h = \left(\frac{0{,}0016564}{1{,}85 \cdot 1{,}28 \cdot 0{,}5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0{,}0125 \text{ m}$$

Tarelkadagi bug'-gaz aralashmasining balandligi :

$$h_{bS} = h_n + \Delta h = 0{,}04 + 0{,}0125 = 0{,}0525 \text{ m}$$

Bug'-gaz aralashmasi qatlamining qarshiligi:

$$\Delta p_{bS} = 1{,}3 \cdot h_{bS} \cdot k \cdot \rho_s \cdot g = 1{,}3 \cdot 0{,}0525 \cdot 0{,}5 \cdot 879{,}2 \cdot 9{,}81 = 294{,}326 \text{ Pa}$$

Kolonna yuqori qismidagi umumiy gidravlik qarshilik:

$$\Delta p' = \Delta p_q + \Delta p_\sigma + \Delta p_{ns} = 123{,}446 + 20{,}025 + 294{,}326 = 437{,}797 \text{ Pa}$$

b) kolonna pastki qismi :

$$\Delta p_q = \frac{1{,}82 \cdot (12{,}3051)^2 \cdot 0{,}800389}{2} = 110{,}285 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_\sigma = \frac{4 \cdot 18{,}6 \cdot 10^{-3}}{0{,}004} = 18{,}6 \text{ Pa}$$

bu yerda, σ=18,6·10^{-3}N/m – t_{ur}=94,2°C temperaturada suyuqlik sirtiy tarangligi;

$$V_s = \left(\frac{G_D \cdot R}{M_D} + \frac{G_F}{M_F} \right) \cdot \frac{M_{ur}}{\rho_s} =$$

$$\cdot \left(\frac{3471{,}48 \cdot 1{,}99988}{44{,}6} + \frac{10000}{22{,}872} \right) \cdot \frac{18{,}16576}{3600 \times 879{,}2} = 0{,}003402 m^3/s$$

$$M_{o'r} = 0{,}00592 \cdot 46 + 0{,}99408 \cdot 18 = 18{,}16576$$

bu yerda ($M_F = 0{,}174 \cdot 46 + 0{,}826 \cdot 18 = 22{,}872$ kg/kmol)

$$\Delta h = \left(\frac{0{,}003402}{1{,}85 \cdot 1{,}28 \cdot 0{,}5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0{,}020211 \text{ m}$$

$$h_{bS} = 0{,}04 + 0{,}020211 = 0{,}060211 \text{ m}$$

$$\Delta p_{bS} = 1{,}3 \cdot 0{,}060211 \cdot 0{,}5 \cdot 879{,}2 \cdot 9{,}81 = 337{,}556 \text{ Pa}$$

Kolonna pastki qismidagi umumiy gidravlik qarshilik:

$$\Delta p'' = 110{,}285 + 18{,}6 + 337{,}556 = 446{,}441 \text{ Pa}$$

Tarelkalar orasidagi masofa $h = 0{,}3m$ bo'lganda tarelkalar normal ishlash shartlari bajarilishini tekshiramiz:

$$h > 1{,}8\frac{\Delta p}{\rho_s \cdot g}$$

Kolonna yuqori qismidagi tarelkalarnikiga qaraganda gidravlik qarshiligi Δp katta bo'lgan pastki qism tarelkalari uchun:

$$\frac{1{,}8\Delta p''}{\rho_s g} = \frac{1{,}8 \cdot 446{,}441}{879{,}2 \cdot 9{,}81} = 0{,}09317 \text{ m}$$

Tarelka ishlashining turg'un ishlashini tekshiramiz – tarelka teshiklaridagi minimal tezlik w_{omin} ni hisoblaymiz:

$$w_{omin} = 0{,}67\sqrt{\frac{g\rho_S h_{bS}}{\varsigma\rho_П}} = 0{,}67 \cdot \sqrt{\frac{9{,}81 \cdot 879{,}2 \cdot 0{,}060211}{1{,}82 \cdot 0{,}80038}} = 12{,}2874 \text{ m/s.}$$

Hisoblangan tezlik w_{omin} = 12,2874 m/s. Demak, tarelkaning hamma teshiklari jarayonda ishtirok etadi.

Kolonna balandligi va tarelkalar sonini hisoblash.

a) $y - x$ diagrammaga kolonnaning yuqori va pastki qismlarining ishchi chiziqlarini chizamiz va konsentratsiya o'zgarishi pog'onalarining soni n_t ni topamiz. Kollonnaning yuqori qismi uchun $n_T' \approx 10$ va pastki qismi uchun $n_T'' \approx 4$. Jami 14 pog'ona.

Tarelkalar soni ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$n = n_T / \eta .$$

Tarelkalar f.i.k. η ni aniqlash uchun ajratilayotgan komponentlar uchuvchanlik koeffitsiyenti $\alpha = P_б / P_T$ va o'rtacha temperatura 86,85°C da boshlang'ich aralashma dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti μ ni topamiz.

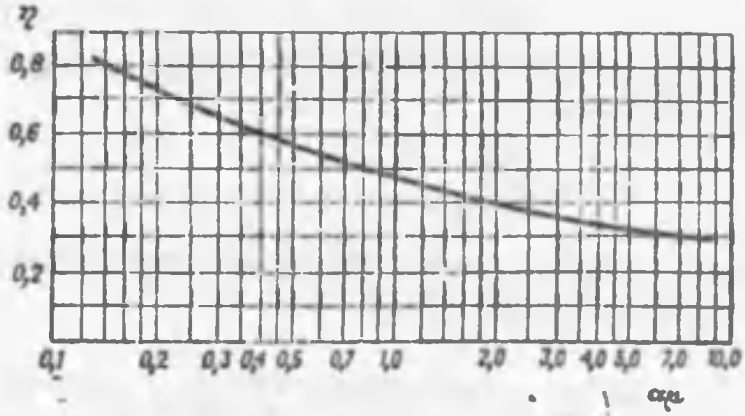
Etil spirt bug'ining ushbu temperaturadagi to'yingan bug'i P=1065 mm.sim.ust., suvniki P=469,8 mm. sim. ust. Bundan,

$$\alpha = 1065 / 469{,}8 = 2{,}2669 .$$

Etil spirtning dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti (86,85°C) μ=0,552 sP, suv uchun μ=0,331 sP. Aralashma dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti

$$\mu = 0{,}441 \ sP = 0{,}441 \cdot 10^{-3} Pa \cdot c .$$

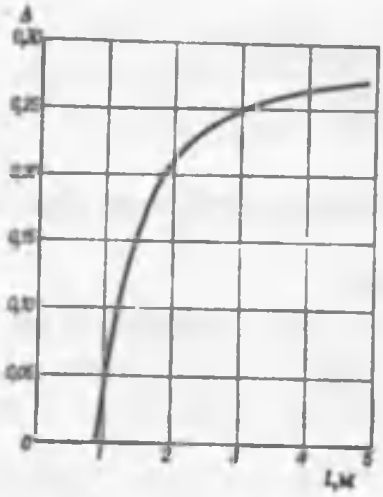
Unda $$\alpha\mu = 2{,}2669 \cdot 0{,}441 = 0{,}99970.$$



5.65-rasm. Tarelka o'rtacha f.i.k. taxminiy aniqlash uchun diagramma.

Grafikdan η=0,48 ekanligini topamiz. Suyuqlikning tarelkadagi harakat yo'lining uzunligi:

$$l = D - 2b = 1{,}6 - 2 \cdot 0{,}257 = 1{,}086 \text{ m}$$



5.66-rasm. Tuzatish qiymati Δ ning tarelkadagi suyuqlikning harakat yo'li uzunligi *l* ga bog'liqligi

Grafikdan Δ=0,059 ekanligini topamiz. Tarelkalarning o'rtacha f.i.k. :

$$\eta_l = \eta(1 + \Delta) = 0{,}48(1 + 0{,}059) = 0{,}508$$

Taqqoslash uchun tarelka f.i.k. η_o ni aniqlaymiz:

$$\eta_O = 0{,}068 K_1^{0.1} \cdot K_2^{0.115}.$$

Ushbu formuladagi o'lchamsiz

$$K_1 = \frac{\mathrm{Re}_b}{S_{CB}} \mathrm{Pr}_s' \frac{\mu_b}{\mu_s} = \frac{w h_b \rho_b}{S_{CB} \mu_b} \frac{\mu_s}{\rho_s D_s} \frac{\mu_b}{\mu_s} = \frac{w h_b \rho_b}{S_{CB} \rho_s D_s}$$

$$K_2 = \frac{\mathrm{Re}_b}{We} \mathrm{Pr}_s' \frac{\nu_b}{\nu_s} = \frac{w h_b \sigma}{\nu_{\Pi} \rho_s w^2} \frac{\nu_s \nu_b}{h_{\Pi} D_s \nu_s} = \frac{\sigma}{w \rho_s D_s},$$

bu yerda, w – kolonnadagi bug' tezligi, m/s; S_{ca} – tarelka teshiklari yuzasining ulushi; h_n – quyilish to'sig'ining balandligi, m; ρ_b va ρ_s – bug' va suyuqlik zichligi, kg/m^3; D_s – yengil uchuvchan komponentning diffuziya koeffitsiyenti, m^2/s; σ– suyuqlik sirtiy tarangligi, N/m.

Fizik-kimyoviy konstantalar o'rtacha temperatura aniqlangan. Diffuziya koeffitsiyenti D_s:

$$D_s = 7{,}4 \cdot 10^{-12} \frac{(\beta\mu)^{0.5} T}{\mu_s \nu^{0.6}}$$

Ushbu sharoit uchun: β=1; μ_f=0,441·10^{-3}Pa·s; M=M_f=22,872 kg/kmol; ν=58 m^2/s; T=86,85+273=359,85 K.

Diffuziya koeffitsiyenti:

$$D_s = \frac{7{,}4 \cdot 10^{-12} \cdot 22{,}872^{0.5} \cdot 359{,}85}{0{,}441 \cdot 58^{0.6}} = 2{,}5264 \cdot 10^{-9}$$

O'lchamsiz komplekslar:

$$K_1 = \frac{\omega h_b \rho_b}{S_{CB} \rho_s D_s} = \frac{0{,}9844 \cdot 0{,}04 \cdot 1{,}04569}{0{,}08 \cdot 879{,}2 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-9}} = 2{,}34 \cdot 10^5;$$

$$K_2 = \frac{\sigma}{\omega \rho_s D_s} = \frac{40{,}3025 \cdot 10^{-3}}{0{,}9844 \cdot 879{,}2 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-9}} = 0{,}931 \cdot 10^4.$$

Tarelka o'rtacha f.i.k.

$$\eta_O = 0{,}068 K_1^{0.1} K_2^{0.115} = 0{,}068(2{,}34 \cdot 10^5)^{0.1} \cdot (0{,}931 \cdot 10^4)^{0.115} = 0{,}669.$$

Tarelkalar soni

kolonna yuqori qismida

$$n' = n_T' / \eta_l = 10 / 0{,}508 = 20;$$

kolonna pastki qismida

$$n' = n_T'' / \eta_l = 4 / 0{,}508 = 8.$$

Tarelkalar umumiy soni n=28, zaxira bilan n=32. Shu jumladan, yuqori qismida 20 ta va pastki qismida 12.

Kolonnaning tarelkali qismining balandligi

$$H_T = (n-1)h = (32-1) \cdot 0{,}3 = 9{,}3 \text{ m}$$

Tarelkalarning umumiy gidravlik qarshiligi:

Qurilmaning issiqlik hisobi. Deflegmator – kondensatorda sovutuvchi suvga tarqalayotgan issiqlik miqdori ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$Q_{II} = G_D(1+R)r_D = \frac{3471{,}48}{3600} \times (1+1{,}99988) \times 921{,}660 \times 10^3 =$$

$$= 2666163{,}563 Vt$$

Bu yerda

$$r_D = \bar{x}_D r_6 + (1-\bar{x}_D) r_T = 0{,}95 \cdot 848{,}493 \cdot 10^3 +$$

$$+ (1-0{,}95) \cdot 2311{,}843 \cdot 10^3 = 921{,}660 \cdot 10^3 J/kg$$

bu yerda, r_s va r_v – etil spirt va suvlarning 78,5°C dagi solishtirma kondensatsiyalanish issiqligi.

Kub-bug'latkichda issiqlik sarfi ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$Q_R = Q_Д + G_D c_D t_D + G_W c_W t_W - G_F c_F t_F + Q_{nom} =$$

$$= 1{,}03 \cdot (2666163{,}5 + 0{,}9643 \cdot 0{,}81 \cdot 4190 \cdot 78{,}5 + 1{,}81 \cdot 1 \cdot 4190 \cdot 98 - 2{,}777 \cdot 0{,}9 \cdot 4190 \cdot 84) =$$
$$= 2870241{,}25 \text{ Vt}$$

Bu yerda Q_{nom} issiqlik yo'qotilishi taxminan 3%.

Solishtirma issiqlik sig'imlari t_D=78,5°C; t_w=98°C; t_F=84°C temperaturalarda olingan; boshlang'ich aralashma qaynash temperaturasi t_F=84°C diagrammadan olinadi.

Bug' isitkichidagi issiqlik sarfi:

$$Q = 1{,}05 G_F c_F (t_F - t_{bosh}) = 1{,}05 \cdot 2{,}777 \cdot 0{,}752 \cdot 4190 \cdot (84 - 18) = 606374{,}56 \text{ Vt}$$

bu yerda, Q_{nom} – issiqlik yo'qotilishi taxminan 5% olingan.

Boshlang'ich eritma solishtirma issiqlik sig'imi

$$c_F = (0{,}5 \cdot 0{,}835 + 0{,}5 \cdot 0{,}675) \cdot 4190 \text{ J/kg K},$$

O'rtacha temperatura $\frac{(84+18)}{2} = 51$ °C da olingan.

Distillyat sovutkichda suvga tarqalayotgan issiqlik miqdori:

$$Q = G_D c_D (t_D - t_{kon}) = 0{,}9646 \cdot 0{,}75 \cdot 4190 \cdot (78{,}5 - 25) = 162172{,}17 \text{ Vt}$$

bu yerda, distillyat solishtirma issiqligi $c_D = 0{,}75 \cdot 4190$ J/(kg·K) o'rtacha 52°C da olingan

Kub qoldig'ida sovuq suvga uzatilayotgan issiqlik miqdori:

$$Q = G_W c_W (t_W - t_{kon}) = 1{,}81 \cdot 0{,}98 \cdot 4190 \cdot (98 - 25) = 542552{,}5 \text{ Vt}$$

bu yerda kub qoldig'i solishtirma issiqligi $c_w = 0{,}98 \cdot 4190$ J/(kg K) o'rtacha (98+25)/2=62°C da olingan

Namligi 5% va bosimi p_{abs}=2,5 kg·k/sm^2 bo'lgan bug'ning sarfi:

a) kub – bug'latkichda

$$G_{i.b} = \frac{Q_K}{r_{i.b} x} = \frac{2870241{,}25}{2141 \cdot 10^3 \cdot 0{,}95} = 1{,}41 \text{ kg/s}$$

bu yerda, $r_{i.b}$=2141·10^3 J/kg – isituvchi bug' solishtirma kondensatsiyalanish issiqligi;

b) aralashma isitkichida

$$G_{1b} = \frac{606374,56}{2141 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 0,2981 \text{ kg/s}$$

Jami: 1,41 + 0,2981 = 1,7 kg/s

20°C ga sovitish uchun suvning sarfi:

a) deflegmatorda

$$V_B = \frac{Q_Д}{c_S(t_{ox} - t_{bosh})\rho_B} = \frac{2870241.25}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,03425 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) distillyat sovutkichda

$$V_s = \frac{162172,17}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0.001935 \text{ m}^3/\text{s}$$

d) kub qoldig'i sovutkichida

$$V_s = \frac{542552.2}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,006474 \text{ m}^3/\text{s}$$

Jami: 0,04265 m^3/s

Mexanik hisob.

Obechayka qalinligining hisobi. Qurilma *p=0,25* MPa bosimda ishlaydi: obechayka materiali – 10X18N9TL legirlangan po'lat; korroziya tezligi P≤0,1 mm/yil; korroziyaga zaxira $C_K=1$ mm; muhit – etil spirti - suv; temperatura 86,85°C. Obechayka ichki diametri $D_B=1,6$ m, payvand choki ikki tomonlama (φ_{sh}=0,95). 86,85°C temperaturada 10X18N9TL legirlangan po'lat uchun ruxsat etilgan kuchlanish $\sigma_Д$=139 MN/m^2.

Korroziyaga zaxira va yaxlitlashni inobatga olinsa, obechayka qalinligi ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\delta = \frac{D \cdot p}{2 \cdot \sigma_Д \cdot \varphi} + C_K + C_{окр} = \frac{1,6 \cdot 0,25}{2 \cdot 139 \cdot 0,95} + 0,001 + C_{окр} = 0,003 \text{ m}$$

Obechaykadagi ortiqcha bosim ushbu formuladan hisoblanadi:

$$p_Д = \frac{2 \cdot \sigma_Д \cdot \varphi_{sh} \cdot (\delta - C_к)}{D_a + (\delta - C_к)} = \frac{2 \cdot 139 \cdot 0,95 \cdot (3-1) \cdot 10^{-3}}{1,6 + (3-1)10^{-3}} = 0,327 \text{ MPa}$$

Qopqoq va dnishche qalinligini hisoblash.

Elliptik dnishche va qopqoqlar asosiy o'lchamlari:

5-2 jadval

D, mm	s_D, mm	H_D, mm	h_s, mm	F_D m^2	V_D, m^3
1600	6	400	25	2.90	0.5840

bu yerda s_D – dnishche devorining qalinligi qalinligi; H_D – bo'rtiq yoki konussimon qismining balandligi; hs – dnishche silindrik, tekis qismining balandligi; F_D – dnishche ichki yuzasi; V_D – dnishche sig'imi.

Flanetsli birikma hisobi

Shartli diametr:

$$D_y = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10000}{3{,}14 \cdot 2}} \approx 80\,\text{mm}$$

Patrubka, standart flanetslar asosiy o'lchamlari:

5-3 jadval

D_u, mm	d_T, mm	p_u, MPa	s_T, mm	H_T, mm
80	89	do 0,6	4	155;215;300

Yassi payvandlanadigan flanetslar :

5-4 jadval

D, mm	p_u, MPa	D_f, mm	D_b, mm	D_1, mm	D_2, mm	D_3, mm
1600	0,3	1730	1690	1648	1660	1645

h, mm	a, mm	a_1, mm	s, mm	d, mm	Teshiklar soni z
35	17,5	14	10	23	60

Trubalar flanetsi va bo'rtiq birlashtiruvchi yuzali yassi payvandlanuvchi flanetslar:

5-5 jadval

p_u, MPa	D_u, mm	D_f, mm	D_b, mm	D_1, mm	D_2, mm	D_4, mm
≤ 0,25	80	185	150	128	116	91

D_5, mm	h, mm	h_1, mm	h_2, mm	d, mm	Teshiklar soni z
93	11	14	14	18	4

bu yerda D_f – flanets tashqi diametri; D_b – bolt yoki shpilka markazlari aylanasining diametri; s_T – obechayka devorining qalinligi; H_T – tarelkalar orasidagi masofa; D_u – nominal diametr; p_u – nominal bosim.

Qurilma tayanchining hisobi

Kolonna tayanchi diametri:

5-6 jadval

D	D_1, mm	D_2, mm	D_b, mm
1600	1870	1500	1785

Silindrik tayanch asosiy o'lchamlari:

5-7 jadval

Yuklama, MN Q_{max}	Yuklama, MN Q_{min}	D, mm	s_1
1,6	do 0,80	1600	10

s_2	s_3	d_2	d_B	Boltlar soni z_B
25	25	42	M36	16

Nasos hisobi

Boshlang'ich eritma P=0,25 MPa bosimda ishlayotgan kolonnaga nasos yordamida uzatilmoqda. Aralashma sarfi G=3,4·10^{-2} m^3/s. Suyuqlikni 8,0 m geometrik balandlikka ko'tarilmoqda. So'rish yo'lida truba quvurining uzunligi 10 m, haydash yo'lida esa 40 m. Haydash yo'lida 120° li ikkita burilish, 90° li 6 ta diametrga teng burilish radiusli 10 ta burilishlar va 2 ta normal ventillar o'rnatilgan. So'rish yo'lida 2 ta to'g'ri yo'lli ventil, 90° li 4 ta diametrga teng burilish radiusli 10 ta burilishlar.

a) Truba quvurini tanlash.

So'rish va haydash yo'llari uchun aralashmaning tezligini bir xil, ya'ni 2 m/s deb qabul qilamiz. Unda, truba diametri ushbu formuladan topamiz:

$$d = \sqrt{4Q/\pi v} = \sqrt{4 \cdot 3.4 \cdot 10^{-2} / 3{,}14 \cdot 2} = 0{,}14 \text{ m}$$

Po'latdan yasalgan, ozgina korroziyaga uchragan truba tanlaymiz.

b) Ishqalanish va mahalliy qarshiliklarni aniqlash. Reynolds kriteriysi Re ni hisoblaymiz:

$$\mathrm{Re} = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{2 \cdot 0{,}14 \cdot 879}{0{,}44 \cdot 10^{-3}} = 558095$$

ya'ni turbulent rejim. Truba quvuri absolyut g'adir-budurligini Δ=2·10^{-4} m. Unda

$$e = \Delta / d = 2 \cdot 10^{-4} / 0{,}14 = 0{,}00142$$

So'ng:

$$\frac{1}{e} = 704{,}225; \qquad 560\frac{1}{e} = 394366{,}19; \qquad 10 \cdot \frac{1}{e} = 7042{,}25;$$

$$7042{,}25 \prec \mathrm{Re} \prec 558095$$

Shunday qilib, truba quvurida aralash ishqalanish mavjud bo'lib, gidravlik qarshilik koeffitsiyenti λ ni quyidagi formuladan hisoblash kerak:

$$\lambda = 0{,}11 \cdot (e + 68/\mathrm{Re})^{0{,}25} = 0{,}11\left(0{,}00142 + \frac{68}{558095}\right)^{0{,}25} = 0.021$$

So'rish va haydash yo'llari uchun alohida mahalliy qarshiliklar yig'indisini aniqlaymiz. So'rish yo'li uchun:

1) Trubaga kirish (o'tkir qirrali): $\xi_1 = 0{,}5$.

2) To'g'ri yo'lli ventil uchun: $d = 0{,}1$ m $\xi = 0{,}5$,

$d = 0{,}14$ m $\xi = 0{,}43$

tuzatish koeffitsiyenti $k = 0{,}925$ ga ko'paytirsak $\xi_2 = 0{,}397$.

3) tirsaklar: koeffitsiyent $A = 1$, koeffitsiyent $V = 0{,}09$; $\xi_3 = 0{,}09$.

So'rish yo'lidagi mahalliy qarshilik koeffitsiyentlarning yig'indisi:

$$\sum\xi = \xi_1 + 2\xi_2 + 4\xi_3 = 0{,}5 + 2\cdot 0{,}397 + 4\cdot 0{,}09 = 1{,}65$$

So'rish yo'lida naporning yo'qotilishi:

$$h_{yo'q.so'r} = \left(\lambda\cdot\frac{l}{d_e} + \Sigma\xi_{mq}\right)\cdot\frac{w^2}{2g} = \left(0{,}021\frac{10}{0{,}14} + 1{,}65\right)\cdot\frac{2^2}{2\cdot 9{,}81} = 0{,}64 \text{ m}$$

Haydash yo'li uchun:

1) Burilish 120° *li :* $A = 1{,}17$, $B = 0{,}09$, $\xi_1 = 0{,}105$.

2) Burilish 90° *li :* $\xi_2 = 0{,}09$ $A = 1$ $B = 0{,}09$

3) Normal ventil uchun $d = 0{,}14$ *m* $\xi = 4{,}34$

4) Trubadan chiqish: $\xi_4 = 1$.

Haydash yo'lidagi mahalliy qarshilik koeffitsiyentlarning yig'indisi:

$$\sum\xi = 2\xi_1 + 10\xi_2 + 2\xi_3 + \xi_4 = 2\cdot 0{,}105 + 10\cdot 0{,}09 + 2\cdot 4{,}34 + 1 = 10{,}79$$

Haydash yo'lida naporning yo'qotilishi:

$$h_{yo'q.hay} = \left(0{,}025\frac{40}{0{,}14} + 10{,}79\right)\cdot\frac{2^2}{2\cdot 9{,}81} = 3{,}656 \text{ m}$$

Naporning umumiy yo'qotilishlari:

$$h_{yo'q} = h_{yo'q.so'r} + h_{yo'q.hay} = 0{,}64 + 3{,}656 = 4{,}296 \text{ m}$$

d) Nasos tanlash.

Nasos naporini ushbu formuladan topiladi :

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho\cdot g} + H_g + h_{yo'q} = \frac{0{,}25 - 0{,}1}{879\cdot 9{,}81} + 8 + 4{,}296 = 12{,}3 \text{ m. suv. ust.}$$

Berilgan ish unumdorligida bunday naporni markazdan qochma turdagi nasos ta'minlay oladi. Bu turdagi nasos f.i.k. yuqori, ixcham va elektr yuritkich quvvatini almashtirish oson.

Nasosning foydali quvvati ushbu formula orqali hisoblanadi:

$$N_{\Pi} = \rho\cdot g\cdot Q\cdot H = 879\cdot 9{,}81\cdot 0{,}003\cdot 12.3 = 0.318 \text{ kVt}$$

η_{per}=1 va η_{per}=0,6 deb qabul qilib elektr yuritkich o'qidagi quvvatni quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$N = N_{\Pi}/\left(\eta_n\cdot\eta_{per}\right) = 0{,}318/0{,}6\cdot 1 = 0{,}53 \text{ kVt}$$

Ushbu ish unumdorligi va naporni X20/18 rusumli markazdan qochma nasos ta'minlay oladi.

Optimal ish rejimlarida:

Q=5,5·10^{-3} m^3/s;
N = 13,8 m;
η_n =0.60.
Nasos elektr yuritkich AO2-31-2;
Nominal quvvati N_p = 3 kVt;
O'qning aylanishlar chastotasi n=48.3 c^{-1}.

e) So'rish balandligining eng yuqori qiymatini aniqlash. Formula yordamida kavitatsiyaga napor zaxirasini hisoblaymiz:

$$h_3 = 0{,}3 \cdot \left(Q \cdot n^2\right)^{2/3} = 0{,}3 \cdot \left(0{,}0055 \cdot 48{,}3^2\right)^{2/3} = 1.6 \text{ m}$$

Bosimlar jadvalidan p_1=2,35·10^3 Pa ekanligi topamiz. Atmosfera bosimini p_1=10^3 Pa va so'rish patrubkasining diametri truba quvuri diametriga teng deb qabul qilamiz. Unda, so'rish balandligini ushbu formuladan aniqlaymiz:

$$H_{so'r} \le \frac{p_1}{\rho \cdot g} - \left(\frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{w_{so'r}^2}{2 \cdot g} + h_{yo'q.so'r} + h_3 \right) =$$

$$= \frac{10^5}{879 \cdot 9{,}81} \left(\frac{2{,}35 \cdot 10^3}{879 \cdot 9{,}81} + \frac{2^2}{2 \cdot 9{,}81} + 0{,}64 + 1{,}6 \right) = 2{,}96m$$

5-bob. Haydash va rektifikatsiyalash bo'yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Haydash jarayonining mohiyati nimada?
2. Qiyin uchuvchan komponent nima?
3. Yengil uchuvchan komponent nima?
4. Dalton qonunining fizik ma'nosi va formulasini yozing.
5. Konovalovning 1- qonuni nimani ifodalaydi?
6. Konovalovning 2- qonuni nimani ifodalaydi?
7. Qanday suyuqliklar azeotrop eritma deb ataladi?
8. Oddiy haydash nima?
9. Fraksiyali haydash sxemasini chizing va tushuntiring.
10. Deflegmatsiyali haydash sxemasini chizing va tushuntiring.
11. Suv bug'i bilan haydash sxemasini chizing va tushuntiring.
12. Molekular haydash sxemasini chizing va tushuntiring.
13. Rektifikatsiya nima?
14. Jarayon moddiy balansini tuzing.
15. Rektifikatsiya jarayonining issiqlik balansini tuzing.
16. Flegma nima?
17. Rektifikat nima?
18. Haqiqiy flegma soni qaysi formula bilan ifodalanadi?
19. Rektifikatsiya jarayonini tashkil etish usullari.
20. Rektifikatsiya kolonnalarini hisoblash ketma-ketligi.

«SUYUQLIK – SUYUQLIK» SISTEMASIDA EKSTRAKSIYALASH

5.20. Umumiy tushunchalar

«Suyuqlik – suyuqlik» sistemalarida eritma yoki qattiq jismlar tarkibidan bir yoki bir necha komponentlarni maxsus suyuqlik (erituvchi) yordamida ajratib olish jarayoni **ekstraksiyalash** deb nomlanadi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, erituvchi aralashmada erimaydi, lekin ekstraksiyalanayotgan komponentni eritadi.

Ma'lumki, ekstraksiya jarayoni 2 xil bo'ladi: 1) suyuqliklarni ekstraksiyalash; 2) qattiq materiallarni ekstraksiyalash.

Ekstraksiya jarayonining prinsipial sxemasi 5.67-rasmda keltirilgan.

5.67-rasm. Ekstraksiya jarayonining prinsipial sxemasi.

Tarkibida tarqatuvchi modda ***M*** bor boshlang'ich eritma ***F*** va erituvchi ***E*** lar ekstraktorga yuklanadi. Biror eritma tarkibidagi komponentlarni ajratib olish uchun qo'llaniladigan suyuqlik **ekstragent** (***E***) deb nomlanadi. Fazalar o'rtasida massa almashinish jarayoni ularning bevosita to'qnashuvi tufayli yuz beradi. Ekstraksiya natijasida hosil bo'lgan suyuq aralashma ajratgichga yuboriladi va u yerda ekstrakt (***E***) va rafinat (***R***) ga ajratiladi.

Suyuq aralashmani ekstrakt va rafinatga ajratish uchun tindirish, separatsiyalash, sentrifugalash yoki boshqa mexanik jarayonlar qo'llaniladi.

Ekstrakt tarkibidagi zarur komponent (mahsulot) ajratib olinadi, rafinatdan esa ekstragent qayta tiklanadi.

Ekstraksiya jarayoni turli xil konstruksiyali qurilmalarda – **ekstraktorlarda** o'tkaziladi.

Jarayon tahlili shuni ko'rsatadiki, bu jarayon ham rektifikatsiya kabi eritmalarni ajratish uchun ishlatiladi. Agar rektifikatsiya jarayoni issiqlik ta'sirida olib borilsa, ekstraksiya uchun esa - uning zarurati yo'q. Rektifikatsiyada komponentlarga ajratish ularning turli uchuvchanligiga bog'liq. Agar eritma komponentlarining qaynash temperaturalari bir - biriga juda yaqin bo'lsa, ekstraksiya jarayonidan foydalanish yuqori samara beradi. Lekin ekstragentning zichligi, suyuq aralashma zichligidan yetarli darajada farq qilishi va kam bo'lishi kerak.

Ekstraksiya jarayonidan kimyo, neftni qayta ishlash, neft kimyosi, oziq-ovqat, farmatsevtika va sanoatning boshqa sohalarida keng miqyosda foydalaniladi. Bu jarayon xilma-xil organik va neft–kimyo sintez mahsulotlarini toza holda ajratib olish, nodir, kamyob va tarqoq elementlarni olish, oqava suvlarini tozalash va boshqa sohalarda ishlatiladi. Jarayonning asosiy afzalligi shundaki, u past temperaturada o'tadi va termolabil moddalari bor elementlarni ajratish imkonini yaratadi.

Ekstraksiya jarayoni kamchiliklardan holi emas, ya'ni qo'shimcha erituvchi ishlatiladi, erituvchini qayta tiklash texnologik sxemani murakkablashtiradi va qo'shimcha qurilma talab etadi hamda jarayonni qimmatlashishiga olib keladi.

Ko‘pchilik hollarda ekstraksiya va rektifikatsiya jarayonlari ko‘pincha birgalikda qo‘llaniladi. Bunga sabab, boshlang‘ich eritma konsentratsiyasi ortishi bilan rektifikatsiya jarayoniga zarur bo‘lgan issiqlik sarfi kamayadi. Demak, avval ekstraksiya jarayonining o‘tkazilishi, boshlang‘ich eritmani ajratish uchun sarflanadigan issiqlikni tejashga olib keladi.

5.21. «Suyuqlik – suyuqlik» sistemasining muvozanati

Bir suyuqlik fazadan ikkinchisiga tarqaluvchi moddaning o‘tishi muvozanat holati o‘rnatilguncha davom etadi, ya’ni fazalarda kimyoviy potensiallar tenglashgunga qadar. Faraz qilaylik, jarayonda uchta komponent ($K = 3$) va ikkita faza ($\Phi = 2$) qatnashmoqda. Unda, fazalar qoidasiga binoan erkinlik darajasi $C = 3$. Lekin odatda ekstraksiya jarayonida temperatura va bosim bir xil qilib ushlab turiladi. Bunday, ekstraksiyalash sistemasining erkinlik darajasi 1 ga teng bo‘ladi.

Demak, muvozanat holatida bir fazadagi tarqaluvchi modda konsentratsiyasiga, ikkinchi fazadagi ma’lum bir konsentratsiya to‘g‘ri keladi.

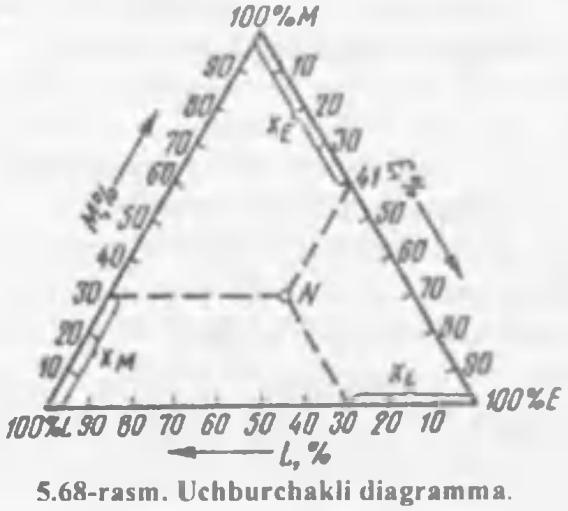
Ekstraksiya jarayonidagi muvozanat tarqalish koeffitsiyenti φ bilan xarakterlanadi, ya’ni ekstrakt va rafinatlardagi tarqaluvchi modda muvozanat konsentratsiyalarning nisbatiga teng.

Bertlo-Nernst qonuniga bo‘ysinadigan suyultirilgan eritma uchun o‘zgarmas temperaturada tarqalish koeffitsiyenti φ, tarqaluvchi modda konsentratsiyasiga bog‘liq emas va $\varphi = y_m/x$, bu yerda y_m, x – ekstrakt va rafinatdagi tarqaluvchi moddaning muvozanat konsentratsiyalari. Bunday hollarda muvozanat to‘g‘ri chiziq ko‘rinishida bo‘ladi:

$$y_м = \varphi \cdot x \qquad (5.142)$$

Odatda, sanoat qurilmalarining tarqalish koeffitsiyenti tajriba yo‘li bilan aniqlanadi.

Agar ikkala suyuqlik fazalar bir - birida erimasa, har bir fazani ikki komponentli eritma deb hisoblasa bo‘ladi. Bunday holatlarda ekstraksiya jarayoni boshqa massa almashinish jarayonlari kabi u-x koordinatalarida tasvirlash mumkin.



5.68-rasm. Uchburchakli diagramma.

Ammo suyuqlik fazalar bir-birida qisman erisa, har bir fazani uch komponentli eritma deb hisoblasa bo‘ladi. Uch komponentli aralashmalar tarkibi uchburchakli koordinatalar sistemasida tasvirlanadi (5.68-rasm).

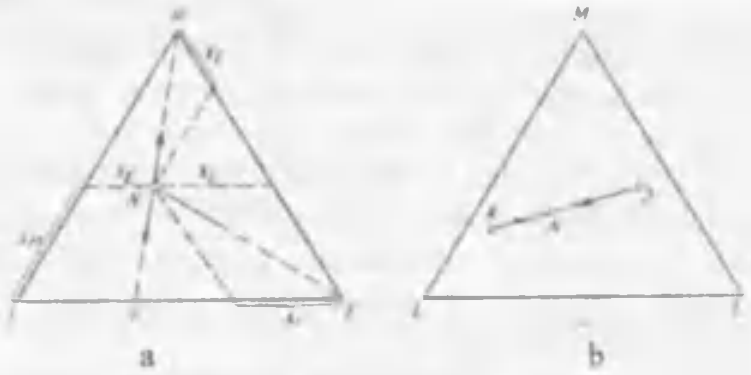
Teng tomonli uchburchakning cho‘qqilari L, M, E larda toza (100% li) komponentlar tarkibi ko‘rsatilgan: boshlang‘ich eritma L, ekstragent E va tarqaluvchi modda M. Uchburchakning tomonlari LM, ME va EL moddalardagi har bir nuqta ikki komponentli eritmani ifodalaydi.

Uchburchak ichki yuzasidagi istalgan nuqta N uch komponentli eritma

tarkibini ko‘rsatadi. Eritma tarkibini aniqlash uchun *N* nuqtadan uchburchak tomonlariga parallel chiziqlar o‘tkaziladi.

Natijada, *N* nuqtaga mos keladigan aralashma tarkibi quyidagicha bo‘ladi: erituvchi *L* = *30%*, ekstragent *E* = *40%* va tarqaluvchi modda *M* = *30%*.

Uchburchakli diagrammada uch komponentli aralashma tarkibida sodir bo‘layotgan o‘zgarishlar tasvirlanadi. Agar *N* nuqta bilan xarakterlanadigan eritmaga tarqaluvchi modda *M* qo‘shilsa, *E* va *L* komponentlar miqdori o‘zgarmaydi. Lekin *M* komponentning qo‘shilish miqdoriga qarab, aralashma tarkibini aniqlovchi miqdor *NM* qirrada bo‘ladi va uchburchakni *M* cho‘qqisiga yaqinlashib boradi (5.69a-rasm).

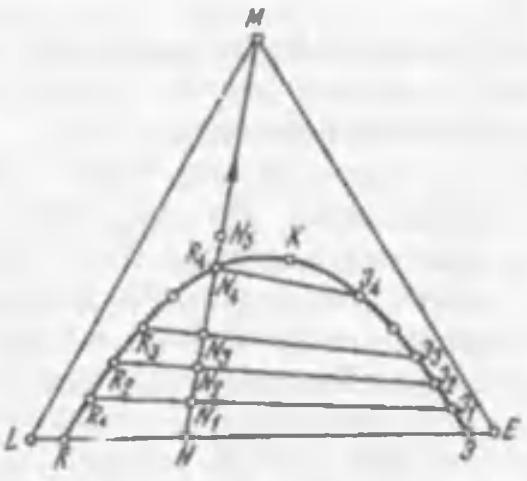


a b

5.69-rasm. Uch komponentli aralashma tarkibi o‘zgarishini uchburchakli diagrammada tasvirlash.

Aralashma *N* dan tarqaluvchi modda *M* ni ajratib olish jarayonida va olingan mahsulot tarkibiga oid nuqta *PM* kesmada yotadi. Lekin, eritma qancha ko‘p suyultirilgan bo‘lsa, u uchburchakning *LE* qirrasiga shuncha yaqin joylashadi.

Tarkibi *N* bo‘lgan aralashmani ekstragent *E* bilan suyultirish *NE* chizig‘i bilan xarakterlanadi.



5.69d-rasm. Uchburchakli diagrammada muvozanat chizig‘ini tasvirlash.

Agar boshlang‘ich aralashma miqdori va tarkibi (*N* nuqta) va uni ekstrakt (*E* nuqta) va rafinat (*R* nuqta) ga ajratgandan keyingi *tarkiblari ma’lum bo‘lsa, uchburchakli diagramma yordamida fazalarning* miqdorlarini (5.69b-rasm) moddiy balans tenglamasidan aniqlash mumkin:

$$R + Э = N$$

bu yerda, *R*, *Э*, *N* – rafinat, ekstrakt va boshlang‘ich aralashma massalari, kg.

Richag qonuniga binoan:

$$\frac{Э}{R} = \frac{R\overline{N}}{Э\overline{N}} \qquad (5.143)$$

Muvozanat chizig‘ini uchburchakli diagrammada tasvirlaymiz. Buning uchun *L* va *E* suyuqlik fazalarida tarqaluvchi modda *M* cheksiz miqdorda eriydi deb qabul qilamiz. Lekin erituvchilar bir-birida cheklanmagan miqdorda eriydi (5.69-rasm).

Bir jinsli ikki komponentli *M* va *L*, hamda *M* va *E* eritmalar tarkibi

diagrammaning *LM* va *EN* qirralarida nuqtalar bilan ifodalanadi. *L* va *E* erituvchilar faqat *LR* va *ЭE* bo'laklardagina bir jinsli eritmalar hosil qiladi. *RЭ* oraliqda erituvchilar aralashmasi bir jinsli, ikki komponentli to'yingan eritmalar qatlamiga ajratiladi: *R* (*E* va *L* ning to'yingan eritmasi) va *Э* (*L* va *E* ning to'yingan eritmasi). Har bir qatlamdagi to'yingan eritmalar soni *N* nuqtaning holati bilan belgilanadi va richag qoidasiga binoan topiladi.

Agar *N* tarkibli aralashmaga *M* modda qo'shilganda, *MN* chiziqda joylashgan N_1 nuqta bilan xarakterlanadigan uch fazali aralashma hosil bo'ladi.

N_1 tarkibli aralashma R_1 va $Э_1$ tarkibli $Э_1N_1/(R_1N_1)$ nisbatda ikki fazaga ajraladi. Agar aralashmaga yana M_2, M_3,... tarqaluvchi moddalar qo'shilsa, N_2, N_3,... tarkibidagi uch fazali aralashmalar hosil bo'ladi va ular muvozanat tarkibli R_2 va $Э_2$, R_3 va $Э_3$ va h. fazalari qatlamlarga ajraladi. Biror N_4 tarkibda fazalarning biri yo'q bo'lib ketgan holgacha muvozanat sarflar nisbati o'zgarib boradi. Undan keyin esa, tarqaluvchi modda *M* ning yana qo'shilishi bilan N_5 tarkibli bir jinsli, uch fazali aralashmalar hosil bo'ladi.

Agar R_1 va $Э_1$, R_2 va $Э_2$, ... lar to'g'ri chiziq bilan birlashtirilsa, muvozanat tarkibga oid $R_1Э_1$, $R_2Э_2$,... muvozanat xordalarini hosil qilamiz. Muvozanat xordalari kritik deb nomlanadigan *K* nuqtada birlashadi. Muvozanat xordalarining og'ish burchagi komponent tabiati va fazalar tarkibi bilan belgilanadi. Agar muvozanat tarkiblar *R*, R_1, R_2,... va *Э*, $Э_1$, $Э_2$,... ni ifodalovchi nuqtalarni ravon, silliq chiziq bilan tutashtirsak, **muvozanat egri chizig'ini** (binodal egri chiziqni) hosil qilamiz. *RK* chiziq *L* erituvchi fazalarining muvozanat tarkibini, *ЭK* chiziq esa – *E* erituvchi fazalarining muvozanat tarkibini xarakterlaydi.

Uchburchakli diagrammadagi binodal egri chiziq ikki (binodal chiziq ostidagi) va bir (binodal chiziq tashqarisidagi) fazali aralashmalarga ajratadi.

5.69d-rasmdagi muvozanat diagrammasi o'zgarmas temperatura uchun qurilgan va u **izoterma** deb nomlanadi.

Sistema muvozanatiga temperatura ham ta'sir ko'rsatadi. Odatda, temperatura o'sishi bilan komponentlarning bir - birida erishi ortadi. Demak, geterogen sistemalar zonasi kamayib boradi. Temperatura ortishi bilan binodal egri chiziq *LE* o'qiga yaqinlashadi va *RKЭ* chiziq ostidagi yuza kamayadi (5.69d-rasm).

5.22. Ekstraksiya jarayonida massa o'tkazish

Ekstraksiya jarayonining kinetik qonunlari massa o'tkazishning asosiy qonunlari bilan belgilanadi.

Fazalar to'qnashish yuzasini oshirish maqsadida ulardan bittasi tomchi holida purkaladi. Natijada, bir suyuqlik faza qurilmaning butun hajmida yaxlit joylashadi, ikkinchisi esa tomchi holida bo'ladi. Fazalarning birinchisi **dispersion**, tomchi holatidagisi esa – **dispers** faza deb nomlanadi.

Shunday qilib, ajratilishi zarur bo'lgan komponent dispersion faza ichidan tomchining yuzasiga, keyin esa, uning tarkibiga yoki tegishli komponent tomchining ichidan chegaraviy (ajratuvchi) yuza orqali dispersion (yaxlit) fazaga o'tadi. Jarayon tezligi fazadan fazaga o'tgan modda miqdori bilan xarakterlanadi.

Tomchi ichida massa o'tkazish asosan molekular va konvektiv diffuziya yo'li bilan ro'y beradi. Tomchi ichida sirkulatsiya hisobiga konveksiya paydo bo'ladi. Jarayon mobaynida tomchining shakli va o'lchami bir necha marta o'zgaradi. Buning oqibatida fazalar orasidagi o'zaro ta'sir yuzasi bir necha bor yangilanadi.

Ekstraksiya jarayonlarida massa almashinishni ifodalash uchun Fikning 2-qonunidan foydalaniladi.

Umumiy holatda, ya'ni dispersion (yaxlit) va dispers fazalardagi diffuzion qarshiliklarni inobatga olmaslikni iloji bo'lmaganda, massaning ikkala fazada tarqalishi hisobga olinadi.

Massa berish koeffitsiyentlarini hisoblashda ushbu formuladan foydalanish mumkin:

$$M = \beta_c \cdot \Delta x_{o'r} \cdot F \qquad (5.144)$$

$$M = \beta_Д \cdot \Delta y_{o'r} \cdot F$$

bu yerda, β_c va $\beta_Д$ – dispersion va dispers fazalardagi massa berish koeffitsiyenti.

Ushbu koeffitsiyentlar quyidagi kriterial formulalardan topiladi:

$$Nu_c = 1{,}13 \cdot Pe_Д^{0{,}5}$$

$$Nu_Д = 3{,}75 \cdot 10^{-3} \cdot Pe_Д \qquad (5.145)$$

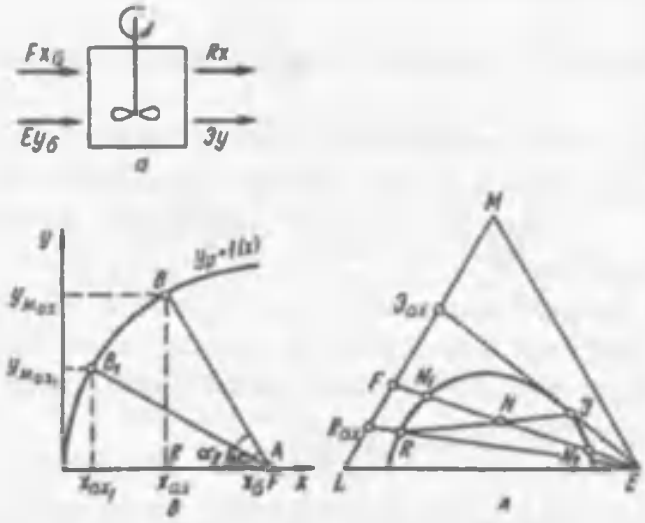
bu yerda, $Nl_c = \beta_c \cdot d/D_c$ – dispersion faza uchun Nusselt kriteriysi; $Pe_c = wd/D_c$ – dispersion faza uchun Pekle kriteriysi; D_c – dispersion fazadagi diffuziya koeffitsiyenti, m^2/s; d – tomchi diametri, m; w – tomchining dispersion fazadagi tezligi, m/s; $Nu_Д = \beta_Д \cdot d/D_Д$ – dispers faza uchun Nusselt kriteriysi; $D_Д$ – dispers fazadagi diffuziya koeffitsiyenti, m^2/s.

Massa o'tkazish koeffitsiyentlari quyidagi tenglamalardan aniqlanadi:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_Д} + \frac{\varphi}{\beta_c}}; \qquad K_x = \frac{1}{\frac{1}{\varphi\beta_Д} + \frac{1}{\beta_c}} \qquad (5.146)$$

Agar hamma diffuzion qarshilik faqat dispersion fazada mujassam bo'lsa, (5.146) tenglama $K_x = \beta_c$ ko'rinishga kelib qoladi.

Agar hamma diffuzion qarshilik faqat dispers fazada bo'lsa, ya'ni tomchining ichida, (5.146) tenglama $K_y = \beta_Д$ ko'rinishni oladi.



5.70-rasm. Bir pog'onali ekstraksiya (a) va jarayonni u-x koordinatlarida (b) va uchburchakli (v) diagrammada tasvirlash.

Unda, massa o'tkazishning asosiy tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$M = K_x \cdot \Delta x_{o'r} \cdot F$$

$$M = K_y \cdot \Delta y_{o'r} \cdot F \qquad (5.147)$$

5.23. Ekstraksiya jarayonini tashkil etish usullari

Sanoat miqyosida davriy va uzluksiz ekstraksiya jarayoni quyidagi sxemalar asosida tashkil etiladi: bir pog'onali, ko'p pog'onali qarama-qarshi yo'nalishli va ko'p pog'onali o'zaro kesishgan yo'nalishli.

Bir pog'onali ekstraksiya asosan ajratish koeffitsiyentining qiymati juda katta bo'lgan hollarda ishlatiladi. Bu sxema davriy yoki uzluksiz bo'lishi mumkin (5.70a-rasm).

Aralashtirgichli qurilmaga boshlang'ich eritma F, konsentratsiyasi x_b bo'lgan L (kg) miqdordagi erituvchi va ekstragent E yuklanadi. So'ng, aralashtirgich yordamida ular aralashtiriladi va ikki qatlamga ajratiladi, ya'ni ekstrakt $Э$ va rafinat R ga.

Emulsiyalarni ajratish uchun tindirgich va qiyin ajratiladigan emulsiyalar uchun esa separatorlar ishlatiladi.

Bir pog'onali ekstraksiya jarayonini uchburchakli va to'g'ri burchakli diagrammalarda ko'rib chiqamiz (5.70b,d-rasm).

Boshlang'ich eritma aralashtirilganda uch komponentli aralashma hosil bo'ladi va uning tarkibi aralashtirish chizig'i FE da joylashgan N nuqta bilan xarakterlanadi. Aralashmani ajratish natijasida ekstrakt va rafinatga bo'linadi. Ularning tarkibi N nuqta orqali o'tadigan, muvozanat xordasida yotuvchi R va $Э$ nuqtalar bilan belgilanadi. Ekstragent modulini richag qoidasiga binoan topish mumkin:

$$\frac{E}{F} = \frac{\overline{FN}}{\overline{EN}}$$

Rafinat miqdorini esa, $$R = \frac{N\overline{Э}\overline{N}}{\overline{R}\overline{Э}}$$

Ekstrakt miqdorini esa: $$Э = N - R = N \cdot \left(\frac{\overline{RN}}{\overline{R}\overline{Э}} \right)$$

Rafinat tarkibini uchburchakning LM tomonidagi nuqta R_k, ekstraktnikini esa – $Э_k$ belgilaydi. Agar fazalar bir-birida erimaydigan bo'lsa, bir pog'onali ekstraksiya jarayoni y-x diagrammada AB to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi. Ushbu to'g'ri chiziq og'ish burchagining tangensi boshlang'ich eritma va erituvchi og'irliklari nisbatiga tengdir:

$$\frac{L}{E} = \frac{\overline{BR}}{\overline{R}\overline{F}} = tg\alpha$$

Agar erituvchi miqdori oshirilsa, istalgan tozalik darajali rafinat olish mumkin. Lekin ekstraktning to'yinish chegarasi y_{ax} bilan belgilanadi.

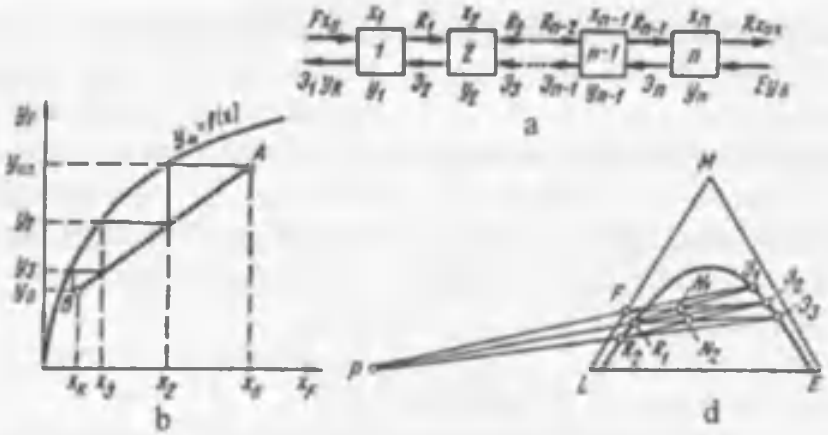
Ikkala diagrammadan ko'rinib turibdiki, bir pog'onali ekstraksiya natijasida olingan rafinat va ekstrakt tarkiblari muvozanatda bo'ladi va boshlang'ich tarkibdan kam farq qiladi. Shuning uchun, bu jarayon samaradorligi past bo'ladi va keng qo'llanilmaydi.

Jarayon samaradorligini oshirish uchun uni bir necha marta qaytarish kerak va har gal yangi erituvchi uzatish zarur.

Ko'p pog'onali ekstraksiya ko'p seksiyali ekstraktorlarda o'tkaziladi. Bunday qurilmalarda fazalar yo'nalishi qarama-qarshi, o'zaro kesishgan yoki kombinatsiyalashgan bo'lishi mumkin.

Qarama-qarshi yo'nalishli ekstraksiya jarayoni turli sxemalarda amalga oshirilishi mumkin (5.71a-rasm).

Ko'p pog'onali ekstraksiya qurilmalarida boshlang'ich eritma F va ekstragent E qurilmaning qarama-qarshi uchlaridan yuboriladi. Tarqaluvchi komponent konsentratsiyasi to'yinishga yaqin bo'lgan ekstrakt birinchi pog'onada x_6 konsentratsiyali F boshlang'ich eritma bilan o'zaro to'qnashuvda bo'ladi. Bu komponentli aralashma birinchi pog'onada ajratilgandan so'ng, $y_1 = y_{ax}$ konsentratsiyali ekstrakt va x_1 konsentratsiyali rafinat olinadi.



5.71-rasm. Ko'p pog'onali ekstraksiya (a) va jarayonni y - x (b) va uchburchakli (d) diagrammada tasvirlash.

Tarkibi x_1 bo'lgan rafinat qurilmaning ikkinchi pog'onasida $Э_3$ tarkibli ekstrakt bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. Ajratilgandan so'ng, R_2 tarkibli rafinat va $Э_2$ ekstrakt hosil bo'ladi. Ekstraktorning n - pog'onasida konsentratsiyasi x_{n-1} bo'lgan R_{n-1} rafinat yangi $y_0=y_n$ konsentratsiyali, ya'ni nolga yaqin ekstragent E bilan to'qnashishda bo'ladi. Qurilmadan chiqishda tozalangan eritma olinadi. Ko'p pog'onali ekstraksiya jarayoni $y - x$ diagrammada ko'rsatilgan.

Ekstraksiya jarayonining moddiy balansi ushbu ko'rinishga ega:

$$L \cdot (x_b - x_{ox}) = E \cdot (y_{ox} - y_b) \qquad (5.148)$$

(n-1) – seksiya uchun $\quad L \cdot (x_b - x_{n-1}) = E \cdot (y_{ox} - y_b)$

Bundan, qarama-qarshi yo'nalishli jarayon ishchi chizig'ining tenglamasini keltirib chiqarish mumkin:

$$y_b = \frac{L}{E}(x_{n-1} - x_b) + y_{ox} \qquad (5.149)$$

Ushbu tenglama og'lsh burchagining tangensi bo'lib, to'g'ri chiziqni ifodalovchi tenglamadir:

$$tg\alpha = \frac{L}{E}$$

Fazalar to'qnashish pog'onalarining soni A $(x_b y_{ox})$ va B $(x_o x_{yb})$ nuqtalari orasidagi pog'onalar soni bilan aniqlanadi.

Kinetik chiziq o'rni qurilmadagi gidrodinamik holat va ajratib olish koeffitsiyenti bilan belgilanadi.

Ekstraksiya jarayonining tasviri 5.71d-rasmda keltirilgan.

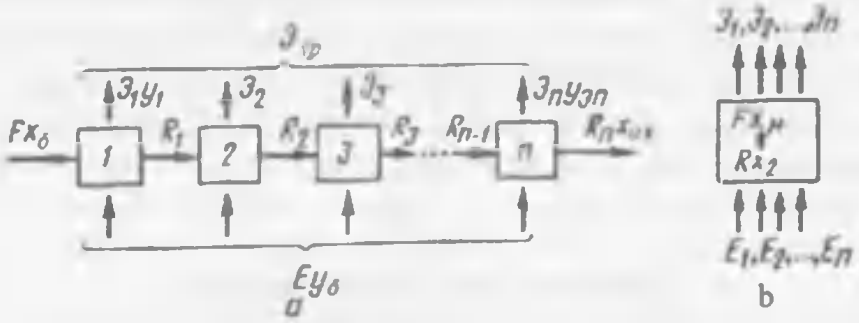
Ekstraksiya qurilmasining birinchi seksiyasida boshlang'ich eritma F ikkinchi pog'onadan tushayotgan ekstrakt $Э_2$ bilan o'zaro to'qnashuvda bo'ladi. Natijada, uch fazali N_1 nuqtali aralashma hosil bo'ladi. Ushbu aralashma separatorda ajratilishi tufayli muvozanatda bo'lmagan tarkibli ekstrakt $Э_1$ va rafinat R_1 lar olinadi.

Ikkinchi pog'onadagi rafinat R_1 uchinchi pog'onadan tushayotgan ekstrakt $Э_3$ bilan o'zaro ta'sirda bo'lib, uch fazali N_2 aralashma hosil qiladi. O'z navbatida u R_2 va $Э_2$ ajraladi.

Fazalarni seksiyaga kirishi va chiqishidagi tarkiblariga oid ikki nuqtalarni $FЭ$, $R_1Э_2$, $R_2Э_3$ va hokazo chiziqlar bilan birlashtirib, ularning kesilish nuqtasi P ni topamiz.

Ekstraktorning boshqa seksiyalarida ham xuddi shunday jarayonlar sodir bo'ladi.

Natijada, boshlang'ich eritma qurilmaning oxirgi n - seksiyasidan x_{ox}, ekstragent esa – y'_{ox} konsentratsiya bilan chiqadi.



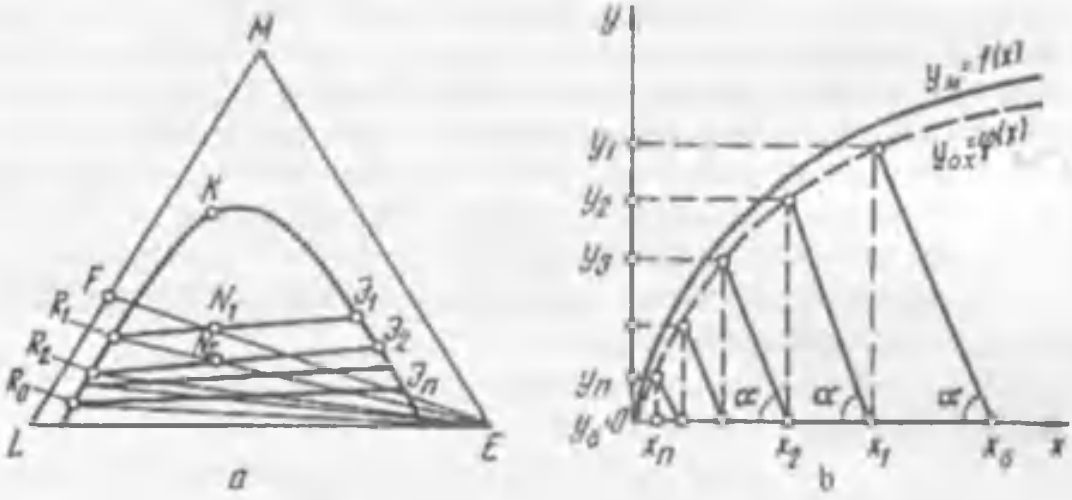
5.72-rasm. Ko'p pog'onali, oqimlar yo'nalishi o'zaro kesishgan ekstraksiyalash sxemasi.

Oqimlar yo'nalishi o'zaro kesishgan ekstraksiya jarayonida bir seksiyada davriy (5.72a-rasm) yoki bir necha seksiyada uzluksiz (5.72b-rasm) amalga oshirilishi mumkin.

Ekstraksiyalash jarayoni uzluksiz bo'lganda boshlang'ich eritma F birinchi seksiyada ekstragent E bilan birga to'qnashuvda bo'ladi. Undan so'ng, ajratilish natijasida rafinat R_1 va ekstrakt $Э_1$ lar hosil bo'ladi. Keyin, rafinat R_1 ikkinchi seksiyaga o'tadi va u yerda yana yangi ekstragent E bilan qayta ishlanadi. $Э_1$ va $Э_2$ ekstraktlar qurilmadan chiqariladi, R_2 tarkibli rafinat esa keyingi seksiyaga o'tadi va jarayon yana qaytariladi. Natijada, zarur tarkibli rafinat R_n va o'zgaruvchan tarkibli $Э_1$, $Э_2$, ... $Э_n$ ekstrakt olinadi.

Uzluksiz, ko'p marotabalik ekstraksiyalash jarayoni 5.73-rasmda keltirilgan.

Boshlang'ich eritma va ekstragent aralashtirilishi natijasida uch fazali aralashma



5.73-rasm. O'zaro kesishgan yo'nalishli ko'p pog'onali ekstraksiya jarayonini uchburchakli diagramma (a) va u-x koordinatlarda (b) tasvirlash.

(N_1 nuqta) hosil bo'ladi va u birinchi seksiyada rafinat R_1 va ekstrakt $Э_1$ ga ajraladi. Ikkinchi seksiya R_2 tarkibli rafinat yangi ekstragent E bilan aralashtiriladi. Uch fazali aralashma (R_1E kesmadagi N_2 nuqta) rafinat R_2 va ekstrakt $Э_2$ larga ajraladi. So'ng, rafinat keyingi seksiyaga o'tadi.

Tozalangan, x_{ox} konsentratsiyali eritma qurilmaning oxirgi seksiyasidan chiqariladi va texnologik jarayonning keyingi bosqichiga uzatiladi. Ekstrakt esa qayta tiklanadi yoki oqova suv sifatida *utilizatsiya* qilinadi.

Qarama - qarshi yo'nalishli ko'p pog'onali ekstraksiya o'zaro kesishgan yo'nalishli jarayonga qaraganda ancha samarali. Chunki, qarama-qarshi yo'nalishli ekstraksiyalashda o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch miqdori ko'proq bo'ladi.

Qurilmaning tepa va pastki qismlaridagi o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch tenglashishi hisobiga eritma tarkibidan komponentni to'laroq ajratib olishga erishiladi. Undan tashqari, ekstraksion modul qiymati kamayadi, lekin bir xil tozalash darajasiga erishish uchun kerakli pog'onalar soni ko'payadi.

5.24. Ekstraktorlar konstruksiyalari

Ma'lumki, ekstraksiyalash jarayonlarida massa o'tkazishning samaradorligi massa berish yuzasi va o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchga to'g'ri proporsional. Ekstraktorlarda massa almashinish yuzasini oshirish maqsadida suyuq fazalardan biri tomchi holida purkaladi. Dispers va dispersion fazalar o'rtasida massa o'tkazish jarayoni sodir bo'ladi. Ekstraktorda yuqori harakatga keltiruvchi kuchga erishish uchun jarayondagi oqimlar ideal siqib chiqarish sharoitida o'zaro to'qnashishi tashkil etiladi. Buning uchun ekstraksiyalash jarayoni yupqa qatlamda nasadkali, markazdan qochma ekstraktorlarda ularni seksiyalash yoki ko'p pog'onali seksiyalangan qurilmalarda olib boriladi.

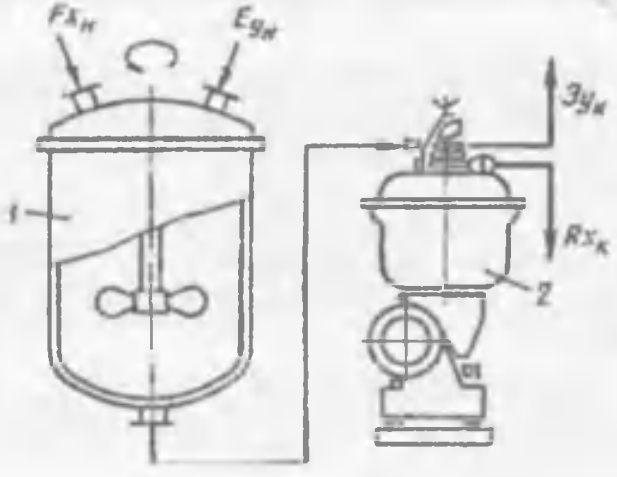
Jarayon tashkil etilishiga qarab ekstraktorlar davriy va uzluksiz prinsipda ishlaydigan bo'ladi.

Jarayonda qatnashayotgan fazalar to'qnashuviga qarab ekstraktorlar 3 guruhga bo'linadi: aralashtirib - tindiruvchi; differensial kontaktli va pog'onali yoki seksiyali.

Aralashtirib - tindiruvchi ekstraktorlar bir necha pog'onadan iborat bo'lib, ulardan har biri tarkibida aralashtirgich va ajratgich bo'ladi. Tashqaridan berilayotgan energiya hisobiga aralashtirgichda suyuqlik fazalaridan biri tomchi holida purkaladi va natijada dispersion faza hosil bo'ladi. Tomchi holidagi dispersion faza dispers fazada tarqaladi. Dispers faza sifatida yengil faza ham yoki og'ir faza ham bo'lishi mumkin.

Ajratgich sifatida tindirgichni ham ishlatish mumkin. Zamonaviy qurilmalarda esa uning o'rniga separator ishlatiladi. Separatorda emulsiya rafinat va ekstraktga ajratiladi. Eng sodda aralashtirib-tindiruvchi ekstraktor sxemasi 5.74-rasmda keltirilgan.

Bir nechta aralashtirib - tindiruvchi qurilmalarni seksiyalarga ulash natijasida turli ekstraksion qurilmalarni hosil qilish mumkin.



5.74-rasm. Aralashtirib - tindiruvchi ekstraksiya qurilmasi.
1 - ekstraktor; 2 - separator.

Lekin ushbu sxemaning bir qator kamchiliklari bor: qo'pol, ko'p joy egallaydi, metall va energiya sarfi ko'p.

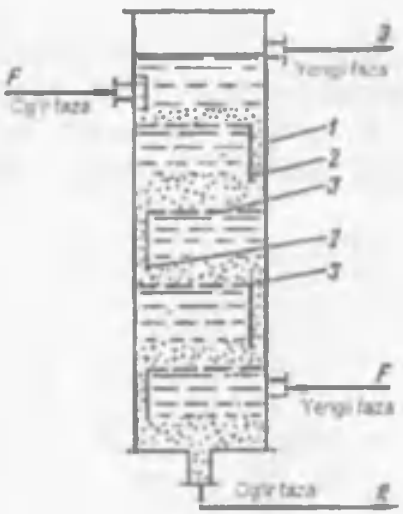
Differensial - kontaktli ekstraktorlar fazalar o'rtasidagi to'qnashishni uzluksiz va ulardagi konsentratsiyalarning asta - sekin, uzluksiz o'zgarishini ta'minlaydi. Bu turdagi qurilmalarda fazalarning bo'ylama siljishi hisobiga ideal siqib chiqarish qurilmasiga qaraganda o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch birmuncha past bo'ladi.

Undan tashqari, suyuq fazani purkash uchun ham energiya sarflanishi zarur. Ekstraktorda energiya sarflanish turiga qarab, tashqi energiya hisobiga va bunday energiyasiz qurilmalarga bo'linadi. O'zaro ta'sirda bo'lgan fazalarga tashqi energiya aralashtirgich, tebratgich va pulsatorlar yordamida uzatiladi.

Pog'onali (seksiyali) ekstraktorlar alohida seksiyalardan tarkib topgan bo'lib, ularda fazalar konsentratsiyalari notekis, sakrab-sakrab o'zgaradi. Ayrim hollarda har bir seksiyada konsentratsiyalar maydoni ideal siqib chiqarish qurilmasiga yaqinlashib qoladi. Shunday bir necha seksiyadan tashkil bo'lgan ekstraktor ideal siqib chiqarish qurilmasi deb hisoblanishi mumkin.

Kolonnali ekstraktorlar tarelkali, ichi bo'sh kolonna, nasadkali, pulsatsiyali va rotor-diskli bulishi mumkin.

Tarelkali ekstraktorlar turli konstruksiyadagi elaksimon tarelka va quyilish moslamasi bor kolonnali qurilmadir (5.75-rasm). O'zaro qarama - qarshi yo'nalishdagi fazalar oqimlarining har bir tarelkada to'qnashishi tufayli ro'y beradi. Fazalardan biri tarelka teshiklari orqali o'tib mayda tomchilarga parchalanadi. Yaxlit faza tarelka bo'ylab harakatlanadi va quyilish patrubkasi orqali keyingi tarelkaga o'tadi va jarayon shu yo'sinda qaytariladi.



5.75-rasm. Tarelkali ekstraktor.
1 – silindrik qobiq;
2 – quyilish moslamasi;
3 – elaksimon tarelka.

Mayda tomchi holatidagi suyuqlik dispers faza deb, qurilmaning butun hajmini egallagan suyuqlik esa, **dispersion** (yaxlit) faza deb nomlanadi.

Tarelkada tomchilar birlashib, uning osti yoki ustida yaxlit suyuqlik qatlamini hosil qiladi. Qurilmani seksiyalash, jarayonni harakatga keltiruvchi kuchni ortishiga olib keladi.

Tarelka teshiklaridagi dispers fazaning tezligi oqimchali rejim hosil bo'lish shartidan aniqlanadi. Tomchili rejimdan oqimchali rejimga o'tish paytidagi kritik tezlik tarelka teshiklariga bog'liq, ya'ni:

$$w_{kr} = \frac{4,4}{d_0} \qquad (5.150)$$

Turg'un oqimchali rejimda ekstraktor samarali ishlashi uchun tezlik kritik tezlikdan 20% ko'p bo'lishi kerak.

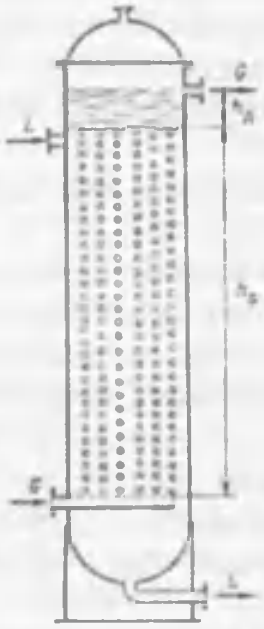
Dispers fazadagi massa berish koeffitsiyentini aniqlash uchun quyidagi formulani tavsiya etish mumkin:

$$Nu_d = 0,064\, Re^{0,84} \cdot Pr_d^{0,5} \qquad (5.151)$$

bu yerda, $Nu_d = \beta_d d/D_d$ – diffuzion Nusselt kriteriysi (β_d–dispers fazadagi massa berish koeffitsiyenti); d,– tomchining ekvivalent diametri; D_d – dispers fazadagi diffuziya koeffitsiyenti); $Re = w_{max} d/\nu_c$ – tomchi uchun Reynolds kriteriysi (w_{max} – yaxlit fazadagi tomchining nisbiy tezligi; ν_c – yaxlit fazaning kinematik qovushoqligi); $Pr_d = \nu_d/D_d$ – dispers faza uchun Prandtl kriteriysi (ν_d – dispers fazaning kinematik qovushoqligi).

Ichi bo'sh (purkovchi) kolonnalar. Bu turdagi ekstraktorlar og'ir suyuqlik L bilan to'ldiriladi va u biror w_c tezlik bilan qurilmada harakatlanib, to'kish shtuseridan chiqib ketadi (5.76-rasm). Yengil faza G qurilmaga purkagich orqali tomchi holatida uzatiladi va pastga qarab w_d tezlik bilan tushadi.

Ekstraktorning tepa qismida tomchilar birlashadi va yaxlit suyuqlik qatlami hosil bo'ladi va u qurilmaning tepa shtuseri orqali chiqib ketadi.

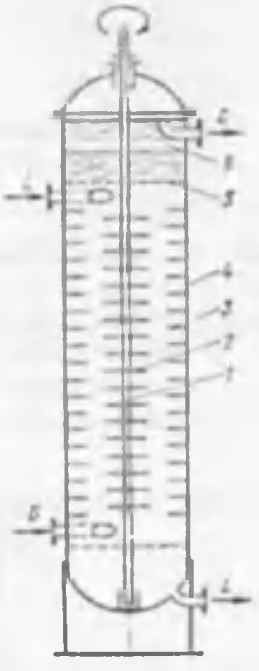


5.76-rasm. Ichi bo'sh (purkovchi) ekstraktor.

Tomchining nisbiy harakat tezligi w_o ni rejimga qarab cho'kish tezligi tenglamasi (3.21) orqali topish mumkin. Qurilma devoriga nisbatan tomchilar siljishining tezligi nisbiy w_o tezlik va yaxlit faza harakatining chiziqli tezligi w_c ning farqi sifatida aniqlash mumkin:

$$w_{Ц} = w_0 - w_c$$

Agar dispers (yaxlit) faza bo'yicha qurilmaning yuklamasi ortib ketsa, tomchilar tezligi $w_d = 0$ bo'lgan hol sodir bo'lishi mumkin. Bunday hollarda qurilmada dispers faza yig'ilib qoladi. Ekstraktorning ishchi zonasida dispers fazaning yig'ilishi, uning o'tish yo'lini torayishiga olib keladi. Natijada, ushbu fazaning tezligi ortib ketadi va u ishchi zonadan dispers faza tomchilarini olib chiqa boshlaydi. Fazalarning qarama-qarshi harakati buziladi va ekstraktor tiqila boshlaydi.



5.77-rasm. Rotor - diskli ekstraktor. 1-o'q; 2- aylanuvchi disk; 3- qo'zg'almas halqasimon to'siqlar; 4- qobiq; 5-teshikli panjara; 6- ajratuvchi kamera.

Mexanik aralashtirgichli, kolonnali ekstraktorlar. Agar dispers va dispersion fazalar zichliklarining farqi juda kam (< 100 kg/m^3) va fazalar orasidagi sirtiy taranglik katta bo'lsa, rotor - diskli ekstraktorlar qo'llaniladi (5.77-rasm).

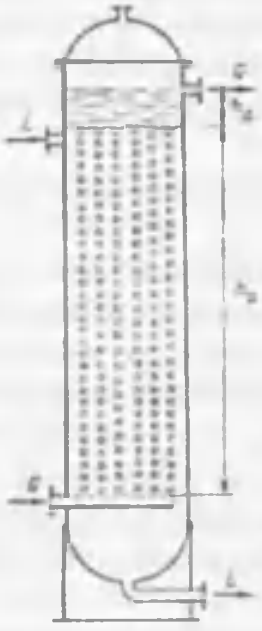
Mexanik aralashtirgich diskli, turbinali, parrakli va hokazo bo'lishi mumkin. Lekin kimyo va oziq-ovqat mashinasozligida asosan rotor - diskli ekstraktorlar ishlab chiqariladi.

Bu turdagi ekstraktorning o'qi bo'ylab rotor - o'q 1 aylanadi va unga aylanuvchi

bu yerda, $Nu_d = \beta_d d/D_d$ – diffuzion Nusselt kriteriysi (β_d–dispers fazadagi massa berish koeffitsiyenti); d,– tomchining ekvivalent diametri; D_d – dispers fazadagi diffuziya koeffitsiyenti): $Re = w_{max} d/\nu_c$ – tomchi uchun Reynolds kriteriysi (w_{max} – yaxlit fazadagi tomchining nisbiy tezligi; ν_c – yaxlit fazaning kinematik qovushoqligi); $Pr_d = \nu_d/D_d$ – dispers faza uchun Prandtl kriteriysi (ν_d – dispers fazaning kinematik qovushoqligi).

Ichi bo'sh (purkovchi) kolonnalar. Bu turdagi ekstraktorlar og'ir suyuqlik L bilan to'ldiriladi va u biror w_c tezlik bilan qurilmada harakatlanib, to'kish shtuseridan chiqib ketadi (5.76-rasm). Yengil faza G qurilmaga purkagich orqali tomchi holatida uzatiladi va pastga qarab w_0 tezlik bilan tushadi.

Ekstraktorning tepa qismida tomchilar birlashadi va yaxlit suyuqlik qatlami hosil bo'ladi va u qurilmaning tepa shtuseri orqali chiqib ketadi.

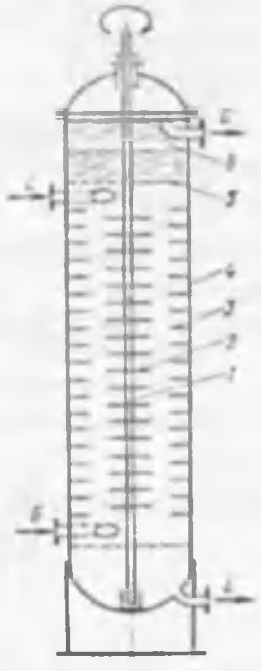


5.76-rasm. Ichi bo'sh (purkovchi) ekstraktor.

Tomchining nisbiy harakat tezligi w_0 ni rejimga qarab cho'kish tezligi tenglamasi (3.21) orqali topish mumkin. Qurilma devoriga nisbatan tomchilar siljishining tezligi nisbiy w_0 tezlik va yaxlit faza harakatining chiziqli tezligi w_c ning farqi sifatida aniqlash mumkin:

$$w_{Д} = w_0 - w_c$$

Agar dispers (yaxlit) faza bo'yicha qurilmaning yuklamasi ortib ketsa, tomchilar tezligi $w_d = 0$ bo'lgan hol sodir bo'lishi mumkin. Bunday hollarda qurilmada dispers faza yig'ilib qoladi. Ekstraktorning ishchi zonasida dispers fazaning yig'ilishi, uning o'tish yo'lini torayishiga olib keladi. Natijada, ushbu fazaning tezligi ortib ketadi va u ishchi zonadan dispers faza tomchilarini olib chiqa boshlaydi. Fazalarning qarama-qarshi harakati buziladi va ekstraktor tiqila boshlaydi.



5.77-rasm. Rotor - diskli ekstraktor.
1-o'q; 2- aylanuvchi disk; 3- qo'zg'almas halqasimon to'siqlar; 4- qobiq; 5-teshikli panjara; 6- ajratuvchi kamera.

Mexanik aralashtirgichli, kolonnali ekstraktorlar. Agar dispers va dispersion fazalar zichliklarining farqi juda kam (< 100 kg/m^3) va fazalar orasidagi sirtiy taranglik katta bo'lsa, rotor - diskli ekstraktorlar qo'llaniladi (5.77-rasm).

Mexanik aralashtirgich diskli, turbinali, parrakli va hokazo bo'lishi mumkin. Lekin kimyo va oziq-ovqat mashinasozligida asosan rotor - diskli ekstraktorlar ishlab chiqariladi.

Bu turdagi ekstraktorning o'qi bo'ylab rotor - o'q 1 aylanadi va unga aylanuvchi

disk 2 lar o'rnatilgan bo'ladi. O'q 1 ning aylanishi natijasida fazalar yaxshi aralashadi. Halqasimon to'siqlar kolonna 3 ni bir nechta seksiyalarga bo'ladi. Disklar har bir seksiyaning o'rtasida aylanadi.

Qarama - qarshi yo'nalishda harakatlanayotgan ***L*** va ***G*** fazalar aylanuvchi disk 2 lar yordamida kolonna balandligi bo'ylab aralashtiriladi va halqasimon to'siqlar 3 atrofida qisman qatlamlarga ajraladi. Agar og'ir faza ***L*** yaxlit faza vazifasini o'tasa, qurilmaning tepa qismida, ya'ni teshikli panjara 5 ning yuqorisida yengil faza yaxlit fazadan to'liq ajraladi. So'ngra, ajralgan faza tegishli shtuser orqali tashqariga chiqariladi. Og'ir faza esa, kolonnaning pastki qismidan olinadi.

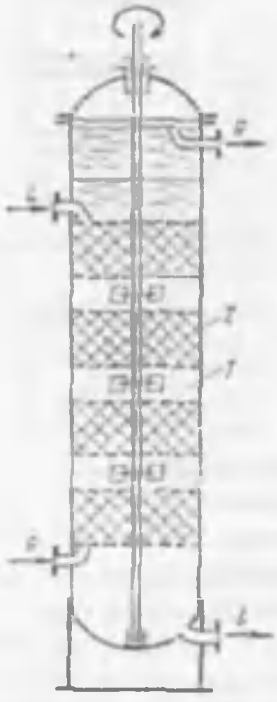
Fazalarga ajratish jarayonining samaradorligini oshirish uchun 5.78-rasmda ko'rsatilgan ekstraktorlar ishlatiladi.

Bunday qurilmalarning aralashtirish seksiyalari 1 oralig'ida tindirish zonalari 2 joylashgan bo'ladi. Ikki fazali oqimni ajratish jarayonini jadallash uchun zonyoa 2 simli to'r, nasadka yoki konsentrik silindr bloklari bilan to'ldiriladi. Bu turdagi kolonnalar vertikal yoki ma'lum og'ish burchagi ostida o'rnatilishi mumkin.

Mexanik aralashtirgichli, kolonnali ekstraktorlar diametri quyidagi formuladan topiladi:

$$D = \sqrt{\frac{G/\rho_G + L/\rho_L}{900\pi(q_d + q_{yo})_{opt}}} \qquad (5.152)$$

bu yerda, q_d, q_{yo} – dispers va yaxlit faza bo'yicha solishtirma yuklama, $m^3/(m^2 \cdot s)$.



5.78-rasm. Aralashtirgichli va ajratuvchi zonali, kolonnali aralashtirib - tindiruvchi ekstraktor.

Lekin ushbu formulaga qurilmaning ko'ndalang kesimiga tushayotgan yuklamalar yig'indisini ham kiritish uning aniqligini oshiradi.

Qurilmaning balandligi esa ushbu formuladan aniqlanadi:

$$H = h_e \cdot N = \frac{h_e \cdot m_y}{m_{yo}} \qquad (5.153)$$

bu yerda. h_e – seksiya balandligi, m; N – qurilmadagi seksiyalar soni; m_n – bitta seksiyaning uzatish birligi soni.

Aralashmani ekstrakt va rafinatga sifatli ajratish uchun ekstraktorning yuqori va pastki qismlarida separatsion (tindirish) seksiyalari bor.

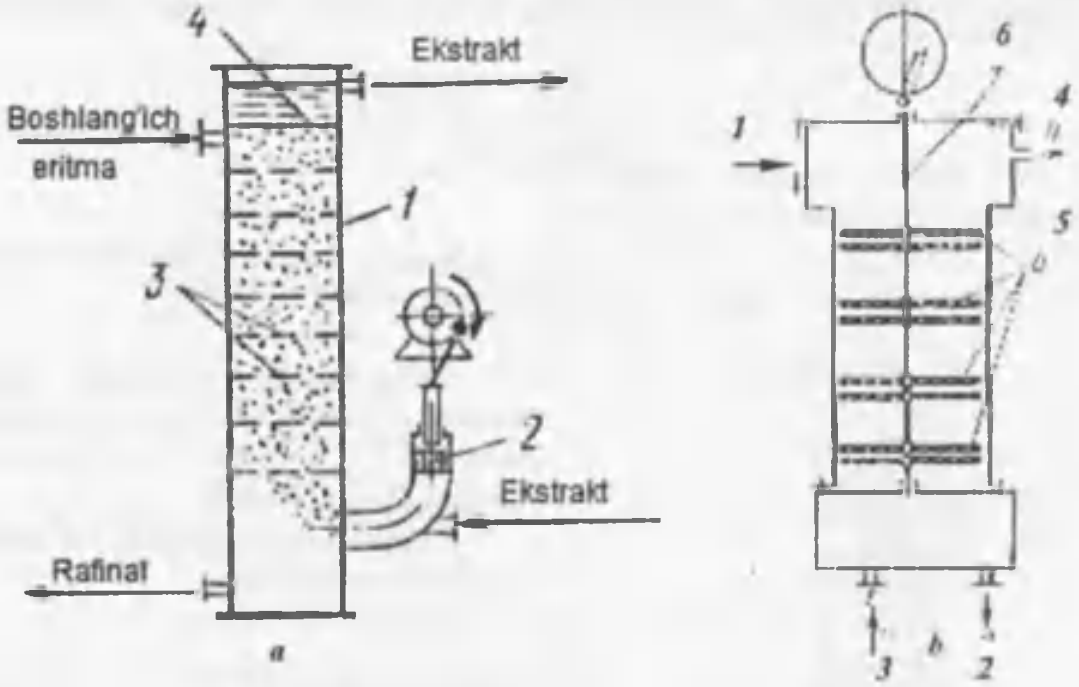
Nasadkali, elaksimon va boshqa turdagi ekstraktorlar samaradorligini oshirish uchun qarama - qarshi yo'nalgan oqimlarga bo'ylama tebranish ta'sir ettirish kerak. Tebranish (pulsatsiya) larning amplitudasi va chastotasi yetarli miqdorda bo'lsa, suyuqlik o'ta kichik tomchilar o'lchamida purkaladi va ikkala fazalar aralashish intensivligi ortadi. Tebranishlar asosan pulsatsiya va vibratsiyali usullarda tashkil etish mumkin.

5.79a-rasmda pulsatsiyali ekstraktor sxemasi ko‘rsatilgan. Bunda yengil fazaning kirish yo‘liga gidravlik yoki pnevmatik pulsator o‘rnatilgan. Suyuqlik oqimiga ilgarilama - qaytma harakat berish uchun klapansiz porshen, plunjer yoki membranali nasosdan hamda maxsus pnevmatik moslamadan foydalanish mumkin.

Pulsatsiya tebranishlari ta’siri ostida suyuqlik oqimining turbulentligi va fazalarning tomchilarga parchalanishi ortadi. Bu hol o‘z navbatida tarelkali yoki nasadkali ekstraktorlarda massa almashinish jarayonining o‘sishiga olib keladi.

Pulsatsiyali ekstraktorning ishlash rejimi pulsatsiyalar intensivligiga bog‘liq bo‘lib, amplitudaning chastotaga ko‘paytmasi bilan xarakterlanadi.

Agar pulsatsiya intensivligi kichik bo‘lsa, yengil faza og‘ir fazada yoki og‘ir faza yengilda galma-gal tarqaladi. Agar pulsatsiya intensivligi katta bo‘lsa, kolonnaning ishchi zonasi yaxlit fazaga qarama - qarshi yo‘nalishda harakat qilayotgan mayda tomchilar bilan bir tekisda to‘lib turadi. Bunday rejim pulsatsiyali ekstraktorning optimal rejimi hisoblanadi.



5.79-rasm. Pulsatsiyali (a) va tebranuvchi tarelkali (b) ekstraktorlar.
a) 1 - kolonna; 2 - porshenli pulsator; 3 - tarelka;
4 - tindirish zonasidagi fazalarni ajratuvchi yuza.
б) 1,2 - og‘ir fazaning kirish va chiqish shtuserlari;
3,4 - yengil fazaning kirish va chiqish shtuserlari;
5 - elaksimon tarelka; 6 - shtok.

Tebranishlar amplitudasi siqilgan havoning bosimi bilan belgilanadi. Pulsatsiyalar chastotasi odatda minutiga 30...250, amplitudasi esa – 2...25 mm ni tashkil etadi.

Agar pulsatsiyalar intensivligi yanada oshirilsa, ekstraktorda tiqilib qolish hodisasi ro‘y beradi.

Pulsatsiyali ekstraktorlar kolonnasidagi butun suyuqlikni tebratish uchun energiya sarfi katta, ko‘ndalang kesim bo‘yicha oqim tezliklar bir xil emasligi va kavitatsiya hodisa hosil bo‘lishi mumkinligi hamda qurilmaning ayrim bo‘laklarida xavfli kuchlanishlar barpo bo‘lishi – bu turdagi ekstraktorlarning kamchiliklaridir.

Bir dasta elaksimon tarelkalar tebranishi tufayli kolonnadagi suyuqlikka tebranish berish, pulsatsiyali usulga nisbatan samarasi yuqori bo‘lib chiqdi (5.79b-rasm).

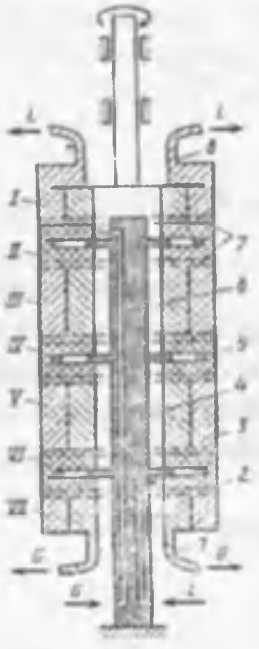
Bu turdagi qurilmalarda tarelka 5 lar shtok 6 da o'rnatiladi va shtok ilgarilama - qaytma harakat qiladi. Bunday harakat suyuqlikka tebranishlar beradi va jarayon intensivlashadi.

Pulsatsiya va vibratsiyali ekstraktorlarda massa almashinish intensivligi rotor - diskli qurilmanikiga qaraganda ancha yuqori. Bunga sabab, massa berish va o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchning kattaligidir. Undan tashqari, solishtirma yuklama 30...80 $m^3/(m^2 \cdot soat)$. Bu ko'rsatkich boshqa ekstraktorlar uchun ruxsat etilgan yuklamadan ancha ortiq.

Yana bir afzalligi shundaki, qurilmada yuqori massa alamashinishga erishilgani uchun, metall va kapital sarflar kamayadi.

Lekin pulsatsiya va vibratsiyali ekstraktorlar kamchiliklardan holi emas. Masalan, ular katta dinamik yuklamaga bardosh beradigan og'ir poydevorlarga o'rnatilishi zarur. Undan tashqari, boshqa ekstraktorlarga qaraganda ekspluatatsion sarflar ham birmuncha ko'proq.

Markazdan qochma ekstraktorlar. Agar ekstraksiyalanayotgan modda parchalanib ketish xususiyatiga ega bo'lsa, jarayonning davomiyligini maksimal darajada qisqartirish zarur bo'lganda, bu turdagi ekstraktorlar qo'llaniladi. Ma'lumki, markazdan qochma ekstraktorlarda jarayon maksimal tezlik bilan amalga oshiriladi. Eritma va erituvchi zichliklari orasida farq juda kichik bo'lganda ham, bunday ekstraktorlarni qo'llash maqsadga muvofiq.



5.80-rasm. Trubali markazdan qochma ekstraktor sxemasi.

1,8 – yengil va og'ir fazalarni to'kish silindrlari;
2,6 – og'ir va yengil fazalar kirish kanallari;
3 – silindrik baraban; 4 – qo'zg'almas silindr;
5 – teshikli aralashtiruvchi disklar; 7 – teshikli qaytaruvchi to'siq; I, III, V, VII – separatsion zonalar;
II, IV, VI – ekstraksion zonalar.

Bu turdagi ekstraktorlar – trubali, kamerali va yupqa qatlamli bo'ladi. 5.80-rasmda trubali, markazdan qochma ekstraktor sxemasi keltirilgan.

Ekstraktor silindrik baraban 3 dan iborat bo'lib, ichiga qaytaruvchi disk 7 lar o'rnatilgan bo'ladi. Qaytaruvchi disklar barabanni separatsion (I, III, V, VII) va ekstraksion (II, IV, VI) zonalarga bo'ladi. Og'ir faza ***L*** kanal 2 va qo'zg'almas silindr 4 orqali ekstraktorning VI zonasiga uzatiladi. U yerdan og'ir faza barabanning pastki qismidan yuqoriga ko'tariladi va halqasimon to'kish kanali 8 orqali chiqariladi. Yengil faza ***G*** esa, kanal 6 orqali yuqori ekstraksion zona II ga uzatiladi. Og'ir faza ***L*** ga qarama-qarshi yo'nalishda harakat qilib, qurilmaning pastki qismidagi to'kish kanali 1 orqali chiqariladi.

Jarayon natijasida ekstraksion zonalarda hosil bo'lgan emulsiya teshikli, qaytaruvchi disklar orqali o'tish paytida birinchi bor ajratiladi. Emulsiyaning to'liq fazalarga ajratilishi markazdan qochma kuch ta'sirida separatsion zonalarda sodir bo'ladi.

5.25. Ekstraktorlarni hisoblash

Benzin yordamida suvdagi fenol ajratib olinayotgan ekstraksiya jarayonini amalga oshirish uchun mo'ljallangan rotor-diskli ekstraktorning asosiy o'lchamlari quyidagi sharoitlarda aniqlansin:

- aralashma sarfi – $V_x = 0{,}001389$ m^3/s;
- suvdagi fenolning boshlang'ich konsentratsiyasi – $C_{xb} = 0{,}3$ kg/m^3;
- suvdagi fenolning oxirgi konsentratsiyasi – $C_{xox} = 0{,}009$ kg/m^3 (97%);
- ekstragent tarkibidagi fenolning boshlang'ich konsentratsiyasi – $C_{yb} = 0{,}01$ kg/m^3;
- ekstraktordagi temperatura – $t = 25°C$.

$$V_y = V_Д = 0{,}002778\ m^3/s;\quad m = 2{,}22;\quad m_o = 0;$$

$$\rho_C = 997 kg/m^3;\quad \rho_Д = 874 kg/m^3;\quad \Delta\rho = 123 kg/m^3;$$

$$\mu_C = 0{,}894\ mPa\cdot s;\quad \mu_Д = 0{,}6\ mPa\cdot s;\quad D_C = 1{,}05\cdot 10^{-9}\ m^2/s;$$

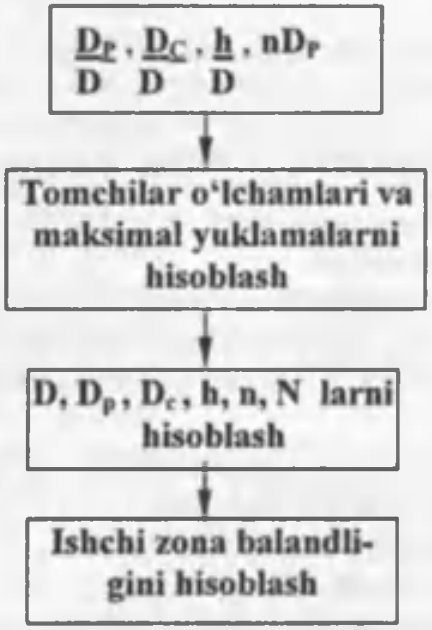
$$D_Д = 2\cdot 10^{-9} m^2/s;\quad \sigma = 0{,}0341\ H/m;\quad \Phi_э = 0{,}382.$$

Bunday ajratib olish darajasi bo'lganda benzoldagi fenolning oxirgi konsentratsiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$C_{y.ox} = C_{y.b.} + \left(\frac{V_x}{V_y}\right)\cdot(C_{x.b} - C_{x.ox}) =$$

$$= 0{,}01 + \left(\frac{0{,}001389}{0{,}002778}\right)\cdot(0{,}3 - 0{,}009) = 0{,}1555\ \ kg/m^3$$

Rotor-diskli ekstraktorlarni hisoblashda faqat kolonnaning diametri va ishchi qismining balandligini aniqlash yetarli emas. Shuning uchun uning ichki qurilmalarining o'lchamlari (disk va stator halqalar diametrlari, disklar orasidagi masofa) va diskning aylanish chastotasini ham aniqlash kerak. Rotor-diskli ekstraktorlarni hisoblash uchun 5.81 - rasmda keltirilgan sxemadagi uslubdan foydalaniladi:



5.81-rasm. Rotor-diskli ekstraktor o'lchamlarini hisoblash sxemasi.

5.25. Ekstraktorlarni hisoblash

Benzin yordamida suvdagi fenol ajratib olinayotgan ekstraksiya jarayonini amalga oshirish uchun mo'ljallangan rotor-diskli ekstraktorning asosiy o'lchamlari quyidagi sharoitlarda aniqlansin:

- aralashma sarfi – $V_x = 0{,}001389$ m^3/s;
- suvdagi fenolning boshlang'ich konsentratsiyasi – $C_{xb} = 0{,}3$ kg/m^3;
- suvdagi fenolning oxirgi konsentratsiyasi – $C_{xox} = 0{,}009$ kg/m^3 (97%);
- ekstragent tarkibidagi fenolning boshlang'ich konsentratsiyasi – $C_{yb} = 0{,}01$ kg/m^3;
- ekstraktordagi temperatura – $t = 25°C$.

$$V_y = V_Д = 0{,}002778\ m^3/s;\quad m = 2{,}22;\quad m_o = 0;$$

$$\rho_C = 997 kg/m^3;\quad \rho_Д = 874 kg/m^3;\quad \Delta\rho = 123 kg/m^3;$$

$$\mu_C = 0{,}894\, mPa\cdot s;\quad \mu_Д = 0{,}6\, mPa\cdot s;\quad D_C = 1{,}05\cdot 10^{-9}\ m^2/s;$$

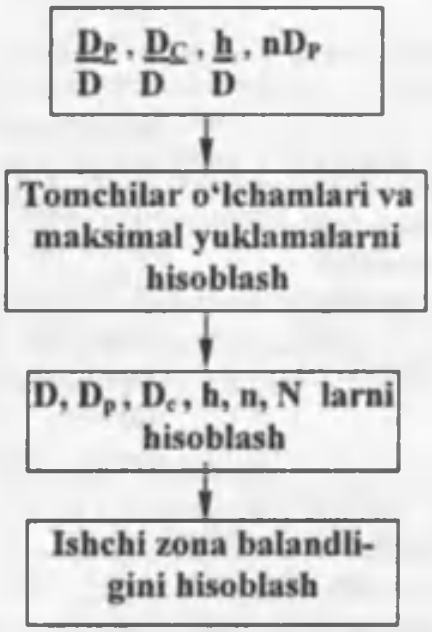
$$D_Д = 2\cdot 10^{-9} m^2/s;\quad \sigma = 0{,}0341\ H/m;\quad \Phi_э = 0{,}382.$$

Bunday ajratib olish darajasi bo'lganda benzoldagi fenolning oxirgi konsentratsiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$C_{y.ox} = C_{y.b.} + \left(\frac{V_X}{V_Y}\right)\cdot(C_{x\,b.} - C_{x.ox}) =$$

$$= 0{,}01 + \left(\frac{0{,}001389}{0{,}002778}\right)\cdot(0{,}3 - 0{,}009) = 0{,}1555\ \ kg/m^3$$

Rotor-diskli ekstraktorlarni hisoblashda faqat kolonnaning diametri va ishchi qismining balandligini aniqlash yetarli emas. Shuning uchun uning ichki qurilmalarining o'lchamlari (disk va stator halqalar diametrlari, disklar orasidagi masofa) va diskning aylanish chastotasini ham aniqlash kerak. Rotor-diskli ekstraktorlarni hisoblash uchun 5.81 - rasmda keltirilgan sxemadagi uslubdan foydalaniladi:



5.81-rasm. Rotor-diskli ekstraktor o'lchamlarini hisoblash sxemasi.

Ushbu uslubga binoan D_p/D, D_c/D, h/D, hamda nD_p nisbatlar boshlang'ich ma'lumotlardir. Bu yerda D – kolonna diametri; D_p – disk diametri; D_c – stator halqasining ichki diametri; h – seksiya balandligi; n – rotor aylanishining chastotasi.

Odatda, bunday ekstraktorlarda diskning diametri kolonna diametridan 1,5...2,0, seksiya balandligi esa 2-4 marotaba kichik bo'ladi.

Qurilmaning ichki uskuna o'lchamlari uchun quyidagi nisbatlarni qabul qilamiz:

$$\frac{D_p}{D}=\frac{2}{3};\qquad \frac{D_C}{D}=\frac{3}{4};\qquad \frac{h}{D}=\frac{1}{3}$$

va nD_p = 0,2 m/s sharoitda ishlayotgan ekstraktorning o'lchamlarini hisoblaymiz.

Tomchilarning o'rtacha diametrini aniqlash uchun seksiyalar (disklar) sonini bilish kerak. Shuning uchun seksiyalar sonini N = 20 deb qabul qilib olamiz va unda quyidagi natijani olamiz:

$$d=16{,}7\cdot\frac{(0{,}894\cdot10^{-3})^{0{,}3}\cdot(0{,}0341)^{0{,}5}}{0{,}2^{0{,}9}\cdot997^{0{,}8}\cdot9{,}81^{0{,}2}\cdot20^{0{,}28}}=0.00203\,m=2{,}03\ mm$$

Bilqillab qolish davrida fazalarning umumiy soxta tezligi.

Mayda tomchilarning erkin cho'kish tezligini topish uchun Adamarning tenglamasidan foydalansa bo'ladi:

$$w_{ch.}=\frac{\Delta\rho\cdot g\cdot d^2\cdot(\mu_Д+\mu_C)}{6\cdot\mu_C\cdot(2\cdot\mu_C+3\cdot\mu_Д)}$$

bu yerda, $w_ч$ – erkin cho'kish tezligi; $\Delta\rho$ – fazalar zichliklarining farqi; μ_c va $\mu_д$ – dispersion va dispers fazalar qovushoqliklari.

Yirik tomchilarni erkin cho'kish tezligini hisoblash uchun quyidagi empirik formuladan foydalanamiz:

$2\le T\le 70$ *da* $\qquad Q=(0{,}75\cdot T)^{0{,}78}$

$T>70$ *bo'lganda* $\qquad Q=(22\cdot T)^{0{,}42}$

bu yerda, $Q=0{,}75+\dfrac{\mathrm{Re}}{p^{0{,}15}}$; $T=\dfrac{4\cdot\Delta\rho\cdot g\cdot d^2\cdot\rho^{0{,}15}}{3\cdot\sigma}$; $P=\dfrac{\rho_c^2\cdot\sigma^3}{\Delta\rho\cdot g\cdot\mu_c^4}$;

σ – fazalar orasidagi tortishish kuchi.

Parametr T=70 ga teng bo'lsa, bu tomchilarning kritik diametriga mos keladi. Ushbu formulalar yordamida hisoblash w_o = 5,73 ekanligi kelib chiqadi.

Tomchilarning xarakteristik tezliklarini ushbu formulalardan aniqlaymiz;

$$\left(\frac{D_C}{D}\right)^2=\left(\frac{3}{4}\right)^2=0{,}562;\qquad 1-\left(\frac{D_p}{D}\right)^2=1-\left(\frac{2}{3}\right)^2=0{,}556;$$

$$\left(\frac{D_C+D_p}{D}\right)\cdot\left[\left(\frac{D_C-D_p}{D}\right)^2+\left(\frac{h}{D}\right)^2\right]^{0{,}6}=\left(\frac{3}{4}+\frac{2}{3}\right)\cdot\left[\left(\frac{3}{4}+\frac{2}{3}\right)^2+\left(\frac{1}{3}\right)^2\right]^{0{,}6}=0{,}485$$

Demak, α = 0,485 va tomchilarning xarakteristik tezliklari quyidagiga teng bo'ladi:

$$w_{xar} = \alpha \cdot w_o = 0{,}485 \cdot 5{,}73 = 2{,}78 \ \ sm/s$$

Bilqillab qolish davridagi fazalarning soxta umumiy tezligi ushbu formuladan topiladi:

$$\left(w_c + w_Д\right)_b = \left(1 - 4 \cdot \Phi_б + 7 \cdot \Phi_б^2 - 4 \cdot \Phi_б^3\right) \cdot w_{xar} =$$

$$= \left(1 - 4 \cdot 0{,}382 + 7 \cdot 0{,}382^2 - 4 \cdot 0{,}382^3\right) \cdot 2{,}78 = 0{,}756 \ \ sm/s$$

Kolonnaning diametri va ichki uskunalarining o'lchamlari.

Ushbu shart-sharoitda kolonnaning ruxsat etilgan minimal diametri quyidagi qiymatga teng:

$$D_{mm} = \sqrt{\frac{4 \cdot (V_Д + V_C)}{\pi \cdot (w_Д + w_C)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (0{,}001389 + 0{,}002778)}{3{,}14 \cdot 0{,}00756}} = 0{,}84\,m$$

Kolonnaning ichki diametrini 1 m ga teng deb olamiz. Bunday kolonnada fazalarning soxta tezliklari:

$$w_y = w_Д = 0{,}354\,sm/s; \qquad w_X = w_C = 0{,}177 \ \ sm/s$$ ga tengdir.

Fazalar tezliklarining yig'indisi ularning bilqillab qolish davridagi umumiy tezlikning 69% ni tashkil qiladi.

Ekstraktor ichki uskunalarining asosiy o'lchamlari:

$$D_p = D \cdot \left(\frac{D_p}{D}\right) = 1 \cdot \frac{2}{3} = 0{,}667\,m;$$

$$D_c = D \cdot \left(\frac{D_c}{D}\right) = 1 \cdot \frac{3}{4} = 0{,}75\,m;$$

$$h = D \cdot \left(\frac{h}{D}\right) = 1 \cdot \frac{1}{3} = 0{,}333\,m;$$

Aylanish chastotasi

$$n = \frac{n \cdot D_p}{D_p} = \frac{0{,}2}{0{,}667} = 0{,}3 \ s^{-1}$$

Fazalar to'qnashish joyining solishtirma yuzasi.

Fazalarning soxta tezliklarining va xarakteristik tezliklar qiymatlarini quyidagi tenglamaga

$$\Phi^3 - 2 \cdot \Phi^2 - \left(1 + \frac{w_Д}{w_{cm}} - \frac{w_C}{w_{cm}}\right) \cdot \Phi - \frac{w_Д}{w_{xar}}$$

qo'yib, kubik tenglamani olamiz:

$$\Phi^3 - 2 \cdot \Phi + 1{,}06 \cdot \Phi - 0{,}127 = 0$$

Ushbu tenglamani yechib, ushlab qolish qobiliyati $F = 0{,}169$ ekanligini topamiz. Unda, fazalarning solishtirma to'qnashish yuzasi

$$a = \frac{6 \cdot \Phi}{d} = \frac{6 \cdot 0{,}169}{2{,}03 \cdot 10^3} = 500 \frac{m^2}{m^3}$$

Kolonnaning ishchi zonasining balandligi.

Dispersion E_C va dispers E_D fazalarning bo'ylama aralashish koeffitsiyentlari quyidagi empirik tenglamalardan topish mumkin:

$$E_c = E_c = 0{,}5 \cdot \frac{w_c \cdot h}{1-\phi} + 0{,}09 \cdot \left(\frac{D_p}{D}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{D_c}{D}\right)^2 - \left(\frac{D_p}{D}\right)^2\right] \cdot nD_p \cdot h =$$

$$= 0{,}5 \cdot \frac{0{,}177 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}333}{1-0{,}169} + 0{,}09 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{3}{4}\right)^2 - \left(\frac{2}{3}\right)^2\right] \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}333 = 6{,}59 \cdot 10^{-4}\, m^2/s$$

$$E_y = E_Д = 0{,}5 \cdot \frac{w_Д \cdot h}{\phi} + 0{,}09 \cdot \left(\frac{D_p}{D}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{D_c}{D}\right)^2 - \left(\frac{D_p}{D}\right)^2\right] \cdot nD_p \cdot h =$$

$$= 0{,}5 \cdot \frac{0{,}354 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}333}{0{,}169} + 0{,}09 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{3}{4}\right)^2 - \left(\frac{2}{3}\right)^2\right] \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}333 = 38 \cdot 10^{-4}\, m^2/s$$

Massa berish koeffitsiyentini aniqlash uchun Reynolds kriteriysi va tomchilarning nisbiy tezliklarini topish kerak:

$$w_{nis} = \frac{w_Д}{\Phi} + \frac{w_C}{1-\Phi} = \frac{0{,}177}{0{,}169} + \frac{0{,}354}{1-0{,}169} = 2{,}3\ sm/s$$

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho_c \cdot w_{nis} \cdot d}{\mu_c} = \frac{997 \cdot 0{,}023 \cdot 2{,}03 \cdot 10^{-3}}{0{,}894 \cdot 10^{-3}} = 52{,}2$$

Yuqorida keltirilgan parametr T esa quyidagiga teng bo'ladi:

$$T = \frac{4 \cdot 123 \cdot 9{,}81 \cdot (2{,}03 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 40{,}4}{3 \cdot 0{,}0341} = 7{,}85$$

Ekstraktordagi seksiyalar soni $N = 20$ deb olingan. Ekstraktorning balandligini birinchi taxminda

$$H = N \cdot h$$

deb qabul qilamiz. Unda uning balandligi

$$H = 20 \cdot 0{,}333 = 6{,}66\ m$$

ga teng bo‘ladi.

Massa berish koeffitsiyenti quyidagicha hisoblanadi:

$$Nu_c^l = 0{,}6 \cdot Re^{0.5} \cdot Pr^{0.5} = 0{,}6 \cdot 52{,}5^{0.5} \cdot 854^{0.5} = 127$$

$$\beta_x = \beta_c = Nu_c^l \cdot \frac{D_c}{D} = 127 \cdot \frac{1{,}05 \cdot 10^{-9}}{2{,}03 \cdot 10^{-3}} = 0{,}657 \cdot 10^{-4}\ m/s$$

$$\tau = \frac{\Phi \cdot H}{w_Д} = \frac{0{,}169 \cdot 6{,}66}{0{,}00354} = 318\ s$$

$$Fo_Д^l = \frac{4 \cdot D_Д\ \tau}{d^2} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^{-9} \cdot 318}{\left(2{,}03 \cdot 10^{-3}\right)^2} = 0{,}617$$

$$Nu_Д^l = 31{,}4 \cdot (Fo_Д^l)^{-0{,}34} \cdot (Pr_Д^l)^{-0{,}125} \cdot We^{0{,}37} =$$

$$= 31{,}4 \cdot 0{,}617^{-0{,}34} \cdot 343^{-0{,}125} \cdot 0{,}0314^{0{,}37} = 4{,}96$$

bu yerda

$$Pr_c^l = \frac{\mu_c}{\rho_c \cdot D_c} = \frac{0{,}894 \cdot 10^{-3}}{997 \cdot 1{,}05 \cdot 10^{-9}} = 854$$

$$Pr_Д^l = \frac{\mu_Д}{\rho_Д \cdot D_Д} = \frac{0{,}6 \cdot 10^{-3}}{874 \cdot 2 \cdot 10^{-9}} = 343$$

$$\beta_y = \beta_o = Nu_o^l \cdot \frac{D_o}{d} = 4{,}96 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-4}}{2{,}03 \cdot 10^{-3}} = 0{,}0488 \cdot 10^{-4}\ m/s$$

Ideal siqib chiqarish rejimiga to‘g‘ri keladigan suv fazasida massa o‘tkazish koeffitsiyenti va o‘tkazish birligi balandligini hisoblaymiz:

$$K_x = \left(\frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{m \cdot \beta_y}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{0{,}657 \cdot 10^{-4}} + \frac{1}{2{,}22 \cdot 0{,}0488 \cdot 10^{-4}}\right)^{-1} = 0{,}93 \cdot 10^{-5}\ m/s$$

$$H_{ox} = \frac{w_x}{K_x \cdot a} = \frac{0{,}00177}{0{,}93 \cdot 10^{-5} \cdot 500} = 0{,}381\ m$$

Ushbu jarayonda fazalarning sarflari umuman o‘zgarmaydi va fazalar orasidag muvozanat to‘g‘ri chiziqli bog‘liqlik bilan ifodalanadi. Shuning uchun o‘tkazis sonining birliklarini hisoblashda ushbu formuladan foydalanamiz:

$$n_{ox} = \frac{m \cdot V_y / V_x}{m \cdot V_y / V_x - 1} \cdot \ln \frac{m \cdot c_{xb} + m_o - c_{yox}}{m \cdot c_{xb} + m_o - c_{yox}}$$

hisoblanayotgan jarayon uchun $\frac{m \cdot V_y}{V_x} = 2,22 \cdot 2 = 4,44$, $m_o = 0$.

Demak,

$$n_{ox} = \frac{4,44}{4,44 - 1} \cdot ln \frac{2,22 \cdot 0.3 - 0,1555}{2,22 \cdot 0,009 - 0,01} = 5,08$$

Shunday qilib, ideal siqib chiqarish rejimida ikkala faza bo‘yicha kolonnanin ishchi balandligi

$$H = n_{ox} \cdot H_{ox} = 5,08 \cdot 0,381 = 1,93 \ m$$

Bo‘ylama aralashishni hisobga olgan holda kolonnaning balandligini aniqlash uchun mavhum o‘tkazish soni birligini ketma-ket yaqinlashish usulidan foydalanamiz Buning uchun avval Pekle kriteriysini ikkala fazalar uchun topamiz:

$$Pe_y = \frac{w_y \cdot H}{E_y} = \frac{0,00354 \cdot 6,66}{38 \cdot 10^{-4}} = 6,2$$

$$Pe_x = \frac{w_x \cdot H}{E_x} = \frac{0.00177 \cdot 6,66}{6,69 \cdot 10^{-4}} = 17,6$$

Birinchi yaqinlashuvda f_y va f_x koeffitsiyentlar qiymatlarini aniqlaymiz:

$$f_y = \left\{ 1 - \frac{\left[1 - exp(-Pe_y) \right]^{-1}}{Pe_y} \right\}^{-1} = \left\{ 1 - \frac{\left[1 - exp(-6,2) \right]^{-1}}{6,2} \right\}^{-1} = 1,192$$

$$f_x = \left\{ 1 - \frac{\left[1 - exp(-Pe_x) \right]^{-1}}{Pe_x} \right\}^{-1} = \left\{ 1 - \frac{\left[1 - exp(-17,6) \right]^{-1}}{17,6} \right\}^{-1} = 1,06$$

Olingan natijalar ushbu formulaga qo‘yiladi

$$H_{ox} = H_{ox} + \frac{E_{\text{Д}}}{w_x \cdot f_x} + \left(\frac{V_x}{m \cdot V_y} \right) \left(\frac{E_y}{w_y \cdot f_y} \right) = 0,381 + \frac{660 10^{-9}}{0,001771,06} + 0,2252 \frac{38 \cdot 10^{-4}}{0,003541,192} = 0,94 \ m$$

Ushbu jarayonda fazalarning sarflari umuman o'zgarmaydi va fazalar orasidagi muvozanat to'g'ri chiziqli bog'liqlik bilan ifodalanadi. Shuning uchun o'tkazish sonining birliklarini hisoblashda ushbu formuladan foydalanamiz:

$$n_{ox} = \frac{m \cdot V_y / V_x}{m \cdot V_y / V_x - 1} \cdot \ln \frac{m \cdot c_{xb} + m_o - c_{yox}}{m \cdot c_{xb} + m_o - c_{yox}}$$

hisoblanayotgan jarayon uchun $\frac{m \cdot V_y}{V_x} = 2{,}22 \cdot 2 = 4{,}44$, $m_o = 0$.

Demak,

$$n_{ox} = \frac{4{,}44}{4{,}44 - 1} \cdot \ln \frac{2{,}22 \cdot 0.3 - 0{,}1555}{2{,}22 \cdot 0{,}009 - 0{,}01} = 5{,}08$$

Shunday qilib, ideal siqib chiqarish rejimida ikkala faza bo'yicha kolonnaning ishchi balandligi

$$H = n_{ox} \cdot H_{ox} = 5{,}08 \cdot 0{,}381 = 1{,}93 \ m$$

Bo'ylama aralashishni hisobga olgan holda kolonnaning balandligini aniqlash uchun mavhum o'tkazish soni birligini ketma-ket yaqinlashish usulidan foydalanamiz. Buning uchun avval Pekle kriteriysini ikkala fazalar uchun topamiz:

$$Pe_y = \frac{w_y \cdot H}{E_y} = \frac{0{,}00354 \cdot 6{,}66}{38 \cdot 10^{-4}} = 6{,}2$$

$$Pe_x = \frac{w_x \cdot H}{E_x} = \frac{0{,}00177 \cdot 6{,}66}{6{,}69 \cdot 10^{-4}} = 17{,}6$$

Birinchi yaqinlashuvda f_y va f_x koeffitsiyentlar qiymatlarini aniqlaymiz:

$$f_y = \left\{1 - \frac{\left[1 - exp\left(-Pe_y\right)\right]^{-1}}{Pe_y}\right\}^{-1} = \left\{1 - \frac{\left[1 - exp(-6{,}2)\right]^{-1}}{6{,}2}\right\}^{-1} = 1{,}192$$

$$f_x = \left\{1 - \frac{\left[1 - exp\left(-Pe_x\right)\right]^{-1}}{Pe_x}\right\}^{-1} = \left\{1 - \frac{\left[1 - exp(-17{,}6)\right]^{-1}}{17{,}6}\right\}^{-1} = 1{,}06$$

Olingan natijalar ushbu formulaga qo'yiladi

$$H_{ox} = H_{ox} + \frac{E_y}{w_x \cdot f_x} + \left(\frac{V_x}{m \cdot V_y}\right) \cdot \left(\frac{E_y}{w_y \cdot f_y}\right) = 0{,}381 + \frac{66010^{9}}{0{,}001771{,}06} + 0{,}2252\frac{38 \cdot 10^{-4}}{0{,}003541{,}192} = 0{,}94 \ m$$

bu yerda $\frac{V_x}{m \cdot V_y} = \frac{1}{2{,}22 \cdot 2} = 0{,}2252$; $H'_{ox} = 0{,}941\ m$ qiymatga kolonnaning

$$H = H'_{ox} \cdot n_{ox} = 0{,}941 \cdot 5{,}08 = 4{,}78\ m$$

balandligi to‘g‘ri keladi. Hisoblash natijasida olingan H va H'_{ox} lar yordamida Pekle kriteriysi, f_y va f_x koeffitsiyentlarning aniqroq qiymatlarini topamiz:

$$Pe_y = \frac{0{,}00354 \cdot 4{,}78}{38 \cdot 10^{-4}} = 4{,}45$$

$$Pe_y = \frac{0{,}00177 \cdot 4{,}78}{6{,}69 \cdot 10^{-4}} = 12{,}6$$

$$f_y = \left\{1 - \frac{\left[1 - exp(-Pe_y)\right]^{-1}}{Pe_y}\right\}^{-1} - \left(1 - \frac{V_x}{m \cdot V_y}\right) \cdot \frac{F_y}{w_y \cdot H'_{ox}} =$$

$$= \left\{1 - \frac{\left[1 - exp(-4{,}45)\right]^{-1}}{4{,}45}\right\}^{-1} - (1 - 0{,}2252) \cdot \frac{38 \cdot 10^{-4}}{0{,}00354 \cdot 0{,}941} = 0{,}401$$

$$f_x = \left\{1 - \frac{\left[1 - exp(-Pe_x)\right]^{-1}}{Pe_x}\right\}^{-1} + \left(1 - \frac{V_x}{m \cdot V_y}\right) \cdot \frac{F_x}{w_x \cdot H'_{ox}} =$$

$$= \left\{1 - \frac{\left[1 - exp(-12{,}6)\right]^{-1}}{12{,}6}\right\}^{-1} + (1 - 0{,}2252) \cdot \frac{6{,}69 \cdot 10^{-4}}{0{,}00177 \cdot 0{,}941} = 1{,}4$$

Ikkinchi ketma-ket yaqinlashuvda zohiriy o‘tkazish sonining birligi quyidagi qiymatga teng bo‘ladi:

$$H'_{ox} = 0{,}381 + \frac{6{,}69 \cdot 10^{-4}}{0{,}00177 \cdot 1{,}4} + 0{,}2252 \cdot \frac{38 \cdot 10^{-4}}{0{,}00354 \cdot 0{,}401} = 1{,}25\ m$$

$H'_{ox} = 1{,}25\ m$ qiymatida kolonnaning zarur balandligi H = 1,25·5,08 = 6,35 m ga tengdir.

H'_{ox} va H larni hisoblashni bir necha marta ushbu parametrlarning oxirgi ikki iteratsiyasining son qiymatlari teng bo‘lguncha o‘tkazamiz va

$$H'_{ox} = 1{,}15\ m; \qquad H = 5{,}84\ \text{m}$$

ekanligini aniqlaymiz.

Disklar orasidagi masofa 0,33 deb qabul qilganimiz uchun H = 5,84 m li kolonna disklarining soni

$$\frac{5,84}{0,333} = 17,5 \ ma$$

Disklar sonini 18 ta desak, ishchi zonaning balandligi quyidagi qiymatga teng bo'ladi.

$$H = 18 \cdot 0,333 = 6 \text{ m}$$

Miqdori 20 ga teng deb olingan edi. Agarda quyidagi tenglamaga:

$$d = 16,7 \cdot \frac{\mu_c^{0,3} \cdot \sigma^{0,5}}{(n \cdot D_p)^{0,9} \cdot \rho_c^{0,8} \cdot g^{0,2} \cdot N^{0,23}}$$

N = 11 qo'ysak, tomchilarning o'rtacha o'lchami d = 2,08 mm ligini bilamiz va bu o'lcham N = 20 dagi d qiymatidan 25% ga farq qiladi. Tomchilarning o'lchami va ekstraktorning qolgan boshqa gidrodinamik parametrlarini qaytadan hisoblashga o'rin yo'q, chunki bunday chetga chiqish yuqorida keltirilgan tenglamaning aniqlik doirasida joylashgan. Kolonnaning balandligiga bog'liq bo'lgan dispers yuzadagi modda berish koeffitsiyenti ham mutlaqo o'zgarmaydi. Agar hisoblash natijasida ekstraktorning balandligi boshida olingan qiymatdan farq qilganda, hamma hisoblashni takrorlashga to'g'ri kelar edi. Tomchining o'rtacha o'lchamini aniqlashdan tortib ekstraktordagi kolonna balandligini hisoblash natijalari shuni ko'rsatadiki, bo'ylama aralashtirishning salmog'i ancha katta. Bo'ylama aralashtirish yuqoriligi sababli kerakli ishchi zonasining balandligi 3 marta ortadi.

Reynolds kriteriysining katta qiymatlari ($Re > 10^5$) uchun aylanayotgan diskni quvvat kriteriysi taxminan $K_N = 0,03$. Bizning misol uchun

$$\text{Re}_a = \frac{\rho_m \cdot \pi \cdot d_p^2}{\mu_m} = \frac{997 \cdot 0,3 \cdot 0,667^2}{0,894 \cdot 10^{-3}} = 149000$$

Aralashtirilayotgan muhitning o'rtacha zichligi

$$\rho = \Phi \cdot \rho_{II} + (1 - \Phi) \cdot \rho_m = 0,169 \cdot 874 + (1 - 0,169) \cdot 997 = 976 \ kg/m^3$$

Bitta disk yordamida aralashtirish uchun kerakli energiya sarfi quyidagiga teng bo'ladi:

$$N = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D_p^5 = 0,03 \cdot 976 \cdot 0,3^3 \cdot 0,667^5 = 0,1 \ Vt$$

Ko'rinib turibdiki, aralashtirish uchun quvvat sarfi ko'p emas va hamma disklar uchun 2 Vt ni tashkil etadi. Demak, elektr yuritkich quvvatini mexanik hisoblar asosida

Disklar orasidagi masofa 0,33 deb qabul qilganimiz uchun H = 5,84 m li kolonna disklarining soni

$$\frac{5,84}{0,333} = 17,5 \ ma$$

Disklar sonini 18 ta desak, ishchi zonaning balandligi quyidagi qiymatga teng bo'ladi.

$$H = 18 \cdot 0,333 = 6 \text{ m}$$

Miqdori 20 ga teng deb olingan edi. Agarda quyidagi tenglamaga:

$$d = 16,7 \cdot \frac{\mu_c^{0,3} \cdot \sigma^{0,5}}{(n \cdot D_p)^{0,9} \cdot \rho_c^{0,8} \cdot g^{0,2} \cdot N^{0,25}}$$

N = 11 qo'ysak, tomchilarning o'rtacha o'lchami d = 2,08 mm ligini bilamiz va bu o'lcham N = 20 dagi d qiymatidan 25% ga farq qiladi. Tomchilarning o'lchami va ekstraktorning qolgan boshqa gidrodinamik parametrlarini qaytadan hisoblashga o'rin yo'q, chunki bunday chetga chiqish yuqorida keltirilgan tenglamaning aniqlik doirasida joylashgan. Kolonnaning balandligiga bog'liq bo'lgan dispers yuzadagi modda berish koeffitsiyenti ham mutlaqo o'zgarmaydi. Agar hisoblash natijasida ekstraktorning balandligi boshida olingan qiymatdan farq qilganda, hamma hisoblashni takrorlashga to'g'ri kelar edi. Tomchining o'rtacha o'lchamini aniqlashdan tortib ekstraktordagi kolonna balandligini hisoblash natijalari shuni ko'rsatadiki, bo'ylama aralashtirishning salmog'i ancha katta. Bo'ylama aralashtirish yuqoriligi sababli kerakli ishchi zonasining balandligi 3 marta ortadi.

Reynolds kriteriysining katta qiymatlari ($Re > 10^5$) uchun aylanayotgan diskni quvvat kriteriysi taxminan $K_N = 0,03$. Bizning misol uchun

$$\text{Re}_a = \frac{\rho_m \cdot \pi \cdot d_p^2}{\mu_m} = \frac{997 \cdot 0,3 \cdot 0,667^2}{0,894 \cdot 10^{-3}} = 149000$$

Aralashtirilayotgan muhitning o'rtacha zichligi

$$\rho = \Phi \cdot \rho_д + (1 - \Phi) \cdot \rho_m = 0,169 \cdot 874 + (1 - 0,169) \cdot 997 = 976 \ kg/m^3$$

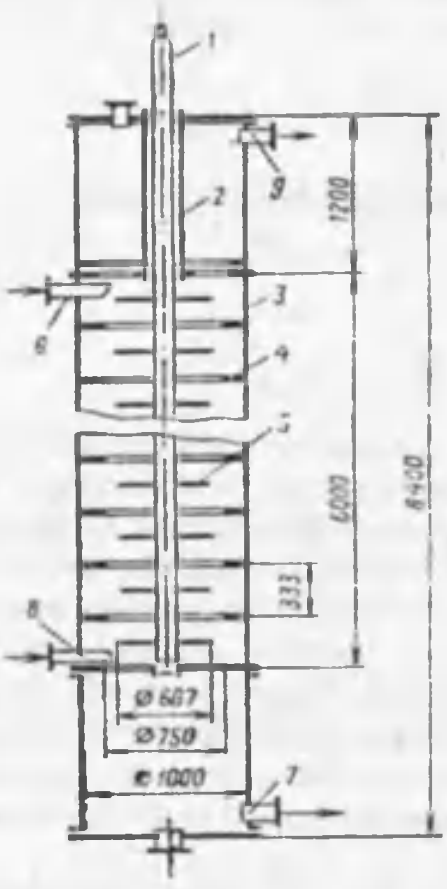
Bitta disk yordamida aralashtirish uchun kerakli energiya sarfi quyidagiga teng bo'ladi:

$$N = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D_p^5 = 0,03 \cdot 976 \cdot 0,3^3 \cdot 0,667^5 = 0,1 \ Vt$$

Ko'rinib turibdiki, aralashtirish uchun quvvat sarfi ko'p emas va hamma disklar uchun 2 Vt ni tashkil etadi. Demak, elektr yuritkich quvvatini mexanik hisoblar asosida

tanlash kerak. Uning quvvati ishqalanish kuchlari va ishga tushirish paytidagi qarshilikni yengish uchun yetarli bo'lishi zarur.

$$\tau_{koal} = 1{,}32 \cdot 10^{5} \cdot \left(\frac{\mu_m \cdot d}{\sigma}\right) \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{0{,}18} \cdot \left(\frac{\Delta\rho \cdot g \cdot d^2}{\sigma}\right)^{0{,}32}$$



5.82-rasm. Rotor-diskli ekstraktor.

Cho'ktirish zonalarining o'lchamlari. Odatda rotor-diskli ekstraktorlarda ishchi va cho'ktirish zonalarining balandliklari bir xil bo'ladi. Agarda ushbu formula orqali benzol tomchilari **koalensensiya** bo'lishi uchun zarur vaqti va uning asosida cho'ktirish zonasining hajmi hisoblansa, ushbu zonaning balandligi taxminan 0,2 m ga teng bo'ladi. Ma'lumki bu turdagi ekstraktorlarda cho'ktirish zonasi ishchi zonasining davomi bo'lib, unda suyuqlik intensiv harakat qiladi. Shuning uchun cho'ktirish zonasi 2 qismdan iborat bo'lgani maqsadga muvofiqdir, ya'ni cho'ktirish va oraliq turg'unlashtiruvchi zonalardan. Yuqorida aytilganlarni hisobga olsak, cho'ktirish zonasining to'liq balandligi 1,2 m ga teng bo'ladi.

5.82-rasmda rotor-diskli ekstraktorning texnologik hisoblar asosida olingan o'lchamlari keltirilgan. Ushbu misolda rotor-diskli ekstraktor hisobi $n \cdot D_P$ = 0,2 m/s bo'lgan shart-sharoit uchun bajarilgan. Ammo rotor-diskli ekstraktorlarni loyihalashda hisoblar $n \cdot D_P$ ko'paytmaning turli qiymatlari uchun bajarilishi kerak va olingan natijalardan optimal varianti tanlanishi zarur.

5-bob. «Suyuqlik–suyuqlik» sistemasida ekstraksiyalash

Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. «Suyuqlik–suyuqlik» sistemasida ekstraksiya jarayonining mohiyati nimada?
2. Ekstragent nima?
3. Ekstrakt nima?
4. Uchburchak diagrammani chizing va unda eritma tarkibini aniqlashni ko'rsating.

5. Ekstraksiya jarayonida massa berish va o'tkazish formulalarini keltiring.
6. Massa o'tkazish koeffitsiyentini va uning o'lchov birligini aniqlang.
7. Ekstraksiya jarayonini tashkil etish usullari.
8. Aralashtirib-tindiruvchi ekstraktor tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
9. Tarelkali ekstraktor tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
10. Purkovchi ekstraktor tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
11. Rotor-diskli ekstraktor tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
12. Pulsatsiyali ekstraktor tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
13. Tebranma tarelkali ekstraktor tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
14. Trubali markazdan qochma ekstraktor tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
15. Ekstraktorlarni hisoblash ketma-ketligi.

«QATTIQ JISM – SUYUQLIK» SISTEMASIDA EKSTRAKSIYALASH

5.26. Umumiy tushunchalar

G'ovaksimon qattiq jism tarkibidan bir yoki bir necha komponentlarni ajratib olish jarayoni **ekstraksiyalash** deb ataladi.

Qattiq jismdan bir yoki bir necha komponentni selektivlik qobiliyatiga ega bo'lgan erituvchi yordamida ajratib olish jarayoni **eritish** deb nomlanadi. Ushbu jarayon ekstraksiyalash jarayonining xususiy holidir.

Kimyo, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda juda ko'p kapillar-g'ovakli jismlar eritish jarayoni yordamida qayta ishlanadi. Ekstraksiyalash ishqor, kislota, tuzlar, qand, o'simlik moylar, sharbatlar, vitaminlar, turli dorilar, rangli va nodir metallar va hokazolarni olishda ishlatiladi. Ekstraksiyalash jarayonida kerakli komponent qattiq fazadan diffuziya yo'li orqali suyuqlik fazaga o'tadi. Buning uchun shu komponentni eritadigan tegishli erituvchi tanlab olinishi kerak. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, ekstraksiyalash va eritish jarayonlari «qattiq jism - suyuqlik» sistemasida olib boriladi. Ekstraksiyalash 2 bosqichda o'tadi:

1) komponentning qattiq jismlar ichki qismidan tashqi yuzasiga diffuziya yo'li bilan o'tishi;

2) komponentning diffuziya jarayoni tufayli qattiq jism yuzasidan chegaraviy qatlam orqali suyuqlik fazaga o'tishi. Bu jarayon noturg'un bo'lib, vaqt bo'yicha o'zgaradi.

Eritish jarayonining tezligi faqat ikkinchi bosqichning qarshiligiga bog'liq, chunki birinchi bosqichda qarshilik umuman bo'lmaydi. Shuning uchun, eritish jarayoni ekstraksiyalashga qaraganda ancha tez boradi.

Sanoat texnologik jarayonlarida erituvchilar sifatida quyidagi suyuqliklar ishlatiladi: suv - qand lavlagidan shakarni hamda kofe, choyni ekstraksiyalash uchun; spirt va spirt-suvli aralashmalar liker - aroq damlamasi va pivo - alkogolsiz ichimliklar ishlab chiqarish sanoatida; benzin, trixloretan, dixloretan - yog' va efir moylarini ishlab chiqarishda. Undan tashqari, suv va ayrim noorganik kislotalarning eritmalari ham erituvchi sifatida ishlatiladi. Bunday jarayonlar **ishqorlanish** deb nomlanadi. Ishqorlanish mineral xomashyolarni kimyoviy qayta ishlash yo'li bilan qimmatbaho komponentlarni olish uchun qo'llaniladi.

Eritish jarayoni texnologik sxemalarida filtrlash, bug'latish va kristallash kabi jarayonlardan avval ishlatiladi va u birinchi bosqich bo'lib hisoblanadi.

5.27. Eritish jarayoni statikasi va kinetikasi

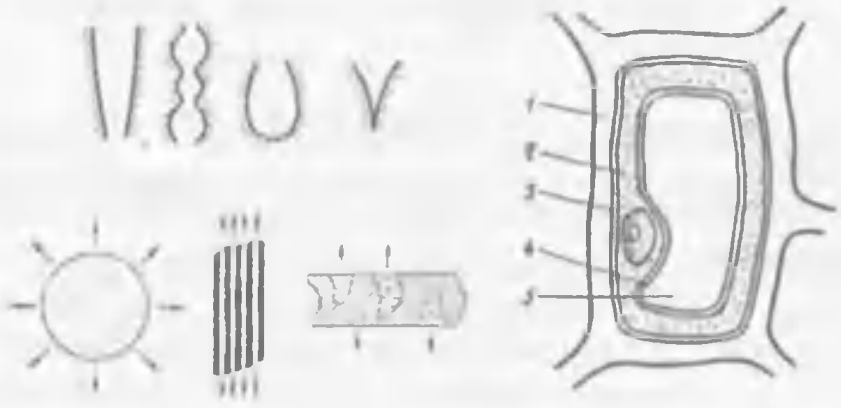
Jarayonning mexanizmi shundaki, erituvchi qattiq jism g'ovaklariga kirib boradi va ajratilishi kerak bo'lgan moddani eritadi.

Eritilgan moddaning kimyoviy potensiali va uning qattiq jismdagi kimyoviy potensialiga tenglashganda erish jarayoni muvozanat holiga keladi. To'yinish holatiga oid eritmaning konsentratsiyasi ***eruvchanlik*** deb ataladi.

Qattiq jismning tashqi yuzasidagi muvozanat qisqa vaqt ichida o'rnatiladi. Shuning uchun, massa almashinish jarayonlarni tahlil qilishda, «qattiq jism – erituvchi» sistemasining fazalararo yuzasidagi konsentratsiyasi to'yingan eritma konsentratsiyasi $u_{to'y}$ ga teng deb qabul qilinadi.

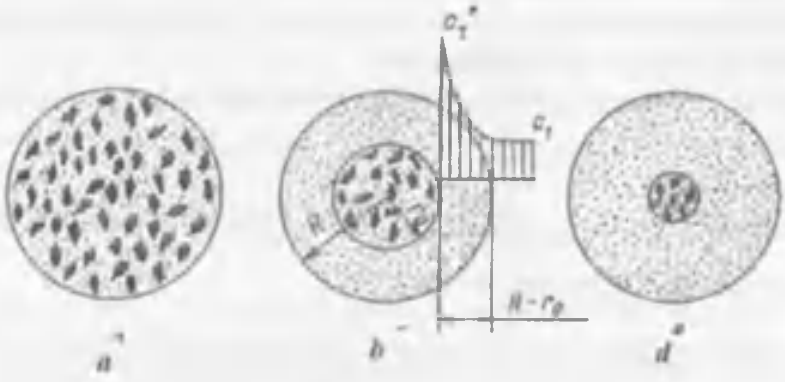
Eritish jarayoni kinetikasining asosiy masalasi fazalarning o'zaro to'qnashish vaqtini aniqlashdir. Fazalar to'qnashish vaqti ma'lum bo'lgandan so'ng, ekstraktorlarning asosiy o'lchamlari hisoblanadi.

Eritish jarayonida massa almashinishga qattiq jismning ichki tuzilishi: kapillar shakli va o'lchami (5.83б-rasm), zarrachalar kimyoviy tarkibiga katta ta'sir ko'rsatadi (5.83a-rasm). Qattiq jismning ichki tuzilishi massa o'tkazish tezligiga ham katta ta'sir etadi.



5.83-rasm. G'ovaksimon qattiq jism tuzilishi (a), kovaklar turi (b) va o'simlik hujayrasi (d).
1 – hujayra qobig'i; 2 – protoplazmalar;
3,4 – o'tkazuvchan membranalar; 5 – vakuol.

Qattiq g'ovaksimon zarrachalar o'zida maqsadli, kerak komponentni qattiq holatida saqlaydi. Maqsadli komponentning zarracha hajmida taqsimlanishi turli variantlarda bo'lishi mumkin. Ko'pchilik hollarda, g'ovaksimon jism hajmida ajratib olinadigan komponent bir tekisda taqsimlangan bo'ladi. Ekstraksiya jarayonida maqsadli komponentning hajmi sistematik ravishda kamayib boradi (5.84-rasm).



5.84-rasm. Qattiq g'ovaksimon jismning ekstraksiya jarayonida tuzilishining o'zgarishi.

Maqsadli komponent ajratib olingan hajm (R-r_0) da, shu komponent ekstragentda erigan holda bo'ladi. Vaqt o'tishi bilan ushbu hajm ulushi ortib boradi.

Eritish jarayoni murakkab jarayon bo'lib, erituvchini qattiq jism kovaklariga diffuziyasi, ajratib olinayotgan moddalarni eritish, qattiq jism kapillarlari orqali fazalarni ajratuvchi yuzaga ekstraksiyalanayotgan moddaning diffuziyasi va fazalarni ajratuvchi yuzadan ekstragent oqimi yadrosiga massaning o'tishi kabi bosqichlardan iborat.

Jarayonning qayd etilgan 4 bosqichidan oxirgi ikkitasi massa almashinishning umumiy tezligini chegaralaydi. Chunki, birinchi va ikkinchi bosqichlarning massa almashinish tezligi oxirgi ikkitasinikiga qaraganda ancha yuqoridir.

Shunday qilib, massa almashinish jarayonining umumiy diffuziya qarshiligi, qattiq jism va erituvchilarning ichki diffuzion qarshiliklari yig'indisidan iborat.

Kapillar - g'ovak jism ichidan moddaning diffuziya tezligi ushbu tenglama bilan ifodalanadi:

$$i = -\frac{dM}{Fd\tau}$$

Fazalarni ajratuvchi yuzadan oqim yadrosiga massa berish tezligi (5.17) tenglama yordamida aniqlanadi.

Massa o'tkazuvchanlik va berish tezliklari orasidagi nisbatni baholash uchun Bio kriteriysidan foydalaniladi:

$$Bi = \frac{\beta \cdot l}{D}$$

Ayniqsa, kapillar - g'ovak jismlarda massa o'tkazuvchanlik tezligi juda kichik bo'ladi.

5.63d-rasmda o'simlik hujayrasining tuzilishi ko'rsatilgan.

Massa o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti qattiq jismning ichki tuzilishiga, ekstragentning fizik xossalari, ekstraksiyalanayotgan moddaning konsentratsiyasi va jarayon temperaturasiga bog'liq. Massa o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining yuqorida qayd etilgan omillarga bog'liqligi tajribaviy usulda topiladi.

Asosiy diffuzion qarshilik suyuqlik fazada mujassam bo'lgan hollarda, jarayonni ifodalash uchun (5.17) tenglamalardan foydalanish mumkin.

Eritish jarayonini harakatga keltiruvchi kuch bo'lib, qattiq jism yuzasidagi ekstraksiyalanuvchi modda konsentratsiyasi $y_u = y_{to'y}$ va uning ekstragentdagi o'rtacha konsentratsiyasi $y_{o'r}$larning farqi hisoblanadi.

Ushbu holatda jarayonning tezligi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\frac{dM}{Fd\tau} = \beta_y \left(y_{to'y} - y_{o'r}\right) \qquad (5.154)$$

bu yerda, β_y – suyuqlik fazadagi massa berish koeffitsiyenti.

Qalinligi δ bo'lgan chegaraviy qatlamdagi molekular diffuziya tezligi Fikning 1-qonuni yordamida topiladi:

$$\frac{dM}{Fd\tau} = D\frac{\left(y_{to'y} - y_{o'r}\right)}{\delta} \qquad (5.155)$$

bu yerda, D – molekular diffuziya koeffitsiyenti.

Qattiq jismni eritish jarayoni uchun prof. A.N. Shukarev tomonidan ushbu formula keltirib chiqarilgan:

$$\frac{M}{\tau} = \left(\frac{D}{\delta}\right) F_{o'r}(y_{to'y} - y_{o'r}) = \beta_y \cdot F_{o'r}(y_{to'y} - y_{o'r}) \qquad (5.156)$$

bu yerda $\beta_y = D/\delta$ Tajribaviy usul bilan $\delta \approx D^{0,33}$ ekanligi aniqlangan.

(5.154) tenglamadan β_y massa berish koeffitsiyenti $D^{0,66}$ ga proporsionalligi ko'rinib turibdi. Yuqorida keltirilgan tenglamalarni inobatga olgan holda va tajriba natijalarini umumlashtirish natijasida, ishqorlab ajratish jarayonida massa berish koeffitsiyenti β_y ni ushbu tenglama yordamida topish mumkin:

$$Nu_D = 0{,}8\,\mathrm{Re}^{0,5} \cdot \mathrm{Pr}^{0,33} \qquad (5.157)$$

bu yerda, $Nu_D = \beta_y d/D$ – Nusselt kriteriysi (d – qattiq zarracha diametri); $Re = wd\rho/\mu$ – Reynolds kriteriysi (w - ekstragent tezligi; μ – ekstragent dinamik qovushoqligi); $Pr = \nu/D$ – Prandtl kriteriysi.

(5.156) tenglamadan ko'rinib turibdiki, agar chegaraviy qatlam qalinligi δ kamaysa, koeffitsiyent β ning qiymati ortadi. Chegaraviy qatlam nazariyasidan ma'lumki, Reynolds soni ortishi, ya'ni qattiq zarrachalarga nisbatan ekstragent harakat tezligi ko'payishi bilan diffuzion qatlam qalinligi kamayadi.

Demak, samarador gidrodinamik sharoit yaratib, ishqorlab ajratish jarayonini intensivlash mumkin. Undan tashqari, qattiq materialni maydalash ham jarayonni jadallashishiga olib keladi.

Ma'lumki, qattiq jismlarni maydalash, massa almashinish yuzasining ortishiga va material ichidan kapillarlar orqali ekstraksiyalanayotgan komponentning diffuziya yo'li kamayishiga olib keladi. Temperatura ortishi bilan massa o'tkazuvchanlik koeffitsiyent ko'payganligi uchun ishqorlab ajratish jarayoni ekstragentning qaynash temperaturasiga yaqin temperaturalarda tashkil etiladi. Bunday holatda eritmaning to'yinish konsentratsiyasi $y_{to'y}$ ortadi, bu esa o'z navbatida eritish va ishqorlab ajratish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuchining ko'payishiga sababchi bo'ladi.

Amaliy jihatdan jarayonlarni intensivlash uchun ekstraktordagi gidrodinamik holatni yaxshilash zarur. Masalan, mavhum qaynash qatlamda qayta ishlash, pulsatsiya yoki vibratsiya ta'sir ettirish yo'llari bilan ekstraktorlarda yuqorida qayd etilgan jarayonlar samarasini ko'tarish mumkin. Undan tashqari, past chastotali tebranishlar ham ekstraktorlarda kechadigan massa almashinish jarayonini tezlashtiradi.

5.28. Ishqorlab ajratish ekstraktorlarining konstruksiyalari

Ekstraksiya, eritish va ishqorlab ajratish uchun davriy va uzluksiz ishlaydigan ekstraktorlar qo'llaniladi. Qurilmadagi fazalar harakatiga qarab parallel, qarama - qarshi va murakkab yo'nalishli bo'lishi mumkin.

Suyuqlik fazasining qattiq materialni yuvib o'tish harakatiga qarab o'zgarmas, mexanik aralashtirgichi bo'lgan va mavhum qaynash qatlamli ekstraktorlar bo'ladi.

Ekstraktorlarni tanlashda qattiq faza fizik-mexanik xossalari va ajrab chiqadigan ekstrakt konsentratsiyasi yoki tayyor mahsulot chiqishi hisobga olinadi.

Ma'lumki, davriy ishlaydigan qurilmalar ish unumdorligi kam bo'ladi. Shuning uchun, ular kichik hajmli korxonalarda qo'llaniladi. Lekin sanoat miqyosida ko'pincha uzluksiz ishlaydigan qurilmalar ishlatiladi. Ekstraktor va eritkich bir-biridan katta farqlanmaydi. Agar qurilma qattiq, g'ovaksimon jismni ekstraksiyalash uchun

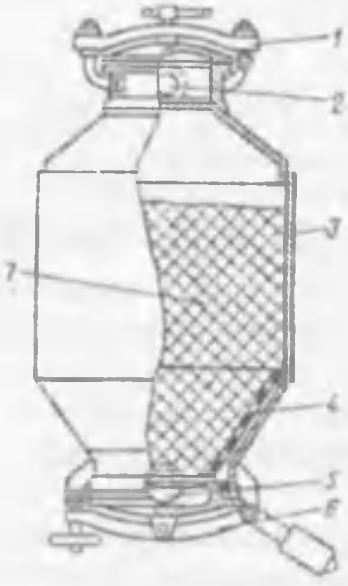
qo‘llanilsa ***ekstraktor*** deb nomlanadi. Agar qurilma qattiq g‘ovaksimon materialni eritish uchun ishlatilsa, unda u **eritkich** deb ataladi.

Ekstraktor va eritkichlarga qo‘yiladigan talablar quyidagilardan iborat:

– qurilma hajmi birligiga to‘g‘ri kelgan ekstraktning miqdori, ya’ni solishtirma ish unumdorligi katta bo‘lishi zarur;

– hosil bo‘layotgan eritma konsentratsiyasi iloji boricha yuqori bo‘lishi kerak;

– energiya sarfi kam bo‘lishi zarur.



5.85-rasm. Perkolator.
1-qopqoq; 2,5-erituvchi uchun shtuserlar; 3- qobiq; 4 -teshikli panjara; 6-ko‘tarma lyuk; 7-material.

Perkolator – bu davriy ishlaydigan, qo‘zg‘almas qatlamli ekstraktor (5.85-rasm). U konussimon tubli va yassi qopqoqli silindrik qurilma bo‘lib, tubida teshikli panjara o‘rnatilgan. Ushbu panjaraga tepa lyukdan maydalangan qattiq material qatlami yuklanadi.

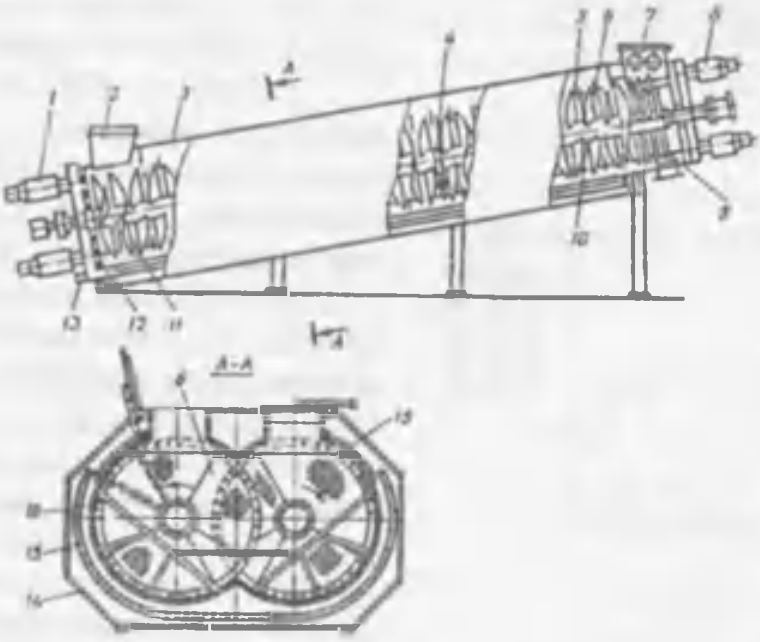
Ishqorlab ajratish jarayoni tugagandan so‘ng, material pastki ko‘tarma lyukdan chiqarib yuboriladi.

Perkolatorlar ketma-ket ulanib batareyalar hosil qilinadi. Batareyaga ulanadigan perkolatorlar soni 4 ta dan 15 ta gacha bo‘lishi mumkin. Erituvchi perkolatorning past qismidan yuqoriga nasos yordamida haydaladi. Batareyalarda oqimlar yo‘nalishi har doim qarama-qarshi bo‘ladi. Istalgan perkolatorda ajratish darajasi belgilangan darajaga yetishi bilan ishlatib bo‘lingan materialni to‘kish uchun batareya o‘chiriladi va yangi xomashyo yuklanadi. Odatda, qurilmadan material bosim ostida to‘kiladi.

Uzluksiz ishlaydigan diffuzion qurilmalar kimyo, tog‘ - kon, oziq - ovqat va boshqa sanoatlarda juda ko‘p ishlatiladi. Ayniqsa, qand lavlagidan shakar olishda va uning turpini chiqarib tashlashda bu turdagi qurilmalar juda samarali qo‘llanilmoqda. **Ikki shnekli, og‘ma diffuzion qurilma** odatda 8...11° burchak ostida ishlatiladi. Qurilmaning tepa qismida qand lavlagi qirindilarini yuklash uchun bunker va hosil bo‘layotgan turpini (jomni) chiqarish uchun shneklar o‘rnatilgan (5.86-rasm).

Qurilma ichida qand lavlagi qirindisi ikkita shnek yordamida pastdan tepaga qarab uzatiladi. Vint chizig‘i bo‘ylab joylangan parraklar tizimi shneklarni hosil qiladi. Birinchi shnekning parraklari, ikkinchi shnekning parraklararo bo‘shlig‘iga kirib turadi. Shneklarning bunday joylashishi qirindini bir tekisda uzatish va qirindini parrak bilan birga aylanishiga to‘sqinlik qiladi. Buning uchun qurilmada kontrparraklar va qopqoqning pastki qismida to‘siqlar o‘rnatilgan.

Lavlagi turpi qurilmaning tepa qismidagi shneklar yordamida chiqariladi. Turpni samarali to'kish uchun parraklar ham yordam beradi. To'kish shneklari uzatish



5.86-rasm. Ikki shnekli, og'ma diffuzion qurilma.
1, 8 - elektr yuritkichlar; 2 - yuklovchi bunker; 3 - qopqoq; 4 - tayanch; 5 - to'siq; 6, 9 - parraklar; 7 - to'kish shneki; 10 - shnek; 11 - isituvchi kamera; 12 - elak; 13 - diffuzion sharbatni chiqarish shtuseri; 14 - qovurg'a; 15 - qoplama; 16 - kontrparrak.

shneklariga nisbatan to'g'ri burchak ostida o'rnatilgan va ularga qarama - qarshi yo'nalishda aylanadi. Ekstraksiyalanayotgan materialni isitish uchun qurilmaning ostki qismida isituvchi kamera o'rnatilgan.

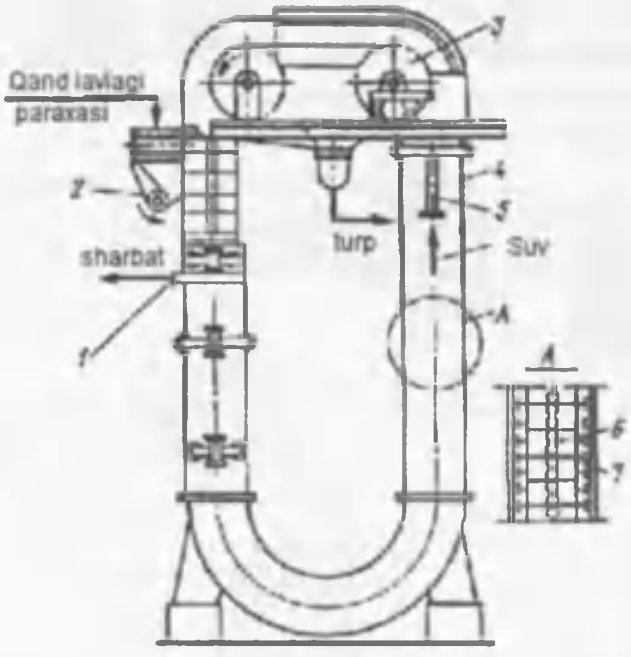
Ikki pog'onali diffuzion qurilma U - simon, to'g'ri to'rtburchak ko'ndalang kesimli qobiqdan iborat bo'ladi (5.87-rasm). Ushbu qobiq maxsus tayanchlari bilan og'ir poydevorga o'rnatiladi.

Qurilma qobig'i ayrim sargalardan tarkib topgan bo'lib, qattiqlik qoburg'alari bilan mustahkamlanadi. Ekstraktorda material uzatuvchi romchalar o'rnatilgan plastmassa zanjirlar yordamida uzatiladi. Ushbu zanjir elektr yuritkichga ulangan uzatma yordamida harakatga keltiriladi. Romchalarni vertikal holatda materialdan to'liq tozalash uchun zarba tipidagi tozalagich o'rnatilgan.

Xomashyo qurilmaga panjarasimon konveyer va rotatsion uloqtirgich yordamida yuklanadi. Isitilgan sharbat qurilmaga soplolar yordamida purkaladi.

Qurilmadan diffuzion sharbat kamerada o'rnatilgan konussimon teshikli elak va patrubkalar orqali chiqariladi. Barometrik suv qurilmaning tepa qismida joylashgan presslangan turp suyuqligi esa, pastki soplolar orqali qurilmaga kiritiladi.

Qand lavlagi paraxasi romchali zanjir yordamida qurilma bo'ylab uzatiladi va oxirida to'kish shtuseriga olib kelinadi. Barometrik va presslangan turp suvlari, qand lavlagi qirindisiga qarama - qarshi yo'nalishda, kolonnaning tepa qismiga yuboriladi. Jarayon yakunida hosil bo'lgan diffuzion sharbat keyingi texnologik jarayonga uzatilsa, turp esa – presslashga yoki omborga yuboriladi. Ayrim qurilmalarda qattiq material kovshlar yordamida uzatiladi.



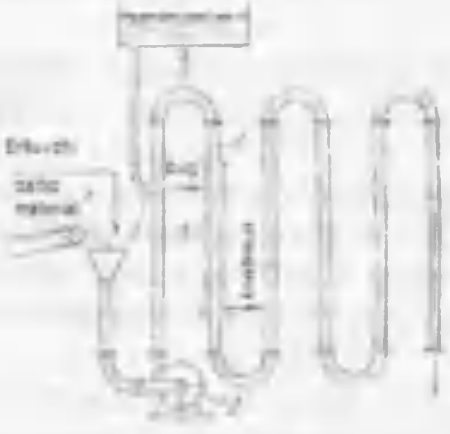
5.87-rasm. Ikki kolonnali diffuzion qurilma.
1,5 - shtuserlar; 2 - rotatsion uloqtirgich; 3 - baraban: 4 - qobiq;
5 - zanjir; 6 - romcha.

Lekin materialni uzatish uchun romcha yoki kovsh zanjirli moslamalarni qo'llash, qattiq jismlarning zichlanishiga sababchi bo'ladi. Ma'lumki, zichlangan materialni ekstraksiyalash ancha qiyin.

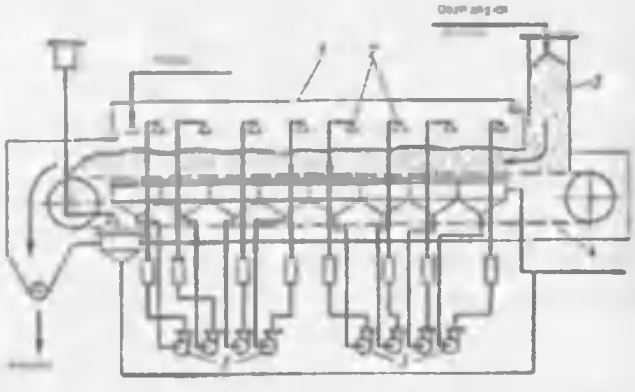
Parrakli va kontrparrakli diffuzion qurilmalarda qirindi ancha maydalanadi, bu esa diffuzion sharbatning filtrlanishini qiyinlashtiradi. Natijada, ekstraksiyalash jarayonining tezligi ham kamayadi.

Lentali ekstraktorlar ko'pincha tarkibida yog' bor materiallardan (pista, chigit va h.) yog'ni ekstraksiyalash uchun qo'llaniladi (5.88-rasm).

Maydalangan qattiq faza (pista) lentada yupqa qatlam holida uzatilsa, ekstragent - benzin yoki geksan esa nasoslar yordamida lentadagi xomashyoga purkaladi. Qattiq material va ekstragentlarning o'zaro harakati kombinatsiyalangan, murakkab bo'lib, ya'ni har bir bo'limda o'zaro kesishgan va ekstraktorning butun uzunligi bo'ylab qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanadi. Ekstraktor konstruksiyasi qattiq material va ekstragentning o'zaro yaxshi to'qnashuvini ta'minlay olmaydi. Shuning uchun, ekstraksiyalash jarayoni juda kichik tezlikda kechadi. Demak, xomashyodan yog'ni to'la ajratib olish uchun ekstraksiya jarayoni bir necha pog'onali qurilmada olib borish kerak.



5.89-rasm. Trubali ekstraktor.
1 - truba; 2- nasos; 3 - bug' qobig'i; 4 - yuvuvchi suv kiradigan shtuser.



5.88-rasm. Lentali ekstraktor.
1 - qobiq; 2 - soplolar;
3 – yuklovchi shaxta; 4 - uzatuvchi transport moslamasi; 5 - nasoslar.

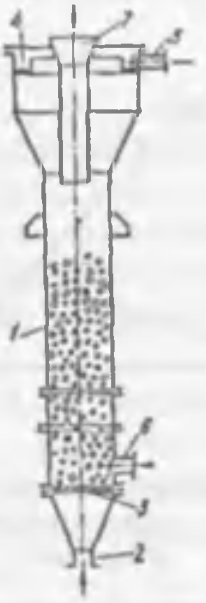
Mavhum qaynash qatlamli ekstraktorlar. Bu turdagi qurilmalarda qattiq material zarrachalar yuzasi butun jarayon mobaynida turbulent oqim bilan yuvilib turadi, ya'ni to'qnashuvda bo'ladi. Natijada ekstraksiyalash va eritish jarayonlari intensivlashadi.

Trubali ekstraktor ketma - ket ulangan truba 1 lardan iborat bo'lib, ulardan qattiq, mayda zarrachali suyuqlik nasosi 2 yordamida haydaladi. Ma'lumki, temperatura ortishi bilan jarayon tezlashadi. Shuning uchun, trubalar bug' qobig'i 3 bilan o'ralgan. Nasos to'satdan to'xtab qolgan hollarda, truba ichidagi qattiq quyqalarni devorga o'tirib qolmasligi uchun yuvib yuboriladi. Buning uchun tepada joylashgan idishdan trubalarga suv yuboriladi.

Ushbu qurilmalarda ekstraksiyalash jarayonining intensivligi, unda ideal siqib chiqarish rejimiga yaqin sharoit yaratilishi bilan bog'liqdir. Qurilmada fazalar qarama - qarshi harakat yo'nalishini qo'llab bo'lmasligiga sabab, qattiq jismning mayda zarrachalari suyuqlik bilan chiqib ketishidir (5.89-rasm).

Mavhum qaynash qatlamli ekstraktor. Silindrsimon kolonna 1 ga pastki shtuser 2 orqali eritma uzluksiz ravishda uzatiladi (5.90-rasm). Shtuser 2 orqali kiritilgan eritma belgilangan tezlikda taqsimlovchi panjara 3 teshiklaridan o'tadi va maydalangan qattiq material qatlamini mavhum qaynash holatiga keltiradi.

Boshlang'ich material qurilmaning yuklash trubasi 7 orqali mavhum qaynash qatlamiga uzatiladi. Odatda, mavhum qaynash qatlami bir necha metr bo'ladi. Qurilmadan chiqishda yuqori konsentratsiyali eritma olish mumkin. Konsentrlangan eritma halqasimon tarnovga tushadi va shtuser 5 orqali tashqariga chiqariladi. Hosil bo'layotgan qattiq qoldiq taqsimlovchi panjara 3 dan ozgina yuqorida joylashgan shtuser 6 orqali uzluksiz ravishda chiqarib turiladi.



5.90-rasm. Mavhum qaynash qatlamli ekstraktor.

1 – kolonna; 2 – eritma kirish shtuseri; 3 – taqsimlovchi teshikli panjara; 4 – halqasimon tarnov; 5 – konsentrlangan eritma chiqadigan shtuser; 6 – qattiq qoldiqni to'kish shtuseri; 7 – qattiq materialni yuklash trubasi.

Bunday ekstraktorlar tuzilishi sodda va kam metall sarflanadi. Undan tashqari, jarayon intensivligi katta va qattiq jismdan kerakli komponentni ajratish darajasi yuqori.

5.29. Eritkichlarni hisoblash

Oxirgi yillarda yaratilgan qattiq jismni ekstraksiyalash jarayonining zonali usuli, noturg'un massa o'tkazuvchanlik masalasini yechishga asoslangan. To'g'ri, geometrik shakldagi jismlarni ekstraksiyalash jarayonining davomiyligini hisoblash uchun ushbu formulani qo'llash mumkin:

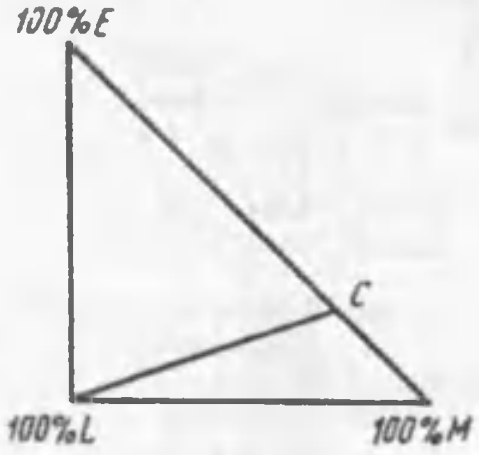
$$\tau_i = \sum_{i}^{n} \frac{\ln \prod_{1}^{s} \frac{\rho_{i,j}}{\overline{E}_i}}{k_i \sum_{i=1}^{n} \frac{\mu_{i,j}}{R_j^2}}$$

bu yerda, μ_{ij} va $\beta_{ij} - j$ yo'nalishidagi jism shakliga va namlik o'zgarishi i oralig'idagi Bi_m kattaliklarga bog'liq koeffitsiyentlar.

Lekin massa o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti bo'yicha tajriba ma'lumotlari yetarli bo'lmagani uchun, ushbu usulning amaliyotda qo'llanilishi ma'lum qiyinchiliklarga duch kelmoqda.

Shuning uchun ekstraktorlarni hisoblash usuli konsentratsiya o'zgarishida nazariy pog'onalar sonini aniqlashga asoslangan usul keng ko'lamda ishlatiladi. Hisoblash usuliga f.i.k. ning kiritilishi ko'p pog'onali qurilmalarning haqiqiy pog'onalar soni yoki uzunligini topish imkonini beradi.

Nazariy pog'onalar sonini uchburchakli diagrammadan foydalanib grafik usulda aniqlashni ko'rib chiqamiz (5.91-rasm).



5.91-rasm. «Qattiq jism – suyuqlik» sistemasi uchun uchburchakli diagramma.

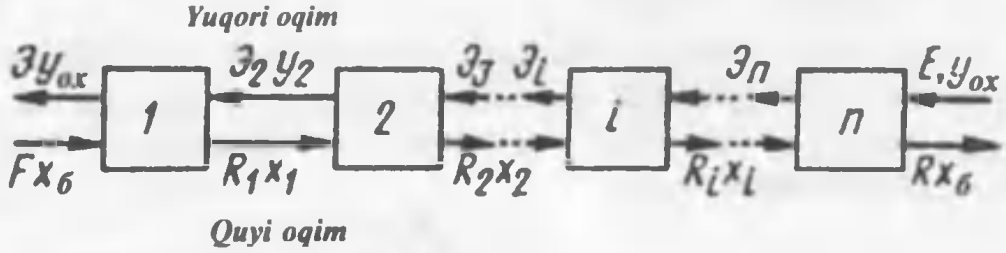
Hisoblashlar qulay bo'lishi uchun teng tomonli uchburchak o'rniga diagrammani to'g'ri burchakli uchburchak ko'rinishida chizamiz.

Boshlang'ich qattiq material erimaydigan ***L*** va eriydigan ***M*** komponentdan tarkib topgan bo'lsin va suyuqlik ekstragent ***E*** yordamida ajratib olinsin. Ekstraksiyalash natijasida ekstragent ***E*** va unda erigan ***M*** moddadan tarkib topgan ekstrakt, hamda erimaydigan modda ***L*** va uning kovaklarida ma'lum miqdorda ekstragent ***E*** da erigan modda ***M*** dan tarkib topgan rafinat hosil bo'ladi.

Uchburchakning har bir tomonidagi nuqta ***L*** va ***M***, ***L*** va ***E***, ***M*** va ***E*** komponentlardan iborat ikki komponentli aralashmani ifodalaydi. Uchburchak ichidagi har bir nuqta uch komponentli sistemani xarakterlaydi.

Agar ekstragent ***E*** dagi ***M*** modda to'yingan eritmasining tarkibi gipotenuzasidagi ***S*** nuqta orqali ifodalansa, unda ***LC*** kesma erimaydigan qattiq modda ***L*** bilan ***M*** va ***E*** lar eritmasi aralashmasini xarakterlaydi. Hosil bo'layotgan aralashmalar tarkibi va miqdori, hamda ekstrakt ***E*** va rafinat ***R*** lar orasidagi miqdoriy nisbatlar richag qoidasiga binoan aniqlanadi.

Ko'p seksiyali qurilmada qarama - qarshi yo'nalishli ekstraksiyalash jarayonini uchburchakli diagrammada ko'rib chiqamiz.



5.92-rasm. Ko'p seksiyali qarama-qarshi yo'nalishli ekstraksiyalash.

Ekstraksiyalash qurilmasi ***n*** pog'onadan iborat bo'lsin (5.92-rasm).

Konsentratsiyasi x_6 (mass.ulush) bo'lgan ***F*** (kg/s) miqdordagi boshlang'ich

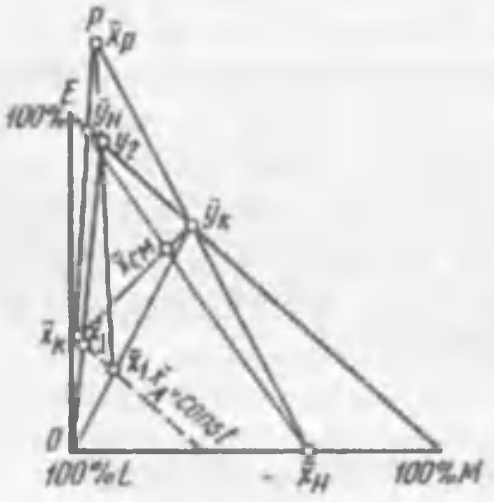
aralashma ekstraksion qurilmaning birinchi pog'onasiga uzatiladi. Qurilmaning boshqa uchidan n – pog'onaga $\bar{y}_б$ konsentratsiyali E (kg/s) miqdorda ekstragent yuboriladi. Ekstraksiya jarayonida hosil bo'layotgan $\bar{y}_{ax}$ konsentratsiyali ekstrakt $Э$ (kg/s) va $\bar{x}_{ax}$ konsentratsiyaga ega bo'lgan rafinat R (kg/s) qurilmadan uzluksiz ravishda chiqarib turiladi.

Jarayonning moddiy balansini ushbu ko'rinishda yozish mumkin:

$$F + E = R + Э \tag{5.158}$$

$$Fx_b + Ey_b = Rx_{ax} + Эy_{ax} \tag{5.159}$$

Qattiq fazadagi ekstraksiyalanayotgan modda konsentratsiyasi $\bar{x}_б$ abssissa o'qiga $\bar{y}_б$ konsentratsiyani uchburchakli diagrammaning gipotenuzasiga qo'yamiz va ushbu nuqtalarni birlashtiramiz (5.93-rasm).



5.93-rasm. Uchburchakli diagramma.

Hosil bo'lgan chiziqni E/F nisbatga qarab bo'lsak, x_{ap} ni olamiz. Bu nuqta boshlang'ich aralashma tarkibini ifodalaydi.

Agar rafinatning tarkibi ma'lum bo'lsa, uchburchakli diagramma gipotenuzasiga qattiq fazaning o'zgarmas tarkibi chizig'ini ($x_1 = const$) parallel qilib o'tkazamiz va unga $\bar{x}_{ax}$ nuqtani qo'yamiz.

(5.158) va (5.159) tenglamalarga binoan $\bar{x}_{ax}$, $\bar{x}_{ap}$ va $\bar{u}_{ax}$ nuqtalar bitta chiziqda yotishi kerak. Shu bilan birga, ekstrakt tarkibini (M va E moddalar aralashmasi) ifodalovchi $\bar{y}_{ax}$ nuqta gipotenuzada yotadi.

Shuning uchun, $\bar{y}_{ax}$ nuqtani $\bar{x}_{ax}$ va $\bar{y}_{ax}$ nuqtalaridan o'tkazilgan to'g'ri chiziqning gipotenuza bilan kesishgan joyi sifatida aniqlanadi.

Biror j – pog'ona uchun moddiy balans tenglamasi ushbu ko'rinishiga ega:

$$F + Э_{j+1} = R_j + Э \tag{5.160}$$

bundan

$$F - Э = R_j - Э_{j+1} \tag{5.161}$$

Ekstraksiyalanayotgan modda bo'yicha moddiy balans esa:

$$F\bar{x}_b - Э\bar{y}_{ax} = R_j\bar{x}_j - Э_{j+1}\bar{y}_{j+1} \tag{5.162}$$

Agar boshlang'ich qattiq aralashma va ekstrakt sarflarining farqini $F - Э = P$ deb belgilasak, unda:

$$F\bar{x}_b - Э\bar{y}_{ax} = P\bar{x}_u$$

yoki

$$P = F - Э = R_1 - Э_2 = \ldots = R - E \tag{5.163}$$

$$P\bar{x}_{.M} = F\bar{x}_6 - \Im\bar{y}_{ox} = F_1\bar{x}_1 - \Im_2\bar{y}_2 = \ldots = R\bar{x}_{ox} - E\bar{y}_{ox} \qquad (5.164)$$

(5.163) va (5.164) tenglamalaridan ko'rinib turibdiki, P qutbning holati ikki to'g'ri chiziq, ya'ni $\bar{x}_6$ va $\bar{y}_{ox}$ nuqtalar, hamda $\bar{x}_{ox}$ va $\bar{y}_6$ nuqtalar orqali o'tgan chiziqlar kesishishida hosil bo'lgan nuqta bilan belgilanadi.

Agar P qutbning holati topib olinsa, grafik usulda konsentratsiya o'zgarishining nazariy pog'onalar sonini aniqlash mumkin. Buning uchun $\bar{y}_{ox}$ nuqtani koordinatalar boshi (nuqta 0) bilan birlashtiramiz va $\bar{x}_A = const$ chiziqda kesishish nuqtasi $\bar{x}_1$ topamiz.

(5.163) va (5.164) tenglamalardan ma'lumki,

$$P = R_1 - \Im_2$$

$$P\bar{x}_{.M} = R_1\bar{x}_1 - \Im_2\bar{y}_2$$

Shuning uchun, $\bar{y}_2$ nuqtani $\bar{x}_m$ va $\bar{x}_1$ nuqtalar orqali o'tkazilgan to'g'ri chiziqning uchburchak gipotenuzasi bilan kesishgan joyi sifatida topamiz. $\bar{x}_2$ nuqta topish uchun $\bar{y}_2$ nuqtani koordinatalar boshi bilan birlashtirish kerak. Ushbu $\bar{x}_2$ nuqta o'tkazilgan chiziq va $\bar{x}_A = const$ chiziqlarning kesilish joyida yotadi. Xuddi shunday qurishlar rafinat konsentratsiyasi $\bar{x}_{ox}$ qiymatiga teng bo'lmaguncha davom ettiriladi. Koordinatalar boshini $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$, $\bar{x}_3$, ..., $\bar{x}_{ox}$ nuqtalar bilan birlashtiradigan chiziqlar ekstraksiya jarayonining nazariy pog'onalar sonini xarakterlaydi.

5-bob. «Qattiq jism–suyuqlik» sistemasida ekstraksiyalash bo'yicha

Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. « Qattiq jism – suyuqlik» sistemasida ekstraksiya jarayonining mohiyati.
2. Eritish nima?
3. Ishqorlanish nima?
4. G'ovaksimon qattiq jism tuzilishlarini chizib ko'rsating.
5. Bio kriteriysining fizik ma'nosi va formulasini yozing.
6. Ekstraksiya jarayonida massa berish formulasini keltiring.
7. Ikki shnekli diffuzion qurilma tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
8. Ikki kolonnali diffuzion qurilma tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
9. Lentali ekstraktor tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
10. Trubali ekstraktor tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
11. Mavhum qaynash qatlamli ekstraktor tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
12. Eritkichlarni hisoblash ketma-ketligi.

ADSORBSIYA

5.30. Umumiy tushunchalar

Gazsimon yoki suyuqlik aralashmalaridan bir yoki bir necha komponentni qattiq, g'ovaksimon jism yordamida yutish jarayoni **adsorbsiya** deb nomlanadi. Yutilayotgan modda **adsorbtiv**, yutuvchi modda esa – **adsorbent** deb ataladi.

Adsorbsiya jarayonining o'ziga xosligi shundaki - u selektiv va qaytar jarayondir. Jarayonning qaytar bo'lishligi tufayli adsorbent yordamida bug' - gaz aralashamalaridan bir yoki bir necha komponentlarni yutish, so'ng esa maxsus sharoitda ularni adsorbentdan ajratib olish mumkin.

Adsorbsiyaga teskari jarayon **desorbsiya** deb nomlanadi. Adsorbsiya jarayoni xalq xo'jaligining turli sohalarida keng tarqalgan bo'lib, gazlarni tozalash va qisman quritish, eritmalarni tozalash va tindirish, bug' - gaz aralashmalarini ajratish uchun ishlatiladi.

Kimyo, neft-gaz sanoatlarida adsorbsiya quyidagi hollarda: gazlar va eritmalarni tozalash va quritishda, eritmalardan qimmatbaho moddalarni ajratib olishda, neft va neft mahsulotlarini tozalashda, neftni qayta ishlashda hosil bo'ladigan gaz aralashmalaridan aromatik uglevodorodlarni (etilen, vodorod, benzin fraksiyalaridan aromatik uglevodorodlarni) ajratib olishda ishlatiladi.

Oziq - ovqat sanoatida esa qand qiyomi va diffuzion sharbatlarni tozalashda, pivo va mevalar sharbatlarini tindirish, vino, konyak, aroq va spirtlarni organik va boshqa birikmalardan tozalash, kraxmal-patoka sanoatida qiyomlarni tozalashda qo'llaniladi.

Adsorbsiya jarayoni 2 xil bo'ladi, ya'ni fizik va kimyoviy adsorbsiya. Agar adsorbent va adsorbtiv molekulalarining o'zaro tortishishi Van-der-Vaals kuchlari ta'siri ostida sodir bo'lsa, bunday jarayon **fizik adsorbsiya** deb nomlanadi.

Fizik adsorbsiya jarayonida adsorbent va adsorbtivlar o'rtasida kimyoviy o'zaro ta'sir bo'lmaydi.

Adsorbsiya jarayonida bug'larning yutilishi paytida ular kondensatsiyalanadi, ya'ni adsorbent kovaklari suyuqlik bilan to'lib qoladi. Boshqacha qilib aytganda, adsorbentda kapillar kondensatsiya ro'y beradi.

Kimyoviy adsorbsiya yoki **xemosorbsiya** adsorbent va yutilgan modda molekulalari orasida kimyoviy bog'lar hosil bo'lishi bilan xarakterlanadi. Bu albatta kimyoviy reaksiyaning natijasidir. Undan tashqari, xemosorbsiya jarayonida kimyoviy reaksiya tufayli katta miqdorda issiqlik ajralib chiqadi. Odatda adsorbsiya jarayonida ajralib chiqadigan issiqlik **adsorbsiya issiqligi** (J/kg) deb nomlanadi va u tajribaviy usulda yoki quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$r = \frac{19{,}16 \cdot ln \frac{p_2}{p_1}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \qquad (5.165)$$

bu yerda, p_1 va p_2 – tegishli absolyut temperaturalar T_1 va T_2 larda adsorbent ustidagi yutilayotgan moddaning muvozanat bosimlari.

Shunday qilib, xemosorbsiya jarayoni yuqori temperaturada kichik tezliklarda sodir bo'ladi.

Adsorbsiya jarayonining selektivligi adsorbent va yutilayotgan komponentning konsentratsiyasiga temperaturaga, tabiatiga va gazlar yutilayotganda bosimga bog'liqdir.

Undan tashqari, jarayon tezligi adsorbentlarning solishtirma yuza kattaligiga ham bog'liq.

5.31. Adsorbentlar turlari va xarakteristikalari

Ma'lumki, xalq xo'jaligining turli sohalarida qo'llaniladigan adsorbentlar iloji boricha katta solishtirma yuzaga ega bo'lish kerak. Kimyo, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda faollangan ko'mir, silikagel, alyumogel, seolit, sellyuloza, ionitlar, mineral tuproq (bentonit, diatomit, kaolin) va boshqa materiallar adsorbent sifatida ishlatiladi. Albatta, adsorbentlar mahsulot bilan bevosita ta'sirda bo'lgani uchun zararsiz, mustahkam, zaharlimas va mahsulotni iflos qilmasligi kerak.

Adsorbentlar moddaning massa birligiga nisbatan juda katta solishtirma yuzali bo'ladi. Uning kapillar kanallari o'lchamiga qarab 3 guruhga bo'linadi, ya'ni makrokovakli (>$2 \cdot 10^{-4}$ mm), oraliq kovakli ($6 \cdot 10^{-6}$...$2 \cdot 10^{-4}$ mm) va mikrokovakli ($2 \cdot 10^{-6}$...$6 \cdot 10^{-6}$ mm) bo'ladi. Shuni ta'kidlash kerakki, adsorbsiya jarayonining xarakteri ko'p jihatdan kovaklar o'lchamiga bog'liq.

Adsorbent yuzasida yutilayotgan komponent molekulalarining miqdoriga qarab bir molekulali (monomolekulali adsorbsiya) va ko'p molekulali qatlam (polimolekulali adsorbsiya) hosil qilish mumkin.

Adsorbentlarning yana bir muhim xarakteristikasi shundaki, bu uning yutish qobiliyati yoki faolligidir. Adsorbent faolligi uning birlik massasi yoki hajmida komponent yutish miqdori bilan belgilanadi. Yutish qobiliyati 2 xil, ya'ni statik va dinamik bo'ladi. Adsorbentning statik yutish qobiliyati massa yoki hajm birligida maksimal miqdorda modda yutishi bilan belgilanadi.

Dinamik yutish qobiliyati esa, adsorbent orqali adsorbtiv o'tkazish yo'li bilan aniqlanadi.

Adsorbentlarning komponent yutish qobiliyati temperatura, bosim va yutilayotgan modda konsentratsiyasiga bog'liq. Ushbu sharoitlarda adsorbentning maksimal yutish qobiliyati muvozanat faolligi deb nomlanadi.

Adsorbentlar zichligi, ekvivalent diametri, mustahkamligi, granulometrik tarkibi, solishtirma yuza kabi xossalari bilan xarakterlanadi. Sanoatda ko'pincha granula (2...7 mm) ko'rinishidagi yoki o'lchamlari 50...200 mkm bo'lgan kukunsimon adsorbentlardan foydalaniladi.

Faollangan ko'mirlar odatda tarkibida uglerod bor yog'och, torf, hayvonlar suyagi, toshko'mir kabi mahsulotlarni quruq haydash yo'li bilan olinadi. Ko'mir faolligini oshirish uchun unga 900°C dan ortiq temperaturada havosiz termik ishlov beriladi. Bunda, material kovaklaridagi smolalar ekstragent yordamida ekstraksiya qilib olinadi.

Faollangan ko'mirlarning solishtirma yuzasi - 600...1750 m^2/g, to'kma zichligi - 250...450 kg/m^3, mikrokovaklar hajmi - 0,23...0,7 sm^3/g. Undan tashqari, ular tarkibida juda kam miqdorda (<8%) kul bo'ladi. Yana shuni ta'kidlash kerakki, havoda 300°C temperaturada faollangan ko'mir yonadi.

Faollangan ko'mirning mayda kukunlari 200°C ga yaqin temperaturada yonadi va konsentratsiyasi 17...24 g/sm^3 bo'lganda havo tarkibidagi kislorod bilan portlovchi birikma hosil qiladi.

Adsorbsiya jarayonida tozalashning samaradorligi adsorbentning g'ovaksimon tuzilishiga bog'liq bo'lib, bunda mikrokovak asosiy rol o'ynaydi. Faollangan ko'mirlar adsorbsion bo'shlig'ining chegaraviy hajmi 0,3 sm^3/g ligi tozalash jarayonida qo'llash tavsiya etiladi. Ma'lumki, mikrokovaklar o'lchami katalitik reaksiyalar tezligini belgilaydi. Mikrokovak o'lchami 0,8...1,0 mkm bo'lgan faollangan ko'mirlar optimal deb hisoblanadi.

Spirt va liker-aroq ishlab chiqarish sanoatida oq qayin BAU, buk kabi yog'ochlardan olingan faollangan ko'mir, spirt-rektifikatlarni aldegid, keton, murakkab efir, karbon kislotalar va yuqori molekulali birikmalardan tozalashda ishlatiladi. Undan tashqari, mevalar sharbati va pivoni tindirish uchun ham ishlatish mumkin. Qand sharbatini tindirish uchun esa suyak ko'miri asosida olingan ko'mirlar qo'llaniladi. Qand sharbati, konyak, vino, meva sharbatlari, efir yog'lari, jelatinni tozalash uchun mayda donasimon faollangan ko'mir - dekolar ishlatiladi. Ayrim hollarda, faollangan ko'mirlar tozalash bilan birga hid, yoqimsiz ta'm, kolloid va boshqa qo'shimcha aralashmalarni ham yo'qotadi.

Silikagellar – bu kremniy kislota gelining suvsizlantirilgan mahsulotidir. Ushbu adsorbentlar natriy silikat eritmalariga kislota yoki ular tuzlarining eritmalarini ta'siri natijasida olinadi. Silikagellarning solishtirma yuzasi 400...780 m^2/g, to'kma zichligi esa - 100...800 kg/m^3. Silikagel granulalari 7 mm gacha bo'lishi mumkin. Silikagellar asosan suv bug'ini yutish, gazlarni quritish, pivo yoki meva sharbatlarini tozalash uchun qo'llaniladi. Bu adsorbent boshqa adsorbentlarga qaraganda yonmaydi, mexanik jihatdan mustahkam bo'ladi.

Seolitlar – tabiiy va sun'iy mineral holatida bo'lib, alyumosilikatning suvli birikmasi. Ushbu adsorbent suvda va organik eritmalarda erimaydi. Sun'iy seolit kovaklari o'lchami sorbsiyalanayotgan molekula o'lchamiga yaqin bo'lgani uchun, kovaklarga kirayotgan molekulalarni adsorbsiya qila oladi. Bu turdagi seolitlar molekular elaklar deb nomlanadi. Seolitlarning ayrim turlari sharbatlarni konsentrlash uchun ishlatiladi.

Seolitlar yuqori yutish qobiliyatiga ega bo'lgani uchun, gazlarni va suyuqliklarni qisman quritish yoki suvsizlantirish uchun ham qo'llaniladi. Seolitlar, ko'pincha 2...5 mm diametrli granula ko'rinishida ishlab chiqariladi.

Tuproqlar va tabiiy tuproqsimon adsorbentlar qatoriga bentonit, diatomit, gumbrin, kaolin, askanit, murakkab kimyoviy tarkibli yuqori dispers sistemalar SiO_2, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, MgO va boshqa metall oksidlari kiradi. Tabiiy tuproqlar faolligini oshirish uchun ular sulfat va xlorid kislotalar bilan qayta ishlanadi. Natijada kalsiy, magniy, temir, alyuminiy va boshqa metal oksidlari chiqarib yuborilishi tufayli qo'shimcha kovaklar hosil bo'ladi.

Bu tuproqlar solishtirma yuzasi 20...100 m^2/g, kovaklar o'rtacha radiusi 3...10 mkm bo'ladi.

Kation almashinish sig'imi ortishi bilan tuproqlarning tozalash qobiliyati ko'payadi. Odatda, tuproqlar suyuqlik muhitlarni tozalash uchun ishlatiladi, masalan, rangli moddalarni qayta ishlash natijasida mahsulot oqaradi. Shuning uchun, ayrim hollarda tuproqli adsorbentlar oqartiruvchi tuproq deb ham ataladi.

Oziq-ovqat sanoatida tuproqsimon adsorbentlar vino, pivo, meva sharbatlari, o'simlik yog'larini rafinatsiya qilish va boshqa maqsadlarda ishlatiladi. Pivoni tozalash uchun esa, sirt faol bentonitdan keng ko'lamda foydalaniladi. Masalan, natriyli bentonit vinoni nafaqat tozalaydi va mo'tadillaydi, balki uni yetilish jarayonini tezlashtiradi va muddatini qisqartiradi.

5.32. Adsorbsiya jarayoni muvozanati

Adsorbsion kuchlar tabiatidan qat'i nazar, adsorbentning massa yoki hajm birligida yutilgan modda miqdori, yutilayotgan modda tabiati, temperatura, bosim va fazadagi aralashma miqdoriga bog'liq.

Jarayondagi qattiq va gaz yoki suyuqlik fazalarida yutilayotgan moddaning muvozanat konsentratsiyalari o'rtasida quyidagi bog'liqlik bor:

$$\bar{x}_м = f_1(\bar{y}) \qquad \text{yoki} \qquad \bar{x}_м = f_2(p) \tag{5.166}$$

bu yerda, $\bar{x}_м$ – adsorbentda yutilgan modda (adsorbtiv) konsentratsiyasi, ya'ni gaz yoki suyuqlik fazalaridagi adsorbtivning muvozanat konsentratsiyasi, kg adsorbtivning *1* kg adsorbentga nisbati; $\bar{y}$ – bug' yoki suyuqlik fazadagi adsorbtiv konsentratsiyasi, kg adsorbtivning 1 kg inert qismiga nisbati; p – bug'-gaz aralashmadagi adsorbtivning muvozanat bosimi, N/m^2.

(5.166) tenglama bilan ifodalanuvchi bog'liqliklar ***adsorbsiya izotermalari*** deb nomlanadi.

Kimyoviy termodinamika asosida adsorbsiya izotermalarining aniq ifodalari topiladi:

Lengmyur izotermalari

$$x_m = \frac{abp}{1+ap} \tag{5.167}$$

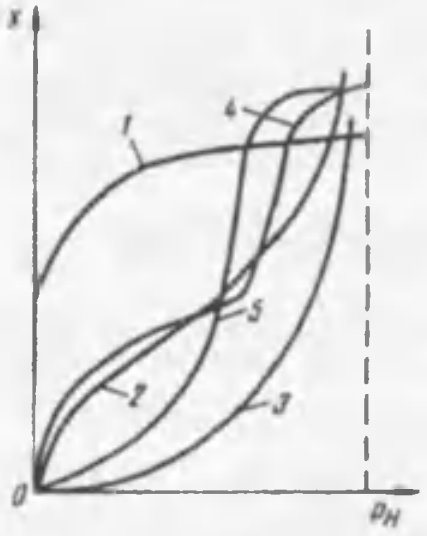
yoki Freydlix izotermalari

$$x_m = k \cdot p^{\frac{1}{n}} \tag{5.167a}$$

bu yerda, x_m – adsorbent bilan yutilgan modda konsentratsiyasi, kg *1* kg adsorbentga; *a, b, k, n* – tajribaviy usul bilan aniqlanadigan konstantalar.

Temperatura pasayishi, bosim ortishi va fazalarda qo'shimcha aralashmalar bo'lmasa, adsorbsiya jarayoni tezlashadi.

Adsorbsiya izotermasining turi ko'pgina omillarga: adsorbentning solishtirma yuzasi, kovaklar hajmi, adsorbent tuzilishi, yutilayotgan modda xossalari va jarayon temperaturasiga bog'liq.



5.94 rasm. Izotermalarning asosiy turlari.

5.94-rasmda asosiy 5 xil izotermalar turi keltirilgan.

Rasmdagi 1 egri chiziq mikrokovakli adsorbentga oid. 2 va 4 egri chiziqlar boshlanishidagi bo'rtiqlik ham mikrokovaklar bilan bog'liq. Izotermalarning keyingi qismi yo'nalishini polimolekular adsorbsiya va kapillar kondensatsiya belgilaydi. 3 va 5 egri chiziqlar botiq qismi «adsorbent-adsorbtiv» sistemada adsorbtiv bilan adsorbent molekulalarining o'zaro ta'sir kuchlari adsorbtiv molekulalarining o'zaro ta'sir kuchlaridan kam bo'lgan holatini xarakterlaydi. Bu turdagi izotermalar juda kam uchraydi.

Adsorbsiya jarayonida bug' yoki suyuqlik fazadan bir necha modda adsorbsiyalanayotganda, hamma moddalar yutilishi aniqlangan. Lekin har bir moddaning muvozanat

konsentratsiyasi har bir moddani alohida adsorbsiyalashdagi konsentratsiyasiga qaraganda kam bo‘ladi.

Adsorbsiya jarayonining bir necha nazariyasi mavjud bo‘lib, ularning har biri ma’lum sharoitdagi tajriba natijalarini ifodalaydi.

Dubinin M.M. nazariyasiga binoan, mikrokovakli adsorbent ishtirokida o‘tkazilayotgan adsorbsiya jarayoni mikrokovaklarni adsorbtiv bilan to‘ldirilishi deb qaraladi. Juda katta temperaturalar oralig‘ida gaz va bug‘lar adsorbsiyasi uchun keltirib chiqarilgan tenglamalar adsorbtiv muvozanat konsentratsiyasining adsorbent kovaklari tuzilishiga bog‘liqligini xarakterlaydi. Bunday tenglamalar murakkabdir.

Prof. Dubinin M.M. tomonidan olingan tenglamalardan biri quyidagi ko‘rinishga ega:

$$x_м = \frac{V}{V_c}\exp\cdot\left[-B\frac{T^2}{\beta_a^2}\lg\left(\frac{P}{p}\right)^2\right] \qquad (5.168)$$

bu yerda, V – adsorbent kovaklari hajmining yig‘indisi; V_c – suyuqlik holatidagi yutilgan modda hajmi; V – adsorbent tuzilishiga bog‘liq konstanta; T – bug‘ning absolyut temperaturasi; β_a – biror adsorbent va standart kovaklardagi suyuqlik holatidagi mol hajmlariga teng bo‘lgan affinlik koeffitsiyenti; P – adsorbtiv to‘yinish bug‘ining bosimi; p – adsorbsiya temperaturasidagi adsorbtiv bug‘ining parsial bosimi.

Adsorbsiya jarayonida boshlang‘ich aralashmada yutilayotgan modda bug‘ining bosimi kamayadi va issiqlik ajralib chiqadi. Shuning uchun **Le-Shatelye prinsipiga binoan, temperatura pasayishi va bosim ortishi bilan adsorbsiyalanayotgan modda miqdori ko‘payib boradi.** Shunday qilib, bosim pasayishi va temperatura ortishi teskari - desorbsiya jarayonini tezlashtiradi.

Adsorbsiya jarayonida ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori (*kJ/kmol*) tajribaviy usul bilan aniqlanadi. Tajribaviy ma’lumotlar yo‘q bo‘lsa, ajrab chiqayotgan issiqlik miqdori (5.165) tenglama yordamida hisoblanishi mumkin.

5.33. Adsorbsiya statikasi va kinetikasi

Adsorbsiya jarayoni boshqa qattiq fazali sistemalarda massa almashinish jarayonidan (mexanizmi) farq qilmaydi.

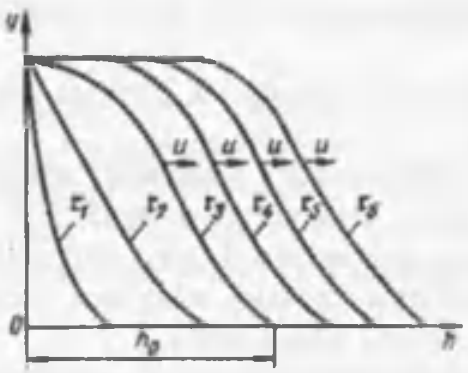
Umumiy holatda adsorbentda yutilayotgan moddaning diffuziya jarayoni (5.24) kriterial tenglamasi yordamida ifodalanadi:

$$\frac{x - x_м}{x_b - x_м} = f\left(Bi_д, \mathrm{Fo}_д, \frac{z}{\delta}\right)$$

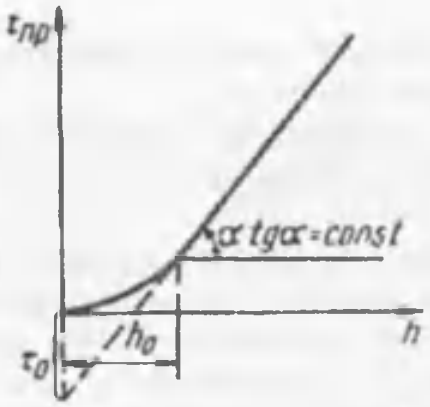
Qo‘zg‘almas adsorbent qatlamiga yutilayotgan moddaning boshlang‘ich konsentratsiyasi u bo‘lgan oqim uzluksiz ravishda uzatilish holatini ko‘rib chiqamiz.

Adsorbent qatlami orqali oqim aralashmasdan, ideal siqib chiqarish rejimida harakatlanmoqda deb faraz qilamiz.

Ma’lum vaqt o‘tgandan so‘ng, adsorbent qatlamining boshlang‘ich qismi tezda to‘yinadi va adsorbtivni adsorbsiya qilishi to‘xtaydi.



5.95-rasm. Adsorbsiya ko'lamining o'zgarish sxemasi.



5.96-rasm. Himoyalovchi ta'sir davomiyligining adsorbent qatlami balandligiga bog'liqligi.

Natijada. yutilayotgan modda konsentratsiyasi o'zgarmas qatlamning boshlang'ich qismidan o'tib ketadi va adsorbsiya zonasi yuqoriga qarab ko'tarilib boradi. Adsorbent qatlami balandligi bo'yicha adsorbtivning tarqalishi ravon va adsorbsiya ko'lami hosil bo'ladi (5.95-rasm).

Ushbu rasmda τ_1, τ_2, $\tau_3 \ldots \tau_n$ vaqtlarda adsorbent qatlami balandligi h bo'yicha adsorbtiv nisbiy konsentratsiyasining taqsimlanish egri chiziqlari keltirilgan. Shuni ta'kidlash kerakki $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3 < \ldots < \tau_n$ (bu yerda τ_n – jarayon boshlanishidan o'tgan vaqt).

Jarayon davomida biror vaqt o'tishi bilan adsorbsiya ko'lami o'zgarmaydi. Adsorbsiya jarayonida adsorbtiv qatlamining to'yinish paytigacha ishlash vaqti, adsorbsiya ko'lamining tashkil etish davri deb nomlanadi. Adsorbentning butun qatlami bo'yicha adsorbsiya zonasi vaqt o'tishi bilan qatlamda adsorbtiv konsentratsiyasi ravon o'zgaradi. Natijada, adsorbsiya ko'lami qandaydir o'zgarmas tezlik bilan siljiydi. Adsorbtivning «o'tib ketishiga» to'g'ri keladigan vaqtdan boshlab adsorbent qatlamining adsorbsion yoki himoyalovchi ta'siri tamom bo'ladi.

Adsorbent qatlamidan adsorbtivning «o'tib ketish» vaqtiga mos keladigan o'rtacha konsentratsiyasi qatlamning dinamik faolligi deb ataladi.

Adsorbsiya jarayoni boshlanishidan muvozanat holatigacha adsorbent massasi birligida yutilgan modda miqdori adsorbentning statik faolligi deyiladi. Ma'lumki, dinamik faollik har doim statik faollikdan kichik bo'ladi. Demak, adsorbentning sarfi uning dinamik faolligiga qarab tanlanadi. Adsorbent qatlami ishlatilishining frontal (qatlamli) modeli prof. Shilov I.A. tomonidan yaratilgan.

Yutilayotgan modda konsentratsiyasi boshlang'ichdan «o'tib ketish» konsentratsiyasigacha o'zgarayotgan adsorbent qatlamining h_o qismi ishchi qatlam deyiladi. Ushbu jarayonga to'g'ri keladigan vaqt – himoya qilish vaqti deyiladi.

Prof. Shilov I.A. tomonidan o'zgarmas tezlik u da adsorbsiya ko'lamining siljishini ifodalash uchun tegishli formulasi keltirib chiqarilgan. Adsorbsiya yoki himoyalovchi ta'sir vaqtini ushbu tenglamadan topish mumkin:

$$\tau = kh - \tau_0 = \frac{h}{u} - \tau_0 \qquad (5.169)$$

bu yerda. $k=1/u$ – qatlamni himoyalovchi ta'sir koeffitsiyenti; τ_0 – qatlamni himoyalovchi ta'sir vaqtining yo'qotilishi.

(5.169) tenglamadagi kattaliklar tajribaviy yo'l bilan aniqlanadi va ularning grafik tasviri 5.96-rasmda ko'rsatilgan. Egri chiziq to'g'ri qismining qiyalik burchak tangensi

($tg\alpha=k$) qatlamning himoyalovchi ta'siri koeffitsiyentiga teng. Ordinata o'qi davomi bilan egri chiziq to'g'ri qismining kesishgan joyidagi kesma esa, himoyalovchi ta'sir vaqti yo'qotilishi τ_0 ga tegishli.

Adsorbsiya ko'lamining siljish tezligini hisoblash uchun quyidagi tenglama tavsiya etiladi:

$$u = w_0 \frac{y_\delta}{\varepsilon \cdot y_\delta + x_m} \qquad (5.170)$$

bu yerda, $w_0 = w' \cdot \varepsilon$ – oqimning soxta tezligi (w' – adsorbent zarrachalari orasidagi kanallarda oqimning tezligi; ε – adsorbent qatlamining g'ovakliligi); x_m – oqimdagi adsorbtivning hajmiy konsentratsiyasi y_δ bilan muvozanatdagi adsorbent qatlamidagi adsorbtiv konsentratsiyasi.

Adsorbent qatlami balandligi h_0 massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan aniqlanadi:

$$h_0 = \frac{u \cdot m_y}{K_{yv}} \qquad (5.171)$$

bu yerda, $m_y = 0{,}9\, y_\delta / \Delta y_{yv}$ – gaz yoki suyuqlik faza o'tkazish birligining umumiy soni; K_{yv} – massa o'tkazish koeffitsiyentining hajmiy koeffitsiyenti.

Massa o'tkazishning hajmiy koeffitsiyenti ushbu formuladan aniqlanadi:

$$K_{yv} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{yv}} + \frac{m}{\beta_{xv}}} \qquad (5.172)$$

bu yerda, β_{yv} va β_{xv} – suyuq va qattiq fazalarda hajmiy massa berish koeffitsiyentlari; m – muvozanat chizig'i qiyalik burchagining o'rtacha tangensi.

Adsorbsiya jarayonining tezligi adsorsiya izotermalari shakli, adsorbent va qatlami tabiati va geometrik xarakteristikalari, adsorbtiv konsentratsiyasi, suyuqlik fazasi tezligi hamda massa berishning tashqi tezligi (gaz yoki suyuqlik fazasidagi massa berish koeffitsiyenti) yoki ichki massa o'tkazish qarshiligining tezligi bilan belgilanadi.

Adsorbsiya jarayonida ichki va tashqi fazaviy tezliklar ***Bio (Bi)*** kriteriysi bilan ifodalanadi. Agar $Bi \geq 30$ bo'lsa, jarayon tezligi adsorbent zarrachalarining ichidagi massa o'tkazuvchanlik tezligi bilan belgilanadi. $Bi \leq 0{,}1$ bo'lganda esa, jarayonning tezligi gaz yoki suyuqlik fazalaridagi tashqi diffuziyaning tezligi bilan aniqlanadi. Lekin adsorbsiya jarayonining tezligiga bu ikkala fazaviy diffuziya tezliklarning ta'sirini miqdoriy jihatdan alohida aniqlash qiyin.

Donador adsorbent qatlamining massa berish koeffitsiyentini aniqlash uchun quyidagi formulalardan foydalanish mumkin:

laminar rejimda (Re<30):

$$Nu_{Д} = 0{,}883\,\mathrm{Re}^{0{,}47} \cdot \mathrm{Pr}_{Д}^{0{,}33} \qquad (5.173)$$

turbulent rejimda esa (Re=30...150):

$$Nu_{Д} = 0{,}53 \cdot \mathrm{Re}^{0{,}54} \cdot \mathrm{Pr}_{Д}^{0{,}33} \qquad (5.174)$$

bu yerda, $Nu_D = \beta_{yv}\, d_e / D$ – Nusselt diffuzion kriteriysi; $Re = w_0 d_e / \nu$ – Reynolds kriteriysi; $Pr_D = \nu / D$ – Prandtl

diffuzion kriteriysi; D – gaz yoki suyuqlik fazadagi diffuziya koeffitsiyenti; w_0 – oqimning soxta tezligi; ν – oqimning kinematik qovushoqligi.

(5.173) va (5.174) tenglamalardagi Nu_D va Re kriteriylarida aniqlovchi geometrik o'lcham sifatida ekvivalent diametr d_e hisoblanadi.

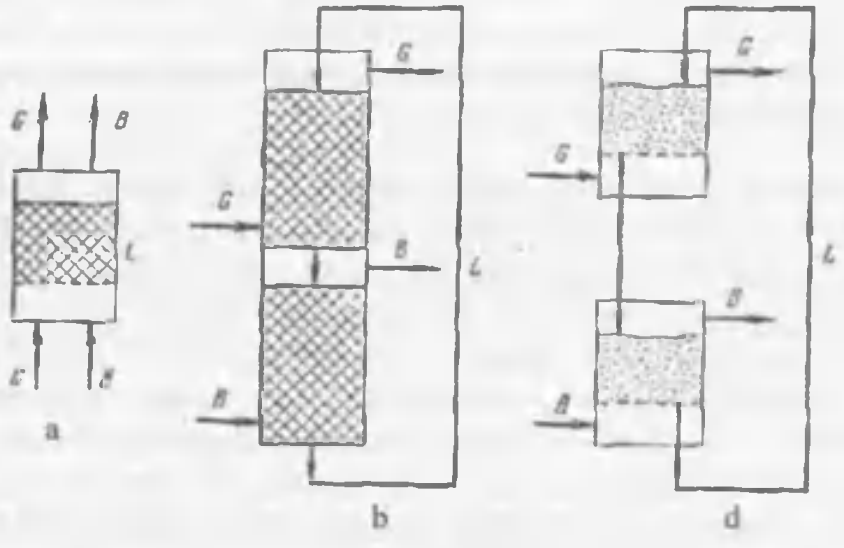
5.34. Adsorbsiya jarayonini tashkil etish usullari

Adsorbsiya jarayonini tashkil etish sxemalari 5.77-rasmda keltirilgan. Donador adsorbentlar uchun qo'zg'almas (*a*) va harakatchan (*b,d*) qatlamli sxemalar ishlatiladi.

Birinchi holatda jarayon davriy bo'ladi. Dastavval adsorbent qatlami L orqali bug'-gaz aralashmasi G o'tkaziladi va u yutilayotgan modda bilan to'yintiriladi; undan so'ng siqib chiqaruvchi modda B yuboriladi yoki adsorbent qizdiriladi. Ana shunday yo'l bilan adsorbent qayta tiklanadi, ya'ni desorbsiya jarayoni sodir bo'ladi.

Ikkinchi holatda adsorbent L yopiq sistemada sirkulatsiya qiladi (5.77б-rasm); adsorbentning to'yinishi qurilmaning yuqori – adsorbsion zonasida, qayta tiklanish esa - pastki desorbsion zonasida yuz beradi.

Agar adsorbent kukun, changsimon ko'rinishda bo'lsa, sirkulatsiyali, mavhum qaynash qatlamli sxema qo'llaniladi (5.97d-rasm).



5.97-rasm. Adsorbsiya jarayonining prinsipial sxemalari.
a - qo'zg'almas donador adsorbentli; b - harakatchan donador adsorbentli; d - sirkulatsiyali, mavhum qaynash qatlamli.

5.35. Desorbsiya

Ma'lumki, adsorbsiya jarayoni aralashmalarni ajratish uchun qo'llaniladi va har doim desorbsiya jarayoni bilan ketma-ket o'tkaziladi.

Odatda, adsorbentni qayta ishlatish maqsadida unga yutilgan modda desorbsiya qilib ajratib olinadi. Buning uchun ko'pincha suv bug'i ishlatiladi. Desorbsiya natijasida olingan adsorbtiv va suv bug'i aralashmasi kondensatorga uzatiladi. Unda, mahsulot suvdan cho'ktirish usulida ajratib olinadi.

Sanoatda desorbsiyaning bir necha usuli qo'llaniladi.

a) adsorbentga yutilgan komponentlar yutiluvchi moddalarga nisbatan yuqori adsorbsion qobiliyatga ega bo‘lgan eltkichlar yordamida siqib chiqariladi;

b) adsorbent qatlamini qizdirish yo‘li bilan nisbatan yuqori uchuvchanlikka ega yutilgan komponentlarni bug‘latish.

Ayrim hollarda adsorbsiya jarayonida hosil bo‘lgan smola va boshqa mahsulotlarni tozalash uchun ushbu komponentlar kuydiriladi.

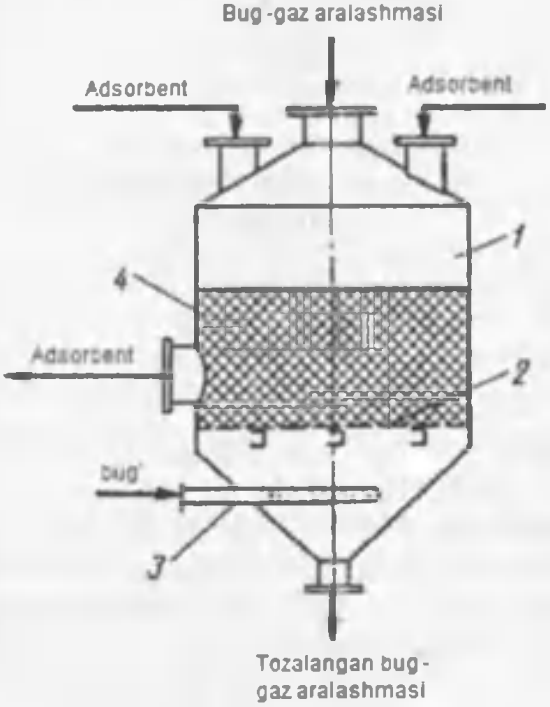
Desorbsiyaning u yoki bu usulini qo‘llash texnik-iqtisodiy maqsaddan kelib chiqqan holda tanlanadi. Ikkala usul ham amaliyotda keng ishlatiladi va ko‘pincha birgalikda qo‘llaniladi.

Adsorbsiya jarayoni tugagandan so‘ng, adsorbent qatlamidan toza bug‘ yoki gaz o‘tkaziladi va yutilgan modda ajratib olinadi. Desorbsiya jarayonini jadallashtirish uchun yuqori temperaturadagi desorblovchi eltkich adsorbent qatlamidan o‘tkaziladi.

Desorblovchi eltkich sifatida suv va organik moddalar bug‘lari, hamda inert gazlarni qo‘llash mumkin. Desorbsiya jarayoni tugagandan so‘ng adsorbent qatlami odatda quritiladi va sovutiladi. Qayta tiklash jarayonida faollangan ko‘mirga yutilgan uchuvchan erituvchilar to‘yingan suv bug‘i yordamida desorbsiya qilinadi. Shuni alohida ta’kidlash kerakki, yutilgan moddaning asosiy qismi desorbsiya jarayonining boshida ajratib olinadi. Jarayon oxiriga borib, uning tezligi pasayadi, ammo yutilgan komponent birligiga suv bug‘ining sarfi juda ko‘payib ketadi. Shuning uchun suv yoki boshqa organik modda bug‘larini tejash maqsadida, desorbsiya jarayoni oxirigacha olib borilmaydi. Shu sababli, yutilgan komponentning bir qismi adsorbentda qolib ketadi.

Desorbsiya jarayoni davomida isituvchi bug‘ning bir qismi butun sistemani isitishga, adsorbentda yutilgan moddani desorbsiyalash va atrof-muhitga yo‘qotilgan issiqlikni kompensatsiya qilishga sarflanadi. Lekin shuni nazarda tutish kerakki, isituvchi bug‘ning hammasi adsorbentda butunlay kondensatsiyalanadi.

Adsorbent qatlamidagi desorbsiyalangan moddalar dinamik bug‘ yordamida puflab chiqariladi. Dinamik bug‘ adsorbentda kondensatsiyalanmaydi va qurilmadan desorbsiyalangan moddalar bilan birga uchib chiqadi.



5.98-rasm. Qo‘zg‘almas qatlamli adsorber.
1-qobiq; 2-kolosnikli panjara; .
3-halqasimon truba; 4-adsorbent.

Taxminiy hisoblarga ko‘ra, 1 kg moddani desorbsiyalash uchun 3...4 kg dinamik bug‘ sarflanadi. Seolitlarni qayta tiklash uchun ko‘pincha qizdirilgan quruq gaz qo‘llaniladi. Desorbsiya jarayoni adsorbsiya kabi qo‘zg‘almas, harakatchan va mavhum qaynash qatlamlarida olib boriladi.

5.36. Adsorberlar konstruksiyalari

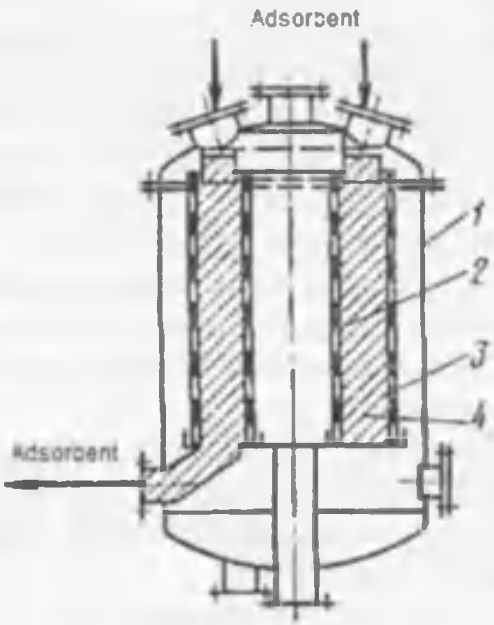
Jarayonni tashkil etish bo‘yicha adsorberlar 2 guruhga bo‘linadi: davriy va uzluksiz.

Davriy adsorberlar qo‘zg‘almas va mavhum qaynash qatlamli bo‘ladi.

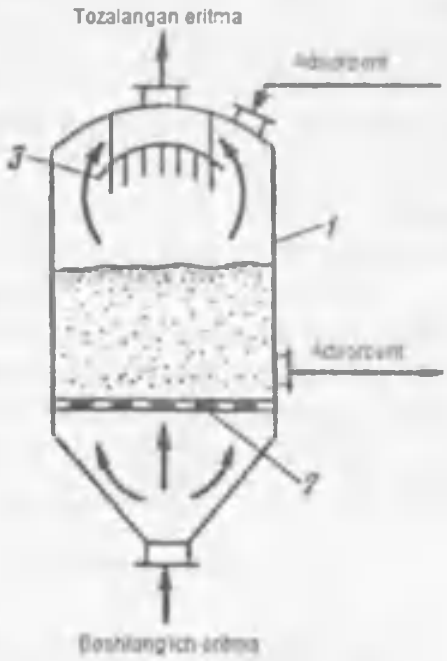
Vertikal silindrik adsorber – davriy ishlaydigan adsorberlarning eng ko'p tarqalgan konstruksiyasidir (5.98-rasm).

Kolosnikli panjara 2 ga qurilma tepa qismidagi lyuklar orqali adsorbent granulalari yuklanadi. Qurilmaning pastki qismidagi lyuklar orqali esa, ishlatib bo'lingan adsorbent to'kiladi. Bu turdagi adsorberlar bug'-gaz aralashma va suyuqlik eritmalarini tozalash uchun ishlatiladi. Boshlang'ich aralashma va o'tkir bug'ni uzatish uchun adsorberda tegishli shtuserlar o'rnatilgan. Odatda, boshlang'ich eritma adsorberning halqasimon trubasi 3 orqali pastdan yuqoriga harakatlantiriladi. Bug'-gaz aralashmasi esa, yuqoridan pastga qarab uzatilishi mumkin. Bunday qurilmalarda, desorbsiya jarayonida o'tkir bug' halqasimon truba 3 orqali yuboriladi.

Bu turdagi adsorberlarda adsorbsiya jarayoni 4 bosqichda o'tadi: adsorbsiya, desorbsiya, quritish va adsorbentni sovitish. Jarayon tugagandan so'ng, ishlatilib bo'lingan adsorbentni qayta tiklash masalasi paydo bo'ladi. Adsorbentdan yutilgan moddani desorbsiyalash texnologik jarayonning zarur bosqichidir. Ushbu bosqichda



5.99-rasm. Halqasimon adsorbent qatlamli adsorber.
1-qobiq; 2,3-ichki va tashqi silindrsimon panjara;
4-adsorbent.



5.100-rasm. Mavhum qaynash qatlamli adsorber.
1-qobiq; 2-taqsimlovchi teshikli panjara;
3-separator.

birdaniga ikkita masala yechiladi: adsorbentni qayta tiklash va moddani ajratib olish.

Desorbsiyalashning asosiy usuli bu to'yingan suv bug'i yordamida adsorbentdan yutilgan komponentni siqib chiqarish. Desorbsiya jarayoni tezligini oshirish uchun jarayon yuqori temperaturalarda o'tkaziladi.

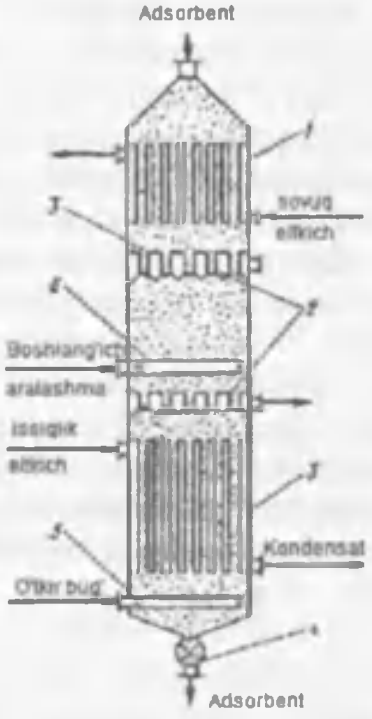
Vertikal, qo'zg'almas halqasimon adsorbent qatlamli adsorber – bug'-gaz aralashmasidan komponentlarni yutish uchun mo'ljallangan (5.99-rasm). Adsorber vertikal qobiq 1 dan iborat bo'lib, uning ichida ichki 2 va tashqi 3 panjaralar orasiga adsorbent 4 joylashgan bo'ladi. Absorbsiya bosqichida bug'-gaz aralashmasi adsorberning pastki qismiga beriladi va halqasimon adsorbent qatlamining kesimi bo'yicha taqsimlanadi. Adsorbent qatlamidan o'tib, tozalangan bug'-gaz aralashma markaziy patrubkadan chiqib ketadi. Desorbsiyalash bosqichida suv bug'i adsorberning markaziy patrubkasi orqali uzatiladi. Desorbsiyalangan komponent va suv bug'larining

aralashmasi qurilmaning pastki qismidagi shtuser orqali chiqariladi. Adsorbentni quritish uchun issiq, sovitish uchun esa – sovuq havo yuboriladi. Adsorbent sovutilgandan so'ng sikl yana qaytadan takrorlanadi. Adsorbentni yuklash qurilmaning tepasidagi lyuk, to'kish esa–pastki techka orqali amalga oshiriladi.

Mavhum qaynash qatlamli adsorber – mayda, donador adsorbent bilan to'ldirilgan bo'ladi (5.100-rasm).

Boshlang'ich aralashma adsorbent zarrachasining mavhum qaynash tezligidan kattaroq tezlikda gaz taqsimlovchi teshikli panjara 2 ostiga uzatiladi. Natijada, adsorbent qatlami kengayadi va so'ng mavhum qaynash holatiga o'tadi. Adsorbsiya jarayonini mavhum qaynash qatlamida o'tkazish massa almashinish jarayonini intensivlashga va jarayon davomiyligini qisqarishiga olib keladi.

Reaktor tipidagi adsorber – mexanik yoki pnevmatik aralashtirish moslamali bo'ladi. Adsorber silindr qobiq va elliptik tublardan iboratdir. Qobiq ichida parrakli aralashtirgich aylanadi. Adsorberga eritma qurilma tepa qismidagi lyukdan quyiladi, adsorbent esa o'sha qismida joylashtirilgan lyukdan yuklanadi. Suspenziya esa, qurilmaning pastki patrubkasidan to'kiladi va filtrga uzatiladi. U yerda suspenziya komponentlarga ajratiladi. Ishlatib bo'lingan adsorbent qayta tiklash uchun desorberga yo'naltiriladi. Adsorbsion qurilmalar davriy ishlaydigan bir nechta adsorberdan iborat bo'ladi. Bir nechta adsorber adsorbsiya bosqichida ishlasa, qolganlari esa – adsorbentni qayta tiklash bosqichida ishlatiladi.



5.101-rasm. Harakatchan adsorbent qatlamli adsorber.
1-sovutkich; 2-taqsimlovchi tarelka; 3-isitkich; 4-shlyuzli tamba; 5-o'tkir bug' taqsimlagich; 6-boshlang'ich eritma taqsimlagich.

Uzluksiz ishlaydigan adsorberlar siqiq (zich) harakatlanuvchi va mavhum qaynash qatlamli bo'ladi.

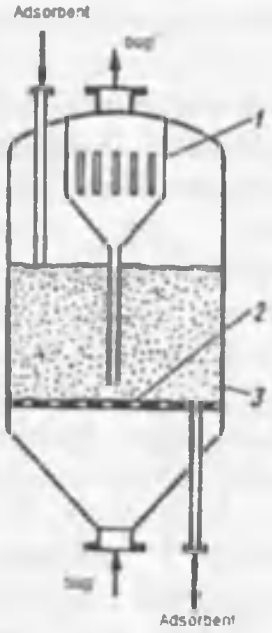
Harakatchan donador adsorbent qatlamli adsorberlar – bu ichi bo'sh kolonna tipidagi qurilma bo'lib, unda to'siqlar, quyilish patrubkalari va uzatuvchi moslamalar o'rnatilgan.

5.101-rasmda bug'-gaz aralashmasini tozalash va taqsimlovchi tarelkalardan tarkib topgan. Bu turdagi adsorberda adsorbent uzluksiz sirkulatsiya qilib turadi va gazdagi yutiluvchi komponent adsorbentga o'tadi.

Adsorbentning birinchi seksiyasi bo'lmish sovutkichda qayta tiklangan adsorbent sovutiladi. Ushbu seksiya qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi ko'rinishida yasalgan. Sovuqlik eltkich sovutkichning trubalararo bo'shlig'iga uzatilsa, adsorbent esa – trubalar ichida harakatlanadi.

Ikkinchi seksiya adsorber vazifasini bajaradi. Bu yerda adsorbent bug'-gaz aralashmasi bilan to'qnashuvda bo'ladi. Birinchi seksiyadan ikkinchisiga adsorbent patrubka va taqsimlovchi tarelkalar orqali o'tadi. Qayd etilgan moslamalar adsorbent qurilma ko'ndalang kesimi bo'yicha bir xilda taqsimlash va ikkala seksiya orasida tamba va ajratib turuvchi vosita sifatida xizmat qiladi. Undan keyin, ishlatib bo'lingan adsorbent desorbsiya seksiyasiga o'tadi va u yerda desorbsiyalovchi eltkich (o'tkir bug') bilan o'zaro ta'sirda bo'lib qizdiriladi. Qayta tiklangan adsorbent shlyuzli tamba orqali chiqarib yuboriladi.

Mavhum qaynash qatlamli adsorberlar bir va ko'p pog'onali bo'ladi.



5.102-rasm. Uzluksiz ishlaydigan, bir pog'onali mavhum qaynash qatlamli adsorber.
1 - qobiq; 2 - gaz taqsimlagich; 3 - chang yig'gich.

Bir pog'onali, mavhum qaynash qatlamli *adsorber* konstruksiyasi 5.102-rasmda keltirilgan. Bunday qurilmalarda adsorbent mavhum qaynash holatida bo'ladi va u uzluksiz ravishda tegishli panjara ustiga uzatilib turiladi.

Adsorber vertikal silindr qobiqdan va uni ichiga o'rnatilgan separator va gaz taqsimlovchi panjaradan iborat. Separator chang ushlash vazifasini bajaradi. Adsorbent qurilmaning tepasidagi truba orqali yuklanadi va silindrik qobiqning past qismida o'rnatilgan shtuserdan chiqariladi. Boshlang'ich bug'-gaz aralashmasi qurilmaning konussimon tubidagi shtuserdan tegishli panjara ostiga yuboriladi. Albatta, bug'-gaz aralashmaning tezligi adsorbent zarrachasining mavhum qaynash tezligidan yuqori bo'lishi kerak. Adsorbent bilan o'zaro ta'sirda bo'lgan bug'-gaz aralashmasi separatordan o'tib, tepa qismidagi shtuserdan chiqib ketadi.

Bunday adsorberlarda adsorbent zarrachalari intensiv aralashadi va qatlamda bo'lish vaqti har xildir. Bu esa, adsorbentning notekis to'yinishiga sababchi bo'ladi.

Undan tashqari, fazalarning yo'nalishi bir tomonlama bo'lsa, gaz fazasida adsorbent qatlamidagi o'rtacha konsentratsiyaga mos keladigan muvozanat holidagi konsentratsiyadan kam bo'lgan adsorbtivning konsentratsiyasiga erishish ancha murakkab. Bir pog'onali adsorber kamchiliklari ko'p pog'onali, qarama-qarshi yo'nalishli qurilmalarda bartaraf qilingan.

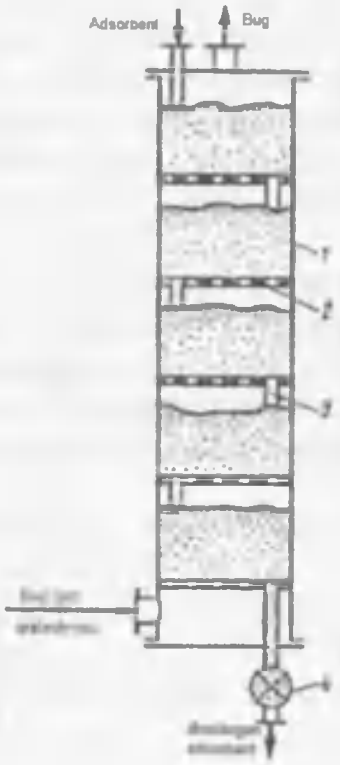
Ko'p pog'onali, mavhum qaynash qatlamli adsorber 5.103-rasmda tasvirlangan. Bu qurilma kolonna tipida bo'lib, ichida quyilish patrubkali gaz taqsimlovchi tegishli panjaralar joylashtirilgan. Quyilish patrubkalari bir vaqtning o'zida tamba vazifasini o'taydi, ya'ni gaz oqimini o'zidan o'tkazmaydi. Adsorbent qurilmaning tepasidagi shtuserdan eng yuqori tarelkaga uzatiladi va undan so'ng pastda o'rnatilgan tarelkalarga quyilish patrubkasi orqali birin-ketin o'tadi. Eng pastdagi tarelkadan shlyuzli tamba orqali tashqariga chiqarib yuboriladi.

Boshlang'ich bug'-gaz aralashma esa adsorberning pastki qismidagi shtuserdan kiritiladi va tepadagidan chiqariladi.

Bu turdagi qurilmalarda bug'-gaz aralashma ko'ndalang kesim bo'ylab bir tekisda taqsimlanadi va fazalar o'rtasida intensiv massa almashinish yuz beradi. Natijada, adsorbentning to'yinishi bir xil va eng katta yutish qobiliyatiga ega bo'ladi.

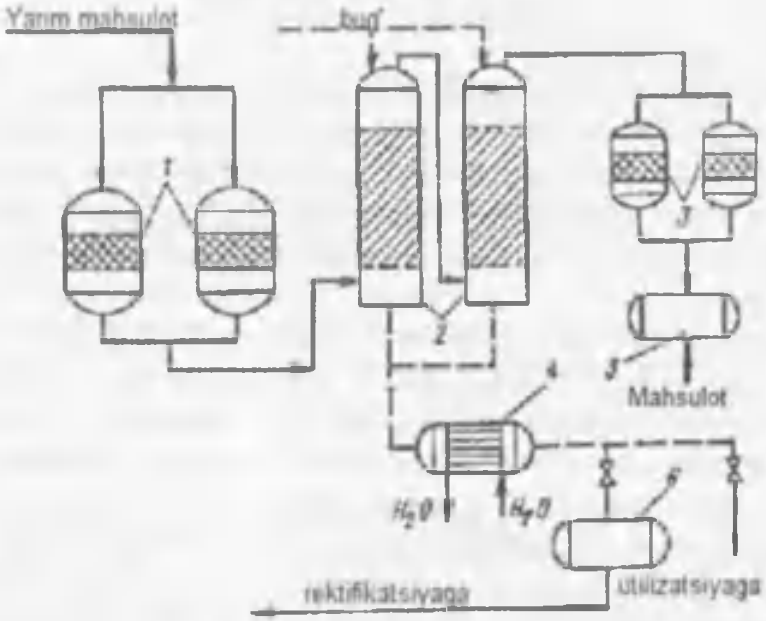
Bir pog'onali adsorberlardan farqli, ko'p pog'onali qurilmalar ideal siqib chiqarish sxemasida ishlaydi. Bu hol adsorbsiya jarayonini fazalar qarama-qarshi yo'nalishida olib borish imkonini yaratadi.

Faollangan ko'mir qo'zg'almas qatlamda suv-spirt aralashmasini tozalash sxemasi 5.104-rasmda keltirilgan. Avval suv-spirt aralashmasi qumli yoki keramik filtrda tozalanadi, so'ng esa adsorberlarda tindiriladi. Bitta silindrik adsorberdagi faollangan ko'mir massasi 250...300 kg. Ko'mir qurilmaning gaz taqsimlovchi teshikli panjarasiga yuklanadi. Suv-spirt aralashmasi esa, gaz taqsimlovchi panjara ostiga yuboriladi.



5.103-rasm. Ko'p pog'onali, mavhum qaynash qatlamli adsorber.
1 - qobiq; 2 - gaz taqsimlovchi teshikli panjara; 3 - quyilish patrubkasi; 4 - shlyuzli tamba.

Yangi yoki qayta tiklangan adsorbentli adsorberga suv-spirt aralashmasi aroqning naviga qarab 30...60 dal/g miqdorga uzatiladi. Ekspluatatsiyadagi adsorber adsorbentni qayta



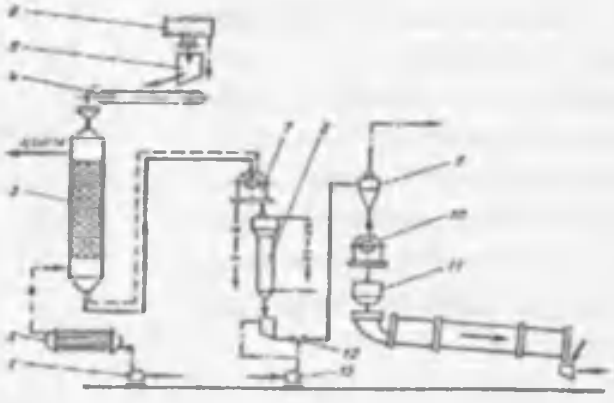
5.104-rasm. Qo'zg'almas faollangan ko'mir qatlamida suv-spirt aralashmasini tozalash qurilmasining sxemasi.
1,3-filtrlar; 2-adsorberlar; 4,6-yig'gichlar; 5-kondensator-sovutkich.

tiklash rejimiga bir yilda 3...4 marta o'tkaziladi. Ishlatib bo'lingan faollangan ko'mir adsorberda 115°C temperaturada qayta tiklanadi. Buning uchun yuqoridan pastga qarab to'yingan suv bug'i haydaladi.

Bitta adsorberdan quvvati 55...60% li 50...60 dal spirt haydab olish mumkin. Ikkita davriy ishlaydigan adsorber qurilmaning uzluksiz ishlashini ta'minlaydi. Desorbsiyalash jarayoni davomiyligi 3...4 soat, 1 kg ko'mirni tiklash uchun 4 kg suv bug'i sarflanadi. Qayta tiklashdan so'ng, adsorbent sovutiladi va issiq havo bilan quritiladi.

Sanoat miqyosida faollangan ko'mirni qayta tiklash barabanli o'txonalarda 800...850°C temperaturada olib boriladi. Kuydirish jarayonida faollangan ko'mirning yo'qotilishi 20% ni tashkil etadi.

Qand qiyomini adsorbsion tozalovchi, ikki pog'onali qurilma. Qand qiyomlarini mayda, donador suyak ko'mirlari yordamida tozalanadi, rangsizlash – qandni tozalashning oxirgi bosqichidir.



5.105-rasm. Qiyomni uzluksiz tozalash qurilmasi.
1,13-nasoslar; 2-issiqlik almashinish qurilmasi; 3-adsorber; 4-konveyer; 5,11-bunkerlar; 6-tebranma elak; 7,10-vakuum-qurilmalar; 8-kolonna; 9-gidrosiklon; 12-injektor.

Suv va qand isitiluvchi avtoklavda aralashtirilishi natijasida qand eriydi va uning qiyomi hosil bo'ladi. Eritmaning dastlabki rangsizlantirish adsorberda o'tkaziladi. Ikkinchi tozalash pog'onasidan bu qurilmaga qisman ishlatilgan adsorbent kelib tushadi. 1 kg qiyomni rangsizlash uchun faollangan ko'mirning sarfi 5...10 g ni tashkil etadi. Adsorbsiya jarayoni 30 daqiqaga yaqin davom etadi. Suspenziya filtrpressda fazalarga ajratiladi. Filtrlangan qand qiyomi adsorbsion tozalashga uzatiladi. Adsorberga yangi adsorbent yuklanadi. Suspenziyani fazalarga ajratib ham birinchi pog'onada, ham filtr-pressda olib boriladi. Ishlatib bo'lingan ko'mir qayta tiklanadi yoki utilizatsiyaga yuboriladi.

Qand qiyomlarini tozalash uchun granula holatidagi faollangan ko'mirli qurilmalar ham ishlatiladi (5.105-rasm). Silindrik adsorberlar balandligi 8...10 m va diametri 1 m bo'lganda, qand qiyomining tezligi 1,5...2,5 m/s oraliqda ishlaydi. Adsorbent qatlami va qand qiyomining o'zaro ta'sir davomiyligi 6 soatni tashkil etadi. Adsorbentning qayta tiklashgacha xizmat qilish muddati 80 sutka. Ishlatib bo'lingan adsorbent, qurilmadan to'kilgandan so'ng, noorganik birikmalar bilan yuviladi, quritiladi va 1000...1100°C temperaturada termik ishlov beriladi. Undan keyin esa, suv bug'i yordamida faolligi oshiriladi.

Qand qiyomini rangsizlantirish uchun harakatchan qatlamli, uzluksiz ishlaydigan adsorberlar ham qo'llaniladi.

Desorbsiya jarayonida o'tkir bug' adsorberning pastki qismiga yuboriladi. Adsorberdan chiqayotgan bug'lar kondensatsiyalanadi va kondensat ajratish uchun separatorga yoki rektifikatsiyaga uzatiladi. Adsorbentni quritish uchun issiqlik almashinish qurilmasidagi isitilgan havo adsorberga yuboriladi. Adsorbentni sovitish uchun ventilator 1 yordamida aylanma liniya 7 orqali sovuq havo haydaladi.

Agar adsorbsion sxemada bir nechta adsorber bo'lsa, qurilma uzluksiz ravishda ishlaydi.

5.37. Adsorberlarni hisoblash

Davriy ishlaydigan adsorberlarni hisoblash adsorbent qatlamining balandligini aniqlashdan iborat. Boshlang'ich konsentratsiyasi y_b bo'lgan aralashmaning konsentratsiyasini y_{ox} gacha tushirish uchun zarur adsorbent miqdori moddiy balansdan topiladi:

$$G \cdot (y_b - y_{ox}) = V_a (x_{ox} - x_b) \tag{5.175}$$

bu yerda, G va V_a – gaz (yoki suyuqlik) aralashmasi va adsorbentning massalari, kg; x_b, x_{ox} – adsorbtiv va adsorbent konsentratsiyalari, g/kg.

Agar $x = 0$ va $x_{ox} \longrightarrow x_m$ deb qabul qilsak, ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$V_a = G \frac{y_b - y_{ox}}{x_{ox}} \tag{5.176}$$

yoki aralashmadagi adsorbtivning oxirgi konsentratsiyasi quyidagi tenglamadan aniqlanishi mumkin:

$$y_{ox} = -\left(\frac{V_a}{G}\right) \cdot x_{ox} + y_b \tag{5.177}$$

Oxirgi tenglama $tg\alpha = -V_a/G$ ga teng qiyalik burchagida joylashgan to'g'ri chiziqni ifodalaydi.

Adsorber diametri bug' - gaz aralashma yoki eritmaning sarfi V ga qarab topiladi:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0{,}785 \cdot w_0}} \tag{5.178}$$

Adsorbent balandligi esa:

$$H = \frac{V_a}{0{,}785 \cdot D^2 \cdot \rho_T}$$

yoki

$$H = u \cdot (\tau - \tau_0) \tag{5.179}$$

bu yerda, ρ_t – adsorbentning to'kma zichligi, kg/m^3.

Adsorbsiya jarayonining davomiyligi:

$$\tau = \frac{V_a (x_{ox} - x_b)}{w_0 \cdot 0{,}785 \cdot D^2 \cdot \rho \cdot (y_b - y_{ox})} \tag{5.180}$$

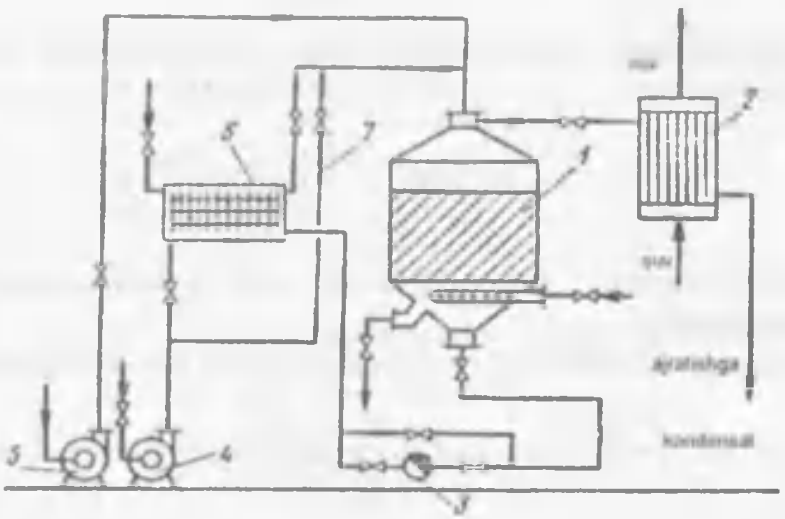
Rafinat va mahsulot qiyomlarini tozalash adsorbsion qurilmasi 5.105-rasmda ko'rsatilgan. Ushbu qurilmada eritmalar bo'yovchi modda va erigan tuzlardan tozalanadi.

Filtrlangan qiyom nasos 1 yordamida issiqlik almashinish qurilmasida qizdirilib, adsorber 3 ning pastki qismiga yuboriladi. Ko'mir esa tebranma elak 6 dan o'tib adsorberga tushadi va u yerda tozalangan qiyom bilan ho'llanadi. Adsorbent harakatiga qarama-qarshi yo'nalishda uzluksiz qand qiyomi yuboriladi va qurilmaning tepa qismidan chiqariladi. Ishlatib bo'lingan adsorbent qurilmaning pastki qismidan tashqariga to'kiladi.

Qiyom va tarkibida qand bor moddalarni aralashmadan ajratib olish jarayoni vakuum-qurilmada amalga oshiriladi. Kolonnada adsorbent zarrachalari qandsizlantiriladi, suyuq qoldiqlar esa, qurilmaning tepa qismidan chiqarib olinadi. Undan keyin esa, adsorbent ikkinchi vakuum - qurilmaga uzatiladi va u yerda qandli moddalardan to'la ajratiladi. Ishlatib bo'lingan adsorbent ikkinchi kolonnada yutilgan komponentlardan yuvib tozalanadi.

Gidrosiklon 9 va vakuum-qurilma 10 larda suvsizlantirilgan adsorbent (ko'mir) bunker 11 ga yuboriladi va tebranma ta'minlagich yordamida qayta tiklash uchun o'txonaga uzatiladi. O'txonadan chiqqan adsorbent (ko'mir) bunker sovutkichga yo'naltiriladi va undan keyin yana tebranma elakka yuboriladi.

Bug' - havoli aralashmani organik moddalardan tozalash adsorbsion qurilmasi 5.106-rasmda tasvirlangan.



5.106-rasm. Bug'-havo aralashmasini tozalash uchun adsorbsion qurilma sxemasi.
1-adsorber; 2-sovutkich; 3-kondensat chiqargich;
4,5- ventilatorlar; 6-issiqlik almashinish qurilmasi;
7- aylanma liniyalar.

Ushbu sxemaning asosiy qurilmasi adsorberlar bo'lib, ular galma-gal ishlaydi. Shuni qayd etish kerakki, bitta qurilmada adsorbsiya, ikkinchisida esa desorbsiya jarayoni kechadi. Adsorberga kirishda avval bug'-havoli aralashma changlardan tozalash uchun filtrlanadi. Portlash xavfini bartaraf qilish maqsadida, filtrdan keyin yong'in to'sqich va saqlovchi membrana o'rnatiladi. Ushbu moslamada bosim miqdori ruxsat etilgandan oshib ketmasligini ta'minlab beradi.

Adsorberga bug'-havo aralashmasi ventilator yordamida uzatiladi va adsorbent qatlamining tepa qismidan kirib, pastidan chiqib ketadi.

Adsorbsiya ko'lamining siljish tezligini (5.170) tenglamadan topish mumkin.

Qatlamning himoyalash ta'sir vaqti yo'qotilishi τ_0 ni quyidagi tenglamadan taxminan hisoblash mumkin:

$$\tau_0 = \frac{0{,}5 \cdot h_0}{u} \qquad (5.181)$$

bu yerda. h_0 – adsorbent qatlamining balandligi bo'lib, (5.171) tenglamadan aniqlanadi.

Adsorbent qatlami balandligi va konstruktiv o'lchamlardan kelib chiqqan holda, adsorber balandligi aniqlanadi.

Uzluksiz ishlaydigan adsorberlarni hisoblashda kolonna balandligi, ishchi hajm, tarelkalar diametri va soni aniqlanadi.

Bunday adsorberlar balandligi moddiy balans tenglamasidan aniqlanadi. Moddiy balans tenglamasida tegishli o'zgarishlar va qisqartirishlardan so'ng, ushbu ko'rinishga kelamiz:

$$H = \frac{V_a}{0{,}785 \cdot D^2 \cdot \rho_1}$$

qurilmaning ishchi hajmi esa:

$$V_a = L \frac{x_{ox}}{\Delta y_{o'r}} \cdot \frac{1}{K_y \sigma} \qquad (5.182)$$

bu yerda, L – adsorbent sarfi, kg/s; σ – jarayon paytidagi adsorbentning solishtirma yuzasi, m^2/kg; $\Delta y_{o'r}$ – o rtacha harakatlantiruvchi kuch bo'lib, ushbu tenglamadan topiladi:

$$\Delta y_{o'r} = \frac{y - y_{ox}}{\int_{y_b}^{y_{ox}} \frac{dy}{y - y_m}}$$

bu yerda. y_b, y_{ox} – gaz aralashmadagi adsorbtivning boshlang'ich va oxirgi konsentratsiyalari: y_m – muvozanat konsentratsiyasi.

Agar $\tau = V_a/L$ ekanligini inobatga olsak, adsorbentning adsorberda bo'lish vaqti:

$$\tau = \frac{1}{K_y \sigma} \cdot \frac{x_{ox}}{\Delta y_{o'r}} \qquad (5.183)$$

Mavhum qaynash qatlamli tarelkali adsorberlarda tarelkalar soni ushbu tenglamadan topiladi:

$$n = \frac{H}{h_t} \qquad (5.184)$$

bu yerda, h_t – tarelkadagi adsorbent qatlamining balandligi (odatda $h_t = 50$ mm deb qabul qilsa bo'ladi).

Harakatchan adsorbent qamlamli adsorberni hisoblash.

Havo tarkibidagi benzolni ajratib olish uchun harakatchan, faollangan ko'mir qatlamli uzluksiz ishlaydigan harakatchan qatlamli adsorbsion qurilma hisoblansin.

Boshlang'ich ma'lumotlar.

Aralashma bo'yicha qurilma unumdorligi $V = 4500$ m^3/ch = 1,25 m^3/s;

Bug'-havo aralashmadagi benzol konsentratsiyasi $y_b = 0{,}040$ kg/m^3;

Adsorbsion zonadan chiqishdagi aralashmadagi benzol konsentratsiyasi $y_{ox} = 0{,}0015$ kg/m^3;

Ishlatib bo'lingan adsorbent tarkibida benzolning miqdori - 98 %,

Qayta tiklash adsorbentdagi (regeneratsiya qilinganida) (muvozanatdagi dastlabki aralashmaga nisbatan) - 3%;

Jarayon temperaturasi - 25°C.

Yuqorida keltirilgan ma'lumotlar asosida adsorber diametri, balandligi va adsorbent sarfi aniqlansin.

Adsorbsiya jarayoni uchun, to'kma zichligi ρ_t= 500 kg/m^3 bo'lgan AG-3 markali faollangan ko'mir adsorbentini tanlaymiz (jadval – 2) [128]. Faollangan ko'mir AG-3 da havodan benzolni adsorbsiya jarayonining muvozanat ma'lumotlari 1-99 jadvalda keltirilgan.

Adsorbent turli o'lchamdagi zarrachalardan tarkib topgani uchun, zarrachalar o'rtacha diametri ushbu formuladan topiladi:

$$d = \frac{1}{\sum_{1}^{n}(x_i / d_i)}$$

Fraksiyalar bo'yicha zarrachalar o'rtacha diametri quyidagiga teng:

$$d_1 = \frac{0{,}0036 + 0{,}0028}{2} = 0{,}0032m$$

$$d_1 = \frac{0{,}0028 + 0{,}0015}{2} = 0{,}00215m$$

$$d_1 = \frac{0{,}0015 + 0{,}0010}{2} = 0{,}00125m$$

Unda

$$d = \frac{1}{\frac{0.03}{0{,}0032} + \frac{0.86}{0{,}00215} + \frac{0.10}{0{,}00125}} = 0{,}00205\ m$$

Qurilma diametrini hisoblash. Gaz oqimining tezligi mavhum qaynash boshlanishi tezligidan kichik bo'lishi kerak. Unda, sferik zarrachalar uchun Re_{0mq} quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Re_{0mq} = \frac{Ar}{1400 + 5{,}22\sqrt{Ar}}$$

bu yerda, $Re_{0mq} = w_{mq} \cdot d \cdot \rho_y / \mu_y$ – modifikatsiyalashgan Reynolds kriteriysining kritik qiymatlari; w_{mq} – mavhum qaynash boshlanishi tezligi, m/s; d – zarracha hajmiga teng sharning diametri.

m: $Ar = \frac{g \cdot d^3}{\upsilon_y^2} \cdot \frac{\rho_k - \rho_y}{\rho_y}$ – Arximed kriteriysi; t = 25°C da havoning zichligi ρ_y = 1,185 kg/m^3; dinamik qovushoqlik koeffitsiyenti μ_y = 0,0186 10^{-3} Pa s; zarracha zichligi ρ_k = 800 kg/m^3.

Arximed kriteriysi qiymatini topamiz:

$$Ar = \frac{0{,}00205^3 \cdot 1{,}185^2 \cdot 9{,}81 \cdot 800 - 1{,}185}{(0{,}0186 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1{,}185} = 231218$$

So'ng, modifikatsiyalashgan Reynolds sonini aniqlaymiz:

$$\mathrm{Re}_{0mq} = \frac{231218}{1400 + 5{,}22\sqrt{231218}} = 59{,}13$$

Re_{omq} ni bilgan holda, w_{mq} qiymatini topamiz:

$$w_{mq} = \frac{\mathrm{Re}_{0mq} \cdot \mu_y}{d \cdot \rho_y} = \frac{59{,}13 \cdot 0{,}0186 \cdot 10^{-3}}{0{,}00205 \cdot 1{,}185} = 0{,}453\ m$$

Gaz oqimining tezligini w=0.3 m/s deb qabul qilamiz (chunki, adsorberdagi ishchi tezlik ruxsat etilgandan 25% ga kam) va qurilma diametrini hisoblaymiz:

$$D_a = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}25}{3{,}14 \cdot 0{,}3}} = 2{,}3\ m$$

Qurilma diametrini D_a = 2.4 m deb olamiz va bug'-gaz aralashmasining chiziqli tezligini aniqlaymiz:

$$w = \frac{4 \cdot V}{3600 \cdot \pi \cdot D_a^2} = \frac{4 \cdot 4500}{3600 \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}4^2} = 0{,}3\ \mathrm{m}$$

Kritik tezlik tanlangan tezlikdan yuqori, shuning uchun bu tezlik adsorbentning qurilma orqali normal harakatini ta'minlaydi.

Adsorbent harakat tezligini hisoblash. Kolonnada adsorbent harakati tezligini topamiz. Uning tezligi massa almashinish zonasidagi tezlik i ga teng bo'lishi kerak:

$$u = \frac{w \cdot y_b}{\varepsilon \cdot y_b + x_{ox}^*}$$

bu yerda, w – adsorber ko'ndalang kesimiga nisbatan olingan oqim tezligi, m/s; x_k – y_a bilan muvozanatdagi, ajralib chiqayotgan komponentning qattiq fazadagi konsentratsiyasi, kg/m^3: ε- qatlamning g'ovakliligi.

Harakatdagi donador qatlamlar uchun ε = 0,33-0,49. ε = 0,4 deb qabul qilamiz.

Ajralib chiqayotgan komponentning qattiq fazadagi muvozanat konsentratsiyasi x_{ox}^* topish uchun 1-99 jadvalda keltirilgan ma'lumotlar asosida, benzol adsorbsiyasi izotermalarini quramiz.[28] y_b (kg/m^3) bo'yicha x_{ox} (kg/m^3) topamiz. Adsorbent muvozanat hajmidan foydalanish darajasi 0,95 bo'lganda, uning harakat tezligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$u = \frac{0{,}3 \cdot 0{,}04}{0{,}4 \cdot 0{,}04 + 75{,}57 \cdot 0{,}95} = 0{,}0000785\ m/s$$

Adsorbent qatlami uzunlini hisoblash. Massa o'tkazish tenglamasining tarqalish birligi soni orqali harakatdagi adsorbent qatlamining zarur uzunligi N_{dv} aniqlanadi :

$$H_h = \frac{V}{SK_{yv}\int_{y_{ox}}^{y_h}\frac{dy}{y-y^*}} = h_e n_{0y}$$

bu yerda, S – qatlam ko'ndalang kesimining yuzasi, m^2; K_{yv}–hajmiy massa o'tkazish koeffitsiyenti, s^{-1}; h_e – tarqalash birligiga ekvivalent balandlik, m; n_{0y} – tarqalish birligi soni.

Massa o'tkazishning hajmiy koeffitsiyenti ushbu formuladan topiladi:

$$K_{yv} = \frac{1}{(1/\beta_{yv}) + (m/\beta_{xv})}$$

bu yerda, β_{yv} – gaz fazasidagi hajmiy massa berish koeffitsiyenti, s^{-1}; β_{xv} – gaz fazasidagi hajmiy massa berish koeffitsiyenti, s^{-1}; m – tarqalish koeffitsiyenti.

Tarqalish koeffitsiyenti

$$t = \frac{y_h}{x^*_{ox}} = \frac{0{,}04}{75{,}54} = 0{,}000529$$

juda kichik bo'lgani uchun, m/β_{xv} qiymatini inobatga olmasa ham bo'ladi. Unda $K_{yv} \approx \beta_{yv}$. Gaz fazasidagi hajmiy massa berish koeffitsiyentini aniqlash uchun donador qatlam Reynolds soni topish kerak:

$$\mathrm{Re} = 4 \cdot w \cdot \rho_y / a \cdot \mu_y$$

bu yerda, w – gaz fazasining tezligi, m/s; a – donador qatlam solishtirma yuzasi, m^2/m^3.

Adsorbent qatlamining solishtirma yuzasini quyidagi nisbatdan aniqlaymiz:

$$a = 6 \cdot (1-\varepsilon)/\Phi \cdot d$$

Granula ko'rinishidagi faollangan ko'mir va silikagellar uchun shakl omili F quyidagi oraliqda bo'ladi F = 0,7-0,9. Hisoblashlar uchun F = 0,8 deb qabul qilib, solishtirma yuza a ni topamiz:

$$a = \frac{6 \cdot (1-0{,}4)}{0{,}8 \cdot 0{,}00205} = 2200 \ \mathrm{m^2/m^3}$$

Unda, Reynolds soni quyidagiga teng bo'ladi:

$$\mathrm{Re} = \frac{4 \cdot 0{,}3 \cdot 1{,}185}{2200 \cdot 0{,}0186 \cdot 10^{-3}} = 37{,}75$$

$Re > 30$ bo'lganda β_{yv} ni hisoblash uchun ushbu formuladan foydalaniladi:

$$Nu' = 00.395\,\mathrm{Re}^{0.64}(\mathrm{Pr}')^{0.33}$$

bu yerda, $-Nu' = \beta_{yv} d_e^2 / D$

Pr' sonini ushbu formuladan aniqlaymiz:

$$\mathrm{Pr}' = \frac{\nu}{D} = \frac{\mu_y}{\rho_y \cdot D} = \frac{0{,}0186 \cdot 10^{-3}}{1{,}185 \cdot 7{,}7 \cdot 10^{-6}} = 2{,}04$$

Havoda benzolning diffuziya koeffitsiyenti D=7,7 10^{-6} m^2/s [130].
Nu' qiymatini hisoblaymiz:

$$Nu' = 0{,}395 \cdot 37{,}75^{0{,}64} \cdot 2{,}04^{0{,}33} = 5.1$$

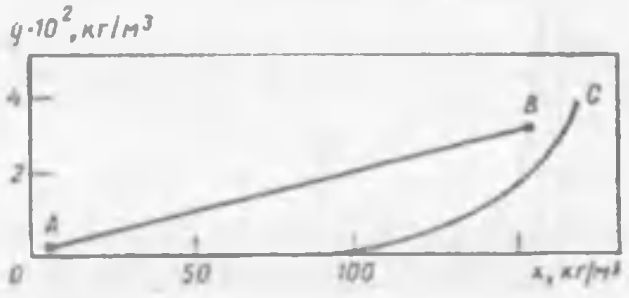
Donadar qatlamning ekvivalent diametrini ushbu nisbatdan aniqlaymiz:

$$d_e = 4\varepsilon / a = 4 \cdot 0{,}4/2200 = 7{,}3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Endi, β_{yv} ning qiymatini topamiz:

$$\beta_{yv} = \frac{Nu' \cdot D}{d_e^2} = \frac{5{,}1\ 7{,}7 \cdot 10^{-6}}{0{,}00073^2} = 73{,}69 \text{ s}^{-1}$$

$K_{yv} = \beta_{yv} = 73{,}69$ s^{-1} deb hisoblab,



5.107-rasm. AR-A markali faollangan ko'mirda havodan benzolni adsorbsiyalash jarayonining ishchi *(AV)* va muvozanat *(OS)* chiziqlari .

Tarqalish birligi sonini grafik integrallash usuli bilan topiladi. Buning uchun y_n dan y_k oralig'ida bir nechta y qiymatlarini tanlab olamiz. Har bir y ning qiymatiga ishchi chiziqda tegishli x ning qiymatini va har bir x ning qiymatiga muvozanat chizig'ida y^* ni topamiz (1.107-rasm). Aniqlangan qiymatlar quyidagi 5-8 jadvalda keltirilgan:

5-8 jadval

t/r	u, kg/m³	x, kg/m³	y^*, kg/m³	$y - y^*$, kg/m³	$1/(y - y^*)$
1.	0,030	164	0,020	0,010	100
2.	0,025	130	0,006	0,019	53
3.	0,020	104	0,003	0,017	59
4.	0,015	76	0	0,015	67
5.	0,010	50	0	0,010	100
7.	0,005	25	0	0,005	200
8.	0,001	8	0	0,001	1000

$1/(y - y^*)$ ning u bog'liqlik grafigini quramiz (1.108-rasm). y_n = 0,030 kg/m³ va y_K = 0,001 kg/m³ ordinatalari bilan chegaralangan egri chiziq ostidagi yuza f = 2020 mm² teng. O'qlar bo'yicha masshtabni topamiz: $1/(y - y^*)$ o'qi bo'yicha M_1 = 10 va u o'qi bo'yicha M_2 = 0,0002. n_{ov} sonini ushbu tenglamadan aniqlaymiz:

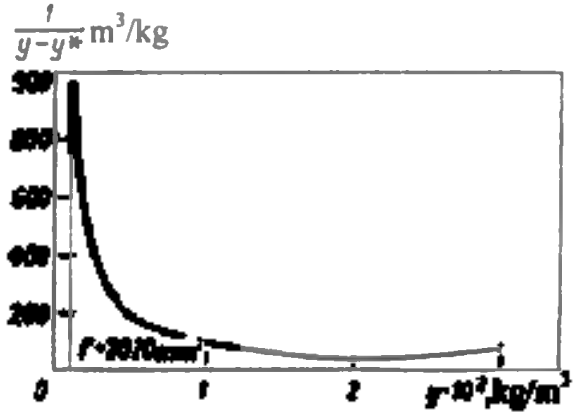
$$n_{0y} = \int_{y_{ox}}^{y_h} \frac{dy}{y - y^*}$$

Harakatdagi adsorbent qatlamining zarur uzunligini hisoblaymiz:

$$H_h = \frac{V}{S \cdot K_{yv}} \cdot n_{0y} = \frac{1{,}25 \cdot 4}{3{,}14 \cdot 2{,}4^2 \cdot 73{,}69} \cdot 4{,}04 = 0{,}02 \ m$$

Qurilmaning bunday diametri va harakatlanuvchi qatlamning balandligida oqim tezligining tebranishlari tufayli adsorbtivning o'tib ketish holatlari uchraydi.

Shu hodisani inobatga olib, H_h = 0,4 m deb qabul qilamiz.



1.108-rasm. Grafik integrallash usulida tarqalish birligi sonini aniqlash.

Harakatlanuvchi qatlamli adsorberlarning yuklash va to'kish moslamalari qo'pol va va murakkab, lekin ulardan adsorbent harakatining tezligi va uzluksizligi bog'liq. Yuklash moslamasining balandligini 1,2 m, to'kish moslamasiniki – 1,4 m qabul qilib adsorber balandligini aniqlashimiz mumkin:

$$H_a = H_h + H_{yuk} + H_{to'k} = 0{,}4 + 1{.}2 + 1{.}4 = 3 \text{ m}$$

Adsorbent sarfini quyidagi tenglamadan topamiz:

$$G = \rho_b \cdot u \cdot S = \frac{500 \cdot 0{,}785 \cdot 10^{-4} \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}4^2}{4} = 0{,}163 \ kg/s = 587 \text{ kg/ch}$$

Gazoduvka hisobi

Qurilmada havoning soxta tezligi: $w_0 = 4 \cdot Q / \pi \cdot D^2 = 0{,}362$ m/s

Qatlamdagi Reynolds sonini ushbu formula orqali topamiz:

$$\mathrm{Re} = \frac{2 \cdot \Phi}{3 \cdot (1-\varepsilon)} \cdot \mathrm{Re}_0; \qquad \mathrm{Re}_0 = \frac{w_0 \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{2 \cdot 0.8}{3 \cdot (1-0{,}4)} \frac{0.362 \cdot 0{,}00205 \cdot 1{,}185}{0{,}0186 \cdot 10^{-3}} = 42{,}03$$

Gidravlik qarshilik koeffitsiyenti λ quyidagi formulada hisoblanadi:

$$\lambda = \frac{133}{\mathrm{Re}} + 2.34 = 5.5$$

Qatlam gidravlik qarshiligi ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\Delta P_q = \frac{3 \cdot \lambda \cdot H \cdot (1-\varepsilon) \cdot \rho \cdot w_0^2}{4 \cdot \varepsilon^3 \cdot d \cdot \Phi} = \frac{3 \cdot 5{,}5 \cdot 0{,}4(1-0{,}4)1{,}185 \cdot 0{,}362^2}{4 \cdot 0{,}4^3 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}00205} = 1465$$

Pa

Adsorberning gaz taqsimlash panjarasi va boshqa yordamchi moslamalar gidravlik qarshiligini umumiy qarshilikning 10% ni tashkil etadi deb qabul qilamiz, ya'ni ΔP_A=1465·1,1=1612 Pa.

Truba quvuridagi havo tezligini w = 15 m/s deb qabul qilamiz. Unda, truba quvurining diametri quyidagiga teng bo'ladi:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}25}{3{,}14 \cdot 15}} = 0{,}326 \text{ m}$$

Truba quvuridagi oqimning Reynolds soni:

$$\mathrm{Re} = \frac{15 \cdot 0{,}326 \cdot 1{,}185}{0{,}0186 \cdot 10^{-3}} = 311540$$

Trubalar ma'lum muddat ishlatilgan deb qabul qilamiz, unda Δ=0,15 mm; So'ng:

$$e = \frac{1.5 \cdot 10^{-4}}{0.326} = 4.6 \cdot 10^{-4}; \qquad \frac{1}{e} = 2173;$$

$$10\frac{1}{e} = 21730; \qquad 560\frac{1}{e} = 1216880$$

$$21730 < Re = 311540 < 1216880$$

Shunday qilib, gidravlik qarshilik koeffitsiyenti λ aralash ishqalanish zonasi uchun quyidagi formula orqali hisoblab topiladi:

$$\lambda = 0{,}11 \cdot (e + 68/\mathrm{Re})^{0{,}25} = 0{,}11 \cdot (4{,}6 \cdot 10^{-4} + 68/311540)^{0{,}25} = 0{,}0178$$

Mahalliy qarshilik koeffitsiyentlarini aniqlaymiz:

1. Trubaga kirish (o'tkir qirrali) - $\xi_1 = 0{,}5$;
2. Zadvijka - d = 0,326 m - $\xi_2 = 0{,}18$;
3. Tirsak - $\xi_3 = 1{,}1$;
4. Trubadan chiqish - $\xi_4 = 1$.

Mahalliy qarshilik yig'indisi:

$$\sum \xi = 0{,}5 + 0{,}15 + 4{,}4 + 1 = 6{,}05$$

Truba quvuri gidravlik qarshiligi:

$$\Delta p_n = (\lambda \cdot \frac{l}{d_e} + \sum \xi_{kq}) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = (0{,}0178 \frac{20}{0{,}326} + 6{,}05) \frac{1{,}185 \cdot 15^2}{2} = 952 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = \Delta P_A + \Delta P_n = 1612 + 952 = 2564 \text{ Pa}$$

Foydali quvvat:

$$N_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = Q \cdot \Delta p = 1{,}25 \cdot 2564 = 3{,}205 \text{ kVt}$$

$$N = \frac{3{,}205}{0{,}6} = 5{,}3 \text{ kVt}$$

TV-100-1.12 rusumli gazoduvka tanlaymiz:

$Q = 1{,}67 \text{ m}^3/\text{s}$,
$\Delta P = \rho \cdot g \cdot H = 12000$ Pa,
$n = 48{,}3 \text{ s}^{-1}$

Elektr yuritkich tipi AO2-81-2,
$N = 40$ kVt,
$\eta = 0{,}88$.

Asosiy bo'lak va detallarning mexanik hisobi.

Shartli belgilar: C_k – korroziyani hisobga oluvchi detal qalinligiga qo'shimcha; C_{mex} – nominal o'lchamgacha detal qalinligini yaxlitlash uchun qo'shimcha; E–material egiluvchanlik moduli; G – og'irlik; I – inersiya momenti; M – kuch momenti; m – massa; P – deformatsiya kuchlanishi; p – bosim; W – qarshilik momenti; α – materialning chiziqli kengayish koeffitsiyenti; δ – detal qalinligi; σ – normal kuchlanish; σ_T – material oquvchanlik chegarasi; τ – urinma kuchlanish.

Kimyoviy qurilmalarning detal va bo'laklarini mustahkamlik hisobida asosiy parametrlardan biri bo'lib, undagi muhitning bosimidir. Mustahkamlik hisobi normal kechadigan texnologik jarayonlarning ishchi bosim uchun bajariladi.

Agarda gidrostatik bosim ishchi bosimdan 5% ga ko'p bo'lgan taqdirdagina, qurilmadagi suyuqlik gidrostatik bosimi inobatga olinadi. Bunday hollarda

hisoblash sinov bosimi uchun o'tkaziladi. Sinov bosimi – bu qurilma korxonada tayyorlanganda yoki ishlatilganda gidravlik sinash o'tkaziladigan bosimdir.

Mustahkamlik hisoblashlar qilinganda yana bir asosiy omil – bu temperaturadir. Agarda muhit temperaturasi <250°C bo'lsa, qurilma devorining va detallarining ijrochi temperaturasi ekspluatatsiya jarayonidagi muhitning maksimal temperaturasiga teng qilib olinadi. Issiq gaz yoki ochiq alanga yordamida >250°C temperaturagacha qizdirilganda, ijrochi temperatura detal va bo'laklarning temperaturasini muhitnikidan 50°C ga ortiq qilib olinadi. Issiqlik qoplamali qurilmalar uchun devor temperaturasi qoplama bilan chegaradagi temperaturaga 20°C qo'shib olinadi.

Mustahkamlik hisobidan avval muhitning xossalariga qarab konstruksion material tanlanadi. Material tanlashda uning kimyoviy bardoshligi, kerakli mustahkamlik, narxi va tansiqligi kabi omillarga inobatga olinadi. Konstruksion materiallar mustahkamlik xarakteristikalari ijrochi temperaturada detal va bo'laklardagi ruxsat etilgan kuchlanishlar orqali aniqlanadi. Kimyo mashinasozligida keng ko'lamda qo'llaniladigan konstruksion materiallar va ularning nominal ruxsat etilgan kuchlanishlari $\sigma_{Д}$ quyidagi adabiyotlarda keltirilgan [1,128,130].

Konstruksion materialga muhitning yemirish ta'siri detallar nominal qalinligiga $C_к$ qo'shimcha kiritish yo'li hisobga olinadi:

$$C_K = П \cdot \tau_a$$

bu yerda, τ_a – qurilma xizmat qilishining amortizatsion muddati (τ_a = 10 yil); $П$ – korrozion pronitsayemost, mm/yil. Ko'pincha ushbu ko'rsatkich $П$= 0,1 mm/yil deb qabul qilinadi.

Obechayka qalinligini hisoblash. Ko'pchilik kimyoviy qurilmalarning asosiy elementi – bu obechaykadir. Kimyo va neft mashinasozligida eng keng tarqalgan obechayka turi – silindrik obechaykadir, chunki u tayyorlanishi oson, mustahkam va metal sarfi optimal. Obechaykalar uglerodli va legirlangan po'latlardan yasaladi. Qurilmadagi bosim <10 MPa bo'lganda, obechaykalar listni valsovka qilib, so'ng birlashish joylari payvandlab tayyorlanadi. Agarda muhit bosimi yuqori bo'lsa, obechaykalar pokovkadan yasaladi. Mo'rt materiallar (cho'yan, bronza va boshqalar) dan obechaykalar quyish yo'li bilan tayyorlanadi. Diametri 1020 mm gacha bo'lgan obechaykalarni po'lat trubalardan ham yasash ruxsat etiladi.

Korroziya va yaxlitlashga qo'shimchalarni inobatga olganda obechayka qalinligi quyidagicha hisoblanadi:

$$\delta = \frac{Dp}{2\sigma_{Д}\varphi} + C_K + C_{зап} = 0{,}0029 + 0{,}001 + C_{зап} = 0{,}004 \ m$$

$\frac{(4-1)10^{-1}}{2} < 0{,}1$ shart bajarildi. Obechaykada ruxsat etilgan ortiqcha bosim quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$p_Д = \frac{2 \cdot \sigma_{Д} \cdot \varphi_{Ш} \cdot (\delta - C_K)}{D_B + (\delta - C_K)} = \frac{2 \cdot 138 \cdot 0{,}95(4-1) \cdot 10^{-3}}{2{,}4 + (4-1) \cdot 10^{-3}} = 0{,}327 \text{ MPa}$$

Dnishche qalinligini hisoblash. Qurilmaning yana bir asosiy tarkibiy elementlaridan biri – dnishchedir va u odatda obechayka yasalgan materialdan tayyorlanadi va unga payvandlanadi yoki flanetslar yordamida biriktiriladi. Dnishche shakli elliptik, sferik, konussimon va yassi bo'lishi mumkin. Lekin eng optimal shakl bo'lib elliptik dnishche hisoblanadi. Odatda, elliptik dnishche shtampovka usulida listli prokatdan yasaladi va <10 MPa bosimlarda qo'llanishi mumkin. Ichki, ortiqcha bosim r ostidagi standart elliptik dnishelar qalinligi quyidagi shart bajarilganda to'g'ri bo'ladi:

$$\frac{\delta - C_к}{D} \le 0{,}125$$

Dnisheda teshik bo'lsa, uning mustahkamligining pasayishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\varphi_0 = (D_{ich} - d_0) / D_B = (2{,}4 - 0{,}3) / 2{,}4 = 0{,}9$$

$\varphi_0 < \varphi_Ш$ bo'lgani uchun, $\varphi = \varphi_0 = 0{,}9$. Dnishche qalinligi:

$$\delta = \frac{2{,}4 \cdot 0{,}3}{2 \cdot 138 \cdot 0{,}9} + 0{,}001 + C_{кор} = 0{,}004 \quad \text{m}$$

$(4\text{-}1)10^{-3}/2{,}4 = 0{,}00125 < 0{,}125$ zarur shart bajarildi.

Tashqi bosim ostidagi elliptik dnishe qalinligini hisoblab topilgan obechayka qalinligiga teng deb qabul qilsa bo'ladi. So'ng, ruxsat etilgan tashqi bosimning tekshiruv hisoblashi o'tkaziladi [1,5,6,128]. Agarda olingan qiymat hisob qalinligidan katta yoki teng chiqsa, qabul qilingan dnishe qalinligi to'g'ri bo'ladi. Aks holda, dnishche qalinligini oshirish kerak.

5-9 jadval

Dnishe parametrlari

D, mm	S_D, mm	H_D, mm	h_c, mm	F_D, m^2	V_D, m^3
2400	8-10	600	40	6,54	1.9823

Shtuserlarni hisoblash

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}25}{3{,}14 \cdot 20}} = 0{,}3 \text{ m}$$

OST 26-1404-76 dan ichki diametri D_y=300 mm va P_y=0,3 MPa li flanets tanlaymiz.

5-10 jadval

D_y, mm	D_t, mm	S_t, mm	H_t, mm
300	325	8	190; 250

Turli markali faollangan ko'mirlarda havo aralashmasidan benzol bug'larini adsorbsiyalashning muvozanat ma'lumotlari.

5.38. Ion almashinish jarayonlari va qurilmalari

Elektrolit eritmalari bilan o'zaro ta'siri paytida ion almashinish qobiliyatiga ega adsorbentlar (ionitlar) tarkibidagi faol ionlarning eritmadagi ionlar bilan almashishi **ion almashinish jarayoni** deb nomlanadi.

Ion almashinish jarayonining qo'llanish sohasi juda keng, chunki u suvli eritmalardan begona ionlarni yo'qotish va mineralsiz (yumshoq, tuzsiz) suvlar olishda ishlatiladi. Bu usulda tozalangan suv ichish uchun hamda o'ta toza modda ishlab chiqarish sanoatida qo'llaniladi. Undan tashqari, issiqlik elektr stansiyalari uchun suvni tayyorlashda, atom elektr stansiyalarining oqava suvlarini tozalashda ham ion almashinish jarayonidan foydalaniladi.

Oziq-ovqat sanoatining turli sohalarida, ayrim mahsulotlarni tayyorlashda, ushbu jarayon juda ko'p ishlatiladi. Masalan, qand ishlab chiqarish sanoatida ionlar sharbat va qiyomlarni begona moddalardan tozalash imkonini beradi. Vinochilikda vino tarkibidan kalsiy va temirni ajratib olishda, sutni kalsiy va boshqa metall ionlaridan tozalashda, yog'-moy sanoatida o'simlik moylarini tozalashda, qimmatbaho metallarni ajratib olishda, meditsina, metallurgiyada ionitlar juda katta samara beradi. Texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari bo'yicha ion almashinish jarayoni ekstraksiya, rektifikatsiya va boshqa jarayonlar bilan raqobat qila oladi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, ushbu jarayonda ionit va eritma orasida ion almashinish yuz beradi. Bunda, eritmadagi ionlar ionit yuzasiga, ionit yuzasidagi ionlar esa eritmaga o'tadi.

Ionitlar sifatida qattiq, suvda va organik erituvchilarda erimaydigan tabiiy va sun'iy materiallar ishlatiladi. Ionitlar sharsimon shaklda, mayda donador, granula holatida bo'ladi. Ularning ion almashinish xossalari almashinish hajmi bilan xarakterlanadi, ya'ni 1 g ionit bilan almashayotgan milligramm-ekvivalent ion soni bilan ifodalanadi.

Ionitlar kimyoviy tarkibi va tuzilishi bilan farqlanadi. Almashadigan ion zaryadlar ishorasiga qarab, ionitlar kationit va anionitlarga bo'linadi.

Eritmada ionizatsiya darajasiga qarab kationitlar quyidagi guruhlarga bo'linadi: kuchli va kuchsiz kislotali. Anionitlar esa, yuqori va past asosli guruhlarga bo'linadi.

G'ovaklilik darajasiga qarab sintetik ionitlar gelli va makrokovakli bo'ladi. Makrokovakli ionitlar rivojlangan g'ovak tuzilishli bo'lib, solishtirma yuzasi katta bo'ladi. Natijada, granula ichida moddalar ko'chishi yuqoridir.

Katta almashinish hajmli, mexanik mustahkam, suvda va organik suyuqliklarda erimaydigan, qayta tiklanadigan sun'iy ionitlar yaratilishi bilan ion almashinish texnologiyasi juda keng tarqala boshladi.

Kationitlar kislota xarakterli va musbat zaryadli ionlarini almashtirish qobiliyatiga ega. Kationitlar tarkibida quyidagi: SO_3^{2-} - sulfo, $HCOO^-$ - karboksil, RO_3N^{2-} - fosfon guruhlari bo'lib, manfiy zaryad olib keladi.

Anionitlar tarkibida quyidagi: NH_3^+ - amido, NH_2^+ - amino guruhlari bo'lib, musbat zaryad olib keladi.

Ionitlar mexanik mustahkamligi yuqori, ta'sir etayotgan suyuqlikda erimasligi va uni ifloslantirmasligi kerak.

Fizik - kimyoviy jihatdan ionitlar murakkab sistema bo'lib, unda bir vaqtning o'zida ko'pgina o'zaro ta'sirlar bo'ladi. Shuning uchun, ion almashinish nazariyasida,

ionitlaming tabiati va unda bo'ladigan o'zaro ta'sirlarni hisobga olmagan muvozanat holatidagi xossalari ko'rib chiqiladi.

Ion almashinish jarayonini xarakterlovchi ionitlaming muvozanat xossalarini ifodalash uchun termodinamik usullardan foydalaniladi. Bunda, hamma ionitlar uchun umumiy belgilar ajratiladi:

a) ionit - eritma sistemasi ikki fazali, geterogen sistemadir;

b) ionit fazasida bitta yoki bir nechta muayyan holatda mahkamlangan ion bo'lib, manfiy yoki musbat zaryadlar olib keladi;

d) ionlar ionit - eritma fazalar chegarasini kesib o'tolmaydi;

e) ionit fazasi tarkibida antiionlar bo'ladi va ular ionit - eritma fazalarni ajratuvchi chegarani kesib o'ta oladi;

f) muvozanat holatidagi eritma ionit fazasida boshqa zarrachalar ham bo'lishi mumkin, masalan, erituvchi molekulalari.

Ion almashinish jarayoni boshlanishi uchun muvozanat o'ng tomonga siljitilishi kerak, ya'ni ion almashinish reaksiyalarining kimyoviy muvozanat konstantasi birdan ancha katta bo'lishi kerak.

Ion almashinish jarayonini geterogen kimyoviy reaksiya deb qarash va misol tariqasida quyidagi tenglamalarni keltirish mumkin:

a) kationli almashinish:

$$RH + Na^{+} \rightleftarrows H^{+} + RNa \qquad (5.185)$$

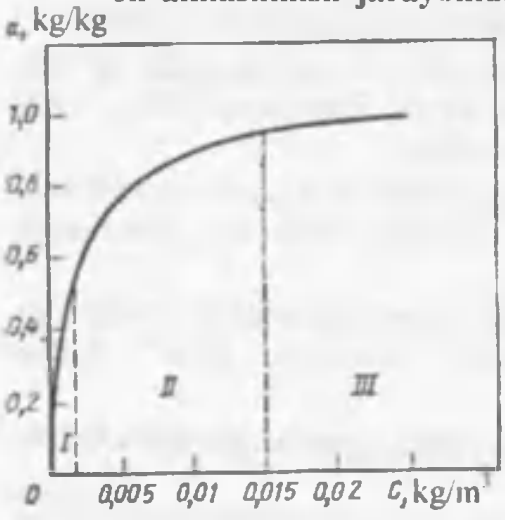
b) anionli almashinish:

$$2RCl + SO_4^{-2} \rightleftarrows R_2SO_4 + 2Cl^{-} \qquad (5.186)$$

Kationit va anionitlar orasidagi oraliq holatni amfolitlar egallaydi. Uning tarkibida kislotali va asosiy ionogen guruhlar bo'lib, kationit va anionit vazifalarini bajaradi.

Ionit - eritma sistemaning muvozanati muvozanat koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi. Koeffitsiyentning kattaligi tashqi omillarga bog'liq, ya'ni muvozanatdagi eritma konsentratsiyasi, temperaturasi va bosimga.

Ion almashinish jarayonida muvozanat. Muvozanat izotermalari ionitlaming muvozanat almashinish hajmi va uning tanlovchanligi to'g'risida ma'lumot beradi. Ion almashinish jarayonidagi muvozanat nisbatlari Lengmyur (5.187) yoki Freyndlix (5.188) formulalari bilan ifodalanishi mumkin:



5.109-rasm. ЭДЭ – 10П anionitda limon kislotasining muvozanat izotermalari.

$$a = \frac{K\alpha c}{1 + kc} \qquad (5.187)$$

$$a = \beta c^{1/p} \qquad (5.188)$$

Odatda, muvozanat izotermalari jarayonni harakatga keltiruvchi kuchini aniqlashda qo'llaniladi.

(5.187) tenglamani ifodalovchi eritmalarning tipik sorbsiyalash izotermalari 5.109-

rasmda keltirilgan. Ko‘rinib turibdiki, muvozanat konsentratsiyalar qismi 3 ta zonaga ajratilishi mumkin. Birinchi zona past konsentratsiyalar zonasi bo‘lib, u to‘g‘ri chiziqli ikkinchi zona – Lengmyur tenglamalari va uchinchisi esa – eritma konsentratsiyasiga bog‘liq bo‘lmagan va to‘yinish holatlarini ifodalaydi:

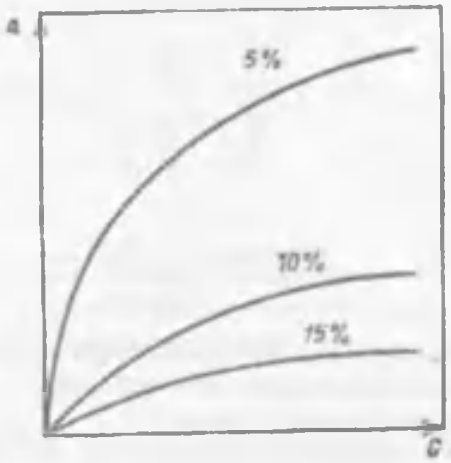
Muvozanat holatiga ionit va yutilayotgan ionlar tabiati, temperatura va elektrolit eritmasining ***pH*** miqdoriga ta’sir ko‘rsatadi.

Masalan, sulfopolistirol smolasidagi divinilbenzolning miqdori izoterma holatiga yuqori darajada bog‘liq (5.110-rasm).

Eritmaning ***pH*** miqdori muvozanat holatga turlicha ta’sir etadi: ***pH*** ortishi bilan kationitlar hajmi ko‘payadi, anionitlarniki esa– kamayadi.

Ion almashinish jarayoni quyidagi ketma - ket bosqichlardan iborat: ionit chegaraviy qatlam yuzasidan yutilayotgan ion diffuziyasi; ionit ichida ion diffuziyasi; ionitda desorbsiyalangan ion diffuziyasi; suyuqlik chegaraviy qatlam yuzasidan desorbsiyalangan ionning suyuqlik faza yadrosiga diffuziyasi.

Ushbu taklif etilgan sxema, ion almashinish jarayonining chegaralovchi bosqichini topish imkonini beradi.



5.110-rasm. Turli miqdordagi divinilbenzol sulfopolistirolli smola uchun muvozanat izotermalari.

Ion almashinish kinetikasi. Jarayonda qatnashayotgan jami hodisalar murakkabligiga qaramasdan, ion almashinish kinetikasini ifodalovchi tenglama sodda ko‘rinishga ega. Kimyoviy reaksiya tezligi qolgan bosqichlarda ion almashinish tezligidan juda katta va u jarayon tezligiga ta’sir qilmaydi deb taxmin qilinadi. Ion almashinish kinetikasi quyidagi tenglama orqali ifodalanishi mumkin:

$$\frac{dM}{Vd\tau} = \beta_i \cdot (c - c_m) \qquad (5.189)$$

bu yerda, β_i – massa berish koeffitsiyenti, 1/s.

Massa berish koeffitsiyentini hisoblash uchun 10 <***Re*** <100 oraliqda ushbu tenglama tavsiya etiladi:

$$\beta = 1{,}85\frac{w}{\varepsilon}\left(\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}\right)^{0{,}33} \cdot \mathrm{Re}_m^{-0{,}56} \cdot \mathrm{Pr}^{0{,}66}$$

yoki

$$Nu_0 = 28{,}4 \cdot Re^{0{,}41} \qquad (5.190)$$

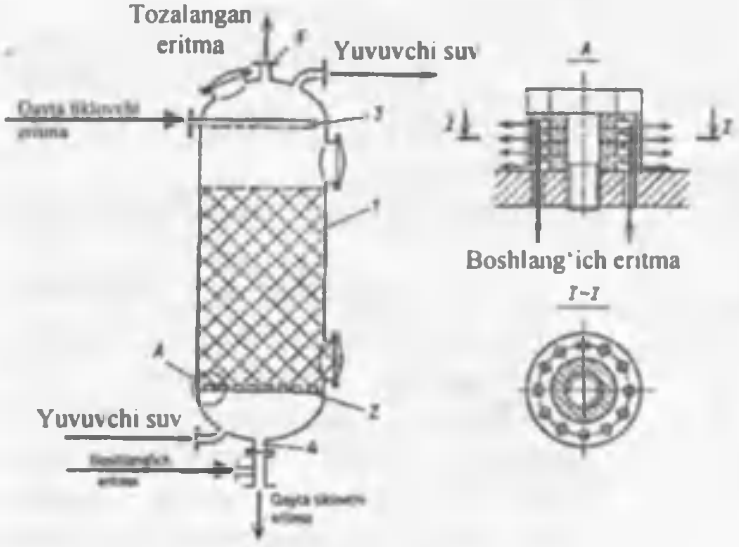
bu yerda, w – suyuqlik tezligi; $Re_m = wd_0\rho_c/(1-\varepsilon)\mu$ – modifikatsiyalashgan Reynolds kriteriysi; d_e – ionit granulasi diametri, m; ρ_c – suyuqlik faza zichligi, kg/m^3; ε – g‘ovaklilik; μ – dinamik qovushoqlik, Pa·s; ***Pr*** – Prandtl kriteriysi.

Sanoat miqyosidagi texnologiyalarda ion almashinish qurilmalari 2 xil: davriy va uzluksiz ishlaydigan bo‘ladi.

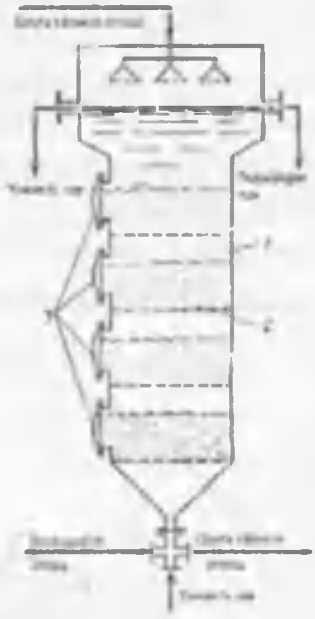
Davriy ishlaydigan qurilmalar o‘z navbatida qo‘zg‘almas va mavhum qaynash ionit qatlamli bo‘ladi.

Uzluksiz ishlaydigan qurilmalar harakatchan ionit qatlamli va pog‘onalarda mavhum qaynash qatlamli bo‘ladi.

Davriy ishlaydigan, qo‘zg‘almas ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi 5.111-rasmda keltirilgan. Qurilma silindrik qobiq 1 va taqsimlovchi moslama 2,3 lardan tarkib topgan. Pastki taqsimlovchi moslama 3 tirqishli qalpoqchali tarelka ko‘rinishida bo‘lib, unda qo‘zg‘almas ionit qatlami joylashtiriladi.



5.111-rasm. Qo‘zg‘alınas ionit qatlamli davriy ishlaydigan ion almashinish qurilmasi.
1 - qobiq; 2 - tirqishli qalpoqcha tipidagi taqsimlovchi tarelka; 3 - taqsimlagich; 4,5 – dastlabki eritmaning kirish va tozalangan eritma chiqarish shtuserlari.



5.112-rasm. Davriy ishlaydigan seksiyali, mavhum qaynash ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi.
1 - qobiq; 2 - teshikli panjara; 3 - lyuklar.

Qayta ishlanadigan eritma esa, qurilma pastki qismidagi shtuser 4 orqali uzatiladi va gaz taqsimlovchi teshikli panjaradan ionit qatlamiga o‘tadi. Qurilmaning tepa (bo‘sh) qismida tozalangan eritma to‘planadi va yuqoridagi shtuser 5 dan chiqariladi.

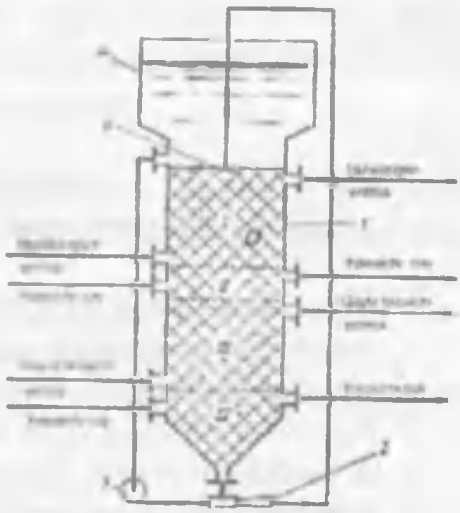
Ion almashinish jarayoni tugagandan so‘ng, qurilma to‘xtatiladi va ionit qayta tiklanadi. Buning uchun avval ionitdan eritma yuvib tashlanadi va undan keyin maxsus erituvchi yordamida tozalanadi. Odatda, qayta tiklovchi erituvchi, eritma yo‘nalishiga qarama - qarshi harakatlantiriladi. Keyin esa, yana ionit qatlami suv bilan yuviladi.

Ikkinchi yuvishdan maqsad maxsus erituvchini yo‘qotishdir, ya’ni ionitdagi tuz, kislota va ishqor eritmalarining qoldiqlarini suv yordamida tozalashdir.

Shunday so‘ng qurilma keyingi ion almashinish sikliga tayyor bo‘ladi.

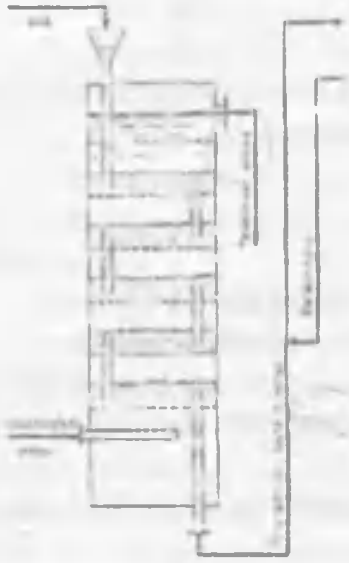
Davriy ishlaydigan seksiyali, mavhum qaynash ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi 5.112-rasmda ko‘rsatilgan. Ion almashinish qurilmasi kolonna 1 va uni bir necha seksiyaga ajratuvchi teshikli panjara 2 lardan tarkib topgan. Qurilmani seksiyalash mavhum qaynash jarayonida ionitlarni ko‘ndalang harakatlanishini kamaytiradi va ideal siqib chiqarish rejimini ta’minlaydi. Ma’lumki, bu rejimda jarayon maksimal harakatga keltiruvchi kuchga ega bo‘ladi.

Qurilma lyuklari 3 orqali ionit yuklanadi va undan so‘ng boshlang‘ich eritma o‘zaro ta’sir uchun yuboriladi. Ionit yutilgan moddalar bilan to‘yingandan so‘ng, u yuviladi va qayta tiklanadi.



5.113-rasm. Uzluksiz ishlaydigan, harakatchan ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi.
1 - qobiq; 2 - injektor; 3 - nasos; 4 - cho ktirgich; 5 - filtr to‘siq: I, II - ionit sorbsiyalash va qayta tiklash zonalari; III.IV - ionitni suv bilan yuvish zonalari.

Uzluksiz ishlaydigan, harakatchan ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi 5.113-rasmda tasvirlangan. U quyilish patrubkalari bilan to‘rt seksiyaga bo‘lingan kolonna 1 tipidagi qurilmadir. Qayta tiklangan ionit qurilmaning pastki qismidan injektor 2 ga tushadi. U yerga nasos 3 yordamida qurilmaning cho‘ktirish qismi 4 dan ishlatib bo‘lingan eritma ham haydaladi. Gidrotransportlovchi suyuqlik vazifasini bajaruvchi suyuqlikning bu qismi, resirkulatsiya sistemasiga ulangan. Ionit pulpasi injektor 2 dan sorbsiyalash seksiyasi 1 ga uzatiladi. Undan tashqari, shu seksiyaga boshlang‘ich eritma ham yuborilib, tozalangan suyuqlik esa qurilmaning tepasidan chiqariladi. Uzatilish uchun zarur suyuqlik ulushi filtr to‘siq 5 dan qurilmaning injektor qismi 4 ga o‘tadi va nasos 3 yordamida injektor 2 ga haydaladi. Ishlatib bo‘lingan ionit sorbsiyalash seksiyasining I quyilish tarelkasidan yuvilish seksiya II ga o‘tadi. U yerda ionit suv bilan yuviladi. Undan keyin, xuddi shunday qilib, ionit III seksiyaga o‘tadi va qayta tiklovchi eritma bilan o‘zaro ta’sirda bo‘ladi. So‘ng, qayta tiklangan ionit yuvish seksiyasi IV ga o‘tadi, u yerda eritmadan tozalanadi va injektor 2 ga yo‘naltiriladi va sikl qaytadan takrorlanadi.



5.114-rasm. Uzluksiz ishlaydigan, ko‘p pog‘onali mavhum qaynash ionit qatlamli qurilma sxemasi.

Uzluksiz ishlaydigan, ko‘p pog‘onali mavhum qaynash ionit qatlamli qurilma sxemasi 5.114-rasmda ko‘rsatilgan. Sxemadan ko‘rinib turibdiki, ionitning mavhum qaynash jarayoni pog‘onalarda, elaksimon tarelkalarda tashkil etiladi.

Fazalarning yo‘nalishi qarama-qarshi bo‘ladi. Tozalangan eritma qurilmaning tepa, ionit esa – pastki qismidan chiqariladi.

Bu turdagi qurilmalarda eritma tezligi ionit zarrachalarining mavhum qaynash boshlanishi tezligidan kattaroq bo‘ladi.

Odatda eritma pastdan yuqoriga qarab harakatlanadi. Ushbu kolonnada faqat sorbsiya jarayoni o‘tkaziladi. Yutilayotgan komponentga to‘yingan ionit pulpa holatida

siqilgan havo yordamida qayta tiklashga uzatiladi. Qayta tiklangan ionit shnek yordamida qurilmaning tepa qismiga qaytariladi.

5-bob. Adsorbsiya bo‘yicha
Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Adsorbsiya jarayonining mohiyati nimada?
2. Adsorbent va adsorbtiv nima?
4. Desorbsiya qanday jarayon?
5. Kimyoviy reaksiya bilan kechadigan adsorbsiya nima deb nomlanadi?
6. Adsorbentlar turlari va ularning asosiy ko‘rsatkichlari.
7. Adsorbentlar necha guruhga bo‘linadi?
8. Le-Shatelye prinsipi nimani ifodalaydi?
9. Adsorbsiya jarayonini tashkil etish usullari.
11. Qo‘zg‘almas qatlamli adsorber tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
12. Halqasimon qatlamli adsorber tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
13. Mavhum qaynash qatlamli adsorber tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
14. Harakatchan adsorbent qatlamli adsorber tuzilishi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
15. Ko‘p pog‘onali mavhum qaynash qatlamli adsorber tuzilishi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
16. Adsorberlarni hisoblash ketma-ketligi.

QURITISH

5.39. Umumiy tushunchalar

Qattiq va pastasimon materiallarni suvsizlantirish yo'li bilan ularga zarur xossalar berish, transport vositalarida uzatish va uzoq muddat davomida saqlash imkoniyatini beradi.

Suvsizlantirishni 3 xil usulda amalga oshirish mumkin:

1. Mexanik (siqish, cho'ktirish, filtrlash, sentrifugalash va h.).
2. Fizik-kimyoviy (suvni o'ziga tortib oluvchi moddalar yordamida, masalan, kalsiy xlorid, sulfat kislota va h.
3. Issiqlik ta'sirida suvsizlantirish, ya'ni quritish.

Lekin yuqorida qayd etilgan usullardan eng samaralisi, issiqlik ta'sirida suvsizlantirish, ya'ni quritishdir. Chunki, quritish jarayonida to'liq suvsizlantirishga erishsa bo'ladi.

Qattiq va pastasimon materiallar tarkibidagi namlikni bug'latish va hosil bo'layotgan bug'larni chetga olib chiqishga **quritish jarayoni** deyiladi.

Nam materiallarni issiqlik yordamida quritish – sanoatda eng keng tarqalgan usul. Ushbu usul kimyoviy, oziq-ovqat va bir qator boshqa texnologiyalarda ishlatiladi. Material tarkibidagi namlik dastavval arzon, mexanik (masalan, filtrlash) usulda, yakuniy, to'la suvsizlantirish esa – quritish usulida olib boriladi. Suvsizlantirishning bunday kombinatsiyalashgan usuli iqtisodiy jihatdan samaralidir.

Sanoatda nam materiallarni quritish uchun sun'iy (maxsus quritish qurilmalarida) va tabiiy (ochiq havoda quritish - juda davomiy jarayon) usullar qo'llaniladi.

Fizik mohiyatiga ko'ra, quritish jarayoni murakkab diffuzion jarayondir. Uning tezligi, quritilayotgan material ichidan namlikning atrof-muhitga tarqalishi, diffuziya tezligi bilan belgilanadi. Ma'lumki, quritish jarayoni bu issiqlik va massa (namlik) ning material ichida harakati va material yuzasidan atrof-muhitga uzatilishidir. Shunday qilib, quritish bu issiqlik va massa almashinish jarayonlarining bir-biri bilan uzviy bog'langan jarayonlar majmuasidir.

Qattiq, nam materialga issiqlik ta'sir etish usuliga qarab quritish quyidagi turlarga bo'linadi:

1) **konvektiv** quritish – bunda nam material bilan qurituvchi eltkich bevosita o'zaro ta'sirda bo'ladi. Odatda, qurituvchi eltkich sifatida qizdirilgan havo yoki tutun gazlari ishlatiladi;

2) **kontaktli** quritish – issiqlik tashuvchi eltkich va nam material orasida ajratuvchi devor bo'ladi. Materialga issiqlik shu devor orqali uzatiladi;

3) **radiatsion** quritish – nam materialga issiqlik infraqizil nurlar orqali uzatiladi;

4) **dielektrik** quritish – nam materialga issiqlik yuqori chastotali tok maydonida quritiladi;

5) **sublimatsion** quritish – nam material muzlagan holatda, yuqori vakuum ostida quritiladi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, istalgan quritish usulida quritilayotgan nam material ko'pchilik hollarda issiq havo bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. Konvektiv quritish sanoat texnologiyalarida juda ko'p ishlatiladi. Ushbu jarayonni amalga oshirish uchun nam materialga issiq havo ta'sirining ahamiyati katta. Shuning uchun, nam havoning asosiy xossalarini bilish quritish jarayonini o'rganish va hisoblash uchun zarur.

5.40. Ramzinning nam havo I-x diagrammasi

Quruq havoning suv bug'i bilan aralashmasi ***nam havo*** deb nomlanadi. Nam havo absolyut va nisbiy namlik, nam saqlash, entalpiya, quruq va ho'l termometr temperaturalari, parsial bosim kabi parametrlar bilan xarakterlanadi.

Absolyut namlik deb 1 m^3 nam havo hajmidagi suv bug'i (kg) miqdoriga aytiladi.

Agar parsial bosim $p_б$ da suv bug'i butun hajmi, masalan 1 m^3 ni egallasa, unda, absolyut namlik suv bug'i zichligi $\rho_б$ ga teng.

Nisbiy namlik deb havo absolyut namligining, to'yinish paytidagi absolyut namlik nisbatiga aytiladi:

$$\varphi = \frac{\rho_b}{\rho_t} \qquad (5.191)$$

bu yerda, ρ_t – to'yingan suv bug'ining zichligi, kg/m^3; $\rho_б$ – suv bug'ining zichligi, kg/m^3.

Gaz tarkibidagi bug'lar parsial bosimi, uning miqdoriga proporsional bo'lgani uchun, nisbiy namlik bir xil temperatura va bosimda havodagi suv bug'i parsial bosimi $p_б$ ning to'yingan suv bug'lari bosimi p_T ga nisbati sifatida ifodalanishi mumkin:

$$\varphi = \frac{p_б}{p_T} \qquad \text{yoki} \qquad p_b = \varphi \cdot p_T \qquad (5.192)$$

Nam saqlash deb 1 kg absolyut quruq havoga to'g'ri keladigan suv bug'lari (1 kg) miqdoriga aytiladi.

Nam havoning solishtirma nam saqlashi x (kg/kg) yoki (g/kg) bilan belgilanadi. Havoning nam saqlashi ushbu nisbat orqali aniqlanadi:

$$x = \frac{m_b}{m_{акх}} = \frac{\rho_b}{\rho_{акх}} \qquad (5.193)$$

bu yerda, m_b va $m_{акх}$ – suv bug'i va absolyut quruq havo massalari, kg.

Mendeleyev - Klapeyron ideal gazlar holatining tenglamasiga binoan nam saqlash va nisbiy namliklar orasidagi bog'liqlikni aniqlaymiz. Suv bug'i va quruq havo zichliklarini ushbu tenglamalardan topish mumkin:

$$\rho_b = \frac{p_b \cdot M_b}{RT} \qquad \text{va} \qquad \rho_{акх} = \frac{P_{акх} \cdot M_{акх}}{RT} \qquad (5.194)$$

bu yerda, M_b va $M_{акх}$ – 1 mol suv bug'i va absolyut quruq havolar massalari, kg/kmol; $r_{акх}$ – biror temperaturadagi quruq havoning parsial bosimi, Pa; R = 8314 – gazning universal doimiysi. J/(kmol·K).

(5.194) ni (5.193) ga qo'yib, ushbu ko'rinishli tenglamani olamiz:

$$x = \frac{M_b}{M_{акх}} \left(\frac{p_b}{p_{акх}} \right) \qquad (5.195)$$

Dalton qonuniga binoan $P = p_n + p_{акх}$. Unda:

$$p_{aqx} = P - p_{aqx} \tag{5.196}$$

(5.192) tenglamadan bilamizki, $p_b = \varphi p_m$.

Agar p_{aqx} va p_b qiymatlarini (5.195) ga qo'ysak:

$$x = \frac{18}{29}\frac{\varphi \cdot p_t}{P - \varphi p_t} = 0{,}622\frac{\varphi \cdot p_t}{P - \varphi p_t} \tag{5.197}$$

bu yerda, M_{aqx}=29 kg/mol; M_b=18 kg/mol.

Entalpiya termodinamik sistemaning holat funksiyasi bo'lib, I harfi bilan belgilanadi.

Nam havo entalpiyasi quruq havo bilan shu nam havoda bo'lgan suv bug'ining entalpiyalari yig'indisiga teng:

$$I = c_{aqx} \cdot t + xI_b \tag{5.198}$$

bu yerda, t – absolyut quruq havoning o'rtacha temperaturasi, K; c_b = 1000 J/(kg·K); I_b – suv bug'ining solishtirma entalpiyasi, J/kg.

Quritish jarayonida havo bilan aralashmada bo'lgan suv bug'i o'ta qizdirilgan holatda bo'ladi. Uning solishtirma bug' hosil qilishi $r_0 = 2493 \cdot 10^3$ J/kg bo'lsa, o'ta qizdirilgan suv bug'ining solishtirma issiqlik sig'imi esa, $c_b \approx 1{,}97 \cdot 10^3$ J/(kg·K).

O'ta qizdirilgan suv bug'ining solishtirma entalpiyasi:

$$I_b = r_0 + c_b I = 2493 \cdot 10^3 + 1{,}97 \cdot 10^3 \cdot t \tag{5.199}$$

Agar (5.199) ni (5.198) ga qo'ysak, ushbu ko'rinishdagi tenglamaga erishamiz:

$$I = \left(1000 + 1{,}97 \cdot 10^3 \cdot x\right) \cdot t + 2493 \cdot 10^3 \cdot x \tag{5.200}$$

Zichlik. Nam havoning zichligi ρ_{nh} absolyut quruq havo ρ_{aqx} va suv bug'i ρ_b zichliklari yig'indisiga teng. Agar $\rho_b = x \cdot \rho_{aqx}$ ekanligini inobatga olsak, ushbu tenglamani olamiz:

$$\rho_{nh} = \rho_{aqx} + \rho_b = \rho_{aqx}\left(1 + x\right) \tag{5.201}$$

Mendeleyev - Klapeyronning holat tenglamasiga binoan absolyut quruq havo zichligi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

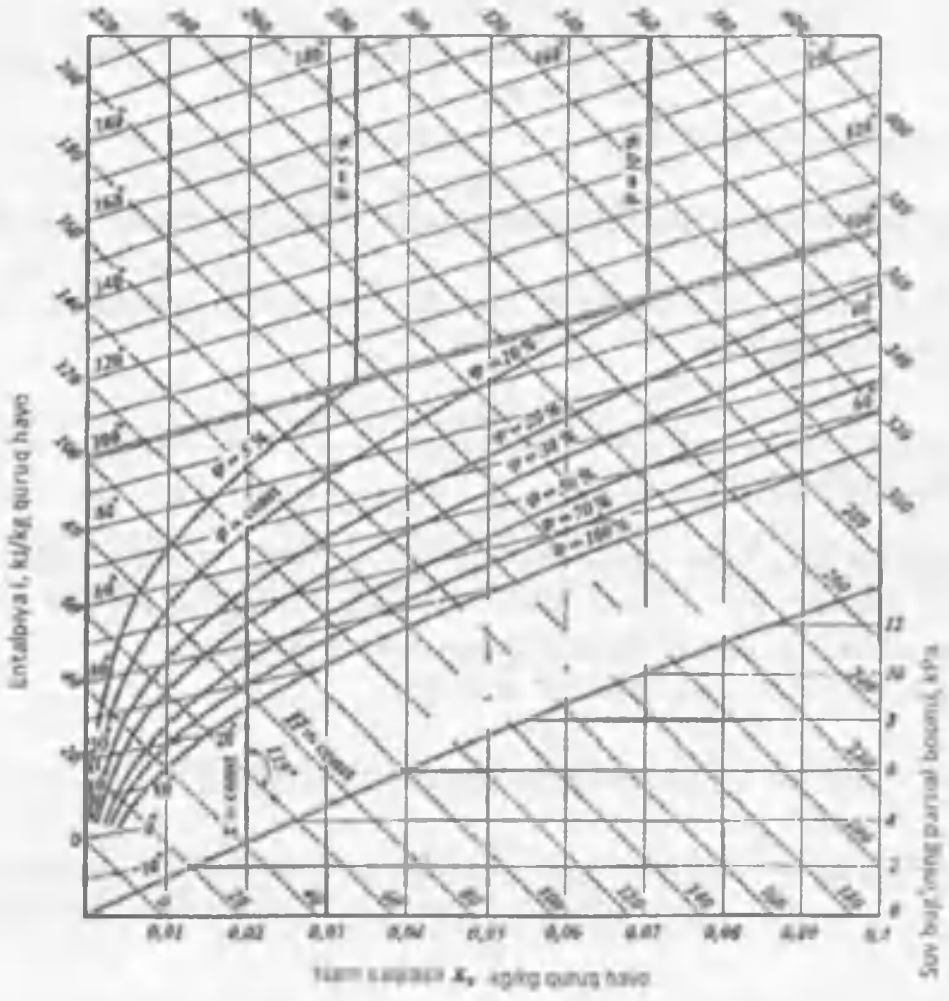
$$\rho_{aqx} = \frac{M_{aqx} \cdot \rho_{aqx}}{RT} = \frac{29 p_{aqx}}{8314 \cdot T} = \frac{P - p}{287T} \tag{5.202}$$

(5.197) tenglamadan x va (5.202) dan ρ_{aqx} qiymatlarini olib (5.201) ga qo'ysak, ushbu ko'rinishli ifodani olamiz:

$$\rho_{nh} = \frac{P - 0{,}378 \cdot p_b}{287T} \tag{5.203}$$

Isitish, sovitish va quritish jarayonlarida havoning asosiy xossalari o'zgarishi tasvirlangan va texnik hisoblashlar uchun yetarli aniqlikda L.K. Ramzinning entalpiya diagrammasi yordamida aniqlanishi mumkin.

I - x diagramma o'zgarmas bosim *r = 745* mm.sim.ust. (~99 kPa) uchun qurilgan (5.115-rasm). Diagramma entalpiya *I* (ordinata o'qi) - nam saqlash *x* (abssissa o'qi) koordinatalarida qurilgan.



5.115-rasm. Ramzinning I-x diagrammasi.

Koordinata o'qlari 135° burchak ostida joylashtirilgan. Diagrammadan foydalanish qulay bo'lishi uchun nam saqlash qiymatlari ordinata o'qiga perpendikular, ya'ni qo'shimcha gorizontal o'qqa proyeksiyalangan.

Diagrammaga quyidagi chiziqlar o'tkazilgan: ordinata o'qiga parallel (*x=const*), o'zgarmas nam saqlash vertikal chiziqlar; qo'shimcha abssissa o'qiga 135° burchakda o'tkazilgan o'zgarmas entalpiya (*I=const*) qiya chiziqlari; o'zgarmas temperatura (izoterma) chiziqlari; o'zgarmas nisbiy namlik (*φ=const*) chiziqlari; nam havodagi suv bug'ining parsial bosim p_6 chiziqlari.

O'zgarmas temperatura chiziqlari (5.200) tenglama yordamida quriladi. Buning uchun x_1 va x_2 parametrlarning istalgan qiymatlari qabul qilinib, ularga tegishli I_1 va I_2 qiymatlari hisoblanadi.

Undan keyin, diagrammada koordinatlari I_1, x, va I_2 , x_2 bo'lgan nuqtalar aniqlanadi. Topilgan nuqtalar to'g'ri chiziq bilan birlashtiriladi va u izoterma deb nomlanadi.

O'zgarmas nisbiy namlik chiziqlari (5.197) tenglama yordamida quriladi. φ = const chiziqlari koordinatalari $t = -273^0$C va $x = 0$ bo'lgan nuqtadan tarqaluvchi egri chiziqlar dastasini hosil qiladi.

φ = const chiziqlari bir-biriga yopishib ketmasligi uchun diagramma ma'lum burchakli sistema koordinatalarida qurilgan.

I - x diagramadan ko'rinib turibdiki, 99,4°C temperaturada $\varphi = const$ chiziqlari sinadi va yuqoriga vertikal ko'tarilib ketadi, ya'ni diagramma ikki qismga bo'linadi. Ushbu temperaturada to'yingan suv bug'ining bosimi 745 mm.sim.ust. teng bo'ladi. (5.197) tenglamadan ko'rinib turibdiki, temperatura $t \geq 99{,}4°C$ yetganda nisbiy namlik φ temperaturaga bog'liq bo'lmay va o'zgarmas kattalik bo'lib qoladi.

Havoning suv bug'i bilan to'yinish chizig'i, ya'ni φ = 100%, diagrammani to'yinmagan nam havo va chiziq ostida joylashgan, suv bug'i bilan o'ta to'yingan havo zonalariga ajratadi.

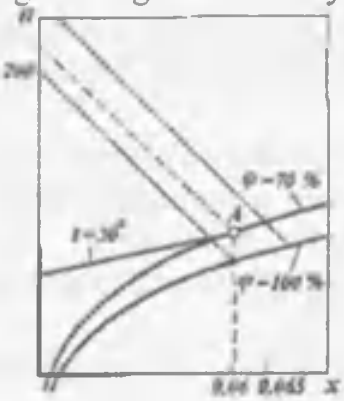
Suv bug'ining parsial bosim chiziqlari (5.192) tenglamani inobatga olgan holda (5.197) tenglamadan aniqlanadi:

$$p_b = \frac{p}{0{,}622 + x} \qquad (5.204)$$

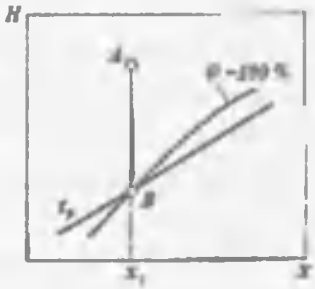
Suv bug'ining **parsial bosimi** *I - x* diagrammaning pastki qismida joylashgan. Diagramma yordamida nam havoning istalgan ikki parametri ma'lum bo'lsa, qolgan parametrlarini topish mumkin.

I-x diagramma yordamida, nam havoning istalgan ikki parametri orqali qolgan parametrlarini topish mumkin. Masalan: havo temperaturasi t=55^{0}C va nisbiy namligi φ=70% bo'lgan parametrlar uchun nuqta *A* ni aniqlaymiz (5.115a-rasm). Bu nuqta uchun nam saqlash parametri x=0,0608 kg namlik/kg quruq havo va entalpiyasi I=207,25 kJ/kg quruq havo.

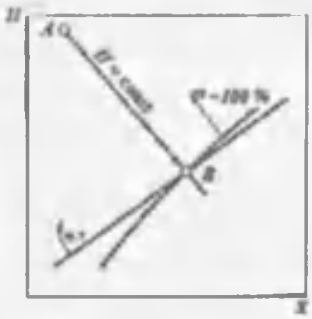
Shudring nuqtasi. Havoning o'zgarmas nam saqlash parametrida sovishi, uning suv bug'lari bilan butunlay to'yinishi natijasida, havo yoki gaz tarkibidagi suv bug'larining kondensatsiyalanishi ro'y beradi. Ushbu temperatura shudring nuqtasi deb



5.115a-rasm. I-x diagramma yordamida ma'lum ikki parametr orqali nam havoning qolgan parametrlarini aniqlash.



5.115b-rasm. I-x diagrammada shudring nuqtasini aniqlash.



5.115d-rasm. I-x digrammada ho'l termometr temperaturasini aniqlash.

nomlanadi.

5.115b-rasmda *A* nuqtaga mos boshlang'ich parametrli havo uchun shudring nuqta *B* ni grafik usulda aniqlash tasvirlangan. Shudring nuqtasi φ=100% va nam saqlash x_l larning kesilish nuqtasi *B* orqali o'tgan izoterma t_p sifatida aniqlanadi.

Ho'l termometr temperaturasi. Havoning nam material bilan izotermik o'zaro ta'siri natijasida havo soviydi. Bunda, havo materialga o'z issiqligini beradi va nam materialdan havoga o'tayotgan suv bug'larining entalpiyasi hisobiga o'z entalpiyasini

orttiradi. Bunday sharoitda temperatura pasayadi, entalpiya esa o'zgarmas bo'ladi. Ushbu izoentalpiya jarayoni havoning suv bug'lari bilan to'liq to'yingunga qadar boradi, ya'ni φ=100% ga erishadigan temperaturagacha. *I-x* diagrammada *A* nuqtadan φ=100% chizig'ida *B* nuqta bilan kesishguncha *I*=const chizig'i o'tkaziladi (5.115d-rasm). Nuqta *B* orqali o'tadigan, izoentalpiya sharoitida havoning sovish chegarasiga to'g'ri keladigan izoterma t_{MT} – ho'l termometrning temperaturasi deb nomlanadi.

Quritish potensiali. Havo temperaturasi t_h va ho'l termometr temperaturasi $t_{ho'l}$ larning farqi quritish potensiali ε deb ataladi. Ushbu ko'rsatkich havoning materialdan namlikni yutish qobiliyatini xarakterlaydi. Quritish potensiali qanchalik katta bo'lsa, materialdan namlikning bug'lanish tezligi shunchalik yuqori bo'ladi. Agar $t_h = t_{ho'l}$ bo'lsa, quritish potensiali $\varepsilon = 0$.

5.41. Quritish jarayoni statikasi

Har bir qattiq nam material atrof-muhitdan namlikni yutish yoki uni atrof-muhitga berish qobiliyatiga ega. Nam materialni o'rab turgan muhit tarkibi faqat suv bug'i yoki suv bug'i - gaz aralashmasidan iborat bo'lishi mumkin. Havo bilan aralashma hosil qilgan suv bug'ining parsial bosimini p_b deb belgilaymiz. Material tarkibidagi namlikka tegishli suv bug'inig bosimi deb nomlanadi.

Material bilan nam havo o'zaro ta'siri paytida sistema 3 holatda bo'lishi mumkin:

1. Quritilayotgan nam materialdagi suv bug'ining bosimi p_o, materialni o'rab turgan havo yoki gazdagi parsial bosimdan katta, ya'ni $p_o > p_b$. Bunday holda materialdan namlik atrof-muhitga desorbsiya qiladi, ya'ni quritish jarayoni sodir bo'ladi. Quritilayotgan materialdagi suv bug'ining bosimi p_o material namligi, temperatura va namlikning materialga bog'lanish usuliga bog'liq;
2. Atrof-muhitdagi bug'ning parsial bosimi, uning nam materialdagi bosimidan katta, ya'ni $p_b > p_o$. Bu holda, material va namlik orasida sorbsiya jarayoni yuz beradi, ya'ni material namlanishi ro'y beradi;
3. Nam material va atrof-muhitdagi suv bug'larining bosimi bir-biriga teng, ya'ni $p_o = p_b$. Bunday holda sistema dinamik muvozanatda bo'ladi. Dinamik muvozanat boshlanishiga to'g'ri keladigan material namligi muvozanat namligi W_M deb nomlanadi. Muvozanat namlik suv bug'ining parsial bosimi p_b yoki unga proporsional bo'lgan havoning nisbiy namligi φ ga bog'liqdir.

Muvozanat namligining $t = const$ da φ ga bog'liqligi ***sorbsiya izotermasi*** deb ataladi va ko'pincha tajribaviy yo'l bilan topiladi.

Quritish jarayonida material sirtidagi bug' bosimi kamayib boradi va muvozanat namligiga intiladi. Namlash jarayonida esa aksincha bo'ladi, ya'ni material sirtidagi bug' bosimi ortib borib, muvozanat namligiga intiladi.

Material namligi erkin va bog'langan holda bo'lishi mumkin.

Erkin namlik deb materialdan bug'lanayotgan namlikning bug'lanish tezligi suvning erkin yuzadan ($p_o = p_m$) bug'lanish tezligiga teng bo'lgan namlik tushuniladi. Ma'lumki, materialdagi bog'langan namlikning bug'lanish tezligi erkin yuzadan suvning bug'lanishi tezligidan har doim kichik bo'ladi. Bunda, $p_o < p_m$, bu yerda p_m – suv bug'ining to'yinish bosimi.

Material tarkibidagi namlikni xarakterlash uchun material namligi W (%) va nam saqlash x (kg namlik/kg quruq havo) degan tushunchalar qo'llaniladi.

Material namligi materialning umumiy miqdori yoki uning tarkibidagi absolyut quruq modda miqdoriga nisbatan hisoblanishi mumkin.

5.42. Material bilan namlikning bog‘lanish usullari

Material bilan namlikning bog‘lanishi klassifikatsiyasi akad. Rebinder P.A. tomonidan ishlab chiqilgan bo‘lib, unga bog‘lanish energiyasi asos qilib olingan. Ushbu bog‘lanish quyidagi shakllarda bo‘lishi mumkin:

– namlikning kimyoviy bog‘lanishi, kimyoviy reaksiya natijasida hosil bo‘ladi;

– namlikning fizik-kimyoviy bog‘lanishi, yarim o‘tkazuvchan qobiqcha orqali gaz molekulalarining adsorbsiyasi natijasida hosil bo‘ladi;

– namlikni fizik-mexanik bog‘lanishi, mikrokapillar ($r<10^{-7}$), makrokapillarlar ($r>10^{-7}$) tomonidan bug‘larni yutishda, hamda gel hosil bo‘ladi;

Sirtiy namlik eng oson, kimyoviy bog‘langan namlik esa eng qiyin yo‘qotiladi.

1) **Kimyoviy bog‘langan namlik** gidrooksid suvi ko‘rinishida bo‘lib, gidratatsiya reaksiyasi natijasida gidrooksid va kristallogidrat tipidagi birikmalar tarkibiga kirib oladi. Ushbu namlikni yuqori temperaturada qizdirish yo‘li bilan yo‘qotish mumkin.

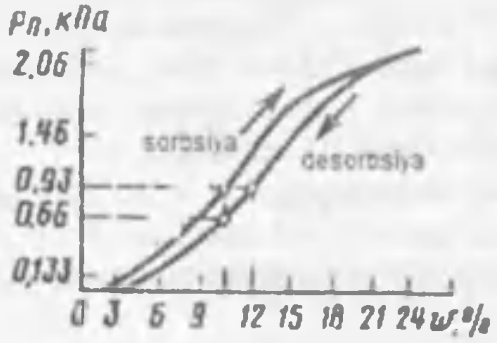
2) **Fizik-kimyoviy bog‘lanish** shakllari turli-tuman bo‘ladi:

Adsorbsion bog‘langan namlik. Ushbu namlik atrof-muhit va kolloid zarrachani ajratib turuvchi chegara yuzasida ushlanib turadi. Kolloid zarrachalar katta yuza va yuqori adsorbsion qobiliyat tuzilishga ega. Adsorbsion namlik molekular kuchli maydon yordamida tortilib turadi. Adsorbsion namlik quritish davrida issiqlik ajrab chiqadi va u gidratatsiya issiqligi deb nomlanadi.

Osmotik bog‘langan namlik yoki bo‘rtish namligi material skeleti ichida bo‘ladi va osmotik kuchlar yordamida bog‘langan bo‘ladi.

3) **Kapillar bog‘langan namlik** mikro- va makrokapillarlar ichida bo‘ladi. Ushbu namlik material bilan mexanik bog‘lanishda bo‘ladi va nisbatan oson bartaraf etiladi.

Namlikning material bilan bog‘lanishi qanchalik mustahkam bo‘lsa, material yuzasidagi bug‘ bosimi shunchalik kam bo‘ladi. Eng mustahkam bog‘lanish gigroskopik moddalarda bo‘ladi.



5.116-rasm. Kraxmal namligining sorbsiya – desorbsiya izotermalari.

Material bilan namlik bog‘lanish turlarini xarakterlash uchun sorbsiya - desorbsiya izotermalari qo‘llaniladi. 5.116-rasmda sorbsiya va desorbsiya izotermalari keltirilgan.

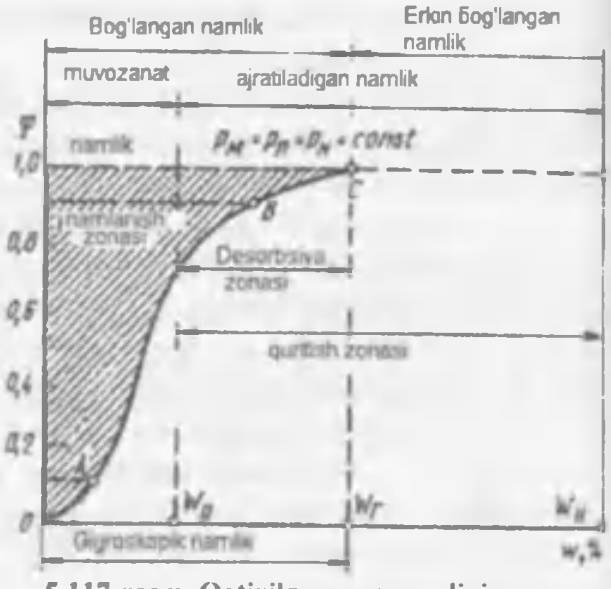
Desorbsiya egri chizig‘i (desorbsiya izotermasi) nam kraxmaldan namlik yo‘qotilishi davri uchun qurilgan, ya’ni uni quritish jarayonida.

Sorbsiya egri chizig‘i kraxmalni namlash davri uchun qurilgan va sorbsiya izotermasi deb nomlanadi. Sorbsiya va desorbsiya egri chiziqlari o‘ziga xos shakldagi **gisterezis halqasi** deb ataladi.

Gisterezis hodisasidan quyidagi xulosaga kelish mumkin: bir xil qiymatga ega bo'lgan muvozanat namlikka erishish uchun havoning nisbiy namligi, quritish jarayonida materialni namlash jarayoniga nisbatan katta bo'lishi zarur.

Buni, quritilayotgan material kapillarlarida havo borligi, ya'ni havoning kapillar devorlarida sorbsiyalanishi bilan tushuntirish mumkin.

Oziq - ovqat mahsulotlarining sorbsiya-desorbsiya xarakteristikalarini, ya'ni havo namligi va uning temperaturasini aniqlash imkonini beradi.



5.117-rasm. Qotirilgan non namligining sorbsiya – desorbsiya izotermalari.

Sorbsiya izotermalari tahlili yordamida material bilan namlikning bog'lanish usulini bilish mumkin. 5.117-rasmda qotirilgan non sorbsiya izotermalari keltirilgan. Mahsulotning boshlang'ich namligi W_b, oxirgisi esa – $W_{ox} = W_m$ (bu yerda W_m – muvozanat namligi). Material namligining W_b dan W_{ox} gacha o'zgarish oralig'i **quritish sohasi** deyiladi. Bu sohada materialdan chiqadigan namlik yo'qotiladi. Gigroskopik namlik W_g dan W_{ox} gacha bo'lgan oraliq desorbsiya sohasi deb ataladi. Muvozanat namlik egri chizig'ining yuqorisida sorbsiya, ya'ni material namlanish sohasi bo'ladi. Materialning nam holati (material tarkibida erkin bog'langan namlik) va gigroskopik holatlarini (materialda faqat bog'langan namlik) gigroskopik namlik ajratib turadi.

Nisbiy namlik $\varphi = 0,4$ bo'lganda, izoterma abssissa o'qiga nisbatan bo'rtiq ko'rinishga ega. Ushbu holat monomolekular adsorbsiyaga xosdir. Material bilan namlik bog'lanishini yengish uchun monomolekular adsorbsiyada juda katta miqdorda issiqlik sarflanishi zarur. Nisbiy namlik φ = 0,1...0,9 oralig'ida izotermaning AB bo'lagi ordinata o'qiga nisbatan bo'rtiq ko'rinishga ega. Ushbu holat polimolekular adsorbsiyaga xosdir. Bu namlikni yo'qotish uchun monomolekular adsorbsiyada namlikni yo'qotishga sarflanadigan issiqlik miqdori nisbatan kam bo'ladi.

Izotermaning BC (φ = 0,9...1,0) bo'lagi mikrokapillar ($r < 10^{-6}$ cm) lardagi namlikni ifodalaydi.

Mexanik bog'langan erkin namlik materialdan mexanik usulda ajratib olinishi mumkin.

Materialni suv bilan bog'lanishi natijasida uning ustidagi suv bug'larining bosimi pasayadi. Shuning uchun, erkin energiya ham kamayadi.

O'zgarmas temperaturada erkin energiya yoki bog'lanish energiyasining kamayishi ish bilan ifodalanadi. Bu ish 1 mol suvni materialdan ajratish uchun sarflanadi va uni akad. Rebinder P.A. tomonidan keltirib chiqarilgan formula yordamida topish mumkin:

$$E = RT \ln \frac{p_1}{p_M} = -RT \ln \varphi \qquad (5.205)$$

bu yerda, p_T – to'yingan suv bug i bosimi; p_m – namligi x bo'lgan material ustidagi suv bug'ining muvozanat parsial bosimi; φ – havoning nisbiy namligi.

Material bilan namlik bog'lanishi qanchalik mustahkam bo'lsa, shunchalik p_m kattaligi kichik bo'ladi. Erkin suvni ajratish davrida, $p_T = p_m$ bo'lgani uchun (5.205) formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$E = RT \ln 1 = 0$$

Materialni quritish jarayonida bog'lanish energiyasi asta-sekin ko'payib boradi, chunki material namligi kamayishi bilan adsorbsion bog'langan namlik ulushi ortadi.

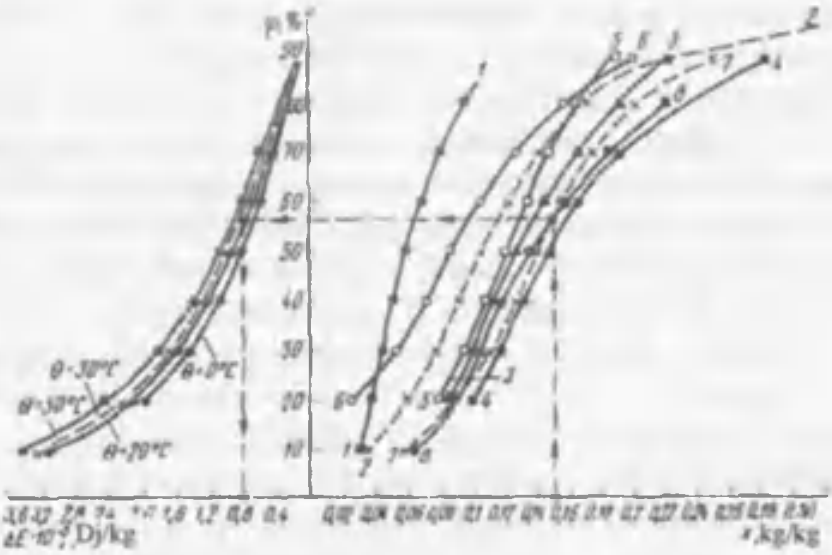
5.118-rasmda ayrim oziq - ovqat mahsulotlar muvozanat namliklarining egri chiziqlari hamda turli temperaturalarda bog'lanish energiya funksiyalari keltirilgan.

Ushbu grafikdan foydalanib, bog'lanish energiyasi va bog'langan namlikni yo'qotish uchun zarur ish miqdorini aniqlash mumkin.

Quritish jarayonidagi umumiy issiqlik sarfi:

$$Q = Q_{bug'} + Q_{bn}$$

bu yerda, $Q_{bug'}$ – erkin namlikni bug'lanishi uchun sarflanadigan issiqlik; Q_{bn} – bug'langan namlikni yo'qotish uchun sarflanadigan issiqlik.



5.118-rasm. Turli mahsulotlarda namlikni bog'lanish energiyasini aniqlash chizmasi.

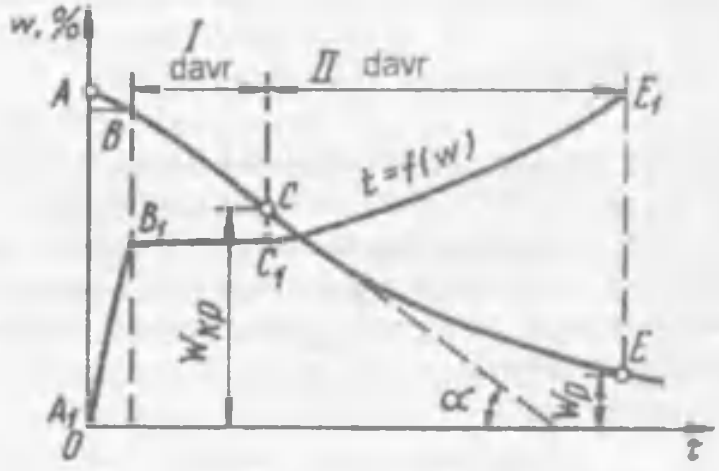
1 - pista (t=20°C); 2 - bug'doy (t=50°C); 3 - makkajo'xori (t=20°C); 4 - javdari bug'doy (t=0°C); 5 - tozalangan guruch (t=20°C); 6 - un (t=24°C); 7 - makkajo'xori kraxmali (t=20°C); 8 - makaron (t=30°C).

5.43. Quritish jarayoni kinetikasi

Yuqorida qayd etilgandek, quritish jarayoni murakkab issiqlik va massa almashinish jarayonidir. Materialdagi namlik uning ichidan fazalarni ajratib turuvchi yuzaga massa o'tkazuvchanlik, ajratib turuvchi yuzadan gaz oqimi yadrosiga esa – konvektiv diffuziya hisobiga o'tkaziladi.

Material tarkibidagi namlikning diffuziyasi nafaqat nam saqlash gradiyenti, balki temperatura gradiyenti ham ta'siri ostida ro'y beradi.

Materialdagi diffuziyani analitik usulda ifodalash juda qiyin masala. Ma'lumki, quritish jarayoni tezligi material bilan namlikning bog'lanish shakli va unda namlikning diffuziya mexanizmiga bog'liq. Quritish jarayoni kinetikasi materialning nam saqlashi yoki o'rtacha namligining ma'lum vaqtdan keyin o'zgarishi bilan xarakterlanadi.



5.119-rasm. Quritish egri chizig'i.

Odatda, quritish tezligini tajribaviy usulda topish uchun quritish egri chizig'i quriladi, so'ng u differensiallanib quritish tezligining egri chizig'i hosil qilinadi.

5.119-rasmda material namligi W va qurish vaqti τ orasidagi bog'liqlik tasvirlangan.

Undan tashqari, rasmda material temperaturasining namlikka bog'liqligi ham keltirilgan.

Tipik quritish egri chizig'i quritish jarayonining turli davrlarini ifodalovchi bir necha qismdan iborat.

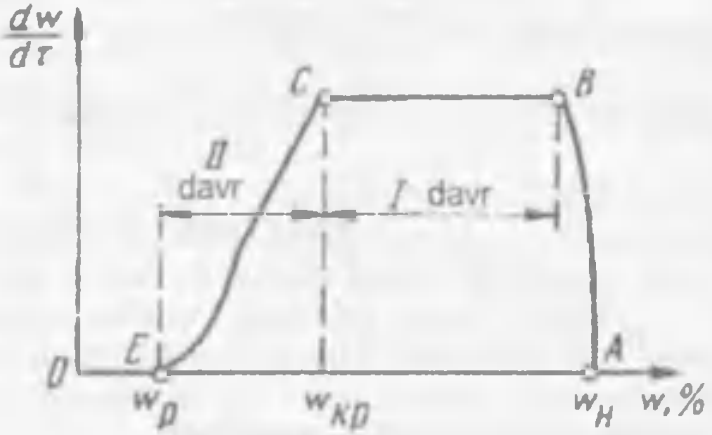
Jarayon boshlanishida nam material qiziydi va undan namlik bug'lanib chiqa boshlaydi. Materialning quritish temperaturasigacha qizishi AB kesma bilan ifodalanadi. Undan so'ng, o'zgarmas quritish tezligi davri (BC kesma), ya'ni I davr boshlanadi. Bu davr qiyalik burchagi α ning o'zgarmas tangensli to'g'ri chizig'i (BC kesma) bilan ifodalanadi va C nuqtada yakunlanadi. Ushbu davrda materialning temperaturasi termometrning ho'l temperaturasi (temperatura egri chizig'idagi B_1C_1 kesma) qiymatiga teng bo'ladi. O'zgarmas quritish tezligi davrida uzatilayotgan issiqlik, materialdagi erkin namlikni bug'lanishiga sarflanadi. Ushbu, o'zgarmas quritish tezlikli davr to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi va u birinchi kritik tezlik W_{kt}ga yetganda tamom bo'ladi.

W_{kr} dan boshlab esa kamayuvchi tezlik davri boshlanadi, ya'ni material namligi asta - sekin kamayadi va u CE kesma bilan ifodalanadi. Bu davrda materialdagi temperaturasi C_1E_1 egri chiziq bo'ylab ko'tariladi. Quritish jarayoni oxirida material namligi asimptotik ravishda muvozanat namligi W_M ga yaqinlashib boradi. Material W_M namlikka erishishi bilan undan namlik chiqishi to'xtaydi. Ushbu daqiqada material temperaturasi uni o'rab turgan issiqlik eltkich temperaturasiga (E_1 nuqta) teng bo'ladi. Lekin muvozanat namligiga erishish uchun ancha vaqt zarurdir.

Quritish tezligi vaqt birligida namlik o'zgarishini ifodalaydi, ya'ni $dW/d\tau$ (%/soat) yoki $dx/d\tau$ (c^{-1}).

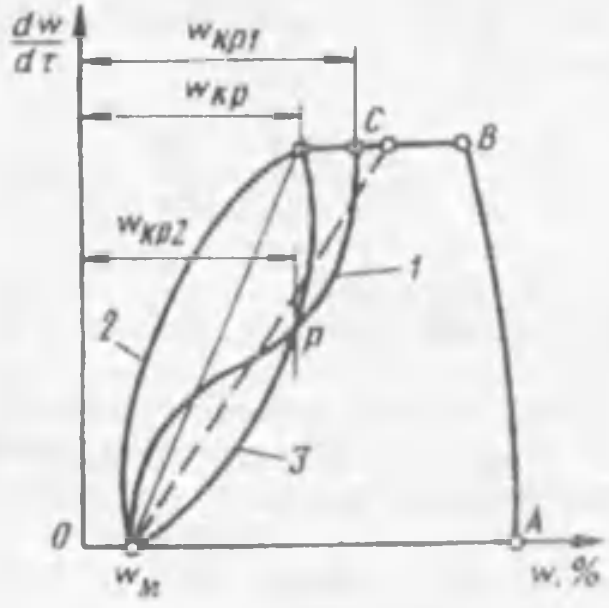
Quritish tezligi bo'yicha ma'lumotlar asosida quritish tezligining egri chiziqlari quriladi (5.120-rasm).

BC gorizontal kesma quritish jarayonining birinchi, CE esa – ikkinchi davrdagi tezligini ko'rsatadi.



5.120-rasm. Quritish tezligining egri chizig'i.

Jarayonning birinchi davrida erkin bog'langan namlik yo'qotiladi va uning tezligi tashqi diffuziya zonasidagi massa almashinish qarshiligi, ya'ni konvektiv massa berish koeffitsiyenti bilan aniqlanadi. Birinchi kritik tezlikka oid *C* nuqtada material tashqi yuzasidagi namlik gigroskopik namlikka teng bo'lib qoladi. W_{kr} dan boshlab materialdan bog'langan namlik haydalib boshlanadi va jarayon tezligi ancha susayadi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, quritish tezligi egri chiziqlarining ko'rinishi 5.120-rasmda keltirilgandan ancha farq qilishi mumkin. Namlikning material bilan bog'lanish shakllariga qarab, ikkinchi davrning o'zi bir necha davrdan iborat bo'lishi mumkin (5.121-rasm).



5.121-rasm. Kapillar - g'ovakli materiallarning quritish tezligi egri chiziqlarining tasviri.

Rasmdagi egri chiziq 1 tipik kapillar - g'ovakli jismlar uchun xosdir. Chiziqning tepa qismi kapillar, pastki qismi esa – W_{kr} ga teng adsorbsion namlikni yo'qotish tezligini ifodalaydi. Egri chiziq 2 gazlama va yupqa listli materiallar, 3 esa – keramik materiallarni quritish jarayonini xarakterlaydi.

Quritish tezligi jarayonning muhim texnologik parametri bo'lmish – quritish intensivligini aniqlash imkonini beradi.

Material namligining bug'lanish intensivligi, quritilayotgan material yuzasi birligidan vaqt birligida chiqarib yuborilayotgan namlik miqdori bilan belgilanadi, ya'ni:

$$m = \frac{W}{F\tau}$$

bu yerda, τ – quritish jarayonining umumiy davomiyligi.

Qattiq nam materialda namlikning diffuziyasi 5.6-rasmda keltirilgan. Qattiq material ichidan tashqi yuzasiga namlikning tarqalishi massa o'tkazuvchanlik usulida boradi. Fazalarni ajratib turuvchi yuzadan gaz oqimi yadrosiga namlikning tarqalishi esa konvektiv diffuziya usulida o'tadi.

Ma'lumki, kapillar - g'ovakli materiallarda moddaning tarqalishi konsentratsiya va temperatura gradiyentlari ostida bo'lishi mumkin. Temperatura gradiyenti ta'sirida qattiq materialda ro'y beradigan namlikning tarqalishi termodiffuziya hisobiga bo'ladi. Agar materialni quritish qattiq rejimlarda olib borilsa, ya'ni temperaturalar gradiyenti salmoqli bo'lganda, termodiffuziya hodisasi namoyon bo'ladi.

$p = const$ bo'lganda, massaviy oqimni ushbu tenglama bilan ifodalash mumkin:

$$i = \frac{dW}{Fd\tau} = \pm k\rho_{aqm}\left(\frac{\partial x}{\partial l} + \delta\frac{\partial t}{\partial l}\right) \qquad (5.206)$$

bu yerda, k – massa o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, m^2/soat; ρ_{aqm} – absolyut quruq material zichligi, kg/m^3; x – materialning nam saqlashi, kg/kg quruq materialga; l – izokonsentratsion yuza normali; δ – termonamlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, K^{-1}; t – temperatura, K.

(5.206) tenglamaning birinchi qo'shiluvchisi konsentratsiya gradiyenti ta'sirida, ikkinchisi esa – temperatura gradiyenti ta'sirida modda uzatilishini xarakterlaydi.

Tenglamadagi kinetik k va δ koeffitsiyentlar temperatura va jism namligi funksiyasidir. Shuning uchun, nam materialda namlikning tarqalishini unda issiqlik almashinish bilan birgalikda qarash kerak. Issiqlik almashinish Furyening issiqlik o'tkazuvchanlik qonuni bilan ifodalanadi.

$$\frac{dQ}{Fd\tau} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}$$

Yuqorida keltirilgan massa va issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamalar asosida A.V. Likov tomonidan kapillar - g'ovakli jismda issiqlik va massa almashinishning differensial tenglamalar sistemasi keltirib chiqarilgan:

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial l}\left(k\frac{\partial x}{\partial l} + k\delta\frac{\partial t}{\partial l}\right); \qquad c\rho_{aqm}\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial l}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial l}\right) + \varepsilon r\frac{\partial x}{\partial \tau} \qquad (5.207)$$

bu yerda, $\varepsilon = dx_f/dx$ – fazaviy o'zgarish kriteriysi; r – bug'lanish issiqligi, kJ/kg.

Ushbu tenglamadagi λ, c, ε va r koeffitsiyentlar o'zgaruvchi kattaliklar bo'lib, jismning namligi va temperaturasiga bog'liq.

(5.207) dagi birinchi tenglama qattiq jismda namlik va temperatura gradiyentlari ta'sirida nam saqlashning o'zgarish tezligini ifodalaydi. Ikkinchi tenglama esa, issiqlik o'tkazuvchanlik va ichki bug'lanish hisobiga temperatura maydoni o'zgarish tezligini xarakterlaydi.

Konvektiv quritishda moddalar diffuziyasi yo'nalishiga qarshi yo'nalgan termodiffuziya oqimi massa o'tkazuvchanlik tezligini pasaytiradi.

Materialdagi noturg'un konsentratsiya va temperatura maydonlarini topish uchun differensial tenglamalar sistemasini yechish kerak. Quritish jarayonini bunday hisoblash usuli, kerakli namlikka erishish vaqtini va quritkich o'lchamlarini aniqlash nazariy jihatdan o'rinlidir.

Lekin differensial tenglamalar sistemasini yechish uchun massa va issiqlik o'tkazish koeffitsiyentlarini material namligi va temperaturaga bog'liqligini bilish zarur. Yuqorida qayd etilgan hamma koeffitsiyentlar, c va r dan tashqari, x va t ga bog'liqligi juda murakkabdir.

Prof. A.N. Planovskiy tomonidan quritish jarayonini faqat massa o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti k orqali hisoblash mumkinligi isbotlangan. Unga binoan, (5.207) ning birinchi tenglamasi ushbu ko'rinishni oladi:

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial l}\left(k^* \cdot \frac{\partial x}{\partial l}\right) \qquad (5.208)$$

bu yerda, k^* – ham termodiffuziya, ham massa o'tkazuvchanlikni xarakterlovchi koeffitsiyent bo'lib, faqat material namligiga bog'liq.

Agar namlikning ma'lum oralig'ida $k = const$ va $\delta = const$ deb qabul qilsak, (5.208) chiziqli tenglama ko'rinishiga keladi:

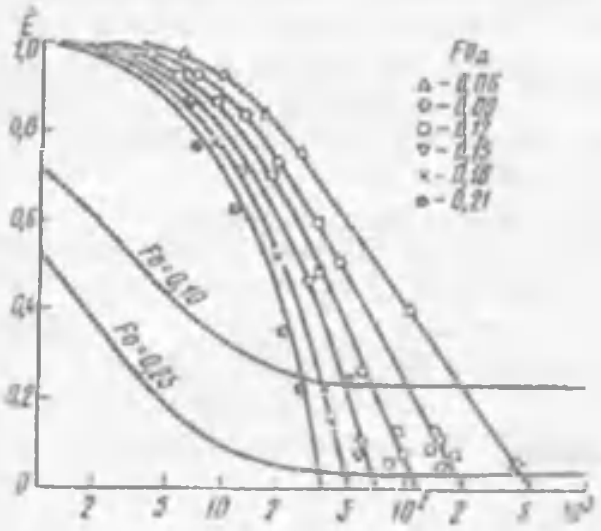
$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = k\frac{\partial^2 x}{\partial l^2} \qquad (5.209)$$

Quritish jarayonining boshlang'ich shartlariga, qattiq materialda namlikning bir tekisda tarqalishi, ya'ni $\tau = 0$ bo'lganda $x = x_b = const$ to'g'ri keladi.

(5.208) va (5.209) tenglamalar tahlilidan quyidagi ko'rinishdagi kriterial formula keltirib chiqariladi:

$$E = f\left(Bi_{,1}, Fo_{,1}\right) \tag{5.210}$$

bu yerda, ***YE*** – materialdagi namlikning o'lchamsiz konsentratsiyasi, ya'ni:



5.122-rasm. Issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini yechishga oid *Fo₁=const* va *Fo=const* chiziqlari

$$E = \frac{x - x_u}{x_b - x_u}$$

bu yerda, $x_{,1}$ – materialdagi namlikning muvozanat konsentratsiyasi: $Bi_1 = \beta l / (k \cdot \rho_1)$ – Bio diffuzion kriteriysi; $Fo_1 = k\tau/l^2$ – Furye diffuzion kriteriysi.

Noto'g'ri geometrik shakldagi jismlar uchun (5.210) tenglama G_1, G_2, ..., G_n parametrik kriteriylar bilan to'ldirilishi mumkin.

Agar materialning issiqlik - fizik xossalari va jarayon davomida temperaturaning o'zgarishi ma'lum bo'lsa, quritish kinetikasi prof. A.N.Planovskiy va prof. S.P.Rudobashta tomonidan taklif etilgan issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamalari asosida hisoblash usulidan foydalanish mumkin. Lekin Furye tenglamasi va massa o'tkazuvchanlik tenglamalari orasidagi o'xshashlik rasmiy xarakterga ega. ***Fo = const*** chiziqlarining turli xarakteri temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti a ning t dan va massa o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti k ning x dan bog'liqliklari orasida prinsipial farq borligini ko'rsatadi (5.122-rasm).

$Fo_1 = const$ egri chiziqlar $k = f(x)$ funksiyani xarakterlaydi.

To'g'ri geometrik shaklli jism va cheksiz oqim uchun (5.200) tenglamaning umumiy yechimi ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$E = \frac{x - x_u}{x_b - x_u} = \sum_1^n A_n \exp\left(-\mu_n^2 Fo_1\right) \tag{5.211}$$

bu yerda, $A = f(Bi_1, \mu_n)$ – jism shakli, chegaraviy va boshlang'ich shartlariga bog'liq bo'lgan jism funksiyasi: μ_n – xarakteristik tenglamalar ildizlari.

Kapillar-g'ovakli jismda massa o'tkazuvchanlik bo'yicha ma'lumotlar bo'lsa, (5.211) tenglamadan i – intervalda quritish vaqtini aniqlash mumkin (bu yerda $k_i = const$):

$$\tau_i = \sum_1^n \frac{\ln \prod_1^3 \frac{\beta_{,j}}{E_j}}{k_i \sum_{j=1}^n \frac{\mu_j^2}{R_j^2}} \tag{5.212}$$

bu yerda, μ_j va β_j - j – yo'nalishda jism yuzasi shakliga va namlik o'zgarishining i – oralig'idagi Bi_m ning kattaligi

Amaliyotda quritish vaqtini aniqlash uchun kinetika va quritish tezligi egri chiziqlaridan yoki kinetik tenglamalardan foydalaniladi.

Kinetik tenglamalar yordamida quritkichning asosiy o'lchamlari hisoblanadi. Davriy qurilmalarda – quritish jarayoni davomiyligi, uzluksiz ishlaydigan quritkichlarda – materialni quritish vaqti yoki fazalar o'zaro ta'sir uchun zarur yuza aniqlanadi.

Umumiy holatda davriy jarayonlar uchun umumiy quritish vaqti quyidagi tenglamadan hisoblanadi:

$$\tau_{yu} = \tau_1 + \tau_2 \qquad (5.213)$$

bu yerda, τ_1 – birinchi davrda quritish davomiyligi, soat; τ_2 – ikkinchi davrda quritish davomiyligi, soat.

τ_1 ning qiymati massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan aniqlanadi:

$$\tau_1 = \frac{W}{\beta_x \cdot F \cdot \Delta x_{o'r}} \quad \text{yoki} \quad \tau_1 = \frac{W}{\beta_p \cdot F \cdot \Delta P_{o'r}} \qquad (5.214)$$

bu yerda, $x_{o'r}$ – jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi.

$$\Delta x_{o'r} = \frac{\Delta x_b - \Delta x_{ox}}{2{,}3 \lg \frac{\Delta x_b}{\Delta x_{ox}}} \quad \text{yoki} \quad \Delta P_{o'r} = \frac{\Delta P_b - \Delta P_{ox}}{2{,}3 \lg \frac{\Delta P_b}{\Delta P_{ox}}}$$

bu yerda, $\Delta x_b = (x_{to'y} - x_b)$ – quritish jarayonidagi to'yingan havo nam saqlashi va ishchi nam saqlashlarning boshlang'ich farqi, kg/kg quruq havo; $\Delta x_{ox} = (x_{to'y} - x_{ox})$ jarayon oxiridagi nam saqlashlar farqi, kg/kg quruq havo; $\Delta P_b = (P_{to'y} - P_b)$ quritish jarayonidagi to'yingan havo parsial bosimi va ishchi parsial bosimlarning farqi; $\Delta P_{ox} = (P_{to'y} - P_{ox})$ – jarayon oxiridagi parsial bosimlar farqi.

Quritish jarayonining birinchi davri uchun kinetik qonun massa berish tenglamasi bilan ifodalanishi mumkin:

$$W = \beta_x F\left(x_{to'y} - x\right) \cdot \tau; \qquad W = \beta_p F\left(p_{to'y} - p\right) \cdot \tau \qquad (5.215)$$

bu yerda, W – bug'latilgan suyuqlik miqdori, kg; F – fazalar o'zaro ta'sir yuzasi, m^2; $x_{to'y}$ – material tashqi yuza temperaturasidagi to'yingan havo nam saqlashi, kg/kg quruq havo; x – havoning haqiqiy nam saqlashi, kg/kg quruq havo; β_x – massa berish koeffitsiyenti, kg/(m^2 soat·Pa); $p_{to'y}$ – material yuzasi atrofidagi to'yingan havo suv bug'larining bosimi, Pa; p – havodagi suv bug'ining parsial bosimi, Pa.

Quritish jarayonining birinchi davrida massa berish koeffitsiyentini hisoblash uchun quyidagi taxminiy formuladan foydalanish mumkin:

$$Nu = 2 + A\, Re^n \cdot Pr_{Д}^{0,33} \cdot Gu^{0,133} \qquad (5.216)$$

bu yerda, $Gu = (T_s - T_m)/T_c$ – Guxman kriteriysi, T_c – muhit temperaturasi, K; T_m – material tashqi yuzasining temperaturasi, K.

Formuladagi konstanta A va daraja ko'rsatkichi n Reynolds kriteriysiga bog'liq, ya'ni Nu, Re va Pr kriteriylaridagi parametrlar gaz oqimining o'rtacha temperaturasida hisoblanadi.

Re	*A*	*n*
200...25000	0,385	0,57
25000...70000	0,102	0,73
70000...315000	0,025	0,9

Quritish jarayoni ikkinchi davrining davomiyligini hisoblash uchun Shervud - Likov taxminiy usulidan foydalansa bo'ladi. Lekin quritish tezligining egri chizig'i to'g'ri chiziq tenglamasi bilan ifodalanish sharti bajarilishi zarur. Ikkinchi davr uchun kinetik qonun ushbu ko'rinishga ega:

$$-\frac{dW}{Fd\tau} = K(x - x_m) \tag{5.217}$$

bu yerda. K – quritish tezligi koeffitsiyenti; x – materialning shu ondagi namligi, kg/kg quruq havo; x_m – materialning muvozanat namligi, kg/kg quruq havo.

Lekin quritish tezligining x_{kr} va x_{ox} oraliqdagi o'zgarishi to'g'ri chiziqli qonunga bo'ysinmaydi. Shuning uchun, (5.217) tenglama 40...60% xatolik beradi.

Moddiy balans tenglamasini hisobga olsak:

$$dW = Gdx = KF(x - x_w) \cdot d\tau$$

bu yerda. G – quritilayotgan material massasi, kg.

Matematik o'zgartirishlardan so'ng ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$2{,}3 \lg \frac{x_{kr} - x_m}{x_{ox} - x_m} = \frac{KF}{G}\tau \tag{5.218}$$

Oxirgi tenglamadan ikkinchi davrdagi quritish jarayoni davomiyligini aniqlash mumkin:

$$\tau_2 = \frac{G}{KF} 2{,}3 \lg \frac{x_{kr} - x_m}{x_{ox} - x_m} \tag{5.219}$$

Agar quritish jarayoni uzluksiz bo'lsa, birinchi va ikkinchi davrlarni o'tkazish uchun zarur bo'lgan fazalar to'qnashish yuzasini ushbu tenglamadan topamiz:

$$F_{um} = F_1 + F_2 \tag{5.220}$$

bu yerda, F_1 – birinchi davrdagi gaz va materiallar o'zaro ta'sir yuzasi, m^2; F_2 – ikkinchi davrdagi fazalar to'qnashish yuzasi, m^2.

W/τ ni W_τ orqali belgilab, (5.213) va (5.214) tenglamalardan F_1 ni topamiz:

$$F_1 = \frac{W_\tau}{\beta_p \cdot \Delta P_{o'r}} = \frac{W_\tau}{\beta_x \cdot \Delta x_{o'r}} \tag{5.221}$$

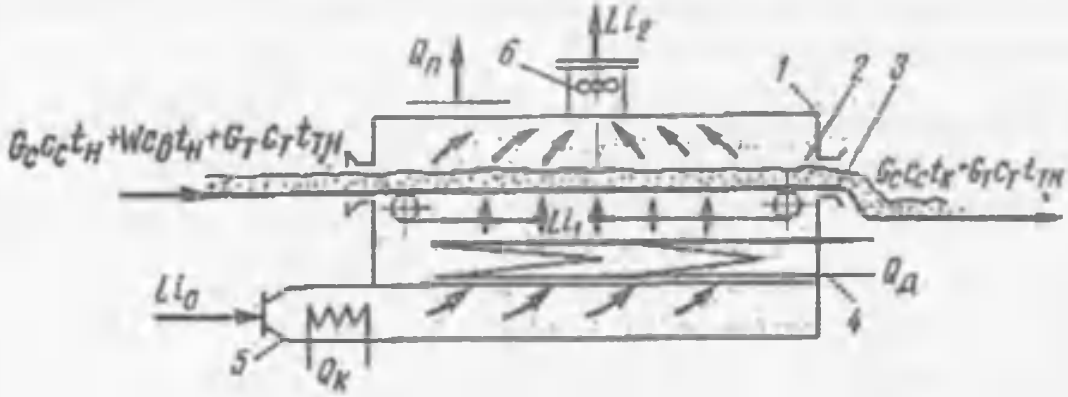
G/τ ni G_τ deb belgilab, (5.219) tenglamadan ushbu ko'rinishni olamiz:

$$F_2 = \frac{G_\tau}{K} 2{,}3 \lg \frac{x_{kr} - x_m}{x_b - x_m} \tag{5.222}$$

Shunday qilib, quritish jarayoni tezligini oshiruvchi omillarga quyidagilar kiradi:
a) jarayon temperaturasini ko'tarish;
b) quritilayotgan material ustidagi bo'shliqda bosimni pasaytirish;
d) issiqlik eltkich nam saqlashini kamaytirish;
e) material ustidagi issiqlik eltkich tezligini oshirish;
f) jarayon davomida materialni aralashtirish.

5.44. Quritkichning moddiy va issiqlik balanslari

Konvektiv quritish qurilmasi quritkich, transport moslamasi, ventilator va kaloriferdan tarkib topgan deb faraz qilaylik (5.123-rasm).



5.123-rasm. Konvektiv quritkich sxemasi.
1 - quritkich; 2 - nam material; 3 – lentali transporter; 4 - qo'shimcha kalorifer; 5 - asosiy kalorifer; 6 - ventilator.

Quritishga uzatilayotgan nam materialning massaviy sarfini G_b (kg/soat), quritilgan material massaviy sarfini G_{ax} (kg/soat), materialning boshlang'ich va oxirgi namliklarini W_1 va W_2 (%), bug'langan namlik miqdorini W (kg/soat) deb belgilab olamiz.

Unda, jarayonning moddiy balansini ushbu tenglama ko'rinishida ifodalash mumkin:

$$G_b = G_{ax} + W \quad \text{yoki} \quad W = G_b - G_{ax} \tag{5.223}$$

Quruq moddalar bo'yicha moddiy balansni quyidagicha yozish mumkin:

$$G_b \cdot (100 - W_1) = G_{ax} \cdot (100 - W_2) \tag{5.224}$$

yoki

$$G_{ax} = G_b \cdot \frac{100 - W_1}{100 - W_2} \tag{5.225}$$

Bug'latilgan namlik miqdori esa, ushbu tenglamadan hisoblab aniqlanadi:

$$W = G_b \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} \tag{5.226}$$

Quritkichga uzatilayotgan gaz yoki absolyut quruq havo miqdorini L (kg/soat), boshlangich nam saqlashini x_1 va oxirgisini x_2 deb belgilab olamiz.

Unda, namlik bo'yicha moddiy balans:

$$W + Lx_1 = Lx_2 \tag{5.227}$$

bundan quruq havo sarfi:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1} \tag{5.228}$$

Havoning solishtirma sarfi (1 kg namlikni bug'latish uchun ketayotgan sarf) esa,

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1}{x_2 - x_1} \tag{5.229}$$

Konvektiv quritishning issiqlik balansini ham 5.101-rasm asosida tuzamiz. Quritish vaqtida issiqlik va massa almashinish jarayonlari birgalikda o'tadi. Moddiy va issiqlik oqimlar orasida ma'lum bog'liqlik mavjud. Kontaktli quritish jarayonida issiqlik materialni qandaydir boshlang'ich quritish temperaturasigacha isitish va quritish uchun sarflanadi.

Quritishga kirayotgan material miqdori G_c+W (kg/soat) bo'lib, u massasi G_t bo'lgan konveyerda joylashgan. Quritkichga L (kg/soat) miqdorda absolyut quruq havo uzatilmoqda. Kaloriferda isitilayotgan havoga Q_k (kJ/soat) miqdorda issiqlik uzatilsa, qurilmada esa unga qo'shimcha Q_{II} (kJ/soat) issiqlik beriladi.

Quritish jarayonida qatnashayotgan material, issiqlik eltkich va moslamalar parametrlarini quyidagicha belgilab olamiz:

G_c – quritilayotgan material massasi, kg/soat;

c_c – quritilgan material solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(k·K);

c_T – transport moslamasining solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K);

t_n – materialning quritishgacha bo'lgan temperaturasi, °C;

c_{suv} – suvning solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K);

t_{ox} – materialning quritilgandan keyingi temperaturasi. °C;

t_{th}, $t_{t\,ox}$ – transport moslamasining quritkichga kirishdan avvalgi va undan chiqqandan keyingi temperaturalari, °C;

I_0 - quritkichga kirayotgan havoning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;

I_1 – kaloriferda isitilayotgan havoning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;

I_2 – quritkichdan chiqayotgan havoning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;

$Q_{yo'q}$ – atrof-muhitga issiqlikning yo'qotilishi, kJ/kg.

Jarayonning issiqlik balans tenglamasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$LI_0 + Q_k + Q_n + G_c c_{suv} t_b + Wc_s t_b + G_T c_T t_{th} = LI_2 + G_c c_c t_{ok} + G_T c_T t_{t\,ox} + Q_{yo'q} \tag{5.230}$$

Ushbu tenglamadan quritish uchun kerakli issiqlik sarfini aniqlash mumkin:

$$Q = Q_k + Q_{II} = L(I_2 - I_0) + G_c c_c (t_k - t_b) + G_T c_T (t_{th} - t_{t\,ox}) - Wc_{suv} t_b + Q_{yo'q} \tag{5.231}$$

Quritkichga uzatilayotgan gaz yoki absolyut quruq havo miqdorini L (kg/soat), boshlangich nam saqlashini x_1 va oxirgisini x_2 deb belgilab olamiz.

Unda, namlik bo'yicha moddiy balans:

$$W + Lx_1 = Lx_2 \tag{5.227}$$

bundan quruq havo sarfi:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1} \tag{5.228}$$

Havoning solishtirma sarfi (1 kg namlikni bug'latish uchun ketayotgan sarf) esa,

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1}{x_2 - x_1} \tag{5.229}$$

Konvektiv quritishning issiqlik balansini ham 5.101-rasm asosida tuzamiz. Quritish vaqtida issiqlik va massa almashinish jarayonlari birgalikda o'tadi. Moddiy va issiqlik oqimlar orasida ma'lum bog'liqlik mavjud. Kontaktli quritish jarayonida issiqlik materialni qandaydir boshlang'ich quritish temperaturasigacha isitish va quritish uchun sarflanadi.

Quritishga kirayotgan material miqdori G_c+W (kg/soat) bo'lib, u massasi G_t bo'lgan konveyerda joylashgan. Quritkichga L (kg/soat) miqdorda absolyut quruq havo uzatilmoqda. Kaloriferda isitilayotgan havoga Q_k (kJ/soat) miqdorda issiqlik uzatilsa, qurilmada esa unga qo'shimcha Q_q (kJ/soat) issiqlik beriladi.

Quritish jarayonida qatnashayotgan material, issiqlik eltkich va moslamalar parametrlarini quyidagicha belgilab olamiz:

G_c – quritilayotgan material massasi, kg/soat;

c_c – quritilgan material solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(k·K);

c_T – transport moslamasining solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K);

t_n – materialning quritishgacha bo'lgan temperaturasi, °C;

c_{suv} – suvning solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K);

t_{ox} – materialning quritilgandan keyingi temperaturasi, °C;

t_{th}, $t_{t.ox}$ – transport moslamasining quritkichga kirishdan avvalgi va undan chiqqandan keyingi temperaturalari, °C;

I_0 - quritkichga kirayotgan havoning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;

I_1 – kaloriferda isitilayotgan havoning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;

I_2 – quritkichdan chiqayotgan havoning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;

$Q_{yo'q}$ – atrof-muhitga issiqlikning yo'qotilishi, kJ/kg.

Jarayonning issiqlik balans tenglamasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$LI_0 + Q_k + Q_n + G_c c_{suv} t_b + Wc_a t_b + G_T c_T t_{th} = LI_2 + G_c c_c t_{ok} + G_T c_T t_{t.ox} + Q_{yo'q} \tag{5.230}$$

Ushbu tenglamadan quritish uchun kerakli issiqlik sarfini aniqlash mumkin:

$$Q = Q_k + Q_q = L\cdot(I_2 - I_0) + G_c c_c (t_k - t_b) + G_T c_T (t_{th} - t_{t.ox}) - Wc_{suv} t_b + Q_{yo'q} \tag{5.231}$$

Agar hamma issiqlik sarflarini bug'latilayotgan 1 kg namlikka nisbatan olib, tegishli belgilashlarni amalga oshirsak, (5.231) tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$q = q_к + q_Д = l \cdot (I_2 - I_0) + q_м + q_T + q_{yo'q} - c_h t_b \qquad (5.232)$$

Ushbu tenglamadan kaloriferdagi solishtirma issiqlik sarfini topamiz:

$$q_к = l \cdot (I_2 - I_0) + q_м + q_T + q_{yo'q} - q_Д - c_h t_b \quad \text{yoki} \quad q_к = l \cdot (I_2 - I_0) \qquad (5.233)$$

Olingan q_k qiymatini (5.232) tenglamaga qo'yib, quyidagi ko'rinishga erishamiz:

$$l \cdot (I_1 - I_0) + q_Д = l \cdot (I_2 - I_0) + q_м + q_T + q_{yo'q} - c_h t_b$$

yoki

$$l \cdot (I_1 - I_0) = q_Д + c_h t_h - q_м - q_T - q_{yo'q} \qquad (5.234)$$

Agar $q_Д = 0$ bo'lsa,

$$l \cdot (I_2 - I_0) = c_h t_м - q_м - q_T - q_п$$

(5.234) tenglamaning o'ng tomonini

$$(q_Д + c_h t_b) - (q_м + q_T + q_{yo'q}) = \Delta \qquad (5.234a)$$

deb belgilasak, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$l(I_2 - I_1) = \Delta$$

yoki

$$I_2 = I_1 + \frac{\Delta}{l} \qquad (5.235)$$

Agar (5.229) tenglamani inobatga olsak, ushbu tenglamaga erishamiz:

$$\frac{I_2 - I_1}{x_2 - x_1} = \Delta \qquad (5.236)$$

oraliq, biror ondagi qiymatlar uchun esa:

$$\frac{I - I_1}{x - x_1} = \Delta \qquad (5.237)$$

(5.237) to'g'ri chiziq tenglamasi bo'lib, quritish jarayonining ishchi tenglamasi deb nomlanadi.

Shunday qilib, entalpiya va nam saqlashlar orasidagi bog'liqlik to'g'ri chiziq funksiyasi bilan xarakterlanadi.

Quritish jarayonlarini tahlil qilish uchun nazariy quritkich tushunchasini kiritamiz. Quritishga uzatilayotgan material temperaturasi nolga teng hamda material va transport vositalar isitilishi bo'lmagan qurilma, nazariy quritkich deb ataladi. Unda, (5.234a) tenglamaga binoan, $\Delta = 0$ bo'ladi. Bunda $l \neq 0$ va (5.235) tenglamadan nazariy quritish uchun $I_1 = I_2$ ekanligini aniqlaymiz. Shunday qilib, $I - x$ diagrammada jarayon $I=const$ chizig'i bilan tasvirlanadi. Nazariy quritkichda material namligining bug'lanishi faqat havoning sovishi hisobiga bo'ladi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, havo berayotgan issiqlik miqdori materialdan bug'langan namlik bilan birga qaytariladi.

Haqiqiy quritkichlarda havoning entalpiyasi ko'pchilik hollarda o'zgaruvchan bo'ladi.

Agar issiqlikning kirishi uning sarfidan katta ($q_{JI} + c_h t_h > q_u + q_T + q_{yo'q}$) bo'lsa, ya'ni $\Delta > 0$, unda (5.235)ga binoan $I_2 > I_1$ bo'ladi. Bunday hollarda quritkich iqtisodiy jihatdan tejamsiz rejimda ishlaydi, chunki hamma issiqlik foydali sarflanmaydi.

Agar $\Delta < 0$ dan bo'lsa, unda $I_2 < I_1$ bo'ladi. Bunday hollarda quritkich tejamkor va samarali ishlaydi.

Haqiqiy quritkichlarda $\Delta = 0$ bo'lgan tenglik hollari ham bo'lishi mumkin. Bunday holatda quritkichga kirayotgan issiqlik uning sarfiga tengdir, ya'ni $q_{JI} + c_h t_h = q_u + q_T + q_{yo'q}$

Kontaktli quritkichda namlikni bug'latishi uchun zarur issiqlik fazalarni ajratib turuvchi devor orqali uzatiladi. Ushbu quritish jarayonida issiqlik eltkich sifatida to'yingan suv bug'i ishlatiladi.

Uzatilayotgan issiqlik materialni quritish temperaturasigacha isitish va uning ichidagi namlikni yo'qotish uchun sarflanadi, ya'ni $Q_{um} = Qb_b + Q_c$.

Materialni isitish uchun issiqlik sarfi

$$Q_h = D_u\left(I'' - I'\right) = G_c c_c\left(t_{qh} + t_K\right) + Wc_h\left(t_{ch} - t_h\right) + Q_{yo'q} \qquad (5.238)$$

Quritish uchun zarur issiqlik sarfi

$$Q_c = D_c\left(I'' - I'\right) = G_c c_c\left(t_{qh} + t_{q\,ox}\right) + W\left(I_a - c_a t_{ch}\right) + Q_n \qquad (5.239)$$

Bug'ning umumiy sarfi

$$D_{um} = \frac{Q_{um}}{I'' - I'} \qquad (5.240)$$

Konvektiv quritish jarayonini $I - x$ diagrammada tasvirlash uchun havoning 2 ta boshlang'ich parametri t_1 va x_1 berilgan bo'lishi kerak. Jarayon tamom bo'lgandan so'ng, havoning oxirgi 3 ta parametrlaridan, ya'ni nisbiy namlik, temperatura yoki nam saqlashdan bittasi qabul qilinadi.

Keyin, havoning boshlang'ich parametrlarini ifodalovchi va berilgan ($\varphi = const$, $t_2 = const$ yoki $x = const$) nuqtalar bo'yicha $I - x$ diagrammada quritish jarayonining ishchi chizig'i o'tkaziladi. Topilgan nuqta bo'yicha issiqlik eltkich - havoning hamma oxirgi parametrlari hamda uning sarfi va issiqlik miqdori aniqlanadi.

I-x diagrammada quritish uchun havo va issiqlikning sarfini aniqlash

Quritish jarayoni I-x diagrammada quyidagicha tasvirlanadi (5.102-rasm). Kaloriferga kirayotgan havoning temperaturasi t_0 va uning nisbiy namligi φ_0 bo'lgan

Quritish jarayonlarini tahlil qilish uchun nazariy quritkich tushunchasini kiritamiz. Quritishga uzatilayotgan material temperaturasi nolga teng hamda material va transport vositalar isitilishi bo'lmagan qurilma, nazariy quritkich deb ataladi. Unda, (5.234a) tenglamaga binoan, $\Delta = 0$ bo'ladi. Bunda $l \neq 0$ va (5.235) tenglamadan nazariy quritish uchun $I_1 = I_2$ ekanligini aniqlaymiz. Shunday qilib, $I - x$ diagrammada jarayon $I=const$ chizig'i bilan tasvirlanadi. Nazariy quritkichda material namligining bug'lanishi faqat havoning sovishi hisobiga bo'ladi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, havo berayotgan issiqlik miqdori materialdan bug'langan namlik bilan birga qaytariladi.

Haqiqiy quritkichlarda havoning entalpiyasi ko'pchilik hollarda o'zgaruvchan bo'ladi.

Agar issiqlikning kirishi uning sarfidan katta ($q_{\Pi} + c_h t_h > q_{\text{ш}} + q_T + q_{yo'q}$) bo'lsa, ya'ni $\Delta > 0$, unda (5.235)ga binoan $I_2 > I_1$ bo'ladi. Bunday hollarda quritkich iqtisodiy jihatdan tejamsiz rejimda ishlaydi, chunki hamma issiqlik foydali sarflanmaydi.

Agar $\Delta < 0$ dan bo'lsa, unda $I_2 < I_1$ bo'ladi. Bunday hollarda quritkich tejamkor va samarali ishlaydi.

Haqiqiy quritkichlarda $\Delta = 0$ bo'lgan tenglik hollari ham bo'lishi mumkin. Bunday holatda quritkichga kirayotgan issiqlik uning sarfiga tengdir, ya'ni $q_{\Pi} + c_h t_h = q_{\text{ш}} + q_T + q_{yo'q}$

Kontaktli quritkichda namlikni bug'latishi uchun zarur issiqlik fazalarni ajratib turuvchi devor orqali uzatiladi. Ushbu quritish jarayonida issiqlik eltkich sifatida to'yingan suv bug'i ishlatiladi.

Uzatilayotgan issiqlik materialni quritish temperaturasigacha isitish va uning ichidagi namlikni yo'qotish uchun sarflanadi, ya'ni $Q_{um} = Qb_b + Q_c$.

Materialni isitish uchun issiqlik sarfi

$$Q_h = D_u\left(I'' - I'\right) = G_c c_c\left(t_{qh} + t_K\right) + Wc_h\left(t_{ch} - t_h\right) + Q_{yo'q} \qquad (5.238)$$

Quritish uchun zarur issiqlik sarfi

$$Q_c = D_c\left(I'' - I'\right) = G_c c_c\left(t_{qh} + t_{q\,ox}\right) + W\left(I_u - c_u t_{ch}\right) + Q_n \qquad (5.239)$$

Bug'ning umumiy sarfi

$$D_{um} = \frac{Q_{um}}{I'' - I'} \qquad (5.240)$$

Konvektiv quritish jarayonini $I - x$ diagrammada tasvirlash uchun havoning 2 ta boshlang'ich parametri t_1 va x_1 berilgan bo'lishi kerak. Jarayon tamom bo'lgandan so'ng, havoning oxirgi 3 ta parametrlaridan, ya'ni nisbiy namlik, temperatura yoki nam saqlashdan bittasi qabul qilinadi.

Keyin, havoning boshlang'ich parametrlarini ifodalovchi va berilgan ($\varphi = const$, $t_2 = const$ yoki $x = const$) nuqtalar bo'yicha $I - x$ diagrammada quritish jarayonining ishchi chizig'i o'tkaziladi. Topilgan nuqta bo'yicha issiqlik eltkich - havoning hamma oxirgi parametrlari hamda uning sarfi va issiqlik miqdori aniqlanadi.

I-x diagrammada quritish uchun havo va issiqlikning sarfini aniqlash

Quritish jarayoni I-x diagrammada quyidagicha tasvirlanadi (5.102-rasm). Kaloriferga kirayotgan havoning temperaturasi t_0 va uning nisbiy namligi φ_0 bo'lgan

parametrli havo diagrammada A nuqta bilan ifodalanadi. Ushbu parametrli havoning nam saqlashi x_0.

Kaloriferda havoning t_0 dan t_1 temperaturagacha isishi o'zgarmas nam saqlash $x_0=x_1$ da o'tadi va jarayon diagrammada vertikal kesma AB bilan ifodalanadi. Nuqta B ga izoterma t_1 to'g'ri keladi.

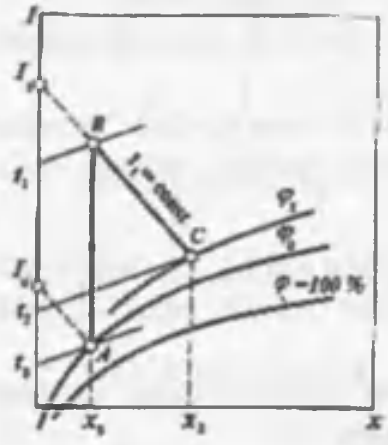
Quritish jarayonida havo holatining o'zgarishini quyidagi tenglama yordamida aniqlaymiz:

$$l\cdot(I_1-I_2) = \Delta \qquad (5.241)$$

bu yerda, Δ – issiqlikning solishtirma sarfi.

Agar quritkichga qo'shimcha issiqlik uzatilmasa $Q_{qo'sh}=0$, unda,

$$q_M + q_T + q_{yo'q} > q_W$$



5.124-rasm. I-x diagrammada nazariy quritish jarayonining grafik tasviri.

ya'ni $\Delta>0$. Quritkichdan chiqib ketayotgan issiq havoning entalpiyasi unga kirayotgandan kichik ($I_2<I_1$).

Agar quritkichga qo'shimcha issiqlik $Q_{qo'sh}$ uzatilsa, unda

$$q_M + q_T + q_{yo'q} < q_{qush} + q_W$$

ya'ni $\Delta<0$. Quritkichdan chiqib ketayotgan havoning entalpiyasi ortib boradi ($I_2>I_1$).

Lekin shunday quritish sharoitlarini tashkil etish mumkinki, unda

$$q_M + q_T + q_{yo'q} = q_{qush} + q_W$$

ya'ni $\Delta=0$ va $I_1=I_2$=const.

Quritkichda havo entalpiyasi o'zgarmasdan kechadigan jarayon nazariy quritish deb nomlanadi. *I-x* diagrammada nazariy quritish jarayoni B nuqtadan I=const bo'ylab havoning yuqori nam saqlash qiymatlari o'ngga tomon yo'nalgan chizig'i bilan ifodalanadi. Ushbu chiziq S nuqtadagi izoterma t_2 yoki nisbiy namlik φ_2 to'xtaydi (5.124-rasm). Nuqta S ning abssissasi ishlatib bo'lingan issiq havo nam saqlashi x_2 ni ko'rsatadi.

Agar x_2 va x_0 ma'lum bo'lsa, havoning solishtirma sarfi l, uning sarfi $L=l\cdot W$ va kaloriferda uzatilayotgan issiqlik miqdori $Q=L(I_1-I_0)$ aniqlanishi mumkin. Hisoblashlarda ishlatiladigan hamma kattaliklar (x_0, x_2, I_0, I_1) *I-x* diagrammadan topiladi.

Agar $\Delta\neq0$ bo'lgan hollarda C nuqta $I=const$ chizig'idan yuqorida yoki pastda bo'ladi.

Avval $\Delta>0$ bo'lgan sharoit uchun *I-x* diagrammada quritish chizig'ining shaklini ko'ramiz. Boshlang'ich ma'lumotlar bo'yicha nazariy quritishning chizig'i BC ni topamiz. Quritgichga qo'shimcha issiqlik uzatilganda ($\Delta>0$), haqiqiy quritgichning chizig'i B nuqtadan boshlanib, $I_1=const$ chizig'ining yuqorisidan o'tadi (5.125-rasm). Haqiqiy quritkich chizig'ini topish uchun BC kesmada ixtiyoriy C_1 nuqtani tanlaymiz va vertikal, gorizontal chiziqlar o'tkazib D, D_1 va E, E_1 nuqtalarni topamiz. BC_1E_1 va BCE hamda BD_1C_1 va BDC uchburchaklarning o'xshashligidan quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$\frac{CE}{CD} = \frac{C_1E_1}{C_1D_1}$$

Nuqta ***E*** da havo entalpiyasi I_1 bo'lib, ***C*** da esa - I_2 bo'lgani uchun, ularga tegishli kesmalar $CE = I_1 - I_2$ va $DC = x_2 - x_1$ ga teng bo'ladi.

Demak,

$$\frac{CE}{CD} = \frac{I_1 - I_2}{x_2 - x_1}$$

Ammo $\Delta = (I_1 - I_2)/(x_2 - x_1)$ ekanligini inobatga olsak, ya'ni

$$\frac{CE}{CD} = \Delta = \frac{I_1 - I_2}{x_2 - x_1}$$

Agar C_1 nuqtaning koordinatlarining x va I deb belgilab olsak, unda tegishli kesmalar quyidagi ko'rinishni oladi:

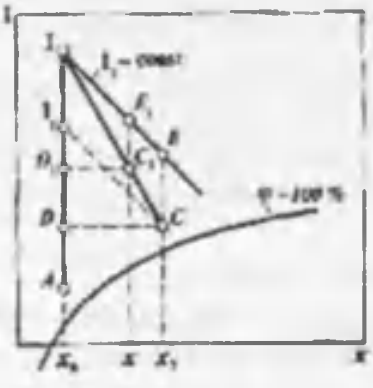
$$C_1E_1 = I_1 - I \qquad \text{va} \qquad C_1D_1 = x - x_0$$

Yuqorida keltirilganlarni hisobga olsak, ushbu nisbatni olamiz:

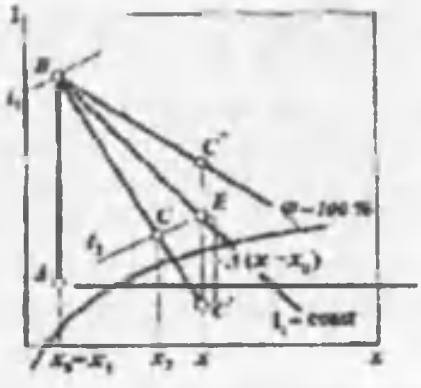
$$\frac{CE}{CD} = \frac{C_1E_1}{C_1D_1} = \Delta = \frac{I_1 - I_2}{x_2 - x_0} = \frac{I_1 - I}{x - x_0}$$

yoki

$$I_1 - I = \Delta(x_2 - x_0)$$



5.125-rasm. Quritish jarayonining ishchi chizig'ini I-x diagrammada tasvirlash.



5.125a-rasm. I-x diagrammada quritish chizig'ini aniqlash.

Demak, ***BC*** quritish chizig'i Δ kattalikni havoning boshlang'ich parametrlari I_1 va x_0, hamda koordinatlar I va x lar bilan bog'laydi.

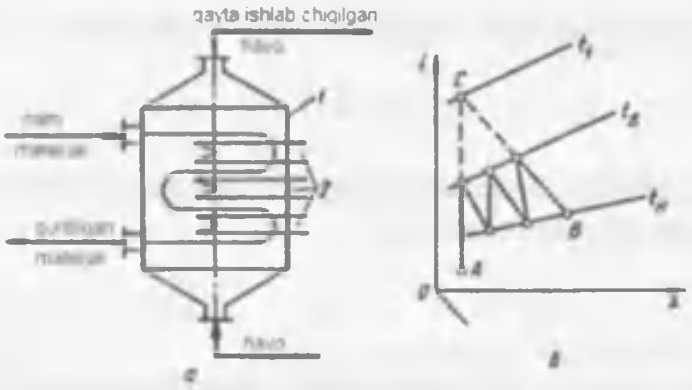
Shunday qilib, yuqorida keltirilganlarga asoslanib istalgan holat uchun quritish chizig'ining yo'nalishini topish mumkin.

Agar $\Delta < 0$ bo'lsa, ya'ni quritkichda issiqlikning yo'qotilishi mavjud bo'lsa, haqiqiy quritkichning chizig'ini tuzish avvalgi misoldan (ya'ni $\Delta > 0$ bo'lgandagidan) farq qilmaydi (5.125a-rasm). Quritish chizig'i ***BC'*** kesma bilan ifodalanadi.

5.45. Quritish jarayonini tashkil etish usullari

Kimyo, oziq - ovqat va boshqa sanoatlarda havo qizdirilishi va bir marta quritish kamerasidan o'tishi kabi eng sodda quritish jarayonidan tashqari boshqa usullar yordamida ham jarayonni tashkil etish mumkin. Sanoat miqyosida quyidagi usullar qo'llaniladi: havoni ko'p marta oraliq isitish yo'li bilan quritish, ishlatilgan havoni qisman resirkulatsiya qilish yo'li bilan quritish, ishlatilgan havodan ko'p marta foydalanish yo'li bilan quritish.

Havoni ko'p marta oraliq isitish yo'li bilan quritish sxemasi 5.126-rasmda keltirilgan.



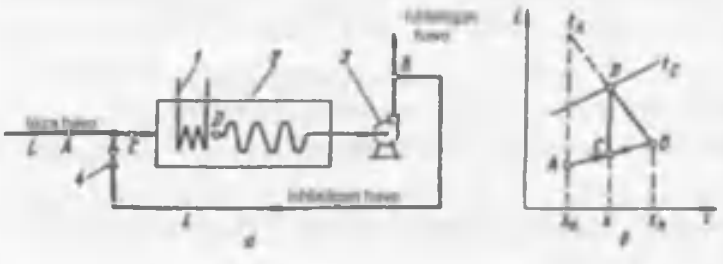
5.126-rasm. Havoni ko'p marta oraliq isitish yo'li bilan quritish sxemasi (a) va jarayonning i - x diagrammadagi (b) tasviri.
1 - quritish kamerasi; 2 - kalorifer.

Odatda, bu usulda havoning yuqori t_e va quyi t_H temperaturalari qabul qilinadi. Dastavval havo t_e temperaturagacha qizdiriladi va undan so'ng nam material bilan o'zaro ta'sirda bo'lib, t_H temperaturagacha soviydi. Keyin, kaloriferda havo yana t_e temperaturagacha qizdiriladi va yana material bilan o'zaro ta'sirda bo'lib t_H temperaturagacha soviydi va h. Bu holda havoning oxirgi temperaturasi ***B*** nuqta orqali aniqlanadi.

Quritishning bu usulida nam materialni nisbatan past temperaturali issiq havo yordamida quritish imkoni bor. 5.126b-rasmdagi punktir chiziqlardan ko'rinib turibdiki, agar issiqlik eltkich kameralar oralig'ida qo'shimcha qizdirilmaganda, havoni t_1 temperatura (***C*** nuqta) gacha qizdirish zarur bo'lar edi.

Bu usulda yuqori temperaturalarga chidamli materiallar quritiladi.

Ishlatilgan havoni qisman resirkulatsiya qilish yo'li bilan quritish sxemasi 5.127-rasmda ko'rsatilgan. Diagrammada ***A*** nuqtani ifodalovchi parametrli issiq havo, ishlatib bo'lingan havo (***AC*** va ***BC*** chiziqlar) bilan aralashadi va kaloriferda t_c temperaturagacha qizdiriladi. Undan keyin, qizdirilgan havo nam material bilan o'zaro ta'sir ettiriladi. Nam havoning so'nggi parametrlarini ***B*** nuqta xarakterlaydi.



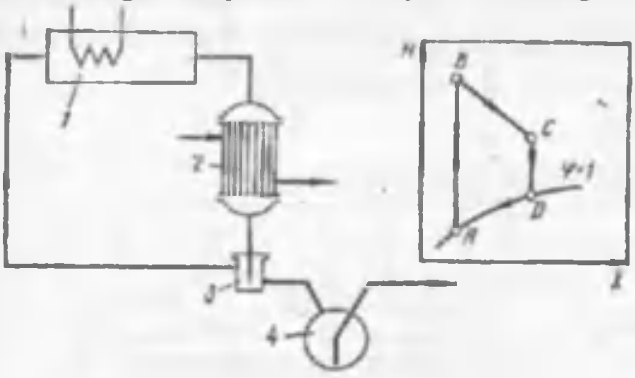
5.127-rasm. Ishlatilgan havoni qisman resirkulatsiya qiladigan quritkich sxemasi (a) va jarayonni i – x diagrammada tasvirlash (b).
1 - kalorifer; 2 - quritish kamerasi; 3 - ventilator; 4 - kran.

Oddiy quritish usuliga nisbatan bu usul pastroq temperaturalarda, ya'ni t_K o'rniga t_c da va gaz oqimining yuqori tezliklarida o'tkaziladi.

Yuqorida qayd etilgan havoning parametrlari va uning quritkichdagi tezligi aralashish karraligi $n = l/L$ ga bog'liq. Sirkulatsiyali va sirkulatsiyasiz quritish usullari va havo holatining o'zgarish oralig'i bir xil bo'lganda, issiqlik sarfi ham bir xil bo'ladi.

Ishlatilgan gaz ko'p marta foydalanish usulida quritish sxemasi 5.128-rasmda keltirilgan.

Qurituvchi gaz sifatida toza va qimmat gazlar, masalan vodorod, ishlatilganda ushbu usulni qo'llash maqsadga muvofiq. Bunday hollarda ishlatib bo'lingan gazni atmosferaga chiqarib bo'lmaydi. Shuning uchun, bu sxemalar yopiq sirkulatsiyali bo'ladi.



5.128-rasm. Ishlatilgan gazdan ko'p marta foydalanish usulida quritish sxemasi.
1 - quritkich; 2 - kondensator-sovutkich; 3 - suv ajratgich; 4 - yig'gich.

Suv bug'lari bilan to'yingan gaz kaloriferda qizdiriladi (*AB* kesma). Natijada uning nisbiy namligi pasayadi va quritish qobiliyati ortadi. Undan keyin, gaz va material o'zaro ta'sirda bo'ladi (*BC* kesma) va namlik bilan to'yinadi. So'ng esa, namlangan gaz shudring nuqtasigacha (*CD* kesma) sovutiladi. Lekin namlangan gaz tarkibidagi bir qism namlik kondensatsiyalanadi (*DE* kesma). Keyin esa, gaz qizdiriladi va yana quritkichga yo'naltiriladi.

Bu quritish usuli havoning past temperaturasi, yuqori boshlang'ich nam saqlash va nisbiy namliklari bilan xarakterlanadi. Undan tashqari, quritkichda gaz tezligi ham juda katta. Gaz tezligining yuqori bo'lishi massa berish koeffitsiyenti va birinchi davrda quritish tezligining ortishiga olib keladi.

Yuqorida qayd etilgan quritish usullari kerakli miqdordagi issiqlikni uzatish va mayin quritish rejimlarini ta'minlaydi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, u yoki bu quritish usuli jarayonni tezlashtirishi yoki sekinlashtirishi, uni o'tkazish sharoitiga ta'sir etishi mumkin. Lekin issiqlik sarfiga salmoqli ta'sir etmaydi, chunki u qurituvchi gazning boshlang'ich va oxirgi parametrlari bilan aniqlanadi.

5.46. Quritkichlar konstruksiyalari

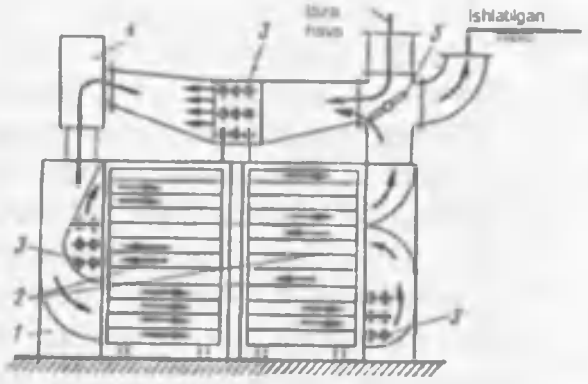
Kimyo, oziq - ovqat va boshqa sanoatlarda qo'llaniladigan quritkichlar konstruksiyalari turli - tumandir. Ular bir - biridan har xil belgilariga qarab farqlanadi. Qattiq, nam materialga issiqlik uzatish turiga qarab konvektiv, kontaktli va maxsus quritkichlarga bo'linadi. Issiqlik eltkich sifatida havo, gaz va bug' qo'llanilishi mumkin. Quritish kamerasidagi bosim kattaligiga qarab, vakuum va atmosfera bosimida ishlaydigan quritkichlarga bo'linadi. Jarayonni tashkil etish usuliga qarab, davriy va uzluksiz ishlaydigan quritkichlar bo'lishi mumkin. Undan tashqari, material va issiqlik eltkich harakatiga qarab parallel, qarama-qarshi va o'zaro kesishgan yo'nalishli quritkichlar tayyorlanadi. Yuqorida qayd etilganlardan ko'rinib turibdiki, quritkichlarni umumlashtiruvchi klassifikatsiya qilish juda qiyin.

Shuning uchun, quyida issiqlikni uzatish va quritilayotgan material qatlamining holatiga qarab guruhlarga ajratilgan quritkichlar konstruksiyalarini ko'rib chiqamiz.

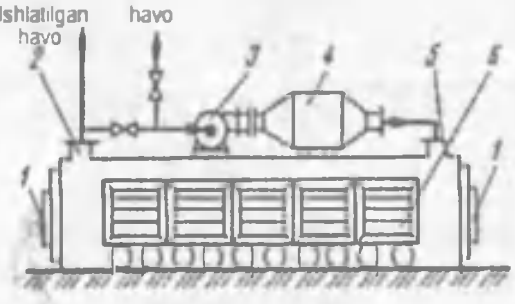
Xalq xo'jaligining turli sohalarida kamerali, tunnelli, lentali, shaxtali, sirtmoqli, mavhum qaynash qatlamli, barabanli, tebranma, jo'vali, purkovchi, pnevmatik, ikki pog'onali va boshqa quritkichlar qo'llaniladi.

Kamerali quritkichlar konvektiv qurilmalar ichida eng sodda tuzilgan va qobiq 1 ichida vagonetka 2 lar joylashgan bo'ladi (5.129-rasm).

Vagonetkalar tokchalarida nam material joylashtiriladi. Havo kaloriferda qizdirilib, ventilator yordamida haydaladi va material ustidan yoki ichidan o'tib namlikni bug'latadi. Ishlatib bo'lingan havoning bir qismi yangi havo bilan aralashtiriladi. Bu turdagi quritkichlar, odatda atmosfera bosimida ishlaydi. Ular kichik korxonalarda mayin



5.129-rasm. Kamerali quritkich.
1 - qobiq; 2 - vagonetka;
3 - kalorifer; 4 - ventilator;
5 – shiber.



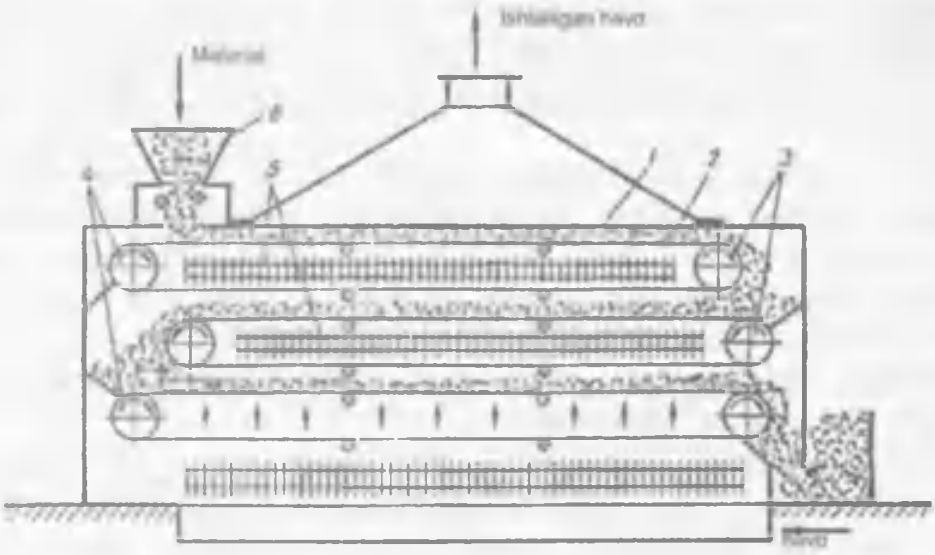
5.130-rasm. Tunnelli quritkich.
1-eshikchalar; 2-gazoxod;
3- ventilator; 4-kalorifer;
5-qobiq; 6-materialli
aravacha.

rejim va past temperaturada nam materiallarni quritish uchun mo'ljallangan. Afzalliklari: tuzilishi sodda va ta'mirlash oson. Kamchiliklari: kamerali quritkichlarning ish unumdorligi kichik va mahsulot qurishi bir tekisda emas.

Tunnelli quritkichlar. Jarayonni tashkil etish bo'yicha bu qurilmalar uzluksiz ishlaydigan quritkichlar qatoriga kiradi. Bu quritkichlar to'g'ri to'rtburchak ko'ndalang kesimli uzun kameradan iboratdir (5.130-rasm). Nam material yuklangan aravachalar temir relslar ustida harakatlanadi. Qurilmaning kirish va chiqish eshiklari zich yopiladi. Aravachalarning quritish kamerasida bo'lish vaqti quritish jarayoni davomiyligiga teng. Material yuklangan aravachalarning kameradan bir marta o'tishida nam material quritiladi. Issiqlik eltkich kaloriferda qizdirilib, ventilator yordamida qurilmaga uzatiladi.

Bu turdagi quritkichlarda issiqlik eltkich qisman resirkulatsiya qilinadi. Nam material va issiqlik eltkich parallel yoki qarama-qarshi yo'nalishli bo'lishi mumkin. Ko'pincha kalorifer va ventilator quritkichning yoniga yoki tomiga o'rnatiladi. Ishlatib bo'lingan havo quvur orqali atmosferaga chiqarib yuboriladi. Bu turdagi qurilmalarda, materialni aralashtirib bo'lmaydi va qurish bir tekisda emas; tunnelli quritkichlar o'lchami katta, donasimon materiallarni, sabzavot, meva, makaron va boshqa mahsulotlarni quritish uchun mo'ljallangan. Quritkich kamchiliklari: quritish tezligi kichik, jarayon uzoq muddatda davom etadi va bir tekisda emas.

Lentali quritkichlar uzluksiz ishlaydigan quritkichlar qatoriga kiradi (5.131-rasm). Nam material qurilmaning tepa qismidagi bunker orqali yuklanadi va konveyerning yuqori lentasiga tushadi. Odatda, ikkita baraban orasiga tortilgan lenta teshikli bo'ladi va nam material uning ustida harakatlanadi. Lentaning ikkinchi uchiga yetganda, material pastki konveyerga to'kiladi. Eng pastki konveyerdan, quritilgan

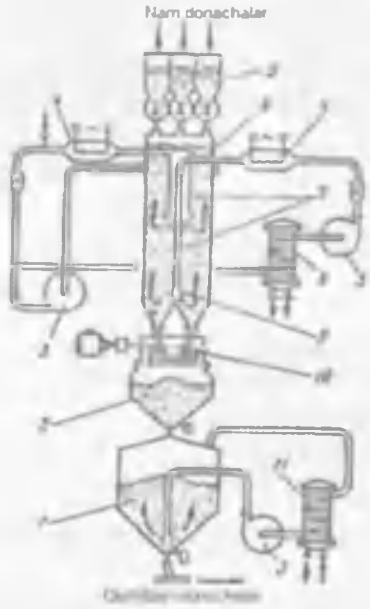


5.131-rasm. Lentali quritkich.
1 - qobiq; 2 - lentali konveyer; 3 - yetaklovchi barabanlar; 4 - yetaklanuvchi barabanlar; 5 - kalorifer; 6 - yuklovchi moslamali bunker.

material chiqarish bunkeriga to'kiladi. Quritilayotgan materialning bir lentadan ikkinchisi to'kilib o'tishi uning aralashishiga sababchi bo'ladi. Natijada, quritish tezligi ortadi. Ko'pincha bunday quritkichlar ko'p lentali qilib yasaladi.

Material va issiqlik eltkich o'zaro kesishgan yo'nalishda harakatlanadi.

Shu bilan birga, parallel va qarama - qarshi yo'nalishli quritkichlar ham ishlab chiqariladi. Bunday quritkichlarda issiqlik eltkich qisman resirkulatsiya qilinishi mumkin.



5.132-rasm. Sochiluvchan, donador materiallarni quritish uchun shaxtali quritkich.
1 - bunker - sovutkich; 2 - oraliq bunker; 3 – gazoduvka; 4 - kaloriter; 5 - bunker; 6 - shaxta; 7 - issiqlik eltkichni uzatish trubalari; 8 – kondensator-sovutkich; 9 - jalyuzlar; 10 – qadoqlagich; 11 - sovutkich.

Havoni resirkulatsiya va oraliq qizdirilishi tufayli lentali quritkichlarda mayin quritish rejimlariga erishish mumkin.

Lentali quritkichlarning ayrim konstruksiyalarida, bir tekisda quritishga erishish uchun, material qatlamini aralashtirish va qatlamni tekislash uchun lenta ustiga maxsus ag'diruvchi moslama o'rnatiladi.

Quritkichning asosiy kamchiliklari: qo'pol, ko'p joy egallaydi, ta'mirlash va ekspluatatsiya qilish murakkab, ish unumdorligi kichik va issiqlik sarfi katta.

Shaxtali quritkichlar donador, sochiluvchan materiallarni quritish uchun ishlatiladi (5.132-rasm). Issiqlik eltkichni uzatish uchun quritkichning o'qi bo'ylab trubalar o'rnatilgan.

Trubalarning ikkinchi uchida issiqlik eltkichni bir xilda taqsimlash

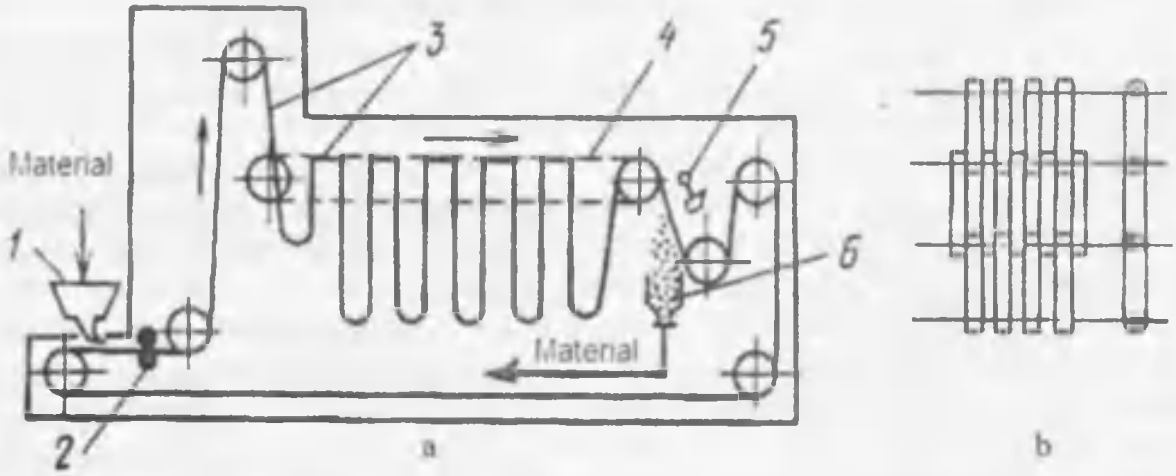
uchun jalyuzlar o'rnatilgan. Issiqlik eltkichni uzatish va sirkulatsiya qilish sistemasi quritish hajmini ikkita zonaga bo'ladi. Birinchi zonada ikkinchisidan chiqayotgan issiqlikdan foydalaniladi. Birinchi zonada asosan sirtiy namlik, ikkinchisida esa – ichki namlik yo'qotiladi.

Ikkinchi zonaga yuborilayotgan issiqlik eltkich dastavval shu zonadagi kondensatorda qisman quritiladi. Quritkichning tepa qismida ikkala oqim bir-biriga aralashib ketadi va kaloriferda qizdirilgandan so'ng, gazoduvka yordamida quritkichning birinchi zonasiga uzatiladi. Quritilgan materialni to'kish uzluksiz ishlaydigan tokchali qadoqlagich yordamida amalga oshiriladi.

Sirtmoqli quritkichlar pastasimon materiallarni uzluksiz quritishga mo'ljallangan qurilmalardir (5.133-rasm).

Sirtmoqli quritkichlarda material 5...20 mm li qatlamda, ikki tomonidan issiq havo bilan isitiladigan juvalar qizdirilishi natijasida (masalan, qog'oz) quritiladi. Bu qurilmada kamerali quritkichga qaraganda jarayon tezligi yuqori. Quritkich kamchiliklari: konstruksiyasi murakkab va ekspluatatsion sarflar katta.

Tebranma quritkichlar mayin dispers, polidispers, qumoq-qumoq va shular kabi boshqa, ya'ni mavhum qaynashga moyil bo'lmagan, materiallarni quritish uchun mo'ljallangan. Dispers material qatlamiga past chastotali tebranishlar ta'siri qatlamdagi issiqlik va massa almashinish jarayonlarni intensivlaydi. Undan tashqari, tebranishlar o'zaro kesishgan yo'nalishli, yuqori samarador va ideal siqib chiqaruvchi quritkichlar yaratish imkonini ochib beradi. Bu turdagi quritkichlarda temperatura va konsentratsiya maydonlari bir tekisda bo'ladi.



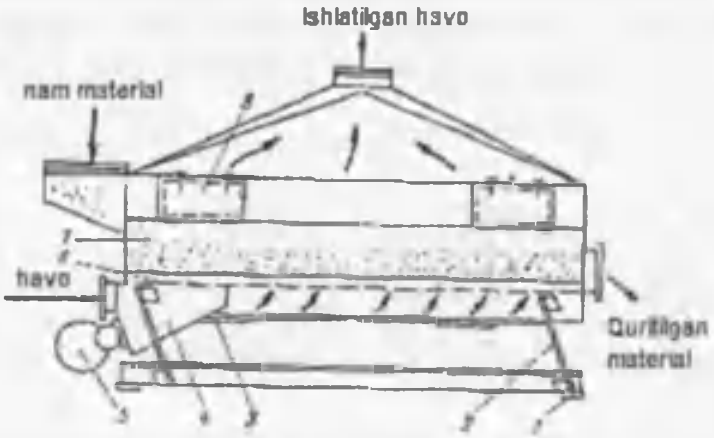
5.133-rasm. Sirtmoqli quritkich (a) va to'rli lenta elementi (b).
1 - nam material ta'minlagich; 2 - isitiladigan juvalar;
3 - cheksiz to'rli lenta; 4 - zanjirli konveyer;
5 - tayanchli mexanizm; 6 - shnekli bunker.

Tebranma mavhum qaynash qatlamini vertikal, gorizontal va novli qurilmalarda tashkil etish mumkin.

Kimyo va oziq - ovqat sanoatlarida novli quritkichlar eng keng tarqalgan. Lekin shuni alohida qayd etish kerakki, bu qurilmalar kichik qiyalik burchak ostida o'rnatilgan bo'ladi (5.134-rasm).

Quritkich uzatmasi mayatnikli yuritkich - tebratgichdan iborat. Qatlam orqali o'tayotgan gaz oqimi va past chastotali tebranmalarning bir vaqtda ta'siri natijasida tebranma mavhum qaynash qatlami hosil bo'ladi. Bunday qatlamda massa va issiqlik almashinish juda yuqori bo'ladi.

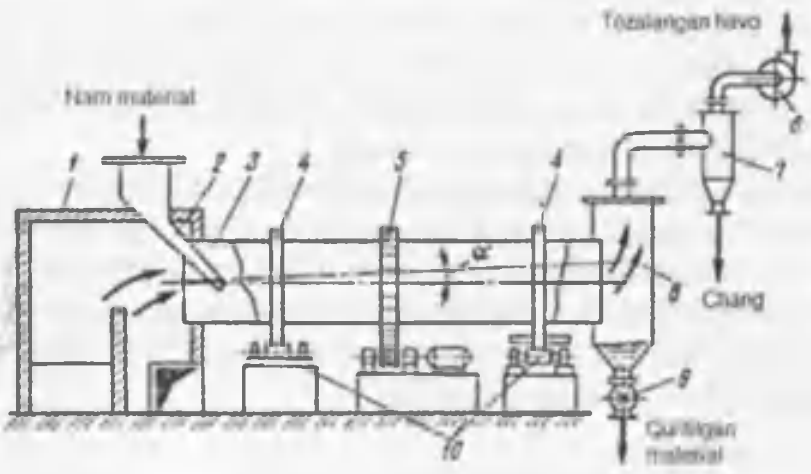
Barabanli quritkichlar uzluksiz ishlaydigan qurilmalar qatoriga kiradi va atmosfera bosimida donador, sochiluvchan materiallarni (mineral tuz, fosforit, qand lavlagi turpi, bug'doy, shakar va h.) quritish uchun qo'llaniladi. Issiqlik eltkich sifatida havo yoki tutun gazlari xizmat qiladi.



5.134-rasm. Tebranma mavhum qaynash qatlamli quritkich.
1 - amortizator; 2 - prujina; 3 - to'kish lyuki; 4 - tebratkich; 5 - yuritkich;
6 - gaz taqsimlovchi teshikli panjara; 7 - tarnov; 8 - kuzatish oynasi.

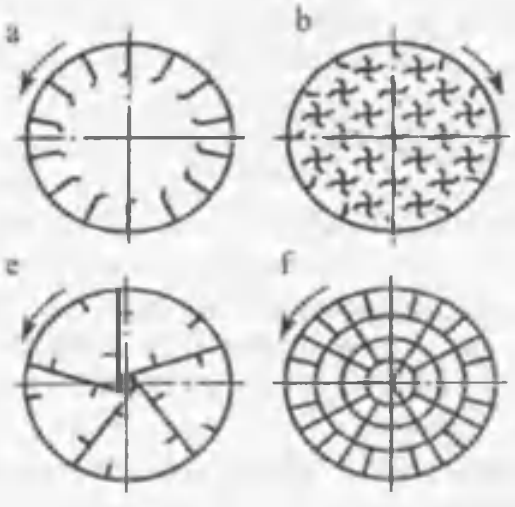
Barabanli quritkichlar ichi bo'sh silindrdan iborat bo'lib, ufqqa nisbatan kichik qiyalik burchagida o'rnatilgan bo'ladi (5.135-rasm).

Baraban bandaj va roliklarga tayanib turadi. Uning aylanishi elektr yuritkich va reduktor hamda tishli g'ildirak yordamida amalga oshiriladi. Barabanning aylanish chastotasi 5...8 min^{-1} dan oshmaydi. Quritkichga nam material ta'minlagich yordamida uzatiladi. Baraban aylanishi davrida material tepaga ko'tarilib pastga to'kiladi va bu jarayon uzluksiz davom etadi. Shu bilan birga, qurilma o'rnatilgani va ichiga maxsus nasadkalar joylanganligi sababli, quritilayotgan material to'kish bunkeri tomoniga qarab harakatlanadi. Odatda nasadkalar silindrik barabanning butun uzunligi bo'ylab joylashtiriladi. Baraban ichida material issiqlik eltkich bilan o'zaro ta'sirda bo'lib quritiladi.



5.135-rasm. Barabanli quritkich.
1 - o'txona; 2 - bunker; 3 - baraban; 4 - bandaj; 5 - tishli g'ildirak;
6 - ventilator; 7 - siklon; 8- to'kish bunkeri;
9 - shlyuzli ta'minlagich; 10 - tayanch roliklar.

Material va qurituvchi eltkich bilan o'zaro ta'sir samarasini oshirish uchun turli xildagi nasadkalar mavjud. Nasadkalar nam materialni bir tekisda tarqatadi va uni issiqlik eltkich bilan yuvilib turishini yaxshilaydi. Nasadka turi material xossalariga qarab tanlanadi (5.136-rasm). Yirik bo'lakli va yopishib qolishga moyil materiallarni quritish uchun ko'taruvchi kurakchali nasadkalarni qo'llash maqsadga muvofiq. Mayda, sochiluvchan materiallarni quritish uchun esa taqsimlovchi nasadkalar qo'llaniladi. Mayin dispers, kukunsimon, changiydigan materiallar esa ag'daruvchi nasadkali qurilmada quritiladi.



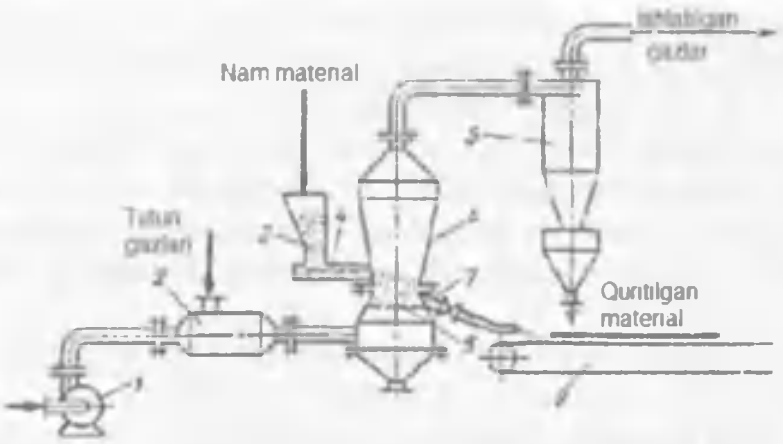
5.136-rasm. Barabanli quritkich nasadkalarining asosiy turlari.
a- parrakli; b,d- taqsimlovchi, hajmiy tipdagi; e - ag'daruvchi, sektorli; f-ag'daruvchi, yopiq yacheykali.

Issiqlik eltkich va material parallel va qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanishi mumkin. Parallel yo'nalishli quritkichlarda material o'ta qizib ketish oldini olish mumkin, chunki issiqlik eltkich yuqori namlikka ega material bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. Quritilayotgan material tarkibidagi kukunsimon fraksiya uchib ketmasligi uchun ventilator haydayotgan issiqlik eltkich tezligi 2...3 m/s dan oshmasligi kerak. Ishlatilgan gaz atmosferaga chiqarib yuborishdan avval siklonda tozalanadi.

Barabanli quritkichlar diametri 1 dan 3,5 m gacha bo'ladi. Diametri 2,8, 3,0 va 3,5 m li barabanlarning uzunliklari 14, 20 va 27 m qilib yasaladi.

Undan tashqari, barabanli vakuum-quritkichlar ham sanoatning turli sohalarida ishlatiladi. Ko'pincha bu qurilmalar davriy ishlaydigan bo'ladi. Ushbu quritkichlar issiqlikka sezgir materiallardan suv va organik eritmalarni yo'qotish, hamda zaharli materiallarni quritish uchun qo'llaniladi. Barabanli vakuum - quritkichlar gerbitsid, zaharli dorilar, ba'zi bir polimerlarni ishlab chiqarish, hamda meditsina, oziq - ovqat, kimyo va farmatsevtika sanoatlarida ishlatiladi.

Mavhum qaynash qatlamli quritkichlar uzluksiz ishlaydigan qurilmalar qatoriga kiradi va mayda, sochiluvchan, donador nam materiallarni quritish uchun keng ko'lamda ishlatiladi. Bunday qurilmalarda sirtiy va bog'langan materiallarni suvsizlantirish mumkin. Mavhum qaynash qatlamli quritkichlar vertikal va gorizontal, bir yoki bir necha seksiyali qilib yasaladi. Uzluksiz ishlaydigan, bir seksiyali mavhum qaynash qatlamli quritkich 5.137-rasmda keltirilgan.

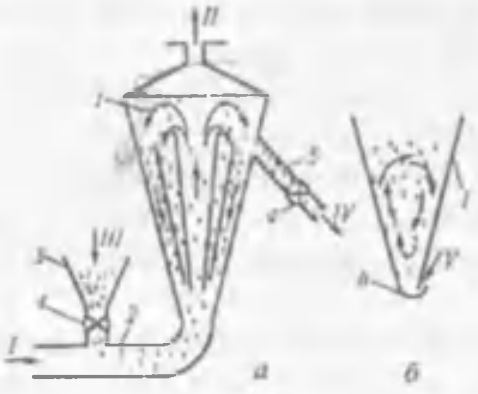


5.137-rasm. Bir seksiyali mavhum qaynash qatlamli quritkich.
1 - ventilator; 2 - kalorifer; 3 - bunker; 4 - shnek;
5 - siklon; 6 - quritkich; 7 - to'kish patrubkasi; 8 - gaz taqsimlovchi teshikli panjara; 9 - konveyer.

Nam material uzluksiz ravishda quritkichga uzatiladi. Kaloriferda qizdirilgan issiqlik eltkich ventilator yordamida gaz taqsimlovchi teshikli panjara ostiga haydaladi. Quritish jarayoni ushbu panjara yaqinidagi zonada yuz beradi. Quritilgan material to'kish patrubkasi orqali chiqariladi. Ishlatib bo'lingan gaz siklonda tozalanib, quritkichdan atmosferaga chiqazib yuboriladi.

Mavhum qaynash qatlamli quritkich kamchiliklari: materialni quritish bir tekisda emas. Bu kamchilikni bartaraf qilish uchun ko'p seksiyali yoki o'zgaruvchan ko'ndalang kesimli quritkichlardan foydalaniladi.

Ushbu turdagi qurilmalarda material qurishi bir tekisda bo'ladi. Konussimon quritkichlarda tartibli sirkulatsiya vujudga keladi, ya'ni zarrachalar qurilmaning markaziy qismida tepaga ko'tariladi va chekka qismida esa – pastga qarab tushadi. Natijada material bir tekisda qiziydi va kameraning ishchi balandligi kamayadi.



5.138. Aerofontan quritkich.
a) konussimon; b) prizmatik.
1-quritish kamerasi; 2-havo quvuri;
3-xomashyo bunkeri;
4-ta'minlagich; 5-to'kish patrubkasi;
6-gaz kirish tirqishi.
I - issiq; II-ishlatib bo'lingan gaz;
III-xomashyo;
IV-quritilgan material; V-gaz yoki xomashyo bilan aralashmasi.

Hozirgi kunda mavhum qaynash qatlamli quritkichlar kimyoviy texnologiyada mineral va organik tuzlar, yopishib qolishga moyil, masalan sulfat ammoniy, polivinilxlorid, polietilen va boshqa polimerlarni, hamda pastasimon materiallar (pigment, anilinli bo'yovchi moddalar), eritmalar, suspenziyalarni quritish uchun ishlatiladi.

Aerofontanli quritkich. Quyidagi 5.138-rasmda konussimon aerofontan quritkich tasvirlangan. Boshlang'ich xomashyo bunker 3 dan ta'minlagich 4 orqali truba quvuri 2 ga uzatiladi. U yerda xomashyo issiq havo oqimi bilan aralashib pnevmotransport bo'lib qurilma 1 ga haydaladi. Qurilma 1 da qattiq materialning yo'naltiruvchi sirkulatsiyasi hosil bo'ladi: pnevmotransport bo'lib ko'tarilayotgan oqim nisbatan tor markaziy kanalda, kamera devori oldida pastga qarab harakatlanayotgan qatlam va ular orasida

halqasimon mavhum qaynash qatlamli mavjuddir. Ishlatib bo'lingan issiq havo qurilma tepasidan chang tozalash uskunasiga uzatiladi. Quritilgan material qiya o'rnatilgan patrubok 5 va ta'minlagich 4 dan chiqariladi.

Aerofontan quritkichlar ideal siqib chiqarish qurilmalar turiga juda yaqin. Bunga sabab, qattiq jismning bir aylanish sikli (kanalda «ko'tariluvchi pnevmotransport oqimi» - devor yaqinida pastga tushish - «ko'tariluvchi pnevmotransport oqimi») materialning favvorasimon qatlamda o'rtacha bo'lish vaqtidan kam ancha kamligidir.

Ko'p kamerali quritkich. Issiqlikka bardosh nam materiallarni quritishda ko'p kamerali qarama-qarshi oqimli quritkichlar qo'llaniladi (5.139-rasm).

Namlik bilan to'yintirishning yuqori ko'rsatkichlariga erishsa bo'ladi. Lekin bunda quritilgan material temperatura yuqori bo'lgan issiq havo bilan to'qnashadi. Material qatlamini isish temperaturasini rostlash uchun har bir kameraga zmeyevik joylanadi. Bunday holatlarda quritilgan materialni to'kish jarayoni quyilish trubkalari orqali amalga oshiriladi.

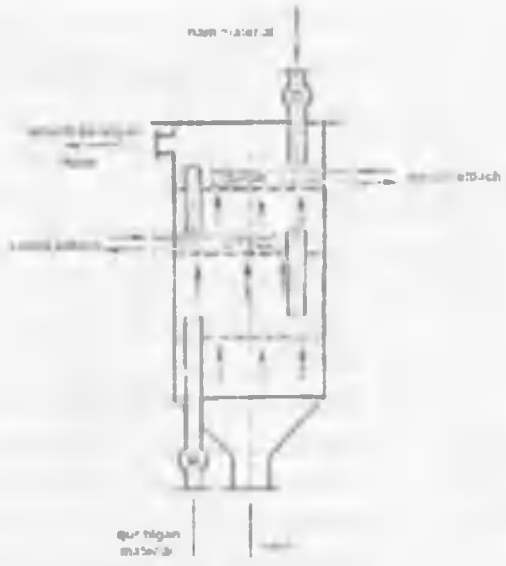
Qurilma gidravlik qarshiligi juda ortib ketmasligi uchun har bir kameradagi material qatlamining balandligini 400...700 mm atrofida ushlab turish maqsadga muvofiq.

Nam material va issiq havoning qarama-qarshi harakati tufayli qurituvchi havoni kichik hajmdagi nam materiallarni quritish uchun davriy ishlaydigan mavhum qaynash qatlamli quritkichlar qo'llaniladi. Ayrim hollarda, uzluksiz ishlaydigan mavhum qaynash qatlamli quritkichlarning qurilmaning namlik bo'yicha kuchlanishi A=1250 kg/(m^3 soat) ni tashkil etadi. Mavhum qaynash qatlamli quritkichlarda nam materialdan qurilmaning birlik hajmida ko'p miqdorda namlikni ajratib olishni, samarali quritishni tashkil etsa bo'ladi. Shu sababli, mavhum qaynash qatlamli quritkichlar ko'pchilik texnologiyalarda barabanli quritkichlar o'rnini bosmoqda. Ushbu quritkichlarni hisoblash material xossalari va namlikning material bilan bog'liqligini bilgan holda hisoblanadi.

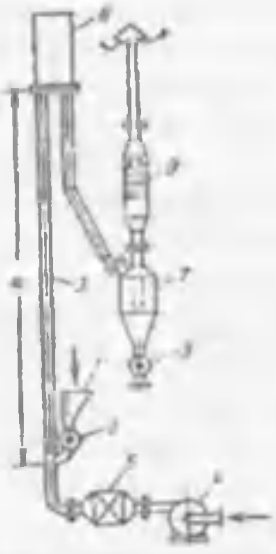
Pnevmatik quritkich. Sochiluvchan, donador nam materiallar (yopishqoq bo'lmagan)dagi erkin namlikni mavhum qaynash qatlamda quritish uchun pnevmatik quritkichlar qo'llaniladi (5.140-rasm). Quritish jarayoni uzunligi 20 m gacha bo'lgan vertikal trubada olib boriladi. Nam material zarrachalari issiq havo oqimida harakatlanadi va bunda ularning tezligi zarracha uchib chiqish tezligidan yuqori bo'ladi va 10-30 m/s ni tashkil etadi. Bunday truba-quritkichlarda quritish jarayoni bir necha sekund davom etadi va ushbu vaqt ichida materialdan faqat bir qism erkin bog'langan namlik chiqarishi mumkin.

Nam material ta'minlagich 2 yordamida bunker 1 dan to'g'ridan to'g'ri truba 3 ga uzatiladi. Kalorifer 5 da isitilgan havo ventilator 4 yordamida truba 3 ga haydaydi va materialni o'zi bilan yuqoriga olib ketadi. Quritilgan materialni havo o'zi bilan birga yig'gich-amortizator 6, so'ng esa siklon 7 ga olib chiqadi. Siklonda havo qattiq fazadan ajratiladi va qattiq faza to'kish moslamasi 8 orqali qurilmadan chiqariladi. Ishlatib bo'lingan issiq havo esa yakunlovchi tozalash uchun filtr 9 ga yuboriladi va undan so'ng atmosferaga chiqarib yuboriladi.

Truba-quritkichlarda energiya sarfi katta. Quritilayotgan zarrachalar diametri kamaysa, energiya sarfi kamayadi. Odatda qattiq zarrachalar diametri 8-10 mm dan oshmaydi.



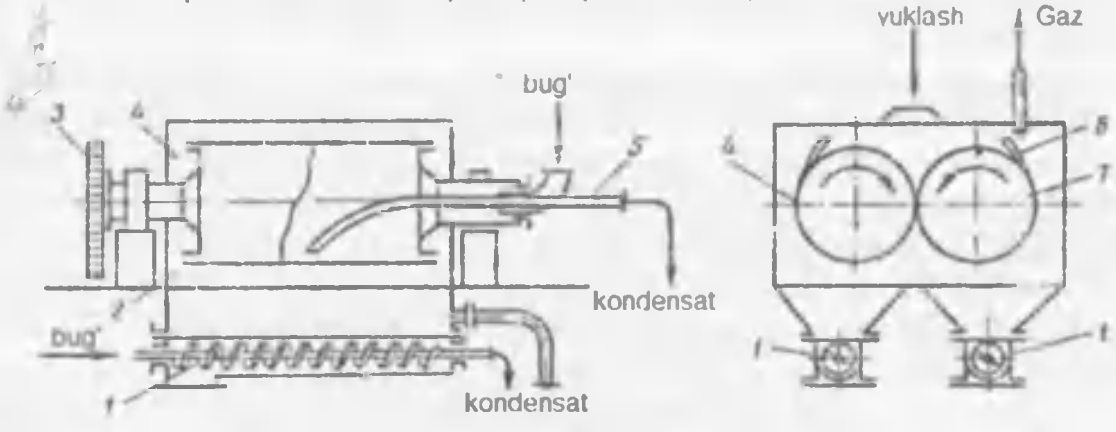
5.139-rasm. Mavhum qaynash qatlamli qarama-qarshi oqimli quritkich.



5.140-rasm. Pnevmatik quritkich. 1-bunker; 2-ta'minlagich; 3-truba; 4-ventilator; 5-kalorifer; 6-yig'gich-amortizator; 7-siklon; 8-to'kish moslamasi; 9-filtr.

Agarda zarrachalar diametri katta va bog'langan namlikni quritish uchun truba-quritkichdan avval boshqa turdagi quritkichdan foydalanish maqsadga muvofiq. Shunday qilib, ixcham va tuzilishi sodda bo'lishiga qaramasdan, truba-quritkichlarning qo'llanish sohasi ancha kam.

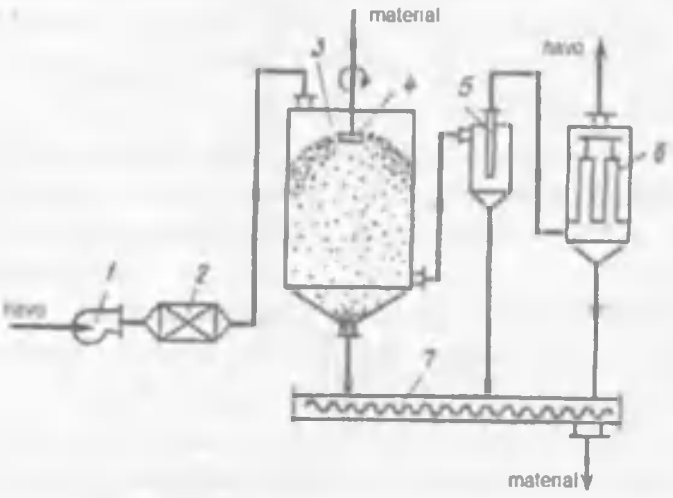
Juvali quritgichlar suyuq va pastasimon materiallarni atmosfera bosimi yoki vakuum ostida quritish uchun mo'ljallangan (5.141-rasm).



5.141-rasm. Juvali quritkich.
1 - shnekli nov-quritkich; 2 - qobiq; 3-uzatma; 4 - yetaklovchi juva; 5 - sifon trubkasi; 6 – pichoq; 7 - yetaklanuvchi juva.

Juva bir - biriga qarab 2...10 min^{-1} chastota bilan aylanadi. Ichi bo'sh juvaga sapfa orqali isituvchi bug' yuboriladi va issiqligini berib kondensatga aylanadi. Juvalar issiq suv yoki yuqori temperaturali organik suyuqliklar yordamida qizdirilishi mumkin.

Material qurilmaning tepasidan, juvalar orasiga yuklanadi va uni yupqa qatlam bilan qoplaydi. Yupqa qatlam qalinligi juvalar orasidagi tirqish kattaligi bilan belgilanadi. Odatda, ushbu tirqish eni 0,5...1,0 mm bo'ladi. Materialning kirishi yupqa qatlamda, juvaning to'liq aylanishida sodir bo'ladi.



5.142-rasm. Purkovchi quritkich.
1 - ventilator; 2 - kalorifer; 3 - quritish kamerasi; 4 - disk; 5 - siklon; 6 - yengli filtr; 7 - quritilgan materialni to'kuvchi shnek.

Juvadagi material qatlamining qalinligi qanchalik kichik bo'lsa, u shunchalik tez va bir tekisda quriydi. Lekin quritish davomiyligi kam bo'lgani uchun, ko'pincha qo'shimcha quritish talab etiladi. Quritilgan material pichoq yordamida juvadan kesib olinadi.

Purkovchi quritkichlar eritma, suspenziya va pastasimon materiallarni quritish uchun qo'llaniladi. Purkab quritish usulida sut kukuni, sut-sabzavot konsentratlari, xamirturish, tuxum kukuni va boshqa mahsulotlar olinadi.

Bunday quritkichlarda material maxsus moslamalarda purkaladi va issiqlik eltkich oqimida quritiladi (5.142-rasm). Materialning quritish zonasida bo'lish vaqti juda qisqa, lekin yuqori darajada maydalanganligi va namlikning bug'lanish tezligi kattaligi, uning tez qurishiga olib keladi. Shuning uchun, purkovchi quritkichlarda yuqori temperaturali issiqlik eltkichlarni qo'llash mumkin.

Quritish natijasida olingan mahsulot bir xil dispers tarkibli, sochiluvchan va mayda dispers bo'ladi.

Purkovchi quritkichlar kamchiliklari: gabarit o'lchamlari va energiya sarfi katta.

Materialni purkash mexanik yoki pnevmatik purkagichlar yordamida hamda aylanish chastotasi 4000...20000 min^{-1} bo'lgan markazdan qochma diskda amalga oshiriladi. Quritkichda materialning bo'lish vaqti 50 s dan ortmaydi. Shu qisqa vaqt ichida issiqlik va massa almashinish jarayoni yuz beradi. Purkovchi quritkichlarda fazalar parallel va qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanishi mumkin. Bunday quritkichlar afzalliklari: yuqori temperaturali issiqlik eltkichlarni ham qo'llash mumkin.

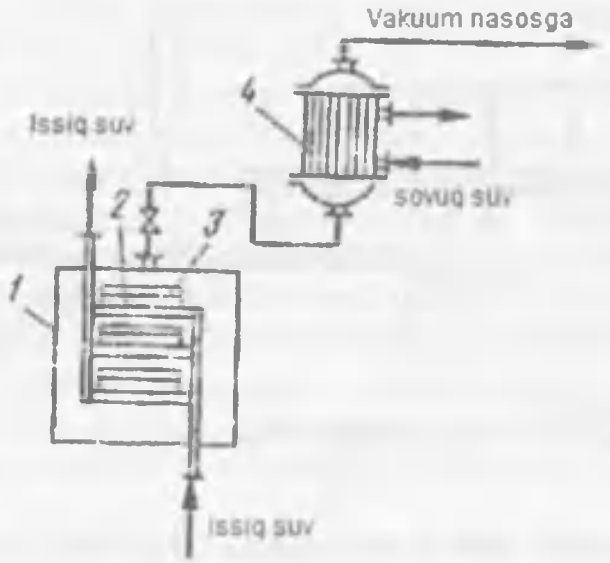
Kamchiliklari: issiqlik eltkich sarfi katta bo'lgani uchun energiya va metall sarfi ham nisbatan yuqori; solishtirma namlik olish ko'rsatkichi juda past, ya'ni 20 kg/m^3; material quritkich devorlariga yopishib qoladi; issiqlik eltkich tezligi nisbatan kichik, chunki katta tezliklarda mayda zarrachalar uchib ketadi.

Sublimatsiyali quritkichlar. Turli materiallardagi muz agregat holatidagi namligini vakuum ostida bug'ga (suyuq agregat holatidan sakrab) aylantirib suvsizlantirish jarayoni sublimatsiyali quritish deb nomlanadi. Sublimatsiyali quritish yuqori vakuum, qoldiq bosim 133,3...13,3 Pa (1,0...0,1 mm sim.ust.) bo'lgan oraliq va past temperaturalarda o'tkaziladi.

Sublimatsiya quritish jarayonida material yuzasidan namlikning bug' agregat holatida tarqalish mexanizmi o'ziga xos **effuziya** usulida boradi. Effuziya usulida bug' molekulalarining erkin harakati davrida molekulalar bir-biri bilan o'zaro to'qnashmaydi.

Sublimatsiyali quritkich quritish kamerasi, kondensator-muzlatkich va vakuum nasosdan tarkib topgan (5.143-rasm.)

Plita ichida issiq suv nasos yordamida sirkulatsiyali harakat qiladi. Quritilayotgan material tunuka tovalarda plita ustiga joylashtiriladi. Plita va tovalar orasida ma'lum havoli bo'shliq bo'ladi. Plitalardan tovalarga issiqlik nurlanish usuli (radiatsiya) hisobiga o'tadi.



5.143-rasm. Sublimatsiyali quritkich
1 - quritish kamerasi; 2- plita;
3 - tunuka tova; 4 - kondensator-muzlatkich.

Sublimatorda hosil bo'lgan suv bug'i va havo aralashmasi kondensator – muzlatkichga o'tadi. Bug'-havoli aralashma qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasining trubalar bo'shlig'ida, trubalararo bo'shliqda esa – ammiak sirkulatsiyali harakat qiladi. Qurilma trubalarida suv bug'lari avval kondensatsiyalanadi, undan so'ng esa - muzlaydi. Sublimatsiyali quritkichlarda 2 ta kondensator-muzlatkich bo'ladi. Ular navbatma-navbat ishlaydi, ya'ni bittasida kondensatsiya va muzlatish sodir bo'lsa, ikkinchisida hosil bo'lgan muz eritib yo'qotiladi.

Materialdan namlikni chiqarib yuborish jarayoni 3 bosqichdan iborat:

1) quritish kamerasida bosim pasayishi bilan namlik o'z - o'zidan muzlaydi va materialdan chiqqan issiqligi hisobiga muzdan bug'ga aylanadi. Bu bosqichda 15% namlik yo'qotiladi;

2) namlikning asosiy qismi sublimatsiya yo'li bilan quritish jarayonining o'zgarmas tezlik davrida yo'qotiladi;

3) qoldiq namlik materialdan issiqlik yordamida yo'qotiladi.

Sublimatsiyali quritish oz miqdorda past temperaturali (40...50°C) issiqlik eltkich sarflanadi. Lekin umumiy energiya va ekspluatatsion sarflar boshqa quritish (dielektrik quritishdan tashqari) usullariga qaraganda yuqori.

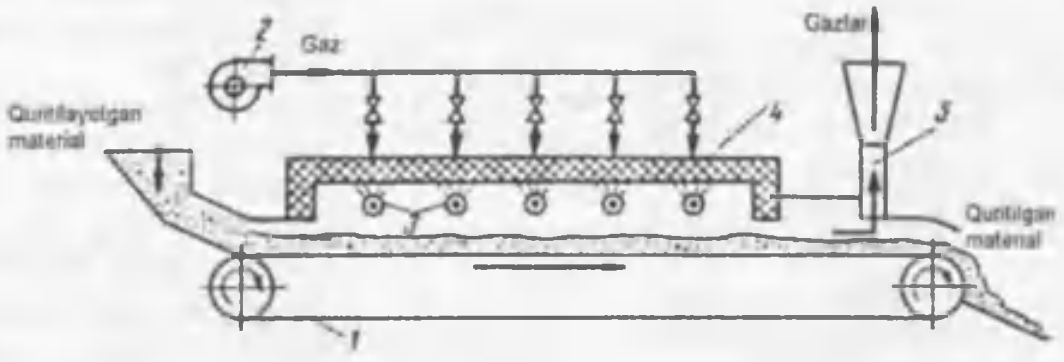
Shuning uchun, bu quritish usuli qimmatbaho moddalar, yuqori temperaturaga chidamsiz va biologik xossalari uzoq muddat davomida saqlanib turishi kerak bo'lgan materiallarni (go'sht, meva, sabzavot, meditsina va farmatsevtika mahsulotlari) quritish uchun ishlatiladi.

Energiya sarfi bo'yicha sublimatsiyali quritish, atmosfera bosimida quritishga yaqinroq turadi.

Termoradiatsiyali quritkichlar. Bu quritkichlarda material tarkibidagi namlikni bug'latish uchun zarur issiqlik infraqizil nurlar orqali uzatiladi. Issiqlik infraqizil nurlanishga moslangan lampalar yoki o'ta qizdirilgan keramik yoki metall yuzalardan tarqaladi. Infraqizil nurlanishli lampalar oddiy yoritish lampalaridan qizdirish temperaturasi bilan farq qiladi. Nurlanish oqimini nam materialga yo'naltirish uchun parabola shaklli reflektorlar ishlatiladi.

Ushbu usulda quritish davrida material yuza birligiga kontaktli quritishga qaraganda vaqt birligida ancha ko'proq issiqlik to'g'ri keladi. Natijada, jarayon intensivlashadi. Masalan, yupqa qatlamli materiallarni infraqizil nurlar yordamida quritish davomiyligi 30...100 martagacha qisqaradi.

Gaz bilan isitiladigan radiatsiyali quritkich tuzilishi 5.144-rasmda keltirilgan. Bunday quritkichlar tuzilishi sodda va lampali quritkichlarga nisbatan arzon.



5.144-rasm. Radiatsiyali quritkich.
1-konveyer; 2-gazoduvka; 3-gaz yondirgichi; 4-nur tarqatgich; 5-chiqish trubasi.

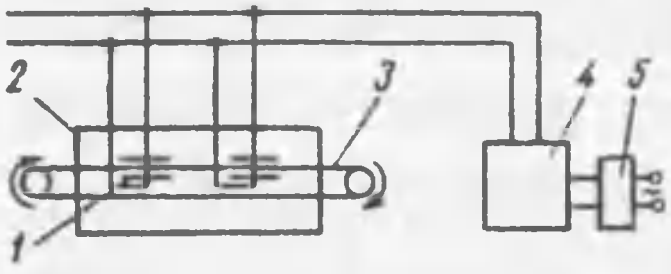
Nur tarqatuvchi qurilmaning pastki qismida gaz yoqiladi. Gaz yonishi oqibatida nur tarqatuvchi qurilma qiziydi, so'ngra infraqizil nurlarni tarqatadi. Nur tarqatgich nam material xossalariga qarab tanlanadi. Yuqori sifatli mahsulot olish uchun murakkab jarayonlardan (masalan, radiatsiyali va konvektiv usullarni bir vaqtda qo'llash) foydalaniladi.

Namlikning termodiffuzion oqimi material sirtidan namlik diffuziyaga xalaqit bermasligi hamda termoradiatsiyali quritish jarayonini intensivlash uchun quritkich ossillatsiyali rejimda ishlashi kerak.

Termoradiatsiyali quritkich tuzilishi ixcham, yupqa qatlamli materiallarni quritishda yuqori samara beradi. Lekin uning energiya sarfi nisbatan ko'p, ya'ni 1 kg namlikni bug'latish uchun 1,5...2,5 kVt soat energiya zarur.

Yuqori chastotali (dielektrik) quritkichlar qalin qatlamli materiallarni quritish uchun mo'ljallangan. Bu quritish usulida materialning yuzasi va qalinligi bo'ylab temperatura va namlikni rostlash mumkin. Ushbu quritkichda plastmassa va dielektrik xossalarga ega bo'lgan materiallarini, hamda oziq-ovqat mahsulotlarini quritish mumkin.

Dielektrik quritkichlar lampali yuqori chastotali generator, quritkich va lentali konveyerdan tarkib topgan (5.145-rasm).



5.145-rasm. Yuqori chastotali quritkich.
1-kondensator plastinkasi; 2-quritish kamerasi; 3-lentali konveyer; 4-lampali, yuqori chastotali generator; 5-to'g'rilagich.

Chastotasi 50 Gs li o'zgaruvchan tok to'g'rilagich orqali generatorga uzatiladi. Generatorda tok yuqori chastotali tokka aylantiriladi. So'ng, bu tok lentali konveyerning ikki tomonida joylashgan kondensator plastinkalariga yuboriladi.

Kondensator plastinalari zaryad ishoralari o'zgarishi bilan yuqori chastotali maydon ta'sirida material ion va elektronlari sinxron ravishda harakat yo'nalishi o'zgaradi. Dipol molekulalar aylanma harakatlansa, elektr zaryadlar siljishi tufayli qutbsiz molekulalar qutblanadi.

Yuqorida qayd etilgan hodisalar oqibatida materialda issiqlik ajrab chiqadi va u qiziydi. Elektr maydon kuchlanishini o'zgartirib quritish tezligini rostlash mumkin.

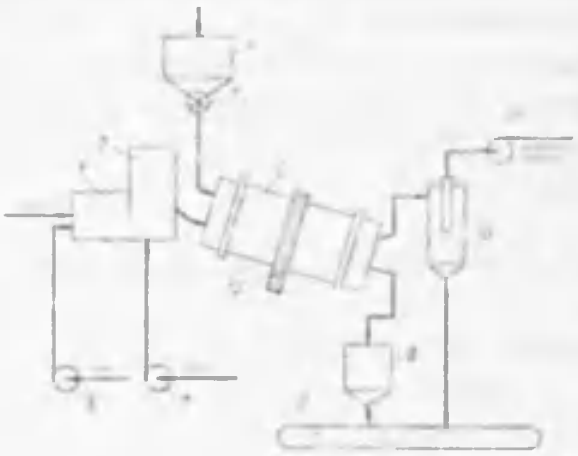
Bu usulda namlik va temperatura gradiyentlarning yo'nalishi bir xil bo'ladi. Natijada, namlikning diffuziyasi tezlashadi. Shuning uchun bu quritish usuli tezligi, konvektiv quritish tezligidan ancha katta.

Dielektrik quritish jarayoni uchun ko'p miqdorda energiya zarur. 1 kg namlikni bug'latish uchun 2,5…5 kVt·soat energiya sarflanadi.

Bu turdagi quritkichlar tuzilishi murakkab va qimmat. Shuning uchun, yuqori chastotali quritkichlar qimmatbaho materiallarni suvsizlantirish uchun ishlatish maqsadga muvofiq, ya'ni iqtisodiy jihatdan samarali.

5.47. Quritkichlarni hisoblash

Bu qurilmalar atmosfera bosimda uzluksiz ravishda turli sochiluvchan va donasimon materiallarni tutunli gazlar yoki issiq havo bilan quritish uchun ishlatiladi. Ular silindrsimon korpusdan iborat bo'lib, gorizontga nisbatan juda kichik og'ish burchagida joylashtiriladi. Baraban ikkita rolikli tayanchlarga joylashtirilgan bo'lib, elektr yuritkich va reduktor yordamida aylantiriladi. Aylanish soni 5…8 ayl/min. Baraban ichida nasadkalar o'rnatilgan bo'lib, ular fazalararo ta'sir yuzasini oshirish uchun qo'llaniladi. Nasadkalar barabanning ko'ndalang kesimi bo'yicha materialni bir me'yorda tarqatish va aralashtirishni ta'minlaydi. Material va issiqlik eltkich bir-biriga nisbatan to'g'ri yo'nalishda berilsa, barabanning ichida material o'ta qizib ketmaydi, chunki bu sharoitda yuqori temperaturali issiqlik eltkich katta namlikka ega bo'lgan material bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. Barabanli quritkichlar uzunligi L va tashqi diametri D bo'yicha tanlanadi.



5.146-rasm. Barabanli quritkichning prinsipial sxemasi.
1 - bunker; 2 - ta'minlagich; 3 - qurituvchi baraban; 4 - o'txona; 5 - aralashtirish kamerasi; 6,7,11 - ventilatorlar; 8 - oraliq bunker; 9 - transporter; 10 – siklon; 12 - tishli uzatma.

Nam material bunker 1 dan ta'minlagich 2 orqali aylanib turgan baraban 3 ga beriladi. Material bilan bir xil yo'nalishda barabanga issiqlik eltkich beriladi. U yoqilg'i o'txonasi 4 da yonishida hosil bo'lgan gazlarni aralashtirish kamerasi 5 da havo bilan aralashtirish natijasida hosil bo'ladi. Havo o'txona va aralashtirish kamerasiga ventilatorlar 6 va 7 yordamida beriladi (5.146- rasm).

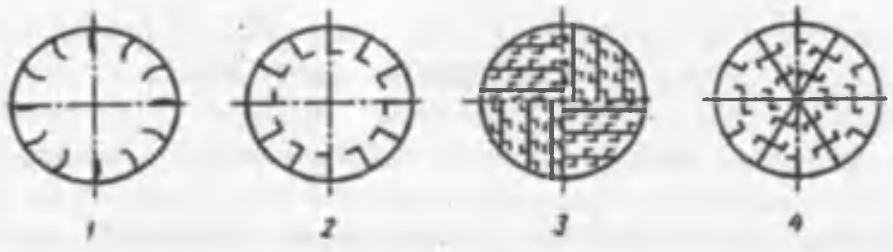
Quritilgan material barabanning boshqa tomonidan bunker 8 ga tushadi va undan transporter 9 ga o'tadi.

Ishlatilgan gazlar atmosferaga chiqarib yuborishdan avval mayda zarrachalardan siklon 10 da tozalanadi va kerak bo'lsa yana qo'shimcha tozalaniladi.

Qurituvchi eltkich baraban orqali ventilator 11 yordamida uzatiladi. Uzatilish davrida uncha katta bo'lmagan siyraklanish hosil bo'ladi va bu esa qurituvchi eltkichning barabanli quritkich teshiklari orqali yo'qotilishiga yo'l qo'ymaydi.

Baraban elektr yuritkich va tishli uzatma 2 yordamida aylantirib turiladi.

Barabanning ichida materialni bir me'yorda tarqatish, aralashtirish va yo'naltirish uchun nasadka joylashtirilgan. Quritilayotgan material donalarining o'lchamiga va xossalariga qarab, har xil nasadkalardan foydalaniladi. Katta bo'lakli va yopishib qolish xususiyatiga ega bo'lgan materiallarni quritishda ko'taruvchi parrakli nasadkalar, yomon sochiluvchan va yuqori zichlikka ega bo'lgan katta bo'lakli materiallarni quritish uchun sektorli nasadka; kichik bo'lakli, tez sochiluvchan materiallarni quritishda tarqatuvchi nasadka ishlatiladi; mayda qilib ezilgan, chang hosil qiluvchi kukun materiallarni berk yacheykali, dovonsimon nasadkalar bo'lgan barabanlarda quritish maqsadga muvofiqdir. Ayrim sharoitlarda murakkab nasadkalardan foydalansa ham bo'ladi (5.147-rasm).



5.147-rasm. Barabanli quritkich nasadkalarining turlari va ularning to'ldirilish koeffitsiyentlari β.
1 - ko'taruvchi - parrakli, $\beta = 12\%$; 2 - xuddi avvalgidek, $\beta = 14\%$;
3 - taqsimlovchi, $\beta = 20{,}6\%$; 4 - taqsimlovchi, yopiq yacheykali, $\beta = 27{,}5$.

I. Quritish qurilmasining hisobi

1. Qurilmaning quritilgan modda bo'yicha unumdorligi:

$$G = 10 \text{ t/soat}$$

2. Material zarrachalarining o'lchamlari (NaCl):

$d = 2{,}0\text{-}1{,}5$ mm - 25%
$d = 1{,}5\text{-}1{,}0$ mm - 75%

3. Materialning namligi (NaCl):

boshlang'ich $w_1 = 6{,}0\%$
oxirgi $w_1 = 0{,}2\%$

4. Boku shahri uchun nam havoning parametrlari

	yanvar	iyul
temperatura	$t = +3{,}4°C$	$t = +25{,}3°C$
nisbiy namlik	$\varphi_0 = 82\%$	$\varphi_0 = 65\%$

5. Issiq havoning temperaturasi

barabanga kirishda - $t = 160°C$
barabandan chiqishda - $t = 60°C$

1. Moddiy balans

Moddiy balans tenglamasidan quritish davomida bug'latilgan namlik W miqdorini aniqlaymiz.

$$W = G_1 \cdot \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1}$$

$$G_2 = 10 m/soat = \frac{10 \cdot 1000}{3600} = 2{,}778\ kg/s$$

$$W = 2{,}778 \cdot \frac{6 - 0{,}2}{100 - 6} = 0{,}171\ kg/s$$

II. Quritishga sarflangan havo va issiqlikni aniqlash

Quritkichning ichki issiqlik balansini yozamiz:

a) Qish fasli uchun:

$$\Delta = -\cdot\theta_1 + q_k - (q_{mp} + q_m + q_y)$$

Bu yerda,

c – suvning issiqlik sig'imi, $s = 4190\ kJ/kg \cdot K$;

q_k – qo'shimcha ichki kalorifer bergan issiqlik miqdori, $q_k = 0$;

– transport qurilmalari bilan kirgan issiqlik miqdori,

$q_e = 0$;

q_y – atrof-muhitga yo'qotilgan issiqlik miqdori, taxminan isitishga sarflangan issiqlik miqdorining 10% ni olsa bo'ladi:

q_m – moddani isitishga sarflangan issiqlik miqdori,

$$q_m = G_k \cdot c_M \cdot (\theta_2 - \theta_1) / W$$

– moddaning quritkichdan chiqishdagi temperaturasi qurituvchi eltkichning ho'l termometr temperaturasiga teng deb olamiz.

$$\theta_2 = t_x = 42°C$$

Ramzinning I - x diagrammasidan aniqlanadi.

C_m – materialning issiqlik sig'imi [6]:

$$c_m = \frac{c_{Na} + c_{Cl}}{M_{(NaCl)}}$$

$Na = 26{,}0\ kJ/kg \cdot K$; $Cl = 26{,}0\ kJ/kg \cdot K$; $s_m = (26+26)/56 = 0{,}88\ kJ/kg \cdot K$

$$q_m = 2{,}778 \cdot 0{,}88 \cdot (42 - 3{,}4)/0{,}171 = 551{,}83\ kJ/kg \cdot K$$

$$\Delta = 4{,}19 \cdot 3{,}14 - 551{,}83 - 22{,}6 = -560{,}185\ kJ/kg \cdot K$$

Quritish jarayoniga sarflangan solishtirma havo va issiqlik sarflarini aniqlash uchun I - x diagrammada quritish jarayoni ifodalanadi (5.148-rasm).

Boku shahri uchun havoning o'rtacha temperaturasi va nisbiy namligi aniqlanadi

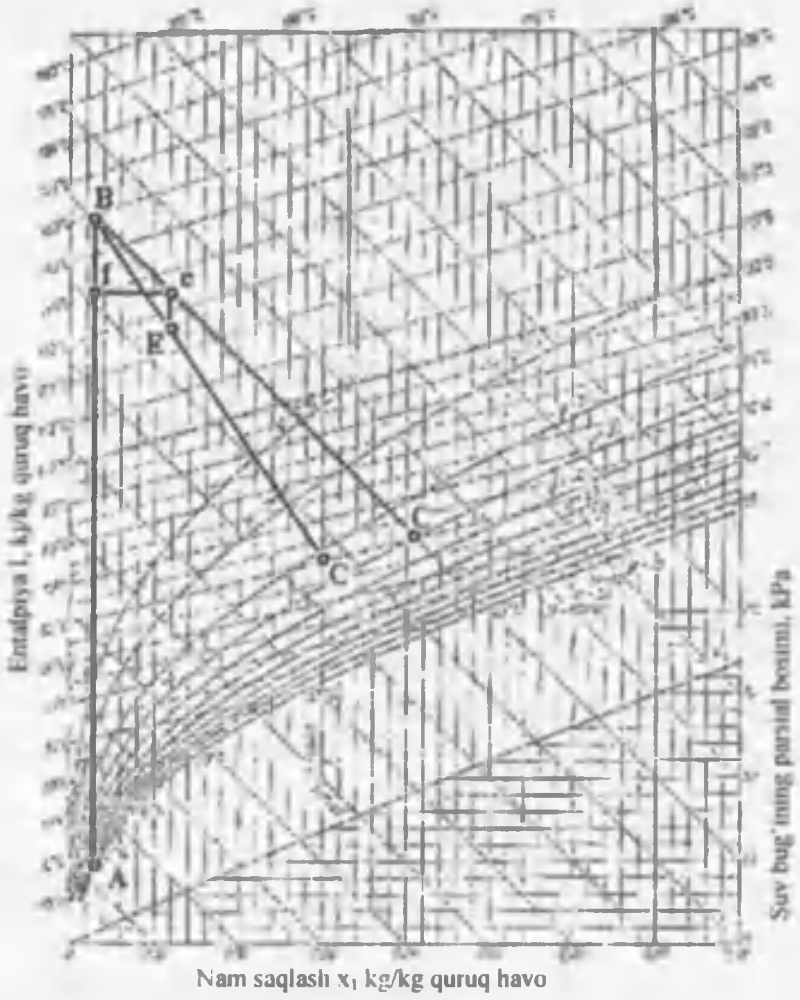
a) Qish fasli uchun $t_o = +3{,}4°C$ va $\varphi_o = 82\%$.

Shu parametrlar bo'yicha diagrammada «A» nuqta topiladi, ya'ni kaloriferga kirayotgan havoning parametrlarini ko'rsatuvchi nuqtani topamiz. «A» nuqtadan, ya'ni o'zgarmas nam saqlash chizig'i bo'yicha to'g'ri chiziq o'tkazib, berilgan quritish temperaturasi bilan kesishgan «B» nuqtani topamiz. Bu nuqta kaloriferda isitilgan va

quritkichga kirayotgan havoning parametrlari $x_1 = x_\infty$ t_1, I_1 - larni ko'rsatadi. ***AB*** chiziq havoni kaloriferda isitish jarayonini ifodalaydi. Kaloriferda havo qizdirilganda uning nam saqlashi o'zgarmaydi. «*V*» nuqtadan I_1 chizig'ini – o'zgarmas entalpiya chizig'ini o'tkazamiz. Shu I_1 chizig'ida ixtiyoriy bir nuqta «*e*» olinadi va undan AV chizig'iga perpendikular tushiriladi va hosil bo'lgan «*f*» deb belgilaymiz. So'ng ***ef*** kesmaning uzunligi o'lchanadi - $ef = 2{,}4$ sm = 24 mm. Nihoyat, quritishning ideal jarayondan farqi ***eE*** kesmaning uzunligi hisoblanadi.

$$eE = ef \cdot \frac{\Delta}{M} = 24 \cdot \frac{(-560{,}185)}{1250} = 10{,}75 \ mm$$

bu yerda, $M = 1250$ - ***I - x*** diagramma masshtabi.



5.148-rasm. Nam havoning I - x diagrammasi.

Diagrammada ***eE*** kesmani «*e*» nuqtadan pastga $x = const$ chiziq bo'yicha o'tkazamiz, chunki $\Delta < 0$. «V» nuqtadan «*E*» nuqta orqali to'g'ri chiziq o'tkazib, berilgan $t_2 = 60°C$ chizig'i bilan kesishguncha davom ettiramiz. Kesishgan nuqtani «*C*» deb belgilaymiz va bu nuqta quritish qurilmasidan chiqayotgan havoning parametrlari x_2, t_2, I_2, φ_2 ni ko'rsatadi:

$x_2 = 0{,}029$ kg/kg va $I_2 = 136$ kJ/kg (I - x diagrammadan topiladi).

Qish faslida quritish jarayoniga ketgan solishtirma havo sarfi:

$$x_o = x_1 = 0{,}003 kg/kg \; l = \frac{1}{x_2 - x_0} = \frac{1}{0{,}029 - 0{,}003} = 38{,}46 kg/kg$$

Havoning umumiy sarfi

$$h = l \cdot W = 38{,}46 \cdot 0{,}171 = 6{,}58 kg/s$$

Sarflangan solishtirma issiqlik miqdori esa:

$$I_o = 11 kJ/kg \;\; q = \frac{I_2 - I_o}{x_2 - x_0} = \frac{136 - 11}{0{,}029 - 0{,}003} = 4707{,}69 kj/kg$$

va umumiy issiqlik sarfi:

$$Q = q \cdot W = 4807{,}69 \cdot 0{,}171 = 622{,}12 \text{ kVt}$$

Kaloriferdagi issiqlik sarfi:

$$q_k = \frac{I_1 - I_o}{x_2 - x_0} = \frac{169 - 11}{0{,}029 - 0{,}003} = 6076{,}9 kJ/kg$$

$I_1 = 169$ kJ/kg - $I - x$ diagrammadan topiladi.

b) Yoz fasli uchun.

$$\Delta = c \cdot \theta_1 + q_k - (q_{tp} + q_m + q_y)$$

$$c = 2{,}95 \cdot 4{,}19 = 12{,}36 \; kJ/kg \cdot K$$

$$q_k = 0; \qquad q_{tr} = 0; \qquad q_m = G_2 \cdot c_m \cdot (\theta_2 - \theta_1) / W;$$

$\theta_2 = 42°C = t_m$ ($I - x$ diagrammadan)

$\theta_1 = t_o = 25{,}3°C$ (Boku shahri uchun)

$$q_м = 2{,}778 \cdot 0{,}88 \cdot (42 - 25{,}3) / 0{,}171 = 238{,}746 \; kJ/kg$$

$$\Delta = 12{,}36 \cdot 42 - 238{,}746 - 23{,}87 = 257{,}77 \; kJ/kg$$

Nam havo parametrlarini, havoning solishtirma va issiqlik sarfini yoz fasli uchun aniqlaymiz. Buning uchun $I - x$ diagrammada quritish jarayonini ifodalaymiz.

$$ef = 94mm; M = 1250; eE = ef \cdot \frac{\Delta}{M} = 94 \cdot \frac{257{,}77}{1250} = 19{,}5mm$$

So'ng, $I - x$ diagrammadan:

$$x_o = 0{,}014 \; kg/kg; \qquad x_2 = 0{,}0525 \; kg/kg;$$

$I_o = 55\ kJ/kg;\qquad I_1 = 192\ kJ/kg;\qquad I_2 = 195\ kJ/kg.$

$$l = \frac{1}{x_2 - x_o} = \frac{1}{0{,}0525 - 0{,}014} = 25{,}98\ kg/kg$$

$$L = l \cdot W = 25{,}98 \cdot 0{,}171 = 4{,}13\ kg/s$$

$$q = \frac{I_2 - I_o}{x_2 - x_o} = \frac{195 - 55}{0{,}0525 - 0{,}014} = 3381{,}64\ kJ/kg$$

$$Q = q \cdot W = 3381{,}64 \cdot 0{,}171 = 578{,}26\ kVt$$

$$G_2 = 10\ m/\text{soat} = \frac{10 \cdot 1000}{3600} = 2{,}778\ \text{kg/s} \cdot$$

$$q_к = \frac{I_1 - I_0}{x_2 - x_0} = \frac{162 - 55}{0{,}0525 - 0{,}014} = 3309{,}18\ kJ/kg$$

Yoz va qish fasllari uchun topilgan sarflarni solishtiramiz:

$$L_{qish} = 6{,}58\ kg/s > L_{ez} = 4{,}13\ kg/s$$

$$Q_{qish} = 822{,}12\ kVt > Q_{ez} = 578{,}26\ kVt$$

II. Barabanli quritkichning asosiy o'lchamlarini aniqlash

Barabanning hajmini topamiz:

$$V_{bar} = \frac{W}{A_v} \cdot 3600 = \frac{0{,}171 \cdot 3600}{7{,}2} = 85{,}5\ m^3$$

bu yerda, A_v – barabanning namlik bo'yicha kuchlanishi, $A_v = 7{,}2\ \text{kg/(m}^3 \cdot \text{soat)}$ [16,128].

Barabanning hajmi bo'yicha 9.3-jadvaldan barabanning asosiy o'lchamlarini [128], ya'ni №7208 seriyasini tanlaymiz. Ushbu sonli barabanning asosiy parametrlari quyidagicha:

– barabanning ichki diametri, m	2,8
– barabanning uzunligi, m	14
– devorlarninig qalinligi, mm	14
– quritish hajmi , m.	86,2
– yacheykalar soni, dona	51
– aylanish tezligi, ayl/min	5
– umumiy massasi, t	70
– iste'mol qilinadigan quvvat, kVt	25,8

Havoning barabandagi haqiqiy tezligi ushbu formulada aniqlanadi:

$$w_x = V_x / (0{,}785 \cdot d^2)$$

bu yerda, V_x – quritiuvchi eltkichning barabandan chiqishdagi hajmiy sarfi:

$$V_x = L \cdot V_o \cdot \frac{(T_o + t_{o'r})}{T_o} \cdot \left(\frac{1}{M_{qu}} + \frac{x_{o'r}}{M_v} \right)$$

$$t_{o'r} = (t_1 + t_2)/2 = (160 + 60)/2 = 110^o C$$

$$x_{o'r} = (x_1 + x_2)/2 = (0{,}003 + 0{,}029)/2 = 0{,}016 kg/kg$$

$$V_x = 6.58 \cdot 22{,}4 \cdot \frac{273 + 110}{273} \cdot \left(\frac{1}{29} + \frac{0{,}016}{16} \right) = 7{,}31 m^3/s$$

$$w_x = 7{,}31/(0{,}725 \cdot 2{,}8^2) = 1{,}2 m/s$$

Materialning barabanda o'rtacha bo'lish vaqti:

$$\tau = \frac{G_m}{G_2 + (W/2)}$$

G_m – barabandagi materialning sarfi:

$$G_m = V \cdot \beta \cdot \rho_m$$

bu yerda, V – quritkichning hajmi, 86,2 m^3; ρ_m – materialning «to'kma» zichligi ρ_m = 1200 kg/m^3 [6,16]; β - barabanning to'ldirilish darajasi, ushbu misoldagi nasadka uchun 12% [128].

$$G_m = 86{,}2 \cdot 0.12 \cdot 1200 = 12412{,}8 \ kg$$

unda:

$$\tau = \frac{12412{,}8}{2{,}778 + 0{,}171/2} = 4335 s$$

Barabanning og'ish burchagi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\alpha' = \left(\frac{30 \cdot l}{d \cdot n \cdot \tau} + 0{,}007 \cdot w_x \right) \cdot \frac{180}{\pi}$$

bu yerda, l – barabanning uzunligi, 14 m; n – aylanishlar soni, 5 ayl/min; d – barabanning diametri, 2,8 m.

$$\alpha' = \left(\frac{30 \cdot 14}{2{.}8 \cdot 5 \cdot 4335} + 0{,}007 \cdot 1{,}2 \right) \cdot \frac{180}{3{,}14} = 0{,}88^\circ$$

Agar α' ning qiymati juda kichik bo'lsa (0,5 dan kam), barabanning aylanish soni n kamaytiriladi va hisob qaytariladi.

$$d = \sqrt{\frac{5,14}{0,785 \cdot 20}} = 0,570m$$

va $$Re = \frac{20 \cdot 0,57 \cdot 1,28}{\mu} = \frac{20 \cdot 0,57 \cdot 1,28}{0,017 \cdot 10^{-3}} = 858353$$

ya'ni turbulent rejim [6,130]:

$$\lambda = 0,11 \cdot (e + 68/Re)^{0,25}$$

$$e = \frac{\Delta}{d};\ \Delta = 0,08;\ e = 0,0002$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \sqrt[4]{0,0002 + 68/858353} = 0,0142$$

Bu yerda, l – trubaning uzunligi. Ventilator joylashishiga qarab olinadi, bizning misol uchun $l = 2$ m deb hisoblaymiz (5.121-rasm).

$$\Delta P_u = 0,0142 \cdot \frac{2}{0,57} \cdot \frac{20^2 \cdot 1,28}{2} = 12,78Pa$$

2) Mahalliy qarshiliklarni yengishda yo'qotilgan bosim:

$$\Delta P_{m.q} = \sum \xi \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2}$$

bu yerda, $\Sigma\xi$ – mahalliy qarshilik koeffitsiyentlarini ilovadagi 5-7 jadvaldan aniqlaymiz [5]:

1. Trubaga kirish	$\xi = 0,5$
2. Trubadan chiqish	$\xi = 1,0$
3. To'g'ri burchak (90°) ostida trubaning burilishi	$\xi = 1,1$
4. Normal ventil ikkita bo'lgani uchun	$5,5 \cdot 2 = 11$

$$\Delta P_{m.q} = (0,5 + 1 + 1,1 + 11) \cdot \frac{20^2 \cdot 1,28}{2} = 3481,6Pa$$

Chang tozalagich sifatida siklon olsak:

$$\Delta P_s = \xi \cdot w_{kir}^2 \cdot \rho/2;$$

$$\rho = \frac{M \cdot 273}{22,4 \cdot (T + t)} = \frac{29 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 60)} = 1,1kg/m^3$$

$\xi = 6$ siklon ATI uchun [127],

$$\Delta P_s = 6 \cdot 20^2 \cdot 1,1/2 = 1320Pa$$

Quritish barabanining qarshiligi $\Delta P_b = 100$ Pa [19] va kaloriferning qarshiligi $\Delta P_k = 200$ Pa [19,128].

$$\Delta P = 12,76 + 3481,6 + 200 + 100 + 1320 = 5798,36\ Pa$$

Materialning eng kichik zarrachalari qurilmadan havo bilan chiqib ketmasligi uchun, uning tezligini hisoblaymiz. Buning uchun moddaning chiqib ketish tezligini, ya'ni erkin uchish tezligini topamiz:

$$w_s = \frac{\mu_{o'r}}{d \cdot \rho_{o'r}} \cdot \left(\frac{Ar}{18 + 0{,}575\sqrt{Ar}} \right)$$

bu yerda, $\mu_{o'r}$ – qurituvchi eltkichning zichligi.

$$\rho_{o'r} = [29 \cdot (p_o - p) + 16 \cdot p] \cdot \frac{T}{v_o \cdot p_o \cdot (T + t_{o'r})}$$

bu yerda, r – nam havodagi bug'larning parsial bosimi.

$$p = \frac{x/M_c \cdot p_o}{1/M_x + x/M_h}$$

$p_o = 10^5$ Pa, chunki qurilma atmosfera bosimi ostida ishlaydi.

qurilmaga kirishdagi:

$$p_1 = \frac{0{,}003/18 \cdot 10^5}{1/29 + 0{,}003/18} = 480{,}81 Pa$$

qurilmadan chiqishidagi:

$$p_2 = \frac{0{,}029/18 \cdot 10^5}{1/29 + 0{,}029/18} = 4463{,}64 Pa$$

unda o'rtacha p

$$p = (480{,}81 + 4463{,}64) / 2 = 2472 \ Pa$$

va zichlik:

$$\rho_{o'r} = [29 \cdot (10^5 - 2472) + 18 \cdot 2472] \cdot \frac{273}{22{,}4 \cdot 10^5 \cdot [273 + 110]} = 0{,}91 \ kg/m^3$$

Arximed kriteriysini aniqlaymiz:

$$Ar = d^3 \cdot \rho_3 \cdot \rho_{o'r} \cdot g / \mu_{o'r}^2$$

bu yerda, ρ_3 – quritilayotgan material zarrachalarining zichligi, $\rho_3 = 2165$ kg/m^3 [129]; $\mu_{o'r}$ – havoning o'rtacha temperaturadagi qovushoqligi, $\mu_{o'r} = 0{,}022 \cdot 10^{-3}$ Pa·s [130].

$$Ar = \frac{(1 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 2165 \cdot 0{,}91 \cdot 9{,}8}{(0{,}022 \cdot 10^{-3})^2} = 39891468 \cdot \frac{10^6}{10^9} = 3{,}99 \cdot 10^4$$

va chiqib ketish tezligi

$$w_2 = \frac{0{,}022 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}91} \cdot \left(\frac{3{,}99 \cdot 10^4}{18 + 0{,}575 \cdot \sqrt{3{,}99 \cdot 10^4}} \right) = 7{,}3 m/s$$

Havoning qurilmadagi tezligi 1,2 m/s va bu 7,3 m/s dan ancha kam. Demak, zarrachalar qurilmadan havo bilan chiqib ketmaydi, chunki $w_x < w_{ch}$.

Agar bu son aksincha kattaroq bo'lsa, havo tezligi kamaytiriladi va hisob qaytadan o'tkazilishi kerak.

IV. Quritish qurilmasining gidravlik hisobi.

Issiq eltkich quritkich ichida va kanallarda harakat qilganda gidravlik qarshiliklar hosil bo'ladi. Ular ishqalanish ΔP_u, mahalliy ΔP_{mk}, quritkichning ichidagi $\Delta P k_k$, kalorifer ΔP_{kal} va chang tozalovchi qurilma ΔP_{ch} qarshiliklaridan hosil topadi:

$$\Delta P = \Delta P_u + \Delta P_{mk} + \Delta P_k + \Delta P_{kal} + \Delta P_{ch}$$

1) Ishqalanish qarshiliklari tufayli yo'qotilgan bosim aniqlanadi:

$$\Delta P_u = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2}$$

bu yerda, λ – ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti va u harakat rejimiga bog'liq:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

bu yerda, w – qurituvchi eltkichning trubadagi tezligi, odatda uni 10 - 20 m/s atrofida olish mumkin [5,129];
d – trubaning diametri, sekundli sarf tenglamasidan aniqlanadi

$$d = \sqrt{\frac{V_s}{0{,}785 \cdot w}}$$

bu yerda, V_s – qurituvchi eltkichning sekundli hajmiy sarfi:

$$V_s = \frac{L}{\rho}$$

bu yerda, ρ – havoning zichligi, odatda u atrof-muhit temperaturasida olinadi.
$t_o = +3{,}4°C$ (Boku shahri uchun qish faslida).

$$\rho = \frac{M \cdot 273}{22{,}4 \cdot (273 + t)} = \frac{29 \cdot 273}{22{,}4 \cdot (273 + 3{,}4)} = 1{,}28 kg/m^3$$

va unda

$$V = \frac{6{,}58}{1{,}28} = 5{,}14 m^2/s$$

Trubaning diametri:

IV. Ventilatorni tanlash

Ventilator asosan ikki parametr: havoning hajmiy sarfi va napori orqali tanlanadi:

$$V_c = \frac{h_{max}}{\rho} = \frac{6,58}{1,28} = 5,14 m^3/s \qquad H = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \frac{5498,36}{1,28 \cdot 9,8} = 439,87 m$$

bu parametrlar orqali [127] yoki ilovadagi 15 jadvaldan [5] gazoduvka TV - 450 - 1,08 ni tanlaymiz, u $V = 5,86$ m^3/s va $\Delta P = 6000$ Pa ga to'g'ri keladi.

Gazoduvkaning ***AO2-82-2*** markali elektr yuritkichi $N = 55$ kVt quvvatga ega.

V. Kalorifer hisobi

Nam havoni isitish uchun ko'pincha bug' bilan ishlaydigan plastinali kaloriferlar ishlatiladi. Kaloriferni tanlash uchun isitish yuzasini aniqlash kerak:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{o'r}}$$

bu yerda, Q – havoni isitishga sarflangan issiqlik miqdori:

$$Q = h_{max} \cdot c_x \cdot (t_1 - t_o);$$

bu yerda, c_x – havoning issiqlik sig'imi, $c_x = 0,241$ kJ/kg·K [25]; $t_1 = 160°C$; $t_2 = 3,4°C$.

$$Q = 6,58 \cdot 0,24 \cdot (160 - 3,4) = 248,3 \ kJ/s,$$

bu yerda, k – bug'dan havoga issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti $k = 40$ Vt/(m^2·K); Δt_y – o'rtacha temperaturalar farqi. Bug'ning temperaturasini t_1 (160°C) dan 20°C balandroq olamiz [5, 127].

Bug' kondensatga aylanganda uning temperaturasi o'zgarmaydi.

bug' havo

$3,4° \longrightarrow 160°$ $\qquad$ $180° \longrightarrow 180°$

$$\Delta t_{ka} = 180 - 3,4 = 176,6^0 C \qquad \frac{\Delta t_{ka}}{\Delta t_{ki}} = \frac{176,6}{20} = 8,83 > 2$$

$$\Delta t_{ki} = 180 - 160 = 20^0 C$$

va

$$\Delta t_{o'r} = \frac{\Delta t_{ka} - \Delta t_{ki}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{ka}}{\Delta t_{ki}}} = \frac{176,6 - 20}{2,3 \cdot \lg 8,83} = \frac{156,6}{2,3 \cdot 0,946} = 71,2^0 C$$

$$F = \frac{248,3 \cdot 10^3}{40 \cdot 71,2} = 87,2 m^2$$

Ushbu yuza bo'yicha KFS - 11 kalorifer tanlaymiz va undan ikki dona olishimiz kerak [127].

KFS - 11 ning xarakteristikalari:

– issiqlik almashinish yuzasi – $F = 54,6$ m^2

– massasi – $m = 244,45$ kg

– balandligi – $h = 1160$ mm

– eni – $l = 960$ mm

– ko'ndalang kesim yuzasi, m^2:

havo bo'yicha $-f = 0{,}638\ m^2$
isituvchi bug' bo'yicha $-f = 0{,}0122\ m^2$

VI. Quritkichning mexanik hisobi

Baraban devorlarining qalinligi

$$\delta = 0{,}007 \cdot D_{bar} = 0{,}007 \cdot 2814 = 19mm$$

Barabanning aylanish tezligi.

$$n = \frac{m \cdot k \cdot L_{bar}}{\tau \cdot D_{bar} \cdot tg\alpha}$$

bu yerda, m – nasadkaning turiga bog'liq koeffitsiyent: $m = 0{,}5$; $k = 0{,}5...2{,}0$ [127,128].

$$n = \frac{m \cdot k \cdot L_{bar}}{\tau \cdot D_{bar} \cdot tg\alpha} = \frac{0{,}5 \cdot 2 \cdot 14}{4335 \cdot 2{,}8 \cdot tg24{,}4} = 0{,}05ayl/s$$

Odatda, qumni quritishda $n = 3{,}8\ ayl/min$ qabul qilinadi.
Barabanni aylantirishga sarflangan quvvat:

$$N = 0{,}078 \cdot D_{bar}^3 \cdot L_{bar} \cdot \rho \cdot \sigma \cdot n$$

bu yerda, σ – quvvat koeffitsiyenti, nasadka turiga va barabanning to'lalik koeffitsiyentiga bog'liq $\sigma = 0{,}071$ [85,127].

$$N = 0{,}078 \cdot D_{bar}^3 \cdot L_{bar} \cdot \rho \cdot \sigma \cdot n = 0{,}078 \cdot 2{,}8^3 \cdot 14 \cdot 1200 \cdot 0{,}071 \cdot 3 = 6{,}127kVt$$

5-bob. Quritish bo'yicha

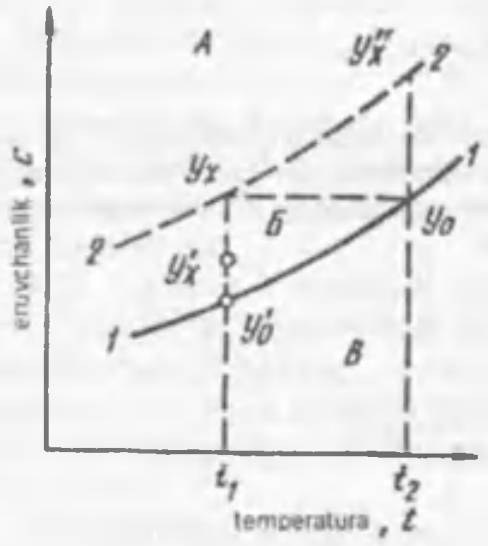
Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Quritish jarayonining mohiyati nimada?
2. Suvsizlantirishning necha xil usuli bor?
3. Quritish jarayoni necha turga bo'linadi?
4. Konvektiv quritishni ta'riflang.
5. Kontaktli quritishni ta'riflang.
6. Radiatsion quritish ta'rifini bering.
7. Dielektrik quritish ta'rifini bering.
8. Sublimatsion quritish mohiyati nimada?
9. Ramzinning I-x diagrammasini chizing va tushuntiring.
10. Nisbiy namlik parametrini izohlang va diagrammada qanday topishni ko'rsating.
11. Nam saqlash parametrini izohlang va diagrammada qanday topishni ko'rsating.
12. Entalpiya parametrini izohlang va diagrammada qanday topishni ko'rsating.
13. Shudring nuqtasi parametrini izohlang va diagrammada qanday topishni ko'rsating.

14. Ho'l termometr temperaturasi parametrini izohlang va diagrammada qanday topishni ko'rsating.
15. Parsial bosim parametrini izohlang va diagrammada qanday topishni ko'rsating.
16. Quritish potensiali nima?
17. Namlikni material bilan bog'lanish usullari.
18. Quritish egri chizig'ini chizing va kechayotgan jarayonlarni tushuntiring.
19. Quritish tezligining egri chizig'ini chizing va kechayotgan jarayonlarni tushuntiring.
20. Quritkichning moddiy balansini tuzing.
21. Quritkichning issiqlik balansini tuzing.
22. $\Delta > 0$ bo'lsa, quritkich qaysi rejimda ishlaydi?
23. $\Delta < 0$ bo'lsa, quritkich qaysi rejimda ishlaydi?
24. $\Delta = 0$ bo'lsa, quritkich qanday nomlanadi?
25. Quritish jarayonini tashkil etish usullari.
26. Kamerali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
27. Tunnelli quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
28. Lentali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
29. Shaxtali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
30. Sirtmoqli quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
31. Tebranma mavhum qaynash qatlamli quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
32. Barabanli quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
33. Mavhum qaynash qatlamli quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
34. Aerofontan quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
35. Pnevmatik quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
36. Juvali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
34. Aerofontan quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
35. Purkovchi quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
36. Sublimatsiyali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
37. Radiatsiyali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
38. Yuqori chastotali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
39. Quritkichlarni hisoblash ketma-ketligi.

14. Ho‘l termometr temperaturasi parametrini izohlang va diagrammada qanday topishni ko‘rsating.
15. Parsial bosim parametrini izohlang va diagrammada qanday topishni ko‘rsating.
16. Quritish potensiali nima?
17. Namlikni material bilan bog‘lanish usullari.
18. Quritish egri chizig‘ini chizing va kechayotgan jarayonlarni tushuntiring.
19. Quritish tezligining egri chizig‘ini chizing va kechayotgan jarayonlarni tushuntiring.
20. Quritkichning moddiy balansini tuzing.
21. Quritkichning issiqlik balansini tuzing.
22. $\Delta > 0$ bo‘lsa, quritkich qaysi rejimda ishlaydi?
23. $\Delta < 0$ bo‘lsa, quritkich qaysi rejimda ishlaydi?
24. $\Delta = 0$ bo‘lsa, quritkich qanday nomlanadi?
25. Quritish jarayonini tashkil etish usullari.
26. Kamerali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
27. Tunnelli quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
28. Lentali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
29. Shaxtali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
30. Sirtmoqli quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
31. Tebranma mavhum qaynash qatlamli quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
32. Barabanli quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
33. Mavhum qaynash qatlamli quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
34. Aerofontan quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
35. Pnevmatik quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
36. Juvali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
34. Aerofontan quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
35. Purkovchi quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
36. Sublimatsiyali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
37. Radiatsiyali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
38. Yuqori chastotali quritkich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
39. Quritkichlarni hisoblash ketma-ketligi.

Temperatura o'zgarishi bilan eritmalarda yuz beradigan o'zgarishlarni holat diagrammasi xarakterlaydi (5.149-rasm).



5.149-rasm. Eritmalar holat diagrammasi.
1-1 - eruvchanlik egri chizig'i;
2-2 - metastabil soha chegarasi;
A - labil (o'zguruvchan) eritmalar zonasi; B - metastabil eritmalar zonasi;
V – barqaror eritmalar zonasi.

Konsentratsiyasi labil (o'zgaruvchan) zonaga to'g'ri keladigan eritmalar juda tez kristallanadi. Metastabil zonaga oid konsentratsiyali eritmalar esa – nisbatan sekin kristallanadi, chunki jarayon tezligi eritma temperaturasi, issiqlikni ajratib olish yoki erituvchini bug'lanish tezligi, aralashtirish va boshqa omillarga bog'liq.

Agar temperatura t_2 dan t_1 gacha o'zgarsa, eritmadan juda kam miqdorda kristallar ajrab chiqadi va u eritma konsentratsiyasi y_2 - y_0 o'zgarishiga to'g'ri proporsionaldir.

O'zgarmas t_2 temperaturada erituvchining bir qismi yo'qotilgan taqdirda, o'ta to'yingan eritma olishga erishish mumkin. Bunda, konsentratsiyalar farqi y_x''- y_0 ga proporsional miqdorda kristallar hosil bo'ladi. Demak, bunday eritmalar kristallanishi eritma temperaturasini pasaytirish yoki erituvchining bir qismini yo'qotish yo'li bilan o'tkazish mumkin.

Eritma eruvchanligining temperaturaga bog'liqligi juda katta bo'lsa, temperaturani kamaytirib kristallash optimal usulga to'g'ri keladi.

Agar temperatura ortishi bilan moddalar eruvchanligi o'zgarmasa, unda erituvchining bir qismini yo'qotish usulida kristallash mumkin.

Jarayon kinetikasi. Eritmadan moddani qattiq fazaga o'tishi, erigan moddalarning chegaraviy qatlam orqali diffuziya usulida amalga oshadi. Kristallanish jarayonining tezligi chegaraviy qatlam orqali erigan modda duffiziyasi yoki kristall bilan modda qo'shilish tezligi yoki bir vaqtning o'zida ikkala omil bilan aniqlanishi mumkin.

Saxarozaning kristallanish jarayonini ko'rib chiqamiz. Kristallar o'lchami o'sishi jarayonida ular δ qalinlikdagi o'ta to'yingan, metastabil eritma chegaraviy qatlami bilan o'ralgan bo'ladi. Ushbu o'ta to'yingan eritmadan ortiqcha saxaroza molekulalari tezda ajralib chiqadi va kristall yuzasiga yopishadi. Natijada, eritma u_n konsentratsiyali holatiga o'tadi.

Lekin kristallarni ma'lum bir masofada o'rab turgan eritmada konsentratsiyasi u_p bo'lgan o'ta to'yingan saxaroza saqlanib turadi.

Konsentratsiyalar farqi $u_p - u_n$ bo'lgani uchun eritmaning chegaraviy qatlami orqali saxaroza diffuziya qiladi. Kristall qirralariga yaqinlashgan saxaroza molekulalari kristallik panjaraga o'tadi, ya'ni fazaviy o'tish sodir bo'ladi. Shunday qilib, kristallar o'sish tezligi saxarozaning diffuziya va fazalarni ajratuvchi chegarada fazaviy o'tish tezliklari bilan belgilanadi. Agar fazaviy o'tish tezligi saxarozaning diffuziya tezligidan yuqori bo'lsa, unda saxarozaning kristallanish jarayonini cheklovchi bosqichi bo'lib uning diffuziyasi hisoblanadi.

KRISTALLANISH

5.48. Umumiy tushunchalar

Eritmalardan erigan qattiq komponentlarni kristall holda ajratib olish **kristallanish** jarayoni deb nomlanadi.

Kristallanishga teskari jarayon **eritish** jarayoni deyiladi.

Kristall deganda har xil shakldagi, tekis qirralar bilan cheklangan bir jinsli qattiq moddalar tushuniladi.

Kristallanish qattiq moddalarni toza holda olishning asosiy usuli, chunki kristallanish jarayonida har doim shunday sharoit yaratish mumkinki, keraksiz moddalar eritmada qolib, faqat toza modda kristallanadi.

Kristallanish jarayoni kimyo, neft kimyosi, metallurgiya, meditsina, farmatsevtika, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda keng miqyosda qo'llaniladi. Kristallanish jarayonini o'tkazishdan maqsad: eritmalardan kristallik fazani ajratish; bir va ko'p bosqichli kristallash usullarida aralashmalarni ajratish; moddalarni aralashmalardan o'ta tozalash; monokristallar yetishtirish.

Kristallanish jarayonida turli o'lchamli kristallar, ya'ni sochiluvchan mahsulot olinadi.

Har bir modda kristallarining o'ziga xos geometrik shakllari bor. Hammasi bo'lib 32 xil kristallar simmetriya o'qlar soni mavjud va ular 7 ta kristallografik guruhga ajratilgan: kubik, trigonal, tetragonal, geksagonal, rombik, monoklin, triklin.

Bir kimyoviy modda bir necha xil kristallar hosil qilishi **polimorfizm** deb yuritiladi.

O'z tarkibida suv molekulalarini tutgan kristall **kristallogidratlar** deyiladi.

Kristallanish jarayoni ro'y berishi uchun boshlang'ich eritma o'ta to'yingan holatda bo'lishi kerak. Agar eritmadagi erigan modda konsentratsiyasi uning eruvchanligidan yuqori bo'lsa, bunday eritmalar o'ta to'yingan deb nomlanadi. Lekin o'ta to'yingan eritmalar noturg'un sistema bo'lgani uchun, undan erigan moddaning ortiqcha miqdori ajralib chiqadi, ya'ni kristallanish jarayoni sodir bo'ladi. Kristallar ajrab chiqishi tugagandan keyin to'yingan eritma qoladi.

Sanoat texnologik jarayoni 3 bosqichdan iborat: 1) kristallanish; 2) kristallarni eritmalardan ajratish; 3) kristallarni yuvish va quritish.

5.49. Kristallanish statikasi va kinetikasi

Jarayon statikasi. Temperatura ortishi bilan qattiq moddalar eruvchanligi o'zgarishiga qarab «musbat» yoki «manfiy» eruvchanlikka ega bo'lishi mumkin.

Agar temperatura o'sishi bilan moddalar eruvchanligi ortsa, unda «musbat», aksincha bo'lsa «manfiy» eruvchanlikli bo'ladi.

Ma'lum temperaturada qattiq faza bilan muvozanatda bo'lgan eritma **to'yingan** eritma deb nomlanadi. Bunday eritmalarda qattiq modda va eritma o'rtasida dinamik muvozanat holati mavjuddir.

Erigan modda konsentratsiyasi uning eruvchanligidan katta bo'lgan aralashmalarga **o'ta to'yingan** eritmalar deb nomlanadi. O'ta to'yingan eritmalar noturg'un bo'ladi va to'yingan holatga oson o'tadi. Bunday o'tish davrida o'ta to'yingan eritmalardan kristallar ajralib chiqadi.

Saxaroza kristallarining o'sish tezligi ushbu tenglama yordamida ifodalash mumkin:

$$\frac{dM}{d\tau} = \frac{D \cdot F(y_n - y_u)}{\delta} \qquad (5.242)$$

bu yerda. dM – vaqt birligida kristallangan modda miqdori; D – diffuziya koeffitsiyenti; F – kristallanish yuzasi; y_n – o'ta to'yingan eritma hajmidagi modda konsentratsiyasi; y_u – kristall sirti atrofidagi modda konsentratsiyasi (odatda eritma konsentratsiyasiga teng deb qabul qilinadi); δ – konsentratsiyasi y_n dan y_u gacha o'zgaradigan eritma chegaraviy qatlamining qalinligi.

(5.242) tenglamani integrallasak, ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$M = \frac{D \cdot (y_n - y_b) F \tau}{\delta}$$

Kristallanish tezligi esa:

$$\frac{M}{F\tau} = \frac{D \cdot (y_n - y_u)}{\delta} \qquad (5.243)$$

Kristallar laminar rejimda o'ta to'yingan eritma bilan yuvilib turishini hisobga olsak, chegaraviy qatlam qalinligi ushbu ifodadan aniqlanadi:

$$\delta \approx \left(\frac{\mu}{v}\right)^{0.5} \qquad (5.244)$$

bu yerda, μ – to'yingan eritmaning dinamik qovushoqligi; w – kristallarning eritmadagi harakat tezligi. Stoks qonuniga binoan $v = 1/\mu$

Eynshteyn nazariyasiga binoan diffuziya koeffitsiyentining absolyut temperatura T va qovushoqlik μ ga bog'liqligi quyidagi funksiya bilan ifodalanadi:

$$D = \frac{kT}{\mu} \qquad (5.245)$$

bu yerda, k – diffuziyalanayotgan modda tabiatiga bog'liq o'zgarmas kattalik.

(5.244) va (5.245) tenglamalarni (5.243) ga qo'ysak, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\frac{M}{F\tau} = \frac{kT(y_n - y_u)}{\mu^2} \qquad (5.246)$$

$\mu^2=1$ bo'lganda, koeffitsiyent $k = 2318$. Unda, (5.246) tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$\frac{M}{F\tau} = \frac{2318 \cdot (y_n - y_u)}{\mu^2} \qquad (5.247)$$

bu yerda. $M/(F\tau)$ – saxarozaning kristallanish tezligi. mg/(m^2·min); $y_n - y_u$ – konsentratsiyalar farqi. gramm 100 g eritmaga; μ – to'yingan eritmaning dinamik qovushoqligi. mPa·s.

Kristallanish tezligini belgilovchi asosiy omillar: eritmaning o'ta to'yinish darajasi; temperatura; kristallanish markazlarining hosil bo'lishi; aralashtirish intensivligi; eritmada qo'shimcha moddalar borligi va h.

Kristallanish jarayoni 2 bosqichdan iborat: kristallanish markazlarini hosil bo'lishi va kristallarning o'sishi.

Kristallanish markazlarining hosil bo'lishi. O'ta to'yingan yoki sovutilgan eritmalarda kristallanish markazlarini sun'iy ravishda hosil qilish mumkin. Masalan, eritmaga mayin dispers zarrachalar yoki «tomizg'i» qo'shish yo'li bilan yoki erkin, o'z - o'zidan hosil bo'ladi.

O'z - o'zidan kristallanish markazlarining hosil bo'lishiga induksion davr sababchi, chunki bu davrda kristallanish yuz bermaydi. Ushbu davrda kristallik asoslari eritma bilan harakatchan muvozanatda bo'ladi. Kristallik asoslar va eritma orasidagi harakatchan muvozanat buzilishi bilan yoppasiga kristallanish boshlanadi. Eritmani silkitish yoki aralashtirish va temperatura ortishi bilan kristall asoslari hosil bo'lish tezligi ko'payadi.

Kristallarning o'sishi. Eritmada erigan modda zarrachalarining hosil bo'lgan kristallik asoslarda adsorbsiyasi hisobiga bo'ladi.

Kristallanish jarayonida kristall hamma qirralari bo'ylab bir vaqtda o'sadi, lekin o'sish tezligi har xil bo'ladi. Bu hol kristallar o'lchami va shaklining o'zgarishigi olib keladi.

Kristallarning shakli asosan kristallanayotgan modda tabiatiga bog'liq. Agar kristallik asoslar erkin va bir tekisda yuvilib tursa, to'g'ri shaklli, yaxshi qirra va tomonli kristallar hosil bo'ladi. Agar qurilma devori va aralashtirish moslamasiga kristallar ishqalansa yoki urilsa, uning qirralari silliqlanishi hisobiga kristall shakli buziladi, ya'ni mahsulot sifati yomonlashadi.

Odatda, olinayotgan kristallar har xil bo'lishi, eritmani yomon aralashtirilishi bilan bog'liqdir. Lekin eritma intensiv aralashtirilishi bir tomondan kristallanish tezligini oshirsa, ikkinchi tomondan – mayda kristallar hosil bo'lishiga sababchi bo'ladi.

Olingan mahsulot granulometrik tarkibini yaxshilash maqsadida klassifikatsiya qilinadi.

Kristallar tozaligi kristallanish jarayonini o'tkazish sharoitlariga hamda kristallarni filtrlash va yuvishga bog'liq.

5.50. Kristallanish usullari

Kristallanish jarayonini davriy va uzluksiz tashkil etish mumkin. Davriy kristallanish jarayoni kam tonnajli, uzluksiz esa – ko'p tonnajli ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

Sanoat miqyosida quyidagi kristallanish usullaridan foydalanadi: eritmalardagi erituvchining bir qismini bug'latish; eritma temperaturasini o'zgartirib kristallash; kombinatsiyalangan usullardan foydalanib kristallash.

Eritmadagi erituvchining bir qismini bug'latib kristallash. Erituvchining bir qismini yo'qotish uchun bug'lanish yoki muzlatish usulidan foydalanish mumkin. Eritma tarkibidagi suvni haydash uchun bug'lanish keng ko'lamda ishlatiladi. Odatda, bu jarayon bug'latish qurilmalarida amalga oshiriladi. Kerakli darajadagi o'ta to'yingan eritma hosil bo'lgandan keyin, u shu qurilmada kristallanadi. Ushbu usul **izotermik** kristallanish deb ataladi.

Bu usulning kamchiliklari: hosil bo‘layotgan kristallar issiqlik almashinish yuzalariga yopishib qoladi; boshlang‘ich eritma tarkibidagi aralashmalar ham quyuqlashadi.

Qurilma ichida qattiq moddalar yopishib yoki cho‘kib qolmasligi uchun eritmaning sirkulatsiya tezligi ko‘paytiriladi.

Kristallarni ajratish va yuvish filtr yoki sentrifugalarda o‘tkaziladi.

Eritma temperaturasini o‘zgartirib kristallash. Bunday usul **izogidrik** kristallash deb nomlanadi, chunki bu jarayon eritmada erituvchi miqdori o‘zgarmas bo‘lgan holatda olib boriladi.

Kimyo sanoatida musbat eruvchanlikka ega tuzlarni kristallash juda keng tarqalgan. Bunday eritmalarning o‘ta to‘yinishiga uni sovitish yo‘li bilan erishiladi. Jarayon davriy yoki uzluksiz, pog‘onali joylashgan bir yoki ko‘p korpusli qurilmalarda olib boriladi. Sovutuvchi eltkich sifatida suv ishlatiladi. Havo yordamida sovutilganda jarayon nisbatan sekin boradi, lekin yirik va bir jinsli kristallar hosil bo‘ladi. Manfiy eruvchanlikka ega eritmalarni kristallash uchun eritma qizdirilishi zarur.

Kombinatsiyalangan usullarga vakuum ostida, erituvchining bir qismini issiqlik eltkich yordamida bug‘latib kristallash va fraksiyali kristallashlar kiradi.

Vakuum ostida kristallash. Bu usulda erituvchi devor orqali issiqlik uzatish yo‘li bilan bug‘latilmasdan, balki eritmaning o‘z fizik issiqligini berish hisobiga ro‘y beradi. Ushbu issiqlikning bir qismi erituvchini (taxminan 10% mass) bug‘latish uchun sarflanadi. Hosil bo‘layotgan bug‘lar vakuum - nasos yordamida so‘rib olinadi. Uzatilayotgan issiq to‘yingan eritma temperaturasi qurilmadagi bosimga tegishli eritmaning qaynash temperaturasigacha pasayadi va jarayon adiabatik kechadi. Eritmaning o‘ta to‘yinish holatiga uni sovitish yo‘li bilan erishiladi, chunki konsentratsiya bunda sezilar - sezilmas o‘zgaradi. Erituvchi eritmaning fizik issiqligi hisobiga hamda kristallanish jarayonida ajralib chiqayotgan issiqlik hisobiga bug‘lanishi mumkin. Eritmaning sovitish va kristallanishi bilan birga bug‘lanishi uning butun hajmida sodir bo‘ladi. Bunday holat qurilma devorlarida kristallar yopishib qolishini kamaytiradi hamda uni tozalash bilan bog‘liq sarflar qisqaradi.

Erituvchining bir qismini issiqlik eltkich yordamida bug‘latib kristallash. Bu usulda erituvchining bir qismi eritma ustida harakatlanayotgan havo yordamida bug‘lanadi va eritma sovutiladi.

Fraksiyali kristallash. Agar eritma tarkibida ajratiladigan moddalar bir nechta bo‘lsa, uni fraksiyali kristallash usulida qayta ishlanadi. Bu usulda eritma temperatura va konsentratsiyasini o‘zgartirish yo‘li bilan kristallar ketma - ket cho‘ktiriladi va ajratib olinadi.

5.51. Kristallizatorlar konstruksiyalari

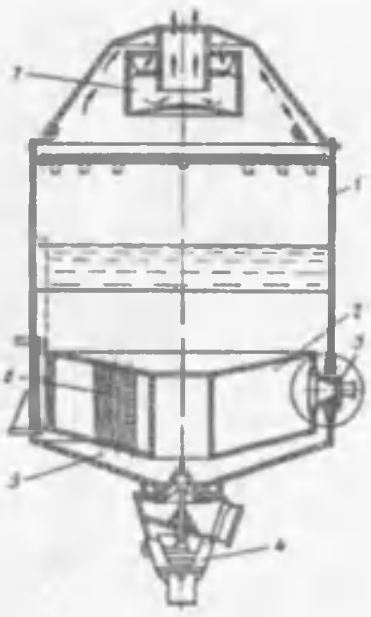
Ishlash prinsipiga qarab kristallizatorlar davriy va uzluksiz qurilmalarga bo‘linadi. Uzluksiz ishlaydigan qurilmalar o‘z navbatida erituvchining bir qismini bug‘latuvchi va eritmani sovutuvchi kristallizatorlarga ajraladi. Undan tashqari, mavhum qaynash qatlamli kristallizatorlar ham bo‘ladi.

Tabiiy sirkulatsiyali, davriy ishlaydigan, osma isituvchi kamerali vakuum kristallizator 5.150-rasmda tasvirlangan.

Isituvchi kamera konussimon teshikli panjara va trubalar o‘ramidan tarkib topgan. Trubalar ushbu panjaraga razvalsovka usulida mahkamlangan.

Isituvchi kameraning o‘qi bo‘ylab sirkulatsion truba joylantirilgan. Qurilma qobig‘i va isituvchi kamera orasida halqasimon bo‘shliq bo‘lib, unda **utfel** sirkulatsiya qiladi. Qurilmada temperaturalar farqi tufayli chiziqli uzayishlar paydo bo‘ladi. Shu sababli, bug‘ni uzatish uchun temperatura deformatsiyalarini kompensatsiya qiluvchi maxsus moslama o‘rnatilgan.

Ushbu moslama isituvchi kamera bilan qattiq birlashtirilgan bo‘lsa, qurilma qobig‘i bilan esa - temperatura ta’sirida hosil bo‘ladigan uzayishlarni bartaraf qiluvchi membrana yordamida birlashtiriladi. Utfel sirkulatsiyasini yaxshilash maqsadida isituvchi kamera ostiga bug‘ yordamida puflash qo‘llaniladi.



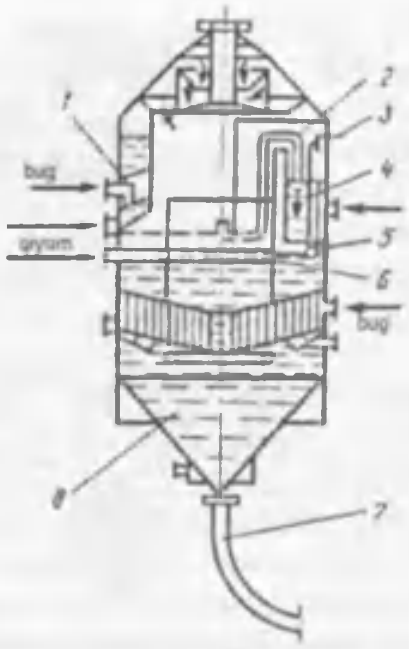
5.150-rasm. Osma isituvchi kamerali vakuum - kristallizator.
1 - qobiq; 2 - isituvchi kamera;
3 – bug‘ni uzatish moslamasi;
4 – sirkulyatsion truba;
5 - konussimon tub;
6 - isituvchi truba;
7 - inersion separator.

Vakuum-kristallizatorlarda qo‘llaniladigan isituvchi kamera konstruksiyalari turlicha bo‘lishi mumkin. Hozirgi kunda eng keng tarqalgan isituvchi kamera konstruksiyasi – bu osma kameralardir. Ularning teshikli panjarasi konussimon, sferik va boshqa murakkab shaklli bo‘lishi mumkin. Isituvchi bug‘ kameraning trubalararo bo‘shlig‘iga, bug‘latilayotgan eritma esa – truba ichiga yuboriladi.

Uzluksiz ishlaydigan kristallizatorlar quyuqlashtirgich, kristall generatori va kristall o‘stirish kamerasidan iborat. Qurilma konstruksiyasi kristallarni devorlarga cho‘kib qolmasligini ta’minlovchi, intensiv sirkulatsiyali bo‘lishi kerak. Undan tashqari, uning issiqlik almashinishi yuqori va bir xil kattalikdagi kristallar olishni ta’minlashi kerak.

5.151-rasmda qand ishlab chiqarish sanoatida qo‘llaniladigan uzluksiz ishlaydigan kristallizator konstruksiyasi keltirilgan. Quyuqlashtirgich va kristall generatorlari halqasimon segment ko‘rinishida yasalgan bo‘lib, isitish yuzalari zarur o‘lchamdagi trubalardan hosil qilingan. Qurilmaning boshqa qismlaridan quyuqlashtirgich ajratilgan va yaxshi zichlangan. Shuning uchun ham, uning ichida boshqa qismlariga bog‘liq bo‘lmagan holda ortiqcha bosim hosil qilish imkoni bor. Kristall generatorining yuqori, ochiq qismi kristall o‘stirish kamerasi utfel usti bo‘shlig‘i bilan bog‘langan. Odatda, kristall o‘stirish kamerasi silindrik ko‘rinishda bo‘lib, silindrik va radial to‘siqlar yordamida 4 ta bo‘limga ajratilgan bo‘ladi.

Turg‘un rejim o‘rnatilgandan so‘ng, qiyom (patoka) quyuqlashtirgich va kristall o‘stirish kamerasiga uzatiladi.



5.151-rasm. Uzluksiz ishlaydigan kristallizator.
1 - quyuqlashtirgich; 2 – truba;
3 - truba holatini rostlovchi g'ildirak (shturval); 4 - kristall generatori;
5 - quyilish trubalari; 6 - barboter;
7 – to'kish moslamasi;
8- kristallar o'stirish kamerasi.

Quyuqlashtirgichdagi yuqori bosimda va kristall hosil bo'lish temperaturasidan 10...15°C yuqori temperaturada qiyom konsentratsiyasi oshiriladi. So'ng esa, quyuqlashtirilgan eritma kristall generatoriga yuboriladi va u yerda qaynaydi. Natijada eritmadagi erituvchining bir qismi bug'lanadi va temperaturasi pasayadi. Bu hol o'ta to'yinish koeffitsiyentining keskin o'sishiga olib keladi. Qiyomning sirkulatsiyasi davrida intensiv ravishda kristallar hosil bo'la boshlaydi. Quyuqlashtirgichdagi qiyomning o'ta qizish kattaligi va kristall generatoriga uzatilayotgan bug' miqdori bilan kristallar tarkibini rostlash mumkin.

Kristall generatorida olingan utfel va qiyom uzluksiz ravishda kristall o'stirish kamerasining birinchi bo'limiga uzatiladi. Utfel esa birinchi bo'limdan to'rtinchisiga oqib o'tadi, qaynatib quyultiriladi va to'kish moslamasi orqali uzluksiz ravishda chiqarib turiladi.

Qurilma ishlashi avtomatik ravishda boshqariladi.

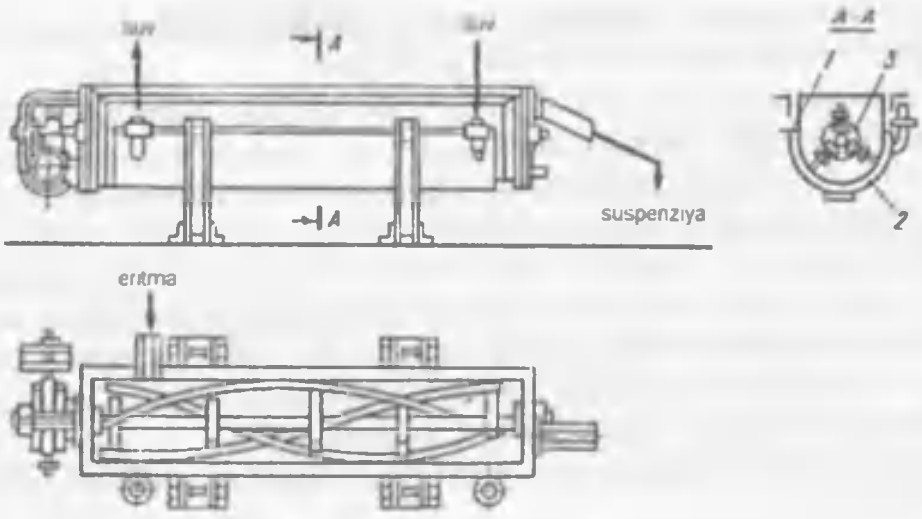
Davriy ishlaydigan kristallizatorlar mexanik aralashtirgichli va zmeyevikli vertikal, silindrik qurilmalardir. Bunday qurilmalarda kristallash jarayoni va eritmani sovitish bir vaqtda olib boriladi.

Lenta aralashtirgichli tog'orasimon tipdagi kristallizator 5.152-rasmda ko'rsatilgan. Ayrim hollarda lentali aralashtirgich o'rniga uzluksiz vint shaklidagi shnekli aralashtirgich o'rnatilishi mumkin.

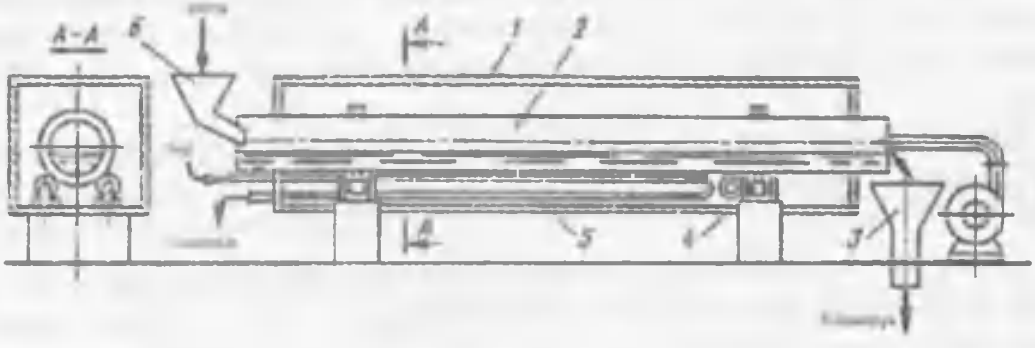
Bu turdagi kristallizatorda olingan kristallar o'lchami 0,5...6 mm dan oshmaydi. Tog'orasimon kristallizatorlar tuzilishi sodda, ekspluatatsiya qilish qulay va ishonchliligi yuqori.

Barabanli kristallizatorlar tarkibida suv yoki havoli sovitish moslamali bo'ladi. Havo yordamida sovutilganda, eritmadan havoga issiqlik berish koeffitsiyenti kichik bo'ladi.

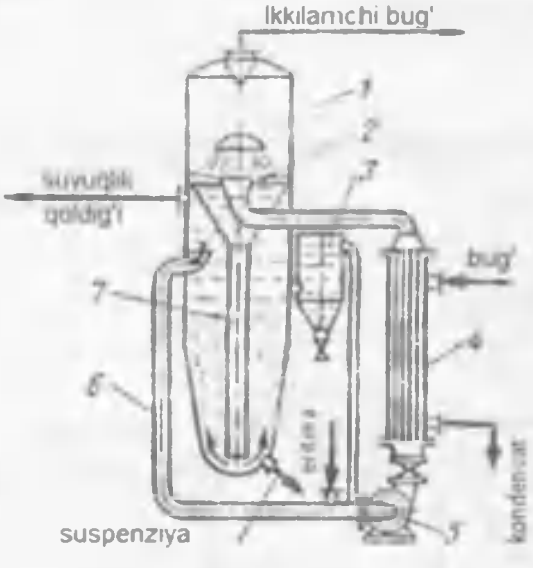
Shuning uchun yirik, katta o'lchamli kristallar hosil bo'ladi. Lekin kristallizator ish unumdorligi, suv bilan sovitish usuliga qaraganda kamroq bo'ladi. Barabanli kristallizator aylanuvchi, silindrik barabandan tashkil topgan. Odatda baraban eritma harakat yo'nalishi bo'ylab, ufq chizig'iga nisbatan ma'lum qiyalik burchagida o'rnatiladi (5.153-rasm).



5.152-rasm. Lenta aralashtirgichli kristallizator.
1 - tog'orasimon qobiq; 2 - suvli g'ilof; 3 - aralashtirgichlar.



5.153-rasm. Barabanli kristallizator.
1 - qobiq: 2 - baraban: 3 - suspenziya; 4 - g'ildirakcha;
5 - zmeyevik; 6 - voronka.



5.154-rasm. Mavhum qaynash qatlamli kristallizator.
1 - qobiq; 2- qaynash trubasi; 3 - yig'gich;
4 -issiqlik almashinish qurilmasi; 5 - nasos;
6 - sirkulatsion truba; 7 - markaziy trubalar.

Eritma barabanning tepa qismiga beriladi va hosil bo'lgan kristallar uning pastki uchidan to'kiladi. Baraban aylanishi paytida uning devorlari eritma bilan ho'llanadi va natijada suvning bug'lanish yuzasi ortadi.

Baraban qobiq ichiga joylashtirilgan bo'lib, ular orasidagi halqasimon bo'shliqqa sovuqlik eltkichlar, ya'ni suv yoki havo yuboriladi. Eritma va sovuqlik eltkich qarama - qarshi yo'nalishda harakatlanadi. 1 m^3 eritmani sovitish uchun taxminan 5 m^3 suv sarflanadi. Qurilma devorlarida kristallar cho'kib yoki yopishib qolish oldini olish maqsadida barabanning pastki qismi qizdirib turiladi. Buning uchun qobiq va baraban orasidagi bo'shliqqa zmeyevik o'rnatiladi.

Mavhum qaynash qatlamli kristallizatorlar kristallash jarayonini intensiv rejimlarda o'tkazish imkoniyatini beradi (5.154-rasm).

Kristallanish jarayoni erituvchining bir qismini bug'latib yo'qotish yoki eritmani sovitish usullarida tashkil etilishi mumkin.

Sirkulatsion trubada boshlang'ich eritma sirkulatsiya qilayotgan kristallari ajratib olingan eritma qoldig'i bilan aralashadi. So'ng, aralashma issiqlik almashinish qurilmasida qizdiriladi, qaynash trubasi orqali qurilmaga o'tadi va u yerda intensiv ravishda qaynab bug' hosil qiladi. Jarayon mobaynida hosil bo'lgan o'ta to'yingan eritma kristallizatorning pastki qismiga tushadi. Bu yerda, eritmaning sirkulatsiyasi hisobiga mavhum qaynash qatlami paydo bo'ladi. Hosil bo'lgan yirik (2 mm gacha) kristallar qurilma tubiga cho'kadi va ular chiqarib yuboriladi.

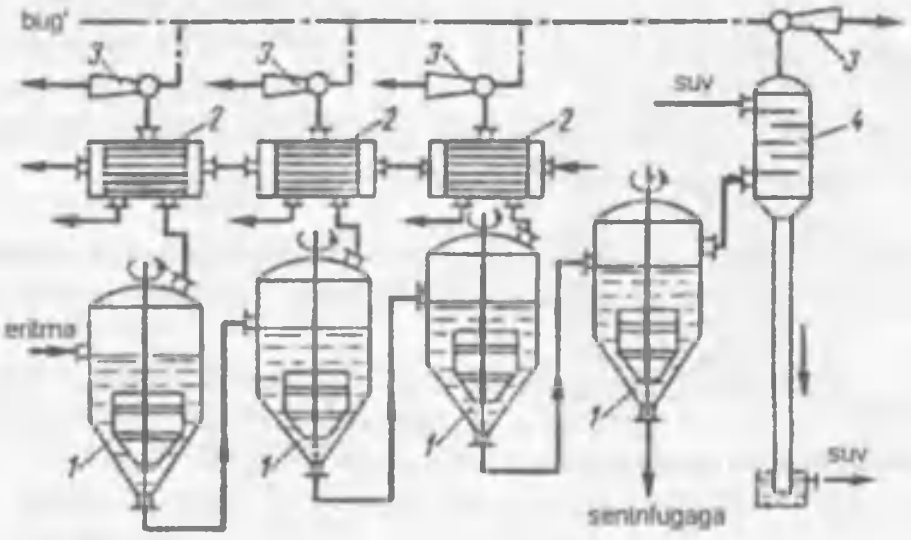
Mayda kristallar esa jarayonda qatnashib, o'sishda davom etadi yoki yig'gich 3 orqali chiqariladi.

Mavhum qaynash qatlamida suspenziyaning intensiv aralashishi tufayli eritmada moddaning diffuziya tezligi ortadi va kristallarning o'sish jarayoni tezlashadi. Bunda, eritmaning o'ta to'yinish darajasi kamayadi va kristallarning o'sish tezligi kristallash markazlari hosil bo'lish tezligiga nisbatan katta bo'ladi. Mavhum qaynash qatlamida kristallash jarayonida boshqa usullarga nisbatan yaxshi granulometrik tarkibli kristallar olinadi.

Ko'p korpusli vakuum – kristallash qurilmasi 5.155-rasmda keltirilgan. Odatda, bunday qurilmalar tarkibida 3...4 ta aralashtirgichli vacuum-kristallizator bo'ladi.

Eritma har bir quyidagi joylashgan korpusdan yuqoridagi korpusga vakuum hisobiga so'rib olinadi. Har bir korpus sirtiy kondensator va bug'-oqimchali nasos bilan ta'minlangan. Oxirgi korpusdagi vakuum, barometrik kondensator yordamida hosil qilinadi. Sirtiy kondensatorlar boshlang'ich eritma yordamida sovutiladi. Suspenziya esa oxirgi korpusdan chiqariladi.

Ko'p korpusli vakuum - kristallizatorlar tuzilishi sodda, iqtisodiy jihatdan samarador va yirik, ko'p tonnajli korxonalarda ishlatiladi.



5.155-rasm. Ko'p korpusli vakuum-kristallash qurilmasi.
1 - vakuum-kristallizatorlar; 2 - sirtiy kondensatorlar;
3 - bug'-oqimchali nasos; 4 - barometrik kondensator.

5.52. Kristallizatorlarni hisoblash

MODDIY BALANS

Eritmadagi erituvchining bir qismini bug'latib kristallash. Jarayonda qatnashayotgan moddalar va oqimlar parametrlarini belgilab olamiz:

– G_b, G_{kr}, G_u – boshlang'ich eritma, olingan kristallar va kristallardan ajratilgan suyuqlik qoldiqlarining massasi, kg;

– W – bug'latilgan erituvchi massasi, kg;

– x_b, x_u – boshlang'ich eritma va kristallari ajratib olingan suyuqlik qoldig'i tarkibidagi erigan modda konsentratsiyalari, massaviy ulushlar;

– $a = M/M_{kr}$ – erigan absolyut quruq modda molekular massasining kristallogidratning molekular massasiga nisbati; suv molekulalarini qo'shmasdan kristallash uchun $M = M_{kr}$, $a = 1$;

– L – quruq gaz sarfi, kg;

– x_1, x_2 – gazning boshlang'ich va jarayon oxiridagi nam saqlashi.

Kristallanish jarayonining umumiy moddiy balansi ushbu formula bilan ifodalanadi:

$$G_b = G_{kr} + G_{ox} + W \tag{5.248}$$

Erigan absolyut quruq modda bo'yicha moddiy balans ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$G_b x_b = G_{kr} a + G_u x_u \tag{5.249}$$

Agar $a=1$ bo'lsa, bug'latilgan erituvchining massasi ushbu formuladan topiladi:

$$W = \frac{G_{kr}}{G_b\left(1 - \frac{x_b}{x_m}\right)} \tag{5.250}$$

(5.248) va (5.250) formulalardan foydalanib hosil bo'lgan kristallar massasini aniqlash mumkin:

$$G_{kr} = \frac{G_b(x_u - x_b) - W \cdot x_u}{x_u - a} \tag{5.251}$$

Eritmadagi erituvchini bug'latmasdan kristallashda $W=0$ bo'ladi. Bu usulda olingan kristallar miqdori:

$$G_{kr} = \frac{G_\delta(x_\delta - x_m)}{a - x_m} \tag{5.252}$$

Agar $a=1$ bo'lsa:

$$G_{kr} = \frac{G_b(x_b - x_m)}{1 - x_m}$$

Erituvchini bug‘ holatiga o‘tkazish uchun sarflangan gaz miqdori ushbu tenglamadan hisoblanadi:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1} \tag{5.253}$$

ISSIQLIK BALANSI.

Eritmadagi erituvchining bir qismini bug‘latib kristallash. Issiqlik balansini tuzish uchun ushbu belgilashlarni kiritamiz:

– D – isituvchi bug‘ sarfi, kg/s;

– i_p, i_{kp}, i_M, i_{em}, i', i'' – eritma, kristall, kristallari ajratib olingan eritma qoldig‘i, ikkilamchi bug‘, isituvchi bug‘ va kondensatlarning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;

– p_{kp} – kristallarning kristallik panjarasi hosil qilish issiqligi, kJ/kg;

– Δq – eritmani x_6 dan x_M gacha konsentrlashning issiqlik effekti.

Eritmani kristallash jarayonida kristallik panjarasi hosil bo‘ladi va ma’lum miqdorda issiqlik (qotib qolish issiqligi) ajralib chiqadi. Moddalarni eritish jarayonida esa, issiqlik sarflar zarur bo‘ladi.

Agar eritilayotgan modda erituvchi bilan kimyoviy reaksiyaga kirishib gidratlar hosil qilsa, unda issiqlik ajralib chiqadi.

Qotish issiqligi va gidratlar hosil bo‘lishiga qarab kristallanishning summar issiqlik effekti musbat yoki manfiy bo‘ladi.

Yuqorida qabul qilingan belgilashlarni hisobga olsak,

– kristallanish issiqligi – $Q_{kr} = Q_{kr} r_{kr}$,

– gidratlash issiqligi esa – $Q_r = \pm \Delta q G_M x_M$.

Issiqlik balansini quyidagi tenglik bilan ifodalash mumkin:

$$G_b i_p + G_{kr} \cdot r_{kr} \pm \Delta q G_M x_M + D i'' = G_{kr} \cdot i_{kr} + G_M \cdot i_M + W i_{BT} + D i' + Q_n \tag{5.254}$$

Bundan, kristallash uchun zarur bo‘lgan bug‘ sarfini aniqlash mumkin:

$$Q = D(i'' - i') = G_{kr} \cdot i_{kr} + G_M \cdot i_M + W i_{BT} + Q_n - G_M \cdot r_{kr} \pm \Delta q G_M x_M \tag{5.255}$$

Eritmani sovitish jarayonidagi sovuq suvning massaviy sarfi:

$$G_{suv} = \frac{Q_{suv}}{G_M c_M (t_{ox} - t_b)} \tag{5.256}$$

Sovuq havoning sarfi esa:

$$L = \frac{Q_{suv}}{i_{ox} - i_h} \tag{5.257}$$

bu yerda, t_b, t_{ox} – suvning boshlang‘ich va oxirgi temperaturalari, °C; i_h, i_{ox} – havoning boshlang‘ich va oxirgi entalpiyalari, kJ/kg.

Kristallizatorlarning isitish va sovitish yuzalari issiqlik almashinish qurilmalarini hisoblash formulalari bo'yicha olib boriladi.

5-bob. Kristallanish bo'yicha

Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Kristallanish jarayonining mohiyati nimada?
2. Kristallanishga teskari jarayon nima deb nomlanadi va uning mohiyati?
3. Polimorfizm nima?
4. Kristallogidrat nima?
5. To'yingan eritma qanday nomlanadi?
6. O'ta to'yingan eritma nima deb ataladi?
7. Kristallanish markazlarining hosil bo'lishi qanday sodir bo'ladi?
8. Kristallarning o'sishi nimaning hisobiga bo'ladi?
9. Qanday kristallanish usullari mavjud?
10. Osma isituvchi kamerali vacuum-kristallizator konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
11. Lenta aralashtirgichli kristallizator konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
12. Barabanli kristallizator konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
13. Mavhum qaynash qatlamli kristallizator konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
14. Ko'p korpusli vacuum-kristallizator konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
15. Kristallizatorlarni hisoblash ketma-ketligi.

6-bob. BIOKIMYOVIY JARAYONLAR

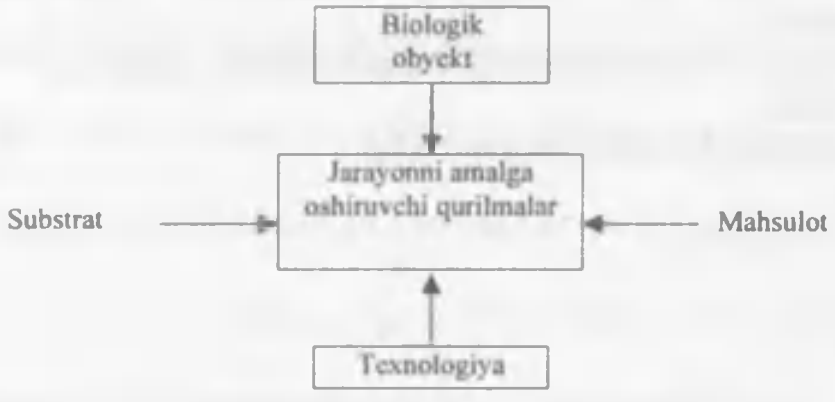
6.1. Umumiy tushunchalar

Mikroorganizmlarning hayot faoliyatiga yo'naltirilgan jarayonlar ***biokimyoviy jarayonlar*** deyiladi. Bu jarayonlar ma'lum tezlikka ega bo'lib, ular mikroorganizmlar biomassasining yoki muhitda to'plangan metabolit mahsulotlar massasining o'sishi bilan xarakterlanadi.

Hozirgi zamonda ko'proq diqqat-e'tibor tirik organizmlarning hayot faoliyatiga suyanib olib boriladigan sanoat jarayonlariga qaratilmoqda va ular **biotexnologik jarayonlar** deb ataladi. Biotexnologiyaning gurkirab rivojlanishi oxirgi 40 yillarga to'g'ri kelib, biologiya fanining yutuqlari, genetika va hujayra injeneriyasi texnologiyalarining ishlanmalarini yuzaga kelishi hamda tabiiy resurslarni kamayishi (yoki qimmatlashishi), an'anaviy texnologiyalarning inqirozga uchrashi bilan bog'liqdir. Biotexnologiyaning rivojlanishi kelajakda iqtisodiy va ekologik manfaatdorlikka olib keladi.

Biotexnologiyaning keng ma'nodagi umumiy tushunchasi deganda texnologik jarayonlarda mikroorganizmlardan, mikrob hujayralari va to'qimalaridan foydalangan holda, biokimyo, molekular biologiya va amaliy fanlarni, integratsiyalagan holda qo'llash tushuniladi.

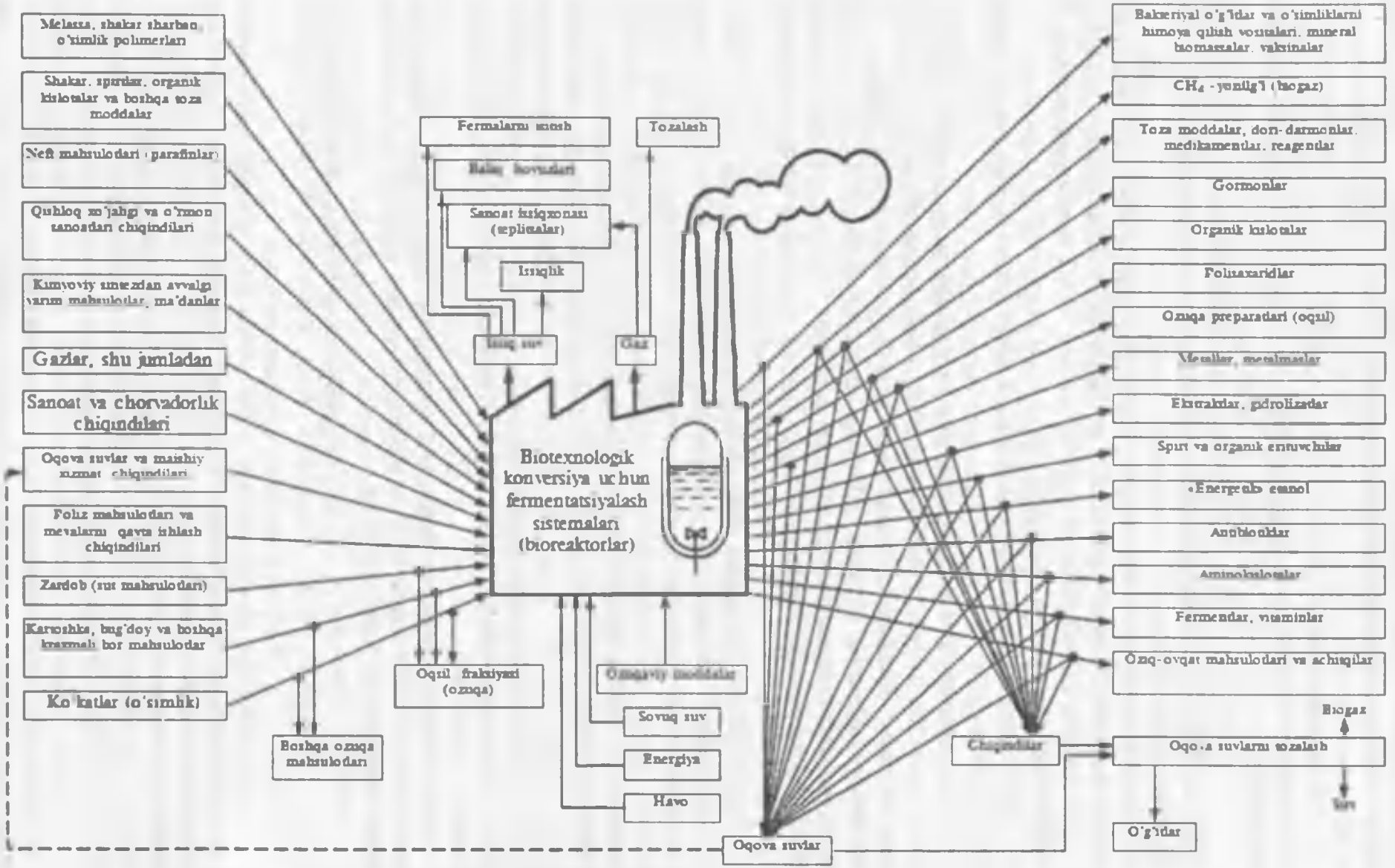
6.1-rasmda an'anaviy biotexnologik tizimni tuzilishi va uning asosiy tarkibiy qismlari keltirilgan.



6.1-rasm. Biotexnologik tizimning asosiy komponentlari.

Biotexnologiyaning bugungi kundagi faol rivojlanayotgan ilmiy yo'nalishi – mikrobiologik biotexnologiyadir yoki uni mikroblar sintezining biotexnologiyasi deb ham yuritiladi. Mikroblar sintezi biotexnologiyasining rivojlanishi birinchidan ayrim mahsulotlarga bo'lgan talab hisoblansa, ikkinchidan jarayonda qo'llaniladigan xomashyoning bisyorligi va to'plangan chiqindilarni utilizatsiya qilishning iqtisodiy samaradorligidir (6.2-rasm).

Mikrobiologik biotexnologiyaning asosiy vazifalaridan biri yuqori tabaqadagi optimal sharoitda mikroorganizm populyatsiyalarini va ko'zlangan maqsadga muvofiq ularni hayot faoliyatini boshqargan holda mahsulot olishni (talab darajasidagi aniqlikda) uslub va tartiblarini nazariy va amaliy jihatdan asoslab berishdan iborat. Qonuniyatlarni



6.2-rasm. Substrat, xomashyo va mahsulotlarning muhim guruhlarini hisobga olgan biokonversiya sxemasi.

o‘rganish asosida olingan natijalar mikrobiologik ishlab chiqarishda, maxsus jihozlar, uskunalar va avtomatlashtirilgan tizimni yaratishda asos bo‘lib xizmat qiladi.

Mikrobiologik sintez jarayonlari quyidagi hollarda qo‘llaniladi:

1. Mikrob biomassasini (achitqilar, tuban suv o‘tlari, oqsil – vitamin kompleksi va h.) olishda.

2. O‘stirish jarayonida mikroorganizmlardan ajraluvchi murakkab tuzilishga ega bo‘lgan biokimyoviy mahsulotlarni olishda (antibiotiklar, vitaminlar, organik kislotalar, fermentlar, spirtlar va h.).

3. Mikroorganizmlar fermentini va ularning komponentlarini qo‘llash orqali o‘zgarish natijasida kimyoviy mahsulotlar olishda (6–aminopenitsillin kislotasi va h.).

4. Keraksiz komponentlardan tozalangan muhit olishda (tozalangan oqava suvlar, paraffinsizlashtirilgan neft va boshqalar).

5. Ma`danlardan metallarni mikrobiologik ishqorlash yo‘li bilan noyob metallar olishda.

Mikroorganizmlarni o‘stirish uchun fermentatsiyalash jarayoni amalga oshiriladi. Jarayon davomida mikroorganizmlar nafas oladi, o‘sadi, ko‘payadi, muhitga gazsimon va suyuq holdagi metabolizm mahsulotlarini ajratadi, natijada muhitda biomassa yoki metabolizm mahsuloti yig‘iladi. Demak, fermentatsiyalash jarayonida muhitda mikroorganizmlar biomassasi va metabolizm mahsuloti to‘planadi. Masalan, achitqilar yoki oqsil-vitamin konsentratlarini olishda jarayon mikroorganizmlar biomassasini to‘plashga qaratiladi.

Antibiotiklar, fermentlar va boshqa moddalar olishda esa, jarayon mikroogranizmlar hujayralarida sintezlangan metobolit mahsulotlarni olishga yo‘naltiriladi. Mikroorganizm hujayralarida metobolit mahsulotlar 2 xil ko‘rinishda uchraydi: ayrim mikroorganizmlarda metobolizm mahsuloti uning hujaylarida sintezlanadi va muhitga ajralib chiqmaydi. Demak, bunday mikroorganizmlardan, ular to‘plagan metabolit mahsulotni olish uchun mikroorganizmlar hujayrasi parchalanib, so‘ngra ajratib olinadi. O‘zga xil mikroorganizmlarda metobolizm mahsulotlari hujaylarida sintezlanib massa almashinish jarayoni hisobiga u o‘sayotgan muhitga chiqadi. Biomassa qancha ko‘paysa, metobolit mahsulot miqdori ham shuncha ko‘p bo‘ladi.

Mikrobiologik sintezdan, odatda juda muhim mahsulotlar olishda foydalaniladi, chunki bunday mahsulotlarni kimyoviy texnologiya usulida olib bo‘lmaydi yoki uning iqtisodiy samaradorligi juda past bo‘ladi.

Jumladan, fermentlarni, bakterial preparatlarni, oqsillarni, antibiotiklarni, va ko‘pgina vitaminlarni ishlab chiqarishda faqat mikrobiologik sintez usulidan foydalaniladi.

Sanoat miqyosida shunday sohalar borki, ularda joriy qilingan texnologiyalar asosan mikroorganizmlar faoliyatiga asoslangan: masalan, oziq-ovqat sanoatidagi bijg‘ish mahsulotlarini ishlab chiqaruvchi korxona (pivo qaynatish, sharobchilik, ozuqaviy spirt ishlab chiqarish, limon, sut va sirka kislotalarini olish, achitqi tayyorlash, qishloq xo‘jalik xomashyosini qayta ishlash va hokazo) lar bunga misol bo‘la oladi. Achitqi ishlab chiqarish juda katta miqdordagi mikroorganizm biomassasini to‘plash orqali amalga oshiriladi. Achitqilar va boshqa organik kislotalarni olishda mikroorganizmlarni nordon muhitda, chuqur fermentatsiyalash usulida olib boriladi. Bunday sharoitda yuqori darajadagi aseptika talab qilinmaydi, chunki ushbu nordon muhitda yot mikroorganizmlarning o‘sishi o‘ta mushkul. Undan tashqari, muhitdagi

qand, spirt va o'zga komponentlarning konsentratsiyasi ham ko'pgina begona mikroorganizmlarning rivojlanishiga to'sqinlik qiladi. Shu bilan birga, sanoatda ko'pincha anaerob mikroorganizmlar ishlatiladi, bu sharoit esa ko'pchilik mikroorganizmlar (aeroblar) uchun noqulay.

Shu sababli, sanoatda katta hajmdagi suyuqliklarni, uskunalarni sterilizatsiyalashga va ularni germetikligini ta'minlash uchun havoni tozalashga hojat qolmaydi.

Lekin bakteriologik preparatlarni va fiziologik faol moddalarni, jumladan, antibiotiklarni, ferment preparatlarni, vitaminlarni, aminokislotalarni, gormonal preparatlarni olishda, ozuqa muhitini ifloslanishlardan muhofaza qilish katta ahamiyatga ega. Shuning uchun, ishchi ozuqa muhiti va fermentatsiya bosqichlarini doimiy nazorat qilish talab etiladi.

Ishchi ozuqa muhiti odatda, havo orqali yot mikroorganizmlar bilan ifloslanadi. U fermentatorga quyilgan vaqtda, fermentatorning germetik ravishda yopilmasligi yoki fermentatorning yaxshi sterilizatsiya qilinmaganligi ham fermentatorda begona mikroorganizmlarning o'sishiga sabab bo'ladi. Shuning uchun fermentatorga va ishchi ozuqa muhitiga juda ehtiyotkorlik bilan yondashish lozim.

Maqsadga muvofiq mahsulot olishda mikroorganizmlarning turlariga katta ahamiyat beriladi. Bir turdagi mikroorganizmlar (maxsus tanlangan mikrob turi) fermentatorda ko'paytiriladi. Agar fermentatorda texnologik jarayon davomida yot mikroorganizmlar o'sa boshlasa, bu uskunalarning yomon sterilizatsiyalanganligi yoki ularning germetikligi buzilganligidan dalolat beradi.

Oqibatda, maqsad asosida o'stirilayotgan mikroorganizm butunlay halok bo'ladi yoki olinayotgan metabolizm mahsuloti keskin kamayib ketadi. Mikroorganizmlarning hayot jarayoni metabolik mahsulotlarni sintezlanishi maxsus qurilmalarda – fermentatorlarda amalga oshiriladi.

Shu sababli bunday jarayonlarni amalga oshirishda aseptikaga katta ahamiyat beriladi: havo maxsus filtrlarda tozalanadi, uskuna va mikroblarni o'stiradigan ozuqa muhiti sterilizatsiyalanadi.

Fermentatorlar 2 xil ish prinsipiga ega: davriy va uzluksiz fermentatorlar. Jarayon tugagach sintezlangan mahsulotni ajratib olish uchun, fermentatorlarning ish prinsipidan qat'i nazar, mikroblar o'stirilgan suyuq muhit filtrlanadi. Filtrlangan suyuqlikka separatorda ishlov beriladi va ekstraksiyalanadi, aralashma bug'latiladi va quritish usullaridan mos bo'lgani tanlanib, quritiladi. Qo'llaniladigan quritish usullari xilma-xildir va ulardan eng keng tarqalgani: purkash, sublimatsiyalash, vakuum ostida va mavhum qaynash qatlamida quritish jarayonlaridir.

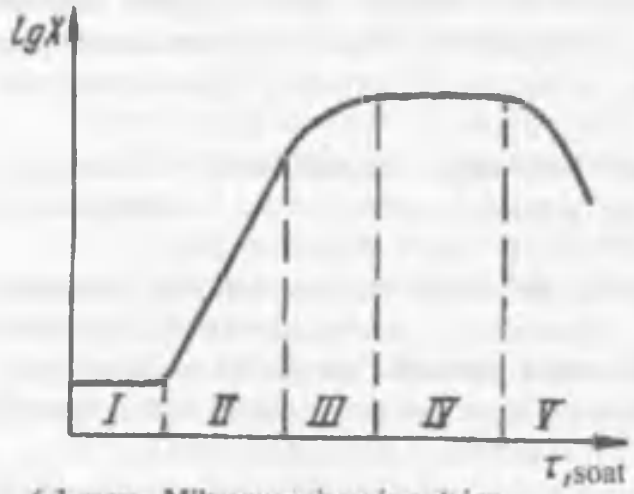
6.2. Fermentatsiya jarayoni kinetikasi

Sanoatdagi qo'llaniladigan ko'pchilik mikroorganizmlar geterotroflardir, ya'ni ular o'zlarining hayot faoliyati uchun uglerodning organik manbalaridan foydalanadilar.

Mikroorganizmlar o'zlarining hayoti jarayonida o'z hujayralaridagi murakkab tuzilmalarni jalb qilgan holda, turli xil vazifalarni amalga oshiradilar.

Hujayra devori, sitoplazmatik membrana, sitoplazma va uning kiritmalari hamda yadrodan iborat.

Hujayra mikroorganizmlarning hayoti davomida ham miqdor, ham sifat o'zgarishlarini o'z boshidan kechiradi: o'sadi, kimyoviy tarkibi, morfologiyasi o'zgaradi, ko'payadi, spora hosil qiladi va nihoyat o'ladi.



6.3-rasm. Mikroorganizmning o'ziga xos o'sish egri chizig'i.

Mikroorganizmlarning o'sishini ko'rsatuvchi an'anaviy egri chiziq 6.3-rasmda keltirilgan. Chizmadagi birinchi faza – lag-faza (logarifmik faza) deyiladi, ya'ni bu fazada hujayralar o'smaydi. Ushbu fazada (I bosqich) ekilgan mikroorganizmlar tashqi muhitga moslashadi va muhitga o'zidan fermentlar ajratadi. Bu fermentlar joriy ozuqaviy muhitda hujayralarni o'sishiga yordam beradi. II bosqich eksponensial faza deb ataladi. Ushbu fazada hujayralar imkoni boricha maksimal yuqori tezlikda ko'paya boshlaydi.

Bu fazaning davomiyligi muhitdagi ozuqa moddalar zaxirasining hajmiga, muhitning aralashib turish darajasiga (kislorodni hujayralarga yetib borishi uchun, mikroblarni o'stirish maxsus tebranuvchi uskunada silkitib turiladi), hujayrani kislorod bilan ta'minlanish tezligiga, ya'ni aeratsiyaning samaradorligiga bog'liq.

Muhitda mikroorganizmlar biomassasining ortishi bilan undagi ozuqa moddalar miqdori kamayadi va massa almashinish jarayonining mahsulotlari to'planadi va kislorodning hujayra bilan massa almashinish jarayoni susayadi. Bu ko'rsatib o'tilgan o'zgarishlar natijasida mikroorganizmlarning o'sish darajasi pasayadi (III bosqich). Jarayon davom etgan sari muhitdagi ozuqa moddalar kamayib, ular o'rnini mikroorganizm metabolitlari (hayot chiqindilari) qoplaydi va oqibatda hayot to'xtaydi. Bu jarayon IV bosqich yoki turg'un faza deb ataladi. V bosqichda mikroorganizmlar soni keskin ravishda pasayadi va u o'lim bosqichi deb nomlanadi.

Mikroorganizmlar ko'payishining kinetikasini bayon qilish uchun umumiy va solishtirma o'sish tezligidan foydalaniladi. Mikroorganizm massasining umumiy o'sish tezligi [kg/(m^3·s)], biomassa dM ning juda cheksiz qisqa vaqt $d\tau$ ga nisbati tushuniladi. Ushbu tezlik biomassa konsentratsiyasiga proporsionaldir.

Mikroorganizm biomassasining o'sish kinetikasini ushbu tenglama yordamida ifodalash mumkin:

$$\frac{dM}{d\tau} = K \cdot M \qquad (6.1)$$

bu yerda, M – biomassa konsentratsiyasi, kg/m^3; τ – jarayon davomiyligi, soat; K – biomassa o'sishining solishtirma tezligi, soat^{-1}.

(6.1) tenglamadan solishtirma tezlikni topish mumkin:

$$K = \frac{1}{M} \cdot \frac{dM}{d\tau} \qquad (6.2)$$

Mikroogranizmlar biomassasining eksponensial fazadagi solishtirma o'sish tezligi doimiy va u shu mikroorganizmni o'stirish jarayonidagi maksimal imkoniyat va sharoitiga tengdir.

Biomassa konsentratsiyasi (6.1) tenglamaga bionoan eksponensial qonun bo'yicha o'sadi:

$$M = M_0 \cdot e^{K\tau} \tag{6.3}$$

bu yerda, M_0 –eksponensial faza boshlanishidagi biomassa konsentratsiyasi, kg/m^3.

(6.3) tenglamasini logarifmlab, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\ln\ M = M_0 + K\tau \tag{6.4}$$

Yarim logarifmik koordinatlarda (6.4) tenglama ma'lum bir qiyalik tangensi burchagi ostidagi to'g'ri chiziq bo'lib, kristall o'sishining solishtirma tezligi K ga proporsionaldir.

Solishtirma o'sish tezligini hisoblash uchun jarayon davomiyligi τ_1 va τ_2 larga mos keladigan ikki nuqta M_1 va M_2 laming qiymatlari aniqlanadi.

Unda

$$K = \frac{1}{\tau_1 - \tau_2} \cdot (\ln M_2 - \ln M_1) \tag{6.5}$$

Biomassa miqdori 2 marta ortishi uchun regeneratsiya davomiyligi τ_r quyidagicha topiladi:

$$\tau_p = \frac{\lg 2}{K} = \frac{0{,}69}{K} \tag{6.6}$$

Mikrobiologik sintez uchun xomashyo sifatida kraxmal-patoka ishlab chiqarishdagi chiqindilar (melassa, gidrol), torf gidrolizati va ozuqa chiqindilari, sut zardobi, makkajo'xori, uni qayta ishlangan neft uglevodorodlari qo'llaniladi.

6.3. Fermentatsiya jarayonida massa almashinish

Aerob mikroorganizmlar o'zlarining rivojlanishi davrida ko'p miqdordagi kislorodni talab qiladi. Bunda kislorod organik substratlarni oksidlab (nordonlab), to'qimalarni energiya bilan ta'minlaydi. Kislorod suvda yomon eriydi va uning suvdagi konsentratsiyasi 8,1 mg/l ni tashkil etadi.

Fermentatsiyalash jarayonni tashkil qilishda mikrob o'stirilayotgan suyuqlikni havo bilan doimiy to'yintirib turish lozimdir.

Suyuqlikni havo bilan to'yintirish mobaynida ikkita jarayon yuz beradi: fermentatsiya sharoitidagi ozuqa suyuqligini to'yintirilgan havo tarkibidan kislorodni yutib olishi (absorbsiyalanish) va muhitda erigan kislorodni mikroorganizmlar tomonidan o'zlashtirishi (ozuqalanishi).

Suyuq faza uchun massa almashinish tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$dM = \beta_c (x_w - x) F d\tau \tag{6.7}$$

bu yerda, M – kislorod konsentratsiyasi, kg; β_c – suyuq fazadagi massani yig'ilish koeffitsiyenti, m/soat; $x_м$ – kislorodning muvozanat konsentratsiyasi, kg/m^3; x – kislorodning suyuq fazadagi ishchi konsentratsiyasi, kg/m^3; F – massa almashinish yuzasi, m^2; τ – jarayon davomiyligi, soat.

Barbotajli qurilmalarda fazalar yuzasini aniqlab bo'lmaganligi tufayli, quyidagicha ifodalaymiz:

$$F = V_м \cdot a$$

bu yerda, $V_м$ – fermentatorning ishchi hajmi, m^3; a – massa almashinishning solishtirma yuzasi, m^2/m^3.

(6.7) tenglamani quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$dM = \beta_c \cdot a(x_м - x) \cdot V_м \cdot d\tau \qquad (6.8)$$

yoki

$$dM = \beta_{cv}(x_м - x) \cdot V_м d\tau \qquad (6.9)$$

bu yerda, β_c – hajmiy massa berish koeffitsiyenti, soat^{-1}; $\beta_{cv}=\beta_c \cdot a$.

Ishlab chiqarishda suyuqlikda erigan kislorodning konsentratsiya miqdori o'lchanmaydi, balki suyuqlik bilan muvozanatda bo'lgan gaz fazasining parsial bosimi aniqlanadi.

Genri qonuniga binoan:

$$x_м = \frac{1}{E} P_{O_2}$$

bu yerda, E – Genri doimiysi, kg/(m^3·Pa); P_{o2} – ozuqa muhitidagi kislorodning parsial bosimi, Pa.

Fermentatsiya muhitidagi mikroorganizmlarning kislorodni o'zlashtirib olish tezligi W_o har qanday vaqtda absorbsiya tezligiga teng deb hisoblasak, unda $x=0$ bo'ladi.

$$W_{O_2} = \beta_{cv} x_м = \beta_{cv} \frac{1}{E} \cdot P_{O2} \qquad (6.10)$$

Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, massa berish koeffitsiyenti suyuq fazadagi muhitning aralashish tezligiga va havo bilan to'yinish sharoitiga bog'liq. Fermentatordan tashqariga chiqariladigan havodagi kislorod konsentratsiyasining miqdori 18...20% ni tashkil etadi.

6.4. Fermentatorlar konstruksiyalari

Laboratoriya sharoitida fermentatorlar tubida olib boriladigan fermentatsiyalash jarayonlarida quyidagi bosqichlarni kuzatish mumkin: ekish materiallarini tayyorlash; ozuqa muhitini tayyorlash va sterilizatsiyalash; inokulatorlarda ekish materiallarini o'stirish.

Ekish materialining miqdori sexdagi fermentatorlarning fizik hajmi bilan belgilanadi.

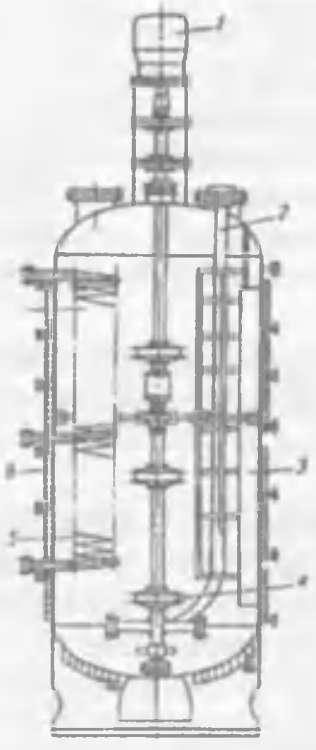
Odatda, ekiladigan material miqdori, fermentatorlar ichidagi ozuqaviy muhitning 5...10% ni tashkil qiladi.

Fermentatorlarga ozuqaviy muhit va ekiladigan materiallarni yuklashdan avval, qurilmalar va boshqa kommunikatsiyalar sterilizatsiyalanadi.

Fermentatorlar ichida ko'pik hosil bo'lishni kamaytirish maqsadida uning ichiga sirtqi faol modda (PAV) qo'shiladi. Fermentatsiya jarayoni aseptik sharoitda 18...24 soat davomida olib boriladi. Jarayon davomida fermentator ichidagi mikrobli suyuqlik, muhitning temperaturasi va *pH* miqdori kuzatib turiladi.

Fermentatsiyalash jarayoni tugagach, fermentator hosil bo'lgan mahsulotdan bo'shatiladi, mahsulot filtr yoki separator yordamida suyuqlikdan ajratiladi va unga ishlov berish uchun keyingi bosqichga yuboriladi.

Fermentatsiyalash jarayonini amalga oshiruvchi asosiy qurilma – bu maxsus fermentator hisoblanadi. Eng keng tarqalgan fermentatorlardan biri, bu mexanik aralashtirgichli va havo yuborishga mo'ljallangan barbotyorli qurilmadir (6.4-rasm).

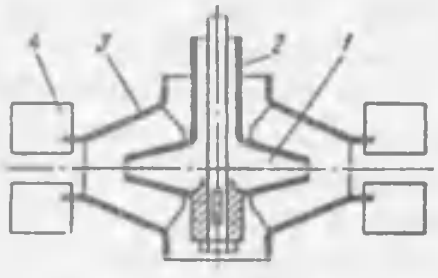


6.4- rasm. Fermentator sxemasi.
1- elektr yuritkich; 2- havo uzatish trubasi; 3- qaytaruvchi to'siq; 4- aralashtirgich; 5- zmeyevik; 6- g'ilof.

Bunday qurilmada fermentlanuvchi suyuqlik, mexanik aralashtirgich va yuborilgan havo yordamida aralashtiriladi.

Aralashtirgichning ishlash davomida fermentatsiyalanuvchi suyuqlik ichida havo qo'shimcha ravishda disperslanadi.

Fermentatorning hajmiga qarab, uning balandligi bo'ylab, uning o'qiga bir nechta aralashtirgichlar o'rnatiladi. Ayrim hollarda to'lqinlarni qaytaruvchi to'siqlar ham o'rnatilishi mumkin. Fermentator ichida zarur bo'lgan temperaturani bir xilda ushlab turish maqsadida, unga issiqlik almashinishni ta'minlovchi g'ilof o'rnatiladi.



6.5-rasm. Havoni o'zi so'rib oluvchi aralashtirgich.
1- havo bo'shlig'i; 2- havo uzatuvchi patrubka; 3- turbina; 4- kurakcha.

Fermentatsiya sharoitidagi temperatura, g'ilof ichiga sovuq suv yuborish yo'li bilan boshqariladi.

Aralashtirgichlarning bir necha xili mavjud bo'lib, ulardan havoni o'zi so'rib oluvchi konstruksiyaga ega bo'lgan aralashtirgichni misol tariqasida keltirish mumkin (6.5-rasm).

Bunday aralashtirgichda bir vaqtning o'zida aralashtirish hamda suyuqlik aeratsiyasini ta'minlovchi havoning uzatilishi amalga oshiriladi.

Aralashtirgichdagi turbina ichida halqali soplo bo‘shlig‘i mavjud bo‘lib, u havo uzatish kanaliga ulangan. Aralashtirgich harakatga kelganda, turbina ichida bosim kamayadi. Natijada, atmosferadagi havo aralashtirgich ichidagi bo‘shliqqa yutiladi va u fermentatsiyalanayotgan suyuqlik ichida dispersiyalanadi.

Fermentatsiyalangan suyuqlikdagi hosil bo‘lgan mahsulotni (antibiotiklar, organik kislotalar va hokazo) ajratib olish, ekstraksiyalash, bug‘latish va quritish jarayonlarini amalga oshirishda kimyo, farmatsevtika va oziq-ovqat sanoatida ishlatiladigan qurilmalardan foydalaniladi.

6.5. Mikrobiologik sintez asosida mahsulot ishlab chiqarishning umumlashgan texnologik sxemasi

Biotexnologik ishlab chiqarish – bu texnologik oqimlari o‘zaro bog‘langan qurilmalar yig‘indisi bo‘lib, unda ozuqaviy muhit va ekish materialini (mikroblarni) tayyorlash, maqsadga muvofiq olinadigan mahsulotning biosintez jarayoni, uni suyuq fazadan ajratish va hokazolar, ya’ni mahsulotni tovar holatda olishgacha bo‘lgan texnologik jarayonlar ma’lum bir ketma-ketlikda amalga oshiriladi. Odatda, ozuqa muhitini tayyorlash deganda, o‘stiriladigan mikroorganizmni ozuqalanishi uchun muhitni uglevodlar, azot, fosfor va boshqa mineral moddalar, vitaminlar bilan boyitish tushuniladi.

6.6-rasmda biotexnologik ishlab chiqarishning yaxlitlangan tarkibiy sxemasi keltirilgan. Bunda davriy, ya’ni uzlukli fermentatsiya jarayonida mahsulot (antibiotiklar, fermentlar, aminokislotalar, o‘simliklarni himoya qilish mikrobiologik vositalar va h) hosil bo‘ladi.

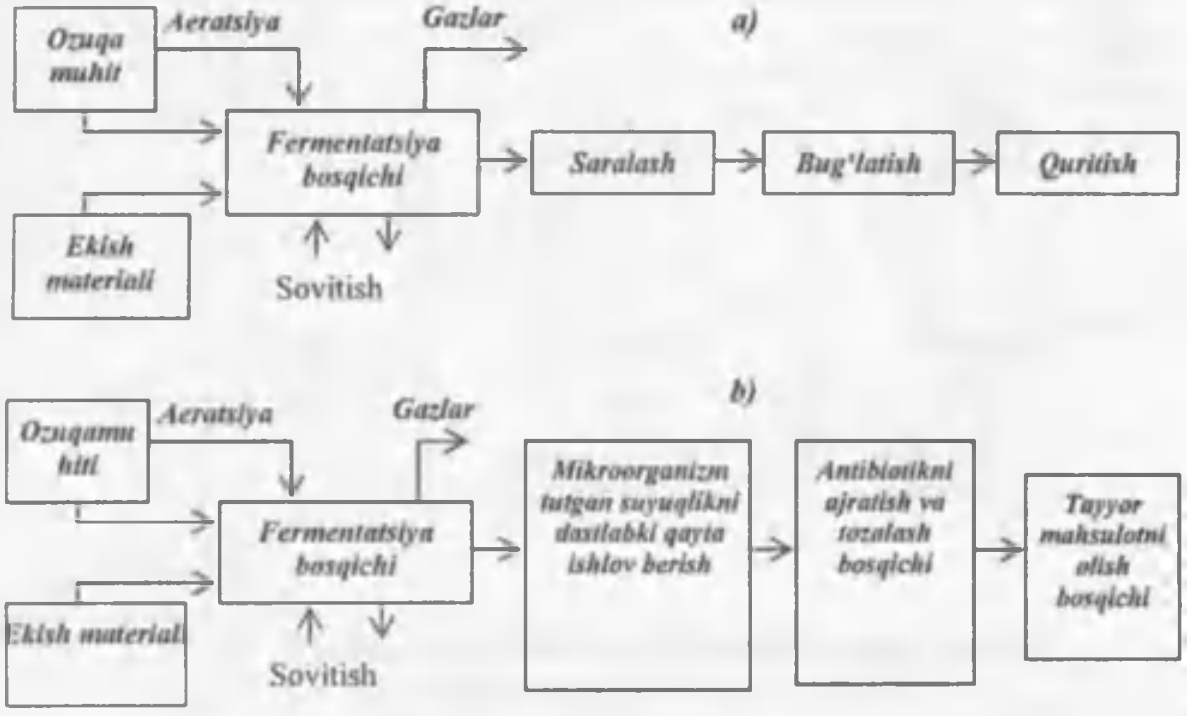
Antibiotiklar ishlab chiqarishning asosiy bosqichlari bo‘lib, quyidagi jarayonlarni hisoblash mumkin: ozuqa muhitini tayyorlash, fermentatsiyalash, ajratib olish, kimyoviy tozalash va quritish. Qishloq xo‘jaligi uchun bakterial preparatlarni ishlab chiqarishda, kimyoviy tozalashdan tashqari qolgan hamma jarayonlar amalga oshiriladi.

Ozuqa muhitini tayyorlash jarayoni zarur komponentlarni ma’lum proporsiyalarda aralashtirib, suv va ishqor ishtirokida qizdirishdan iborat.

Har bir mahsulot beruvchi mikroorganizm uchun ozuqa muhitlarining optimal tarkibi mavjuddir. Lekin biotexnologik ishlab chiqarishdagi davriy fermentatsiyalash jarayonlariga qo‘yiladigan asosiy talab sterillikka rioya qilishdir. Buning uchun ozuqa muhiti maxsus qurilmalarda sterillanadi, unga uzatiladigan havo esa maxsus filtrlarda tozalanadi. Ma’lumki, biosintez jarayoni fermentatorlarda olib borilib, unga uzluksiz aralashtirilgan holda ozuqa muhit, ekish materiali, aeratsiyani ta’minlovchi havo va jarayon ko‘rsatkichlarini mo‘tadil holatda ushlab turish uchun sovutuvchi suv hamda tegishli titrantlar joylanadi. Agar qurilmada ko‘piklar hosil bo‘lsa, unga ko‘pikni bartaraf qiluvchi modda uzatiladi. Olingan mikroorganizm tutgan suyuqlik keyingi qayta ishlash jarayoniga, ya’ni undan maqsaddagi mahsulotni ajratib olish va quyuqlashtirishga uzatiladi. Antibiotiklarni, masalan, penitsilinni ishlab chiqarishda, mikroorganizm tutgan suyuqlik koagulatsiya qilinadi va filtrlanadi. Natijada, tarkibida penitsilin bor tabiiy eritma mitseliydan ajratiladi. So‘ng, tabiiy eritma kimyoviy tozalashga yuboriladi va undan maqsaddagi mahsulot ajratib olinadi va yana tozalanadi. Keyin esa, u quritkichda suvsizlantiriladi va kukun holatiga keltiriladi.

Qishloq xo‘jaligi uchun bakterial preparatlar (masalan, entobakterin, batsitratsin) ishlab chiqarishda mikroorganizm tutgan suyuqlik separator va bug‘latish qurilmalarida

quyuqlashtiriladi, so‘ng esa quritkichda namsizlantiriladi va neytral to‘ldiruvchi (kaolin) bilan standart ko‘rsatkichgacha to‘yintiriladi.



6.6-rasm. O‘simliklarni mikrobiologik himoya qilish vositalari (a) va antibiotiklarni (b) biotexnologik yo‘l bilan ishlab chiqarishning tarkibiy sxemalari.

Shunday qilib, mikrobiologiya va meditsina sanoatlarida maqsaddagi mahsulot mikrobiologik sintez jarayonida, ya’ni fermentatsiya bosqichida, faqat maqsaddagi mahsulotni ajratib olish uchun xizmat qiladi.

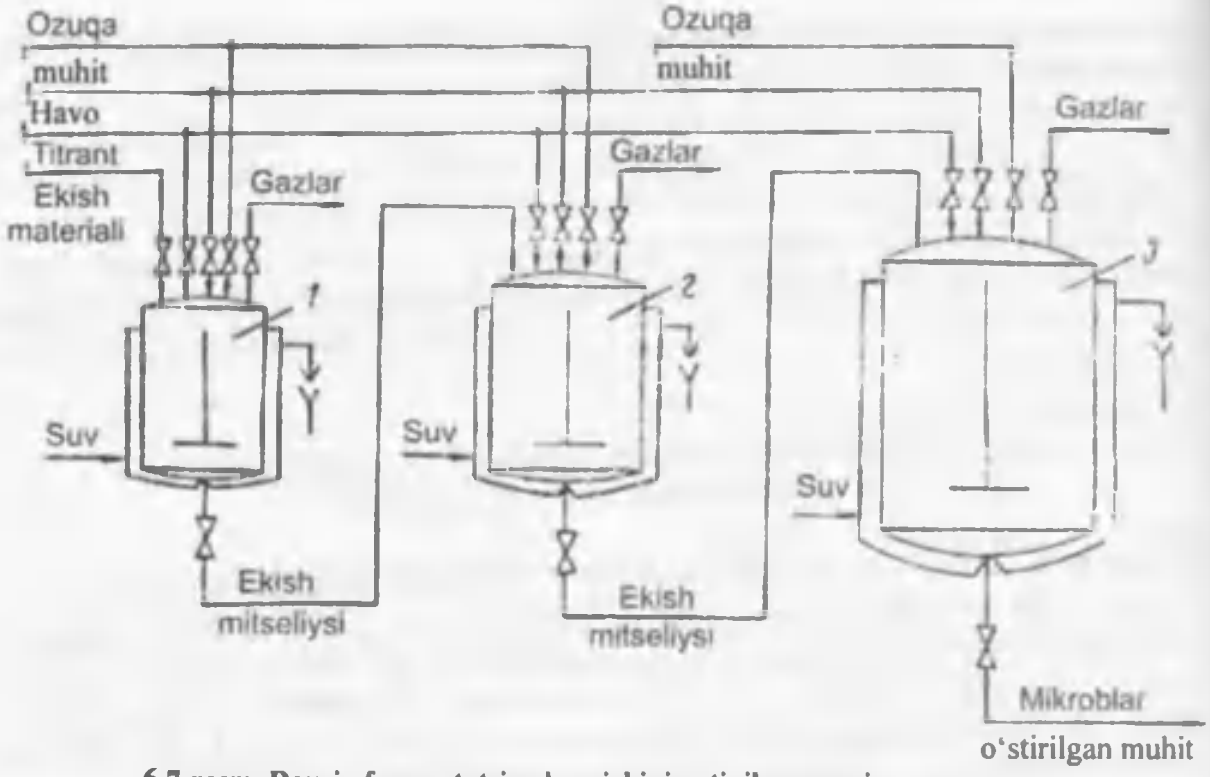
Shuni alohida ta’kidlash kerakki, bu jarayonlar texnologik jihatdan va qurilmalar bilan jihozlanishi bo‘yicha tubdan farq qiladi. Lekin ayrim jarayonlarning murakkabligi va xilma-xilligiga (ozuqa muhitini tayyorlash, maqsaddagi mahsulotni ajratib olish va tozalash, aniq shaklli mahsulot olish) qaramasdan kimyoviy texnologiya sohasi bilan ko‘pgina o‘xshashlikka ega.

Ammo fermentatsiya jarayonlaridagi bosqichlar sanoatning o‘zga biron bir sohasidagi jarayonlar bilan o‘xshashlikka ega bo‘lmagan bosqichlardir. Shu bilan birga, biotexnologik ishlab chiqarishdagi biosintez jarayonlari o‘zga ishlab chiqarishlardagi texnologik maqsad va jarayonni jihozlash bo‘yicha olib boradigan tadbirlar bilan hamohangdir.

6.6. Fermentatsiya jarayonining tavsiflari va texnologik sxemalari

Biotexnologik sxema – bu texnologik oqimlar bilan o‘zaro bog‘langan qurilmalar majmuasi bo‘lib, ularda jarayonlar ma’lum ketma-ketlikda amalga oshadi va biokimyoviy aylanishlar natijasida xomashyodan maqsaddagi mahsulot olinadi.

6.7 - rasmda davriy fermentatsiya jarayonining tipik tarkibiy sxemasi keltirilgan. Ushbu sxemaga binoan 3 bosqichda maqsaddagi mahsulot, ya’ni antibiotik olish mumkin.

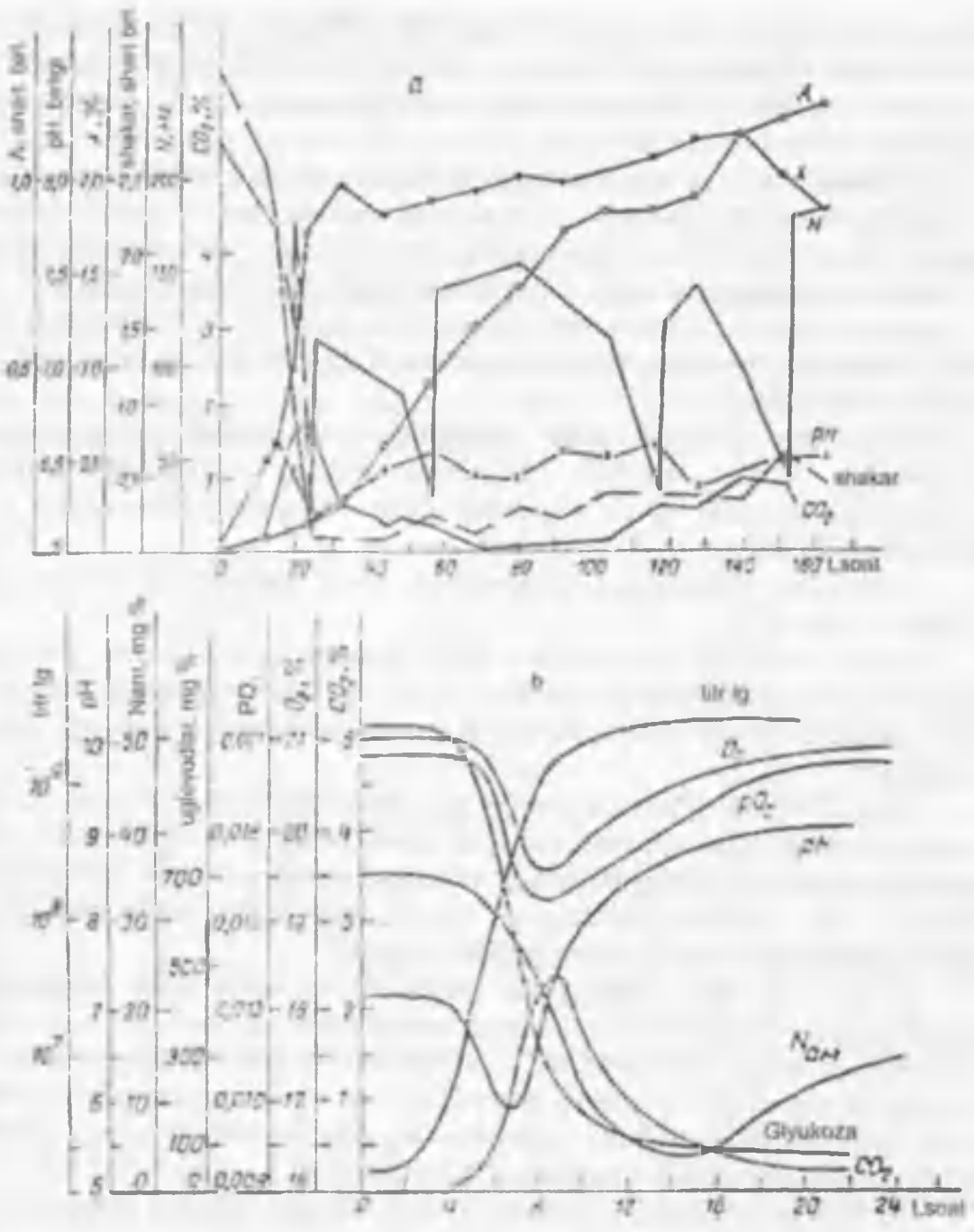


6.7-rasm. Davriy fermentatsiya bosqichining tipik sxemasi.
1-inokulator; 2-o'stirish qurilmasi; 3-fermentator.

O'simliklarni mikrobiologik himoya qilish vositalari va meditsina uchun antibiotiklarni olishda biosintez jarayoni steril sharoitlarda olib boriladi. Buning uchun inokulator 1, o'stirish qurilmasi 2 va fermentator 3 larga uzatilayotgan ozuqa muhiti uzluksiz ishlaydigan sterilizatorda sterillanadi. Qurilmalarga yuboriladigan havo esa maxsus filtrlarda tozalanadi. Inokulator va o'stirish qurilmalarida ketma-ket ravishda mikroorganizmlar tutgan suyuqliklar o'stiriladi. Fermentatorda mikroorganizm biomassasi to'planishi bilan bir vaqtda olinadigan modda biosintezi, ya'ni maqsaddagi mahsulot to'planish jarayoni va ko'pik hosil bo'ladi. Agar qurilmada mikroorganizm tutgan suyuqlikning ko'p qismi ko'pikka aylansa, unda yig'gichga sterillangan ko'pik o'chiruvchi, qo'shimcha ozuqa moddalar va titrantlar eritmasi yuboriladi.

Qurilmalarni sterilizatsiyalash vaqtida va ularda mikroorganizmlar o'stirish jarayonida temperatura va bosim zarur miqdorda ushlab turiladi. Chunonchi, sterilizatsiyalash davrida kerakli temperatura bug' uzatish yo'li bilan, o'stirish davrida esa – qurilma g'ilofi yoki zmeyevikga sovuq suv uzatish orqali boshqariladi va aralashtirgich yordamida intensiv aralashtirib, muhit aeratsiyasi tashkil etiladi. Davriy olingan namunalarning tahlili asosida mikroorganizmlar rivojlanishi, mikrobiologik va biokimyoviy nazoratdan o'tkaziladi.

Antibiotiklar olishda, ekish mitseliysini inokulatorda va ekish qurilmalarida o'stirish uchun makka ekstrakti, bo'r, shakar, natriy, maniy, ammoniy va boshqa komponentlar qo'shilgan ozuqa muhiti ishlatiladi. Ozuqa muhitini sterilizatsiyalash inokulator va ekish qurilmalariga solingach, ularni talab darajasidagi temperaturagacha (mikroorganizmlarni ekish uchun) qurilma g'ilofiga sovuq suv yuborish yo'li bilan moylanadi.



6.8-rasm. Penitsillin (a) va entobakberinni (b) biosintez qilish jarayonidagi asosiy parametrlar dinamikasi.
A – faollik; X – quruq mitseliy og'irligi; N_{aa} – aminli azot.

Ekish mitseliysini o'sishi va moddani sintezlanishi 26±1^{0}C temperaturada va qurilmada bir oz ortiqcha bosim yaratgan holda olib boriladi. Ekish mitseliysini o'stirish 50...70 soat oralig'ida olib boriladi.

Inokulatorda yetishtirilgan mitseliy, fermentatordagi ozuqa muhitida o'stirish uchun ekish materiali bo'lib xizmat qiladi.

O'stirish qurilmasidagi ozuqa muhitining temperaturasi pasayishi bilan inokulatordagi mitseliy oradagi bosimlarning farqi hisobiga avtomatik ravishda o'stirish qurilmasiga ko'chadi.

Penitsilinning biosintezi 50...65 m^3 hajmdagi fermentatorlarda amalga oshadi. Fermentatordagi ozuqaviy muhit tarkibi, inokulatorda ekish mitseliysi uchun yaratilgan

ozuqa muhiti tarkibidan farq qiladi. Odatda, fermentatordagi muhitga qo'shimcha holda glyukoza, fenil sirka kislota (FUK) si va boshqalar qo'shiladi. Qurilmadagi ozuqa muhiti qo'shimcha ravishda g'ilofga sovuq suv yuborish orqali 26 ± 1^0C temperaturagacha sovutiladi.

Fermentatordagi ozuqa muhitiga ekiladigan material inokulatorda o'stirilgan mitseliydir. Yuqorida aytilgandek, fermentatordagi temperatura kerakli darajagacha pasayishi bilan mitseliy ekish qurilmasidan fermentatorga o'tadi. Mitseliy qurilmada ma'lum vaqt o'stirilgach, muhitga qo'shimcha ravishda ozuqa muhiti quyiladi.

Antibiotik moddasini fermentatordagi biosintez jarayonini tezlatish uchun muhitga o'sish jarayonining ma'lum vaqtlarida, eritma ko'rinishidagi fenilatsetamid davriy ravishda qo'shib turiladi.

Penitsillinni biosintez qilish jarayonining tugaganligi, ozuqa muhitidagi moddalarning tamom bo'lishi va fermentatordagi suyuqlikda antibiotiklar ko'payishining to'xtashi bilan belgilanadi. Fermentatsiyalash jarayonining o'rtacha davomiyligi 150 soat.

Penitsillinni biosintezlash jarayonining asosiy parametrlari dinamikasi 6.8-rasmda keltirilgan.

Odatda antibiotiklarni biosintez qilish jarayoni – ikki fazada boradi [133]. Birinchi fazada, asosiy mahsulot miqdori oz bo'lib, mikroorganizmlar soni juda tez ortadi. Ikkinchi fazada esa – biomassa ortishi sekinlashib, antibiotik biosintezi jadallashadi.

Ikkinchi faza mikroorganizmlarning hayot faoliyati natijasida to'plangan moddalar bilan boyigan mikrobli suyuqlik ichida boradi. Suyuqlik tarkibi ozuqaviy jihatdan juda kambag'allashgan bo'lib, unda qisman uglevodlar va noorganik fosfor uchraydi. Ushbu fazaning boshlang'ich davrida mitseliyning antibiotikni sintezlash xususiyati maksimal darajada yuqori bo'ladi.

Ikkala faza o'zaro biokimyoviy jarayonlarning tezligi bilan farqlanadi. Shu farqlarni nazarda tutgan holda, bu fazalarga mos sharoitlar tanlanadi. Biosintez sharoitini ta'minlashdagi asosiy shartlardan biri – antibiotikni sintezlovchi mikrob uchun ozuqa manbasini ta'minlash, ya'ni uglerod, azot va fosfor moddalari tutgan muhitni yaratishdir. Odatda uglerod manbai sifatida uglevodlardan, azot manbai sifatida – o'simlik va hayvon mahsulotlari asosidagi moddalardan foydalaniladi.

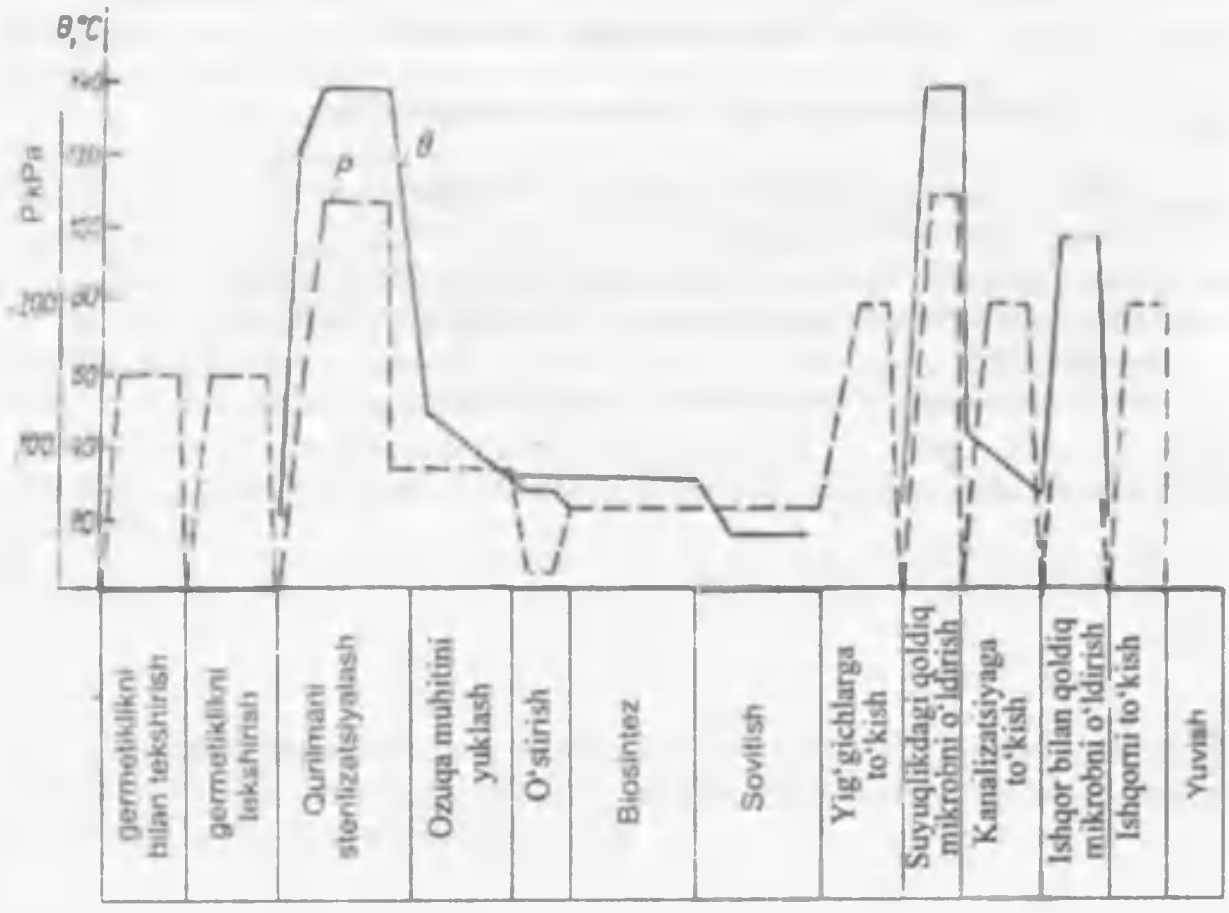
Hozircha mikroorganizm holatini birinchi fazadan ikkinchi fazaga o'tishidagi qonuniyatlari to'liq o'rganilmagan. Ammo shu narsa ma'lumki, antibiotiklarni maksimal sintezlanishi va to'planishi uchun muhitdagi ayrim komponentlar konsentratsiyasini bir me'yorda ushlab turish kerak. Shu bilan birga, bu komponentlar mikroblar biomassasini ortib ketishini chegaralash yoki ingibitorlik, ya'ni to'xtatish xususiyatiga ega bo'lishi kerak. Masalan, muhitga glukoza solinsa, penitsilinning sintezlanishi muhitda glukozaning to'liq yo'qolganidan so'ng, ya'ni mikroorganizmlar tomonidan uni butunlay o'zlashtirilgandan so'nggina boshlanadi yoki oksitetrasiklin biosintezini tezlatish uchun undagi sintezlovchi mikrob ko'payishini muhitga noorganik fosfor qo'shish orqali chegaralash mumkin. Ayrim hollarda esa, mikroorganizmni maqsaddagi moddani sintezlashi uchun muhitga shu moddaning o'zidan qisman qo'shiladi, masalan, penitsilinni sintezlanishi uchun ozuqa muhitiga qisman penitsillin qo'shiladi [133].

Fermentatsiya jarayonini normal tashkil etish uchun muhitda ma'lum konsentratsiyada vodorod ionlari bo'lishi kerak.

Ushbu konsentratsiya tegishli titrantlarni yuborish yo‘li bilan ushlab turiladi. Undan tashqari, mikroorganizmlarni kislorodga bo‘lgan ehtiyojini qondirish va jarayonni optimal temperaturada olib borish ham maqsadga muvofiqdir.

Asosiy mahsulotni ikkilamchi metabolizm natijasida biosintez qilishning dinamik jarayoniga entobakterinni biosintezlanish jarayoni misol bo‘la oladi. Odatda, jarayon davomiyligi 30...35 soat bo‘lib, fermentatsiya jarayonining quyidagi shartlari bajarilganda amalga oshadi: qurilmadagi temperatura – 28...30°C; aralashtirgich yordamida uzluksiz aralashtirish; havoning sarfi – 25...45 m^3/soat; fermentatordagi bosim – 0,04...0,05 MPa.

Fermentatorda mikroorganizmni yetishtirish jarayonida ko‘p miqdorda ko‘pik hosil bo‘ladi. Aralashtirgichning uzluksiz ishlashini va mikroorganizmlarning normal rivojlanishini ta’minlash uchun ko‘pik hosil bo‘lishini bartaraf etuvchi, sterillangan ko‘pik o‘chirgich uzatiladi.



6.9-rasm. Texnologik jarayonlarni olib borishda entobakterin ishlab chiqarish qurilmasida temperatura va bosimning o‘zgarishi.

6.8b-rasmda entobakterinni Bac. Thuringiensis var.gal biosintez qilishdagi muhitning fizik, fizik-kimyoviy, biokimyoviy va mikrobiologik parametrlarini o‘zgarish dinamikasi keltirilgan.

Mikroorganizmni ko‘paytirish jarayonida uning hujayrasida mikroorganizmlarni davriy ortishiga oid bo‘lgan barcha fiziologik rivojlanish fazalari amalga oshadi.

6.8b-rasmdan ko‘rinib turibdiki, lag-fazada muhitning hamma parametrlari, umuman olganda, o‘zgarmaydi. Eksponensial o‘sish fazasiga o‘tish davrida

mikroorganizm tutgan suyuqlikning pO_2, pH, eH kattaliklarning kamayishi hamda chiqib ketayotgan gazlarda O_2 pasayishi va CO_2 ortishi namoyon bo'ladi.

6.9-rasmda entobakterinni olish qurilmasidagi bosim va temperaturani tegishli o'zgarishlari ko'rsatilgan.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, turli sanoatlarning fermentatsiyalash bo'limlari bir-biridan, qo'llaniladigan texnologik qurilmalarining turi va soni bilan ajralib turadi. Lekin boshqarish funksiyalarining o'xshashligi tufayli, ulardagi nazorat va rostlash parametrlari bir xil bo'ladi.

Odatda, temperatura, bosim, konsentratsiya, sarf, sath va boshqa an'anaviy parametrlarni nazorat qilish bilan birga pH, erigan O_2 va CO_2, parsial bosimlar avtomatik ravishda nazorat qilinishi lozim.

6-bob. Biokimyoviy jarayonlar bo'yicha

Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Qanday jarayonlar biokimyoviy jarayonlar deb ataladi?
2. Biotexnologik tizimning qanday komponentlari bor?
3. Fermentatsiya jarayonidagi massa almashinish formulasini yozing.
4. Fermentator konstruksiyasini chizing, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
5. Davriy fermentatsiya bosqichining sxemasini chizing.

7-bob. MEXANIK JARAYONLAR

Qattiq materiallarni maydalash va klassifikatsiyalash

7.1. Umumiy tushunchalar

Mexanik jarayonlarga materiallarni maydalash, uzatish, aralashtirish, presslash granullash va klassifikatsiyalashlar kiradi. Bu jarayonda materialning fizik-kimyoviy xarakteristikalari o'zgarmaydi, ammo ularning shakli o'zgaradi.

Bu jarayonlarning tezligi qattiq jismlarning mexanika qonuniyatlari bilan ifodalanadi va ularning harakatga keltiruvchi kuchi mexanik kuchlar ta'siridir.

Maydalash – bu qattiq jism bo'laklarini kerakli o'lchamlarga keltirish, parchalash va yuzasini oshirishdir. Maydalash jarayoni qattiq jismning mayda zarrachalar (atom va molekulalar) o'zaro tortishish kuchlarini yengadigan tashqi kuchlar ta'sirida o'tadi. Maydalash natijasida ishlov berilayotgan jism yuzasi sezilarli darajada ko'payadi, ko'p jarayonlar, shu jumladan eritish, kuydirish kabi katta yuza talab qiladigan jarayonlar tezligi ortadi. Maydalash kon-metallurgiya, kimyo, oziq-ovqat, qurilish va sanoatning boshqa tarmoqlarida keng qo'llaniladi.

Hozirgi paytda qattiq jismlarni maydalash uchun har xil turdagi mashinalar qo'llaniladi. Katta hajmli (<2 m^3) palaxsalarni maydalaydigan jag'li maydalagichlardan boshlab, to zarracha o'lchamini 0,1 mkm gacha maydalaydigan kolloid tegirmonlar texnologik jarayonlarda ishlatiladi.

Maydalash jarayoni qattiq jismning boshlang'ich va oxirgi o'lchamiga qarab yanchish va tortishga bo'linadi. Yanchish va tortish jarayonlari maydalash darajasi bilan xarakterlanadi.

$$i = \frac{D}{d} \tag{7.1}$$

Maydalash darajasi jismning boshlang'ich o'rtacha diametri ***D*** ning maydalangan zarrachalar o'rtacha diametri ***d*** ga nisbati bilan ifodalanadi. Hajmiy maydalash darajasi esa ularning hajmlari nisbati bilan aniqlanadi:

$$i = \frac{V_{ox}}{V_b} \qquad \text{yoki} \qquad i = \frac{F_{ox}}{F_b}. \tag{7.2}$$

Berilgan modda bo'laklari va yanchilgan zarrachalar to'g'ri shaklga ega bo'lmaydi. Shuning uchun, amalda ularning o'lchamlari elakli tahlil orqali aniqlanadi, ya'ni zarracha o'lchami u o'tgan elak teshiklari o'lchamiga teng deb olinadi.

Maydalash jarayoni bir yoki bir necha bosqichda olib boriladi. Har bir maydalagich, uning ishchi organi shakliga ko'ra, cheklangan maydalash darajasini ta'minlaydi. Maydalash darajasi 1-3...5 dan (jag'li maydalagichda) 1>100 - tegirmonlarda o'zgarishi mumkin.

Noto'g'ri geometrik shaklli jismning chiziqli o'lchami o'rtacha geometrik qiymat sifatida hisoblanishi mumkin:

$$d = \sqrt[3]{l\,b\,h}$$

bu yerda, l, b, h — jismning uch perpendikular yo'nalishi bo'yicha maksimal o'lchamlari.

Material bo'laklarining o'rtacha o'lchamlarini hisoblash uchun elaklar yordamida bir necha fraksiyaga ajratiladi. Har bir fraksiyada bo'laklar maksimal d_{max} va minimal d_{min} o'lchamlar yarim yig'indisining o'rtacha miqdori topiladi:

$$d_{o'r} = \frac{d_{max} + d_{min}}{2}$$

Maksimal bo'laklar o'lchami, ular o'tgan teshik diametriga, minimal bo'laklarni esa – elak ushlab qolgan teshiklarining diametriga teng deb hisoblanadi.

Sochiluvchan material aralashmasining o'rtacha o'lchami ushbu tenglama yordamida aniqlanadi:

$$d = \frac{d_{o'r1}a_1 + d_{o'r2}a_2 + \ldots + d_{o'rn}a_n}{a_1 + a_2 + \ldots + a_n}$$

bu yerda, a_1, a_2, a ... a_n – har bir fraksiya miqdori,%; $d_{o'r1}$, $d_{o'r2}$ ...,$d_{o'rn}$ – har bir fraksiya bo'lakchalarining o'rtacha o'lchami.

Odatda sanoatda yuqori maydalash darajasi talab etiladi. Ko'pincha qayta ishlanadigan xomashyo bo'laklarining o'lchamlari 1,5...2,0 m gacha bo'ladi, ammo texnologik jarayonlarda qo'llaniladigan material zarrachalari mikrometrning bir necha ulushini tashkil etadi. Bunday o'ta mayin maydalash bir necha bosqichda erishiladi, chunki bitta maydalagichda yuqorida aytilgan natijaga erishib bo'lmaydi.

Xomashyoning eng yirik bo'laklari va maydalangan zarracha o'lchamlariga qarab maydalash quyidagi turlarga bo'linadi (7-1 jadval):

7-1 jadval

Qattiq jismlarni maydalash usullari

Maydalash turi	Materialning dastlabki o'lchamlari, D, mm	Materialning maydalashdan keyingi o'lchamlari, d, mm	Maydalash darajasi, i
Yirik maydalash	1500...300	300...100	2...6
O'rtacha maydalash	300...100	50...10	5...10
Mayda yanchish	50...10	10...2	10...50
Mayin yanchish	10...2	2...0,075	~...100
O'ta mayin yanchish	10...0,075	0,075...0,001	-

7.2. Sochiluvchan materiallar mexanikasining asoslari

Dispersion tarkib – sochiluvchan material polidispers sistema bo'lib, uning dispersligini baholash uchun zarrachalarning quyidagi xarakteristikalaridan foydalaniladi:

δ_{max} – maksimal o'lcham; δ_{min} – minimal o'lcham; $\delta_{o'r}$ – o'rtacha o'lcham.

Yuzaning solishtirma maydoni – F_s (m^2/m^3):

$$F_s = \frac{G \cdot n}{\rho \cdot L} \qquad (7.3)$$

bu yerda, L – chiziqli o'lcham; ρ – zarracha zichligi; shar shakli uchun $n=1$.

Maydalangan materialning dispersion tarkibini Rozin-Rommler formulasi yordamida aniqlash mumkin.

$$R = \exp\left(-b \cdot \delta^n\right) \tag{7.4}$$

bu yerda, b, n – konstantalar.

Agar zarrachalar o'lchami turlicha bo'lsa, material bir necha fraksiyalarga elab ajratiladi. So'ng, har bir fraksiya uchun zarracha o'lchami L_i, fraksiyalarning massaviy ulushlari x_i larni aniqlab, F_c ni hisoblash mumkin:

$$F_c = \frac{G}{\rho} \sum \frac{n_i x_i}{L_i} \tag{7.5}$$

Sochiluvchan materiallarning «to'kma» zichligi ρ_T – jism massasining u egallab turgan hajm nisbatiga aytiladi. «To'kma» zichlik ρ_T va material zichligi ρ orasida quyidagi bog'liqlik bor:

$$\rho_T = \rho_u(1-\varepsilon) \tag{7.6}$$

bu yerda ε – material qatlamining g'ovakliligi.

Nam materialning «to'kma» zichligi esa ushbu ifoda yordamida topiladi:

$$\rho_T = \rho_u(1-\varepsilon)\cdot(1+u)$$

bu yerda, $u = M_{nam}/abs.quruq.$

Tabiiy qiyalik burchagi φ_{tq} – sochiluvchan material tekis yuzaga to'kilishi natijasida hosil bo'lgan konus chizig'i va uning asosi orasidagi burchak. Odatda, φ_e ning son qiymati 30...40° oralig'ida bo'ladi.

Qatlam g'ovakliligi ε – bu qatlam zarrachalari orasidagi bo'sh hajmni ifodalovchi parametr:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_T}{\rho_{kj}} \tag{7.7}$$

bu yerda, ρ_{kj} – qattiq jism zichligi, kg/m^3.

Ekvivalent diametr – d_e:

$$d_e = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot m}{\pi \cdot \rho}} \tag{7.8}$$

Siqish va sinish paytidagi mustahkamlik – kuchlanish (Pa·10^{-5}) orqali topiladi.

1. Past mexanik mustahkamlik	> 100
2. Juda yumshoq	- 100...500
3. Yumshoq	- 500...1000
4. O'rtacha	- 1000...1500
5. Mustahkam	-1500...1800
6. O'ta mustahkam	>1800

Qattiqlik – nafaqat maydalanish darajasi i ga, balki maydalash mashinalar ishchi

detallarining yedirilishiga ta'sir ko'rsatadi. Yedirilish 10 balli Moor shkalasi yordamida baholanadi.

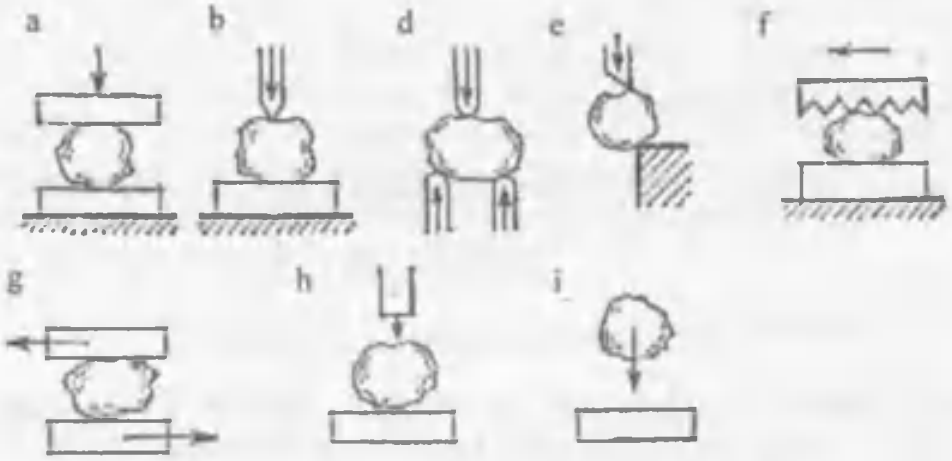
Mo'rtlik. Jism mo'rtligi plastik deformatsiyasiz, mexanik kuch ta'siri ostida buzilish qobiliyati orqali aniqlanadi. Odatda mo'rtlik temperaturaga bog'liq. Jism bo'lagining o'lchami qanchalik kichik bo'lsa, uning mustahkamligi shunchalik yuqori bo'ladi.

7.3 Maydalash usullari

Turli sanoat korxonalarida qo'llaniladigan maydalash usullari 7.1-rasmda keltirilgan.

Odatda, qattiq jismlarni maydalash uchun ko'pincha ezish, yorish, siqiq va erkin zarba berish usullaridan keng ko'lamda foydalaniladi.

Lekin sof holda hech qaysi usul sanoatda uchramaydi. Masalan, ezish, yorish, zarba bilan maydalash ketidan keladigan jarayon bu yeyilish yoki yedirilishdir. Yeyilish jarayonida ko'pincha chang hosil bo'ladi va materialning o'ta maydalanish kabi zararli



7.1-rasm. Maydalash usullari.
a - ezish; b - yorish; d - sindirish; e - qirqish; f - arralash;
g - yeyilish; h - siqiq zarba: i - erkin zarba.

hollar ham uchraydi.

Shuning uchun, maydalash usulini tanlash material bo'laklarining kattaligi va mustahkamligiga bog'liq.

Mustahkam va mo'rt materiallar ezish va zarba, mustahkam va egiluvchanlari - ezish, o'rtacha mustahkam, egiluvchan materiallar - zarba, yeyilish yoki yorish usulida maydalanadi.

Maydalash bir yoki bir necha usullarda, ochiq va yopiq sikllarda amalga oshiriladi. Undan tashqari, maydalash jarayonini quruq yoki nam usullarda ham o'tkazsa bo'ladi.

Ayrim hollarda, material xususiyatlariga qarab: ultratovush, gidravlik zarba to'lqini, yuqori va past temperaturalarni tez almashtirish, elektrogidravlik zarba, bosimni tezda o'zgartirish, yuqori temperaturada qizdirish usullarini ham qo'llasa bo'ladi.

Maydalash jarayonlarida katta miqdorda energiya sarflanadi. Energiya sarfi mavjud maydalash nazariyalari asosida topilishi mumkin.

Yuza nazariyasiga binoan, maydalash jarayonidagi ish, materialni parchalanish yuzasi bo'yicha molekulalar tortishish kuchini yengishga sarflanadi. Ushbu nazariyaga ko'ra, maydalash uchun zarur ish, maydalanish natijasida yangi hosil bo'layotgan yuzalarga proporsionaldir.

Hajmiy nazariyaga binoan, maydalash jarayonidagi ish material deformatsiyasiga, ya'ni eng yuksak parchalanish deformatsiyasiga yetkazish uchun sarf bo'ladi.

Maydalash jarayonida tashqi kuchlar ta'sirida bajarilgan hamma ish A Rittinger tenglamasi orqali aniqlanadi:

$$A = A_D + A_{yu} = K_1 \Delta V + K_2 \cdot \Delta F \qquad (7.9)$$

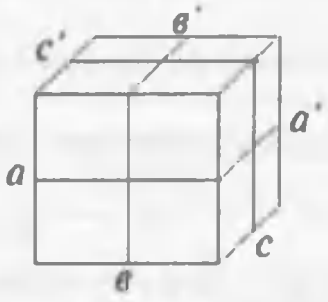
bu yerda, A_D – parchalanayotgan bo'lak hajmining deformatsiyasiga sarflanayotgan ish, J; A_{yu} – yangi yuza hosil qilish uchun sarflanagan ish, J; K_1 – jismning hajm birligini deformatsiya qilish uchun sarf bo'lgan ishga teng proporsionallik koeffitsiyenti; K_2–yangi yuza hosil qilish uchun sarflangan ishga teng proporsionallik koeffitsiyenti; ΔV – parchalanayotgan jism hajmining o'zgarishi; ΔF– yangi hosil bo'lgan yuza.

Rittinger maydalash gipotezasiga binoan, ish maydalash paytidagi hosil bo'lgan yuza qiymatiga to'g'ri proporsionaldir.

Maydalash darajasi katta maydalash jarayonida jism bo'lagi deformatsiyasiga sarflanayotgan ishni hisobga olmasa bo'ladi. Unda $\Delta F \sim D^2$ ekanligini nazarda tutib, ushbu formulani olamiz:

$$A = K_2 \cdot \Delta F = K_2^1 \cdot D^2 \qquad (7.10)$$

bu yerda, D – jism bo'lagining o'lchami; K_2^1 – proporsionallik koeffitsiyenti.



7.2-rasm. Kubni maydalashga oid.

Rittinger nazariyasi quyidagi holatlardan kelib chiqadi: masalan, kub qirrasining uzunligi n, maydalangandan so'ng esa $1/n$ bo'ladi.

Maydalash jarayonini tashqi kuchlar ta'sirida jism qirralarga parallel tekisliklar bo'ylab parchalanadi deb qarash mumkin.

Agar parchalanish aa', $вв'$ va cc' tekisliklar bo'yicha parchalansa, unda 8 ta $n/2$ uzunlikka ega qirrali yangi kublar hosil bo'ladi (7.2-rasm).

Agar $n/3$ bo'lsa 27 ta, $n/4$ da esa 64 yangi mayda kublar olish mumkin.

Demak, maydalash uchun sarflanayotgan ish, maydalash darajasiga proporsional:

$$\frac{A}{A_1} = \frac{i}{i_1} \qquad (7.11)$$

bu yerda

$$i = \frac{1}{a}, \qquad i_1 = \frac{1}{b}$$

Unda, maydalash uchun sarflanayotgan ish, maydalash natijasida hosil bo'layotgan bo'laklarning chiziqli o'lchamlariga teskari proporsional:

$$\frac{A}{A_1} = \frac{b}{a} \tag{7.12}$$

Maydalash darajasi kichik, lekin yirik maydalash jarayonida yangi yuza hosil qilish uchun sarflanayotgan ishni hisobga olmasa bo'ladi. Unda, $\Delta V \sim D^3$ ekanligini inobatga olsak, quyidagi formulani olamiz:

$$A = K_1 \cdot \Delta V = K_1^1 \cdot D^3 \tag{7.13}$$

(7.13) tenglama Kik-Kirpichev gipotezasini ifodalaydi, ya'ni maydalash jarayonidagi ish, maydalanayotgan bo'lak hajmiga to'g'ri proporsional.

(7.9) formuladagi qo'shiluvchilarni hisobga olmaslikning iloji bo'lmasa, quyidagi tenglamani keltirib chiqarish mumkin:

$$A = K_3 \sqrt{D^3 \cdot D^2} = K_3 \cdot D^{2,5} \tag{7.14}$$

Ushbu tenglama Bond tenglamasi deb nomlanadi, ya'ni maydalash jarayonidagi ish, hajm va yuzalarning o'rtacha geometrik qiymatiga to'g'ri proporsional.

Mahsulotlarni kesib maydalashdan maqsad, unga zarur shakl, o'lcham va yuzalarini sifatli qilishdir. Materiallarni kesish jarayonida chegaraviy qatlam buziladi va natijasida bo'laklarga ajraladi. Material parchalanishdan avval elastik va qayishqoq deformatsiyalarga duchor bo'ladi. Ushbu deformatsiyalar kesuvchi asbobga ko'rsatilayotgan ma'lum kuch ta'sirida hosil bo'ladi. Ta'sir etayotgan kuchlanish materialning vaqtincha qarshiligiga teng bo'lgan holdagina materialning parchalanishi boshlanadi.

Kesish uchun sarflangan ish elastik va qayishqoq deformatsiyalar hamda kesish asbobining materialga ishqalanishini yengishga sarflanadi.

Jismlarni kesish uchun sarflangan ish A akad.Goryachkin V.P. formulasi orqali ifodalanishi mumkin:

$$A = A_c + A_f \tag{7.15}$$

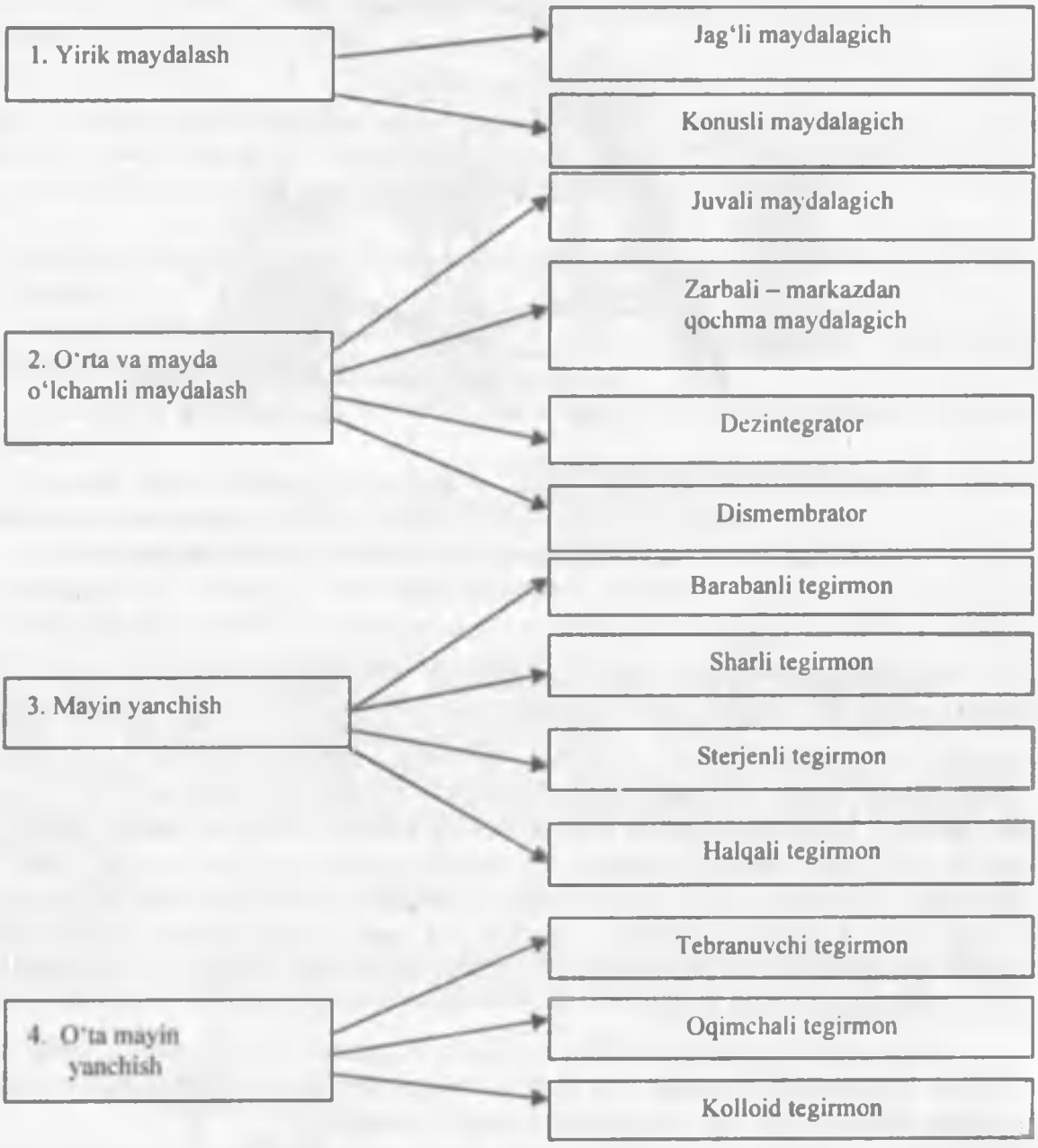
bu yerda, A_c – mahsulotni siqish uchun sarflangan ish, J; A_f – esish foydali ishi, J. Siqish uchun sarflangan ish $A_c = \Im h_c/h$, bu yerda $\Im$ – kesuvchi pichoq bilan materialni siqish shartli moduli, J; h_c – siqilgan qatlam balandligi, m; h – qatlamning boshlang'ich balandligi, m; Foydali ish $A_f = F_{kes}(h-h_c)$, bu yerda F_{kes} – kesish kuchlanishi.

Oziq-ovqat sanoatida kesish uchun turli xil va shakldagi pichoqlar qo'llaniladi: to'g'ri burchakli, diskli, lentali, o'roqsimon va boshqalar. Kesish asboblari qo'zg'almas, tebranma, aylanma, ilgarilama-qaytma harakatli bo'lishi mumkin.

7.4. Maydalagichlar konstruksiyalari

Maydalash mashinalari ikki xil bo'ladi: maydalagich va tegirmonlar. Maydalagichlar yirik va o'rta maydalash uchun, o'rta, mayda, mayin va o'ta mayin maydalash uchun esa tegirmonlardan foydalaniladi.

Turli xil darajada maydalash uchun xilma-xil mashinalar ishlatiladi (7.3-rasm).



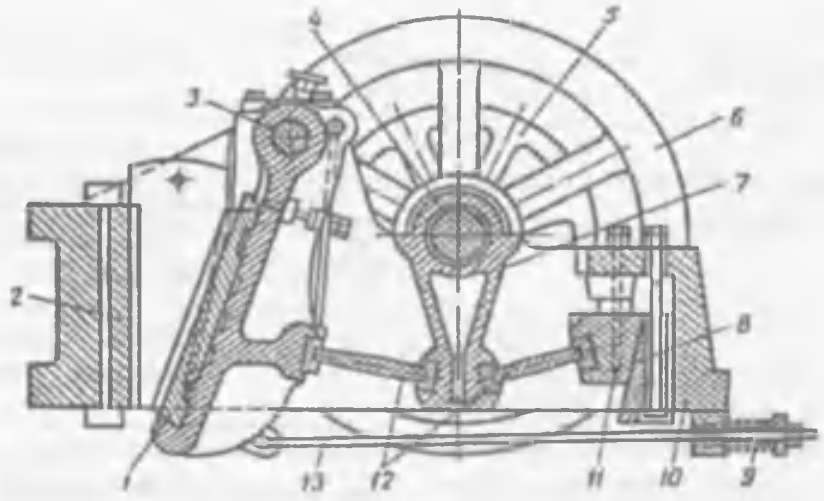
7.3-rasm. Maydalagichlar klassifikatsiyasi

Kesish mashinalari plastinali, diskli, rotorli, oqimchali va boshqa turli bo'ladi.

Hamma maydalash va kesish mashinalariga quyidagi talablar qo'yiladi: maydalangan material bo'laklari bir xil bo'lishi; maydalangan bo'laklar ishchi bo'shlig'idan chiqarilishi; minimal chang hosil bo'lishi; uzluksiz va avtomatik to'kilishi; maydalanish darajasini rostlash sharoiti; tez yediriladigan ishchi qismlar oson almashtirish sharoiti; energiya sarfi kichik bo'lishi zarur.

Jag'li maydalagichlarda qo'zg'almas va harakatchan plitalarning uzlukli yaqinlashishidan hosil bo'lgan konusli kamerada materialni ezish va yorish usullari bilan amalga oshiriladi (7.4-rasm).

Maydalangan material harakatchan plita orqaga yurishi paytida maydalagichdan to'kiladi.



7.4-rasm. Jag'li maydalagich.
1-harakatchan plita; 2-qo'zg'almas plita;
3-harakatchan plita o'qi; 4-ekssentrik o'q; 5-shkiv;
6-maxovik; 7-shatun; 8,11-rostlovchi ponalar; 9-prujina;
10-stanina; 12-dastaklar; 13-tortqich.

Maydalagich jag'lari oson yechiladigan, yedirilishga chidamli, qirrali plitalar bilan qoplangan bo'lishi kerak. Harakatchan plita qo'zg'almas o'qqa mahkamlanadi va ekssentrik o'q orqali shatun yordamida tebranma harakatga keltiriladi. O'z navbatida shatun shamir dastak 12 orqali harakatchan plita va rostlovchi ponalar 8 va 11 lar bilan bog'langan. Ushbu ponalarni surilishi rostlovchi boltlar yordamida amalga oshiriladi va chiqish yo'li enini kerakli o'lchamda o'rnatilishiga olib keladi. Bu esa to'g'ridan to'g'ri materialni maydalash darajasiga ta'sir etadi. Tortqich 13 va prujina 9 lar yordamida plita 1 ning qaytar harakatiga erishiladi. Shatun 7 va yirib turuvchi plitalar tirsakli dastakni tashkil qiladi. Maydalagich konstruksiyasining asosi bo'lib tirsakli dastak hisoblanadi va yuqori bosimlar hosil qiladi.

Jag'li maydalagichlar tuzilishi sodda va ish jarayonida ishonchli. Ammo uning tarkibida tebranuvchi massalar (ya'ni harakatlanuvchi plita, tirsakli dastak va hokazo) bo'lgani uchun uni og'ir poydevorlarga o'rnatish zarur.

Jag'li maydalagich ishining asosiy parametrlari: ilintirish burchagi; o'qning aylanish chastotasi; ish unumdorligi va energiya sarfi.

Materialning maydalanish darajasiga ilintirish burchagi α katta ta'sir ko'rsatadi. Agar α katta bo'lsa, maydalanish darajasi i ortadi.

Odatda, ushbu burchak qiymati α=15...22° oralig'ida bo'ladi.

Harakatchan plitaning bir holatdan ikkinchisiga o'tish davri $\tau=30/n$. Bu vaqt ichida material $S=g\tau^2/2=(g/2)(30/n)^2=450g/n^2$ masofani bosib o'tadi.

Agar harakatchan plita tebranish yo'li l (sm) bo'lsa, maydalagich kamerasidagi material balandligi $h=l/tg\alpha$ ga teng bo'ladi.

Og'irlik kuchi ta'siri ostida materialning to'kilishi $l/tg\alpha \le 450g/n^2$ bo'lgan shart bajarilsa amalga oshadi.

Harakatchan plitaning juft tebranish soni n (min^{-1}) ushbu formuladan topiladi:

$$n \le \sqrt{\frac{450 \cdot g \cdot tg\alpha}{l}} \qquad (7.16)$$

$\alpha = 22°$ bo‘lgan holda maydalagichning ish unumdorligi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q = 0{,}15\mu \, d_{o'r} \cdot l \cdot b \cdot n \cdot \rho_k \qquad (7.17)$$

bu yerda, μ – maydalangan materialning yumshash koeffitsiyenti (μ=0,2...0,65); $d_{o'r}$ – maydalangan material bo‘laklarining o‘rtacha o‘lchami, sm; l – plita yurish yo‘lining uzunligi, sm; b – to‘kish tirqishining uzunligi, sm; n – 1 minut ichida juft tebranishlar soni; ρ – material zichligi, kg/m^3.

Maydalagichning 1 t/soat ish unumdorligida uchun 400...1500 Vt energiya sarfi to‘g‘ri keladi.

Ushbu maydalagich afzalliklari: oddiy va ixcham, uncha katta joy egallamaydi; ishlatish oson va turli sohalarda keng tarqalgan.

Kamchiliklari: og‘ir poydevor talab qiladi; binoni tebrantiradi; zarba va shovqin bilan ishlaydi.

Konusli maydalagich materiallarni yirik, o‘rta va mayda yanchish uchun ishlatiladi. Jarayon asosan ezish va sindirish usullarida olib boriladi.

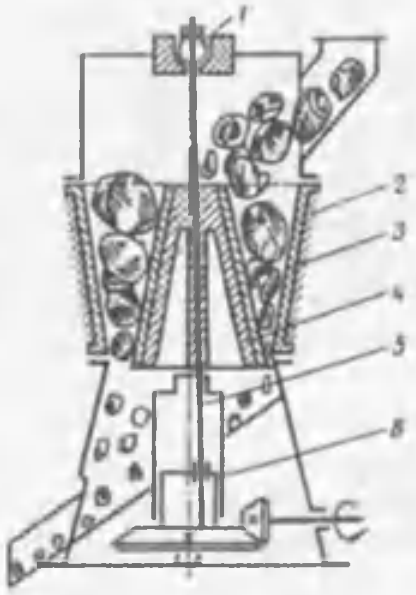
Maydalash qurilma qobig‘i va konussimon shakldagi aylanuvchi kallak orasida amalga oshiriladi (7.5-rasm).

Konussimon, aylanuvchi konus qurilma o‘rtasidan ma’lum masofada chetga o‘rnatilgan, ekssentrik aylanma harakat qiladi. Aylanuvchi konus qobig‘ining bir tomoniga yaqinlashsa, ikkinchi tomonida qobiq va konus kallak orasidagi masofa ko‘payadi va u yerdan maydalangan materiallar to‘kiladi.

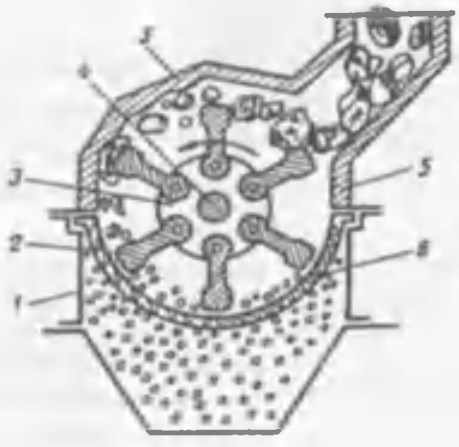
Afzalliklari – unumdorligi katta, material uzluksiz ezish va bukish natijasida maydalaniladi, bir me’yorda, shovqinsiz ishlaydi (maxovik kerak emas) va maydalash darajasi yuqori.

Kamchiliklari – qurilma murakkab, narxi qimmat, tikka konusli qurilmaning balandligi katta.

Bolg‘ali maydalagich hayvon suyaklari va boshqa qattiq jismlarni maydalash uchun qo‘llaniladi (7.6-rasm). Panjara teshiklarining o‘lchamlari bilan belgilanadi.



7.5-rasm. Konusli maydalagich.
1-sharsimon tayanch; 2-qobiq; 3-zirxli plita; 4-kallak; 5-vertikal o‘q; 6-ekssentrik.



7.6-rasm. Bolg‘ali maydalagich.
1-qobiq; 2-maydalovchi bolg‘a; 3-disk; 4-o‘q; 5-zirxli plita; 6-kolosnikli to‘r parda.

Ushbu mashina siqiq zarba berish usulida ishlaydi. Unda, bolg'a 2 tez aylanadigan disk 3 ga sharnir orqali biriktirilgan. Material bunker orqali mashinaga yuklanadi va bolg'alar bilan maydalanadi. Maydalangan material kolosnikli panjara 6 dan o'tib, mashinadan to'kiladi. Maydalangan material o'lchamlari kolosnikli

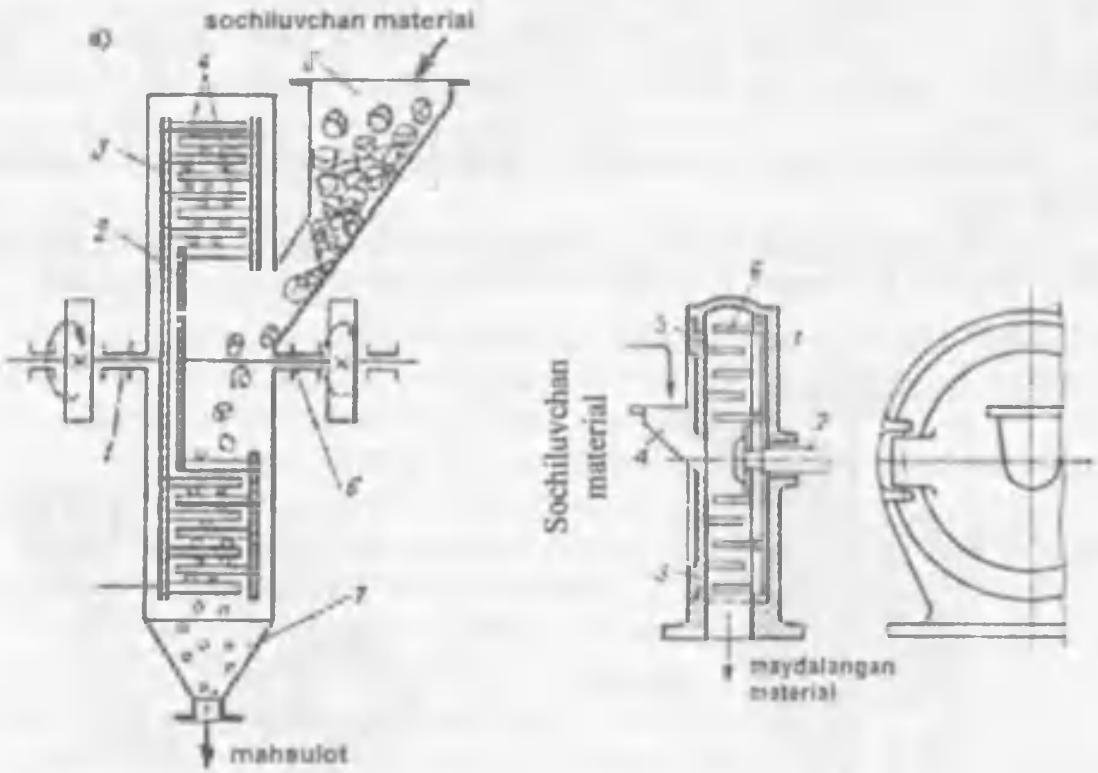
Dezintegratorda disklarning konsentrik aylanalari bo'ylab savalash sterjenlari o'rnatilgan. Birinchi diskning har bir qatoridagi savalash sterjenlari boshqa diskning ikki qatoridagi sterjenlar orasida kichik tirqish qoldirib joylashtirilgan bo'ladi (7.7a-rasm).

Yuklovchi bunker 5 orqali material mashinaga yuklanadi va aylanuvchi savalash sterjenlar zarbasi ta'sirida material maydalanadi.

Maydalangan material mashinaning pastki qismida joylashgan to'kish shtuseri orqali chiqariladi.

Diskning aylanish chastotasi 200...1200 min^{-1}. Bu turdagi mashinalar ish unumdorligi 0,5...20 t/soat.

Dismembrator. Bunday qurilmalarda bitta aylanuvchi baraban 1 bo'lib, unga bir nechta sterjen – bila 6 lar o'rnatilgan, ikkinchi, qo'zg'almas baraban funksiyasini qopqoq 3 bajaradi (7.7б-rasm). Ushbu qopqoqning ichki yuzasiga sterjen 5 lar mahkamlangan. Maydalanayotgan material voronka 4 orqali qurilmaga yuklanadi. Dismembrator o'rtasiga tushgan sochiluvchan material markazdan qochma kuch ta'sirida vintsimon harakatga keltiriladi. Baraban 1 aylanuvchi o'q 2 ga o'rnatilgan bo'ladi va u bilan birga teshikli yoki tiqishli halqasimon panjara ichida harakatlanadi.



7.7-rasm. Dezintegrator (a) va dismembrator (b).
a) 1,6-o'qlar; 2,3-disklar; 4-bila sterjenlari; 5-yuklovchi bunker; 7-to'kish shtutseri. b) 1-baraban; 2-o'q; 3-qopqoq; 4-yuklovchi bunker; 5,6-bila sterjenlari.

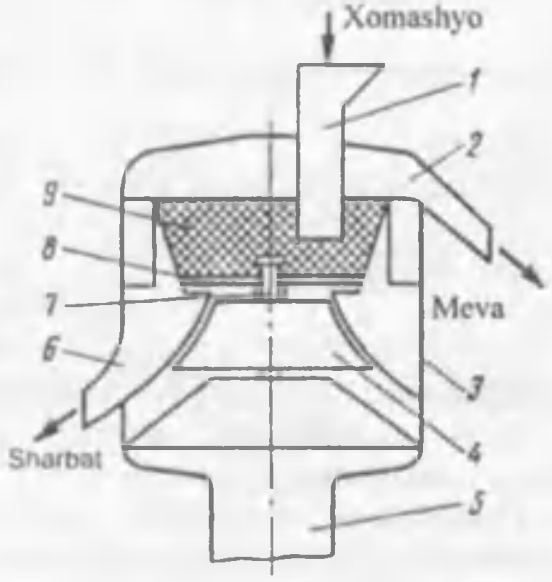
Panjara teshiklaridan o'tmagan materiallarni sterjen 5 lar yordamida juda kichik o'lchamli bo'lakchalar darajasigacha maydalash mumkin. Dismembrator barabanining diametri 250...6000 mm va aylanish chastotasi 2500...3800 ayl/min – oraliqda bo'lishi mumkin.

Dismembratorlarning dezintegratordan farqi shundaki, diskning faqat bittasi aylanuvchan bo'ladi. Ikkinchi disk vazifasini mashina qopqog'i (qobig'i) bajaradi. Unda ham konsentrik aylanalar bo'ylab sterjenlar joylashtirilgan. Bu qurilmalar rezina-texnika sanoat korxonalarida mel va kaolinni maydalash hamda ko'mir kukunini olish uchun ishlatiladi.

Zarbali maydalagich afzalliklari: tuzilishi sodda va ixcham; ish unumdorligi va maydalash darajasi yuqori; ishonchligi katta.

Kamchiliklari: qurilma detallarining yedirilishi yuqori; ko'p chang hosil bo'ladi; energiya sarfi katta.

Diskli tegirmonlar Bug'doy, kunjara, arpa, sholi va quruq nonlarni mayda va mayin yanchish uchun ishlatiladi. Bunday mashinalarda ishchi qism sifatida ikkita taram-taram vertikal disklar xizmat qiladi. Ulardan biri gorizontal o'qda aylanadi, ikkinchisi esa – qo'zg'almas bo'ladi. Xomashyo uzluksiz ravishda ikki disk bo'shlig'iga uzatiladi va u yerda maydalanadi. Ikkila disk orasidagi masofa materialning maydalanish darajasini belgilaydi. Diskning aylana bo'ylab harakat tezligi 7...8 m/s.



7.8-rasm. Meva-rezavorlarni maydalash mashinasi.
1-bunker; 2-turpni chiqarishi uchun patrubka; 3-qobiq; 4-rotor; 5-yuritkich; 6-sharbat chiqishi uchun patrubok; 7-o'q, 8-maydalovchi disk; 9-savat.

Bolg'a, plita, disk va to'r pardalar yedirilishga chidamli marganesli yoki qattiq qotishma bilan qoplangan uglerodli po'latlardan tayyorlanadi.

Meva va rezavorlarni maydalab, ularning sharbatini qoldiqlardan ajratish uchun sentrifugasi bor diskli tegirmon ishlatiladi (7.8-rasm).

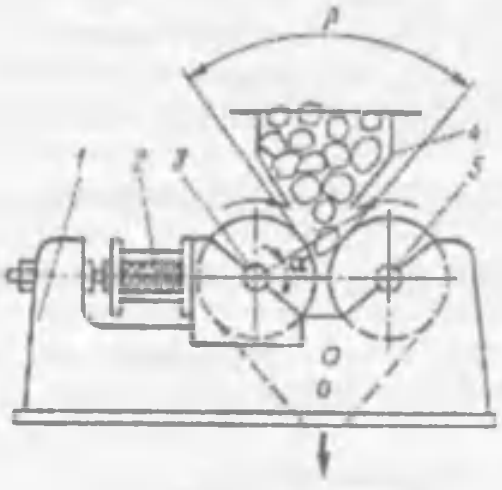
Mashina qobig'i ichidagi o'qga qirg'ichli disk o'rnatilgan bo'lib, u konussimon rotor yordamida aylantiriladi. Xomashyo yuklovchi bunker 2 orqali savat 9 ga uzatiladi. Savatning devori temir to'rdan yasaladi va u filtrlovchi yuza vazifasini ham bajaradi.

Maydalangan xomashyo markazdan qochma kuch ta'sirida ikkita, ya'ni sharbat va turpga ajraladi.

Sharbat, aylanuvchi savatning to'r devorlaridan, halqasimon bo'shliqqa filtrlanib o'tadi va chiqish patrubkasi orqali mashinadan to'kiladi. Turpi esa, qopqoq ostidagi bo'shliqdan turpni chiqarish patrubkasidan tashqariga uzatiladi.

Juvali maydalagichlar ikkita parallel silindrik juvadan iborat bo'lib, bir-biriga qarab aylanadi va ezish usulida materiallarni maydalaydi.

Tekis juvali maydalagichlar stanina 1 va juva 3,5 lardan tarkib topgan (7.9-rasm). Juva 1 ning podshipniklari qo'zg'almas qilib mahkamlansa, juva 2 esa harakatchan podshipniklarda o'rnatiladi va u siljishi mumkin. Juva 3 prujinalar 2 yordamida ma'lum bir holatda ushlab turiladi. Agar maydalagichga katta va mustahkam bo'lak tushib qolsa,



7.9-rasm. Juvali tegirmon.
1-stanina; 2-prujina; 3-harakatchan juva; 4-bunker; 5-qo'zg'almas juva.

prujina siqiladi va juvalar tirqishi ortishi natijasida ushbu bo'lak mashinadan o'tib ketadi. Ko'pincha, har bir juva alohida harakatga keltirilishi mumkin.

Bu turdagi maydalagichlarning asosiy xarakteristikalariga: juva diametri D va uning uzunligi L kiradi.

Tekis juvali maydalagichlar o'rtacha va mayda yanchish uchun ishlatiladi, chunki u ilintiradigan bo'lakning o'rtacha o'lchami $0{,}05 \cdot D$ dan kichik.

O'rtacha mustahkamlikdagi mo'rt materiallarni maydalash uchun tishli, juvali mashinalar qo'llaniladi.

O'rtacha mustahkamlikdagi mo'rt materiallarni juvali mashinalarda qayta ishlanganda i =10...15 maydalash darajasini olish mumkin. Yuqori mustahkamlikdagi materiallarni maydalashda esa, i=3...4 dan ortmaydi.

Juvali maydaligichlar quyidagi afzalliklarga ega: sodda va ixcham; ekspluatatsiyada ishonchli.

Kamchiliklari: maydalangan materiallar yassi bo'laklardan iborat; yuqori mustahkamlikka ega materiallarni maydalash uchun kam yaroqli.

Juvali maydalagichni hisoblash quyidagi parametrlarni ilintirish burchagi, ilintirilayotgan bo'lakning eng katta o'lchami, juvalar tezligi va ish unumdorligini aniqlashdan iborat.

Ilintirish burchagi odatda 18° atrofida bo'lishi maqsadga muvofiqdir.

Tekis juvalar material bo'laklarini tortib olish uchun ilintirish burchagi α-materialning ishqalanish burchagi φ dan kichik, ya'ni $\alpha \le \varphi$ bo'lishi kerak.

Ilintirilayotgan bo'lakning eng katta o'lchami $d_k = 2 \cdot r$ bo'lgani uchun:

$$R + e = (R + r) \cdot \cos\alpha \qquad (7.18)$$

bu yerda, e – juvalar orasidagi tirqish o'lchamining yarmi; R – juva radiusi.

Juvalar bir-biriga zich o'rnatilganida ($2e = 0$):

$$2r = \frac{2R(1 - \cos\alpha)}{\cos\alpha} \qquad (7.19)$$

Agar $\cos\alpha$ = 18° ligini hisobga olsak:

$$2r = 0{,}1R + 2e$$

Amaliyotda maydalanayotgan bo'laklarning eng katta o'lchami juvalar diametridan 20...25 marta kichik bo'ladi.

Juvalar tezligi. Juvalar maksimal aylanish sonini material bo'laklarining ular orasidan sirpanib o'tib ketmasligi shartidan kelib chiqqan holda aniqlanadi. Yuqorida qayd etilgin shart asosida va L.B. Levenson formulasiga binoan:

$$n = 616\sqrt{\frac{f}{\rho d_к D}} \qquad (7.20)$$

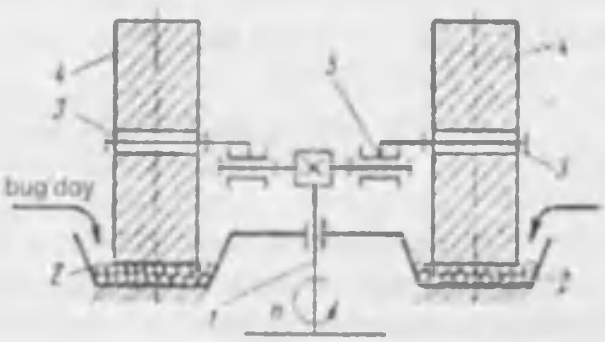
bu yerda, f – materialni juvaga ishqalanish koeffitsiyenti *(f=0,3)*; ρ – material zichligi, kg/m^3; d_K – xom-ashyo bo'laklarining o'lchami, m; D – juva diametri, m;

Odatda juvalarning aylana bo'ylab tezligi 3...6 m/s bo'ladi.

Ish unumdorlik. Juvali maydalagichlarning nazariy ish unumdorligi Q ushbu formuladan aniqlanadi.

$$Q \approx 0{,}2\mu \cdot \rho \cdot L \cdot D \cdot e \cdot n \qquad (7.21)$$

bu yerda, μ – maydalangan materialning yumshash koeffitsiyenti *(μ= 0,2-0,3)*; L – juva uzunligi, m; chiziqli o'lchamlar D, n, L, e – m, zichlik ρ esa – kg/m^3.



7.10-rasm. Yuguruvchi tegirmon.
1-vertikal o'q; 2 -jomlar; 3-gorizontal o'qlar; 4 -tegirmon toshlari; 5-krivoship

Artish mashinasi. Gorizontal artish mashinasi bir yoki bir necha kamerali bo'lishi mumkin.

Ayrim hollarda kameralar soni bir nechta bo'lishi mumkin. Kamera silindrik qobiqdan iborat bo'lib uning ichida metal to'r parda joylashtirilgan. Qobiq va to'r parda orasida halqasimon kanal bor. Qobiq o'qi bo'ylab artish kurakchali rotor o'rnatilgan. To'r parda va kurakchalar orasida zarur o'lchamli tirqish bo'lib, u yerda maydalash va yedirilishi natijasida material maydalanadi. Chunonchi, kurakchalarni materialga son-sanoqsiz urilishi natijasida hosil bo'layotgan bosim ta'sirida artish jarayoni amalga oshiriladi.

Yuguruvchi tegirmon, odatda 2 ta tegirmon toshi va maydalanayotgan material solinadigan jom 2 lardan tarkib topgan (7.10-rasm).

Tegirmon toshlari vertikal o'qlarga o'rnatiladi va u bilan birga aylanadi.

Undan tashqari, jom uchidagi material bilan ishqalanish natijasida tegirmon toshlari gorizontal o'qi atrofida ham aylanadi. Maydalash jarayoni ezish va yedirilish usullarini hisobiga bo'ladi.

Qo'zg'almas jomli va uzatmadan aylanuvchi tegirmon toshli, hamda uzatmadan aylanuvchi jomli va qo'zg'almas tegirmon toshli yuguruvchi tegirmonlar bor. Oxirgi turdagi tegirmon tezyurar (20...50 min^{-1}) mashina deb hisoblanadi.

Ushbu mashinalarda maydalangan materialni to'kish markazdan qochma kuch ta'sirida avtomatik ravishda amalga oshiriladi.

Sharli tegirmonlar mayin yanchish uchun ishlatiladi (7.11-rasm).

Ushbu tegirmonlar bir vaqtning o'zida shar va material bilan yuklanadi. Sharlar ko'pincha po'lat, diabaz, chinni va boshqa materiallardan yasaladi. Ularning diametri maydalanayotgan material o'lchamlariga bog'liq.

Odatda po'lat sharlar diametri 35...175 mm bo'ladi va tegirmon hajmining 30...35% sharlar bilan to'ldiriladi.

$$n = 616\sqrt{\frac{f}{\rho d_к D}} \qquad (7.20)$$

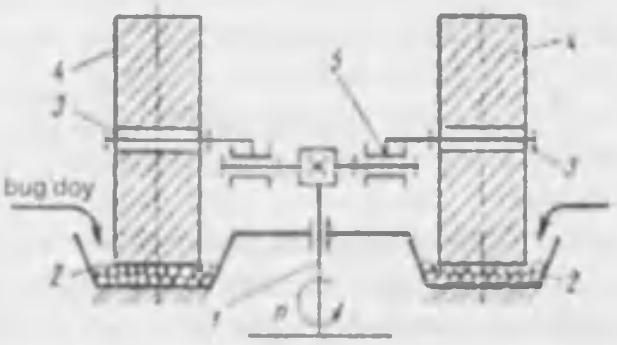
bu yerda, f – materialni juvaga ishqalanish koeffitsiyenti *(f=0,3)*; ρ – material zichligi, kg/m^3; d_K – xom-ashyo bo'laklarining o'lchami, m; D – juva diametri, m;

Odatda juvalarning aylana bo'ylab tezligi 3...6 m/s bo'ladi.

Ish unumdorlik. Juvali maydalagichlarning nazariy ish unumdorligi Q ushbu formuladan aniqlanadi.

$$Q \approx 0{,}2\mu \cdot \rho \cdot L \cdot D \cdot e \cdot n \qquad (7.21)$$

bu yerda, μ – maydalangan materialning yumshash koeffitsiyenti *(μ= 0,2-0,3)*; L – juva uzunligi, m; chiziqli o'lchamlar ***D, n, L, e*** – m, zichlik ρ esa – kg/m^3.



7.10-rasm. Yuguruvchi tegirmon.
1-vertikal o'q; 2 -jomlar; 3-gorizontal o'qlar; 4 –tegirmon toshlari; 5-krivoship.

Artish mashinasi. Gorizontal artish mashinasi bir yoki bir necha kamerali bo'lishi mumkin.

Ayrim hollarda kameralar soni bir nechta bo'lishi mumkin. Kamera silindrik qobiqdan iborat bo'lib uning ichida metal to'r parda joylashtirilgan. Qobiq va to'r parda orasida halqasimon kanal bor. Qobiq o'qi bo'ylab artish kurakchali rotor o'rnatilgan. To'r parda va kurakchalar orasida zarur o'lchamli tirqish bo'lib, u yerda maydalash va yedirilishi natijasida material maydalanadi. Chunonchi, kurakchalarni materialga son-sanoqsiz urilishi natijasida hosil bo'layotgan bosim ta'sirida artish jarayoni amalga oshiriladi.

Yuguruvchi tegirmon, odatda 2 ta tegirmon toshi va maydalanayotgan material solinadigan jom 2 lardan tarkib topgan (7.10-rasm).

Tegirmon toshlari vertikal o'qlarga o'rnatiladi va u bilan birga aylanadi.

Undan tashqari, jom uchidagi material bilan ishqalanish natijasida tegirmon toshlari gorizontal o'qi atrofida ham aylanadi. Maydalash jarayoni ezish va yedirilish usullarini hisobiga bo'ladi.

Qo'zg'almas jomli va uzatmadan aylanuvchi tegirmon toshli, hamda uzatmadan aylanuvchi jomli va qo'zg'almas tegirmon toshli yuguruvchi tegirmonlar bor. Oxirgi turdagi tegirmon tezyurar (20...50 min^{-1}) mashina deb hisoblanadi.

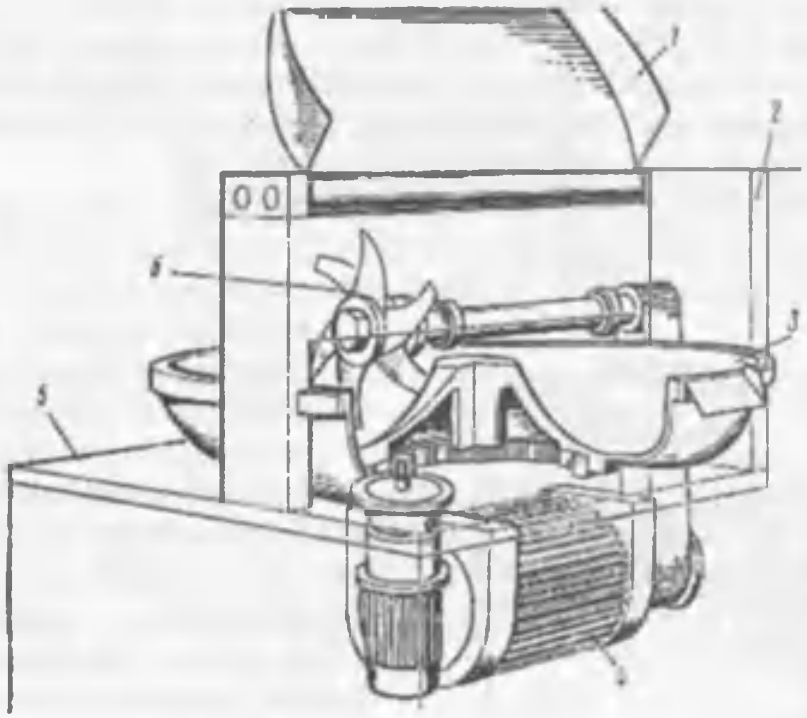
Ushbu mashinalarda maydalangan materialni to'kish markazdan qochma kuch ta'sirida avtomatik ravishda amalga oshiriladi.

Sharli tegirmonlar mayin yanchish uchun ishlatiladi (7.11-rasm).

Ushbu tegirmonlar bir vaqtning o'zida shar va material bilan yuklanadi. Sharlar ko'pincha po'lat, diabaz, chinni va boshqa materiallardan yasaladi. Ularning diametri maydalanayotgan material o'lchamlariga bog'liq.

Odatda po'lat sharlar diametri 35...175 mm bo'ladi va tegirmon hajmining 30...35% sharlar bilan to'ldiriladi.

o‘lchamlarda kesiladi. Kesish tezligi 130 m/s ni tashkil etadi. Jarayon vakuum ostida olib boriladi. Qobiq materiali va mashina qopqog‘i jarayonni shovqin-suronsiz o‘tkazish imkoniyatini beradi. Kesish natijasida hosil bo‘layotgan qiyma uzlukli, qiya tamba yordamida avtomatik to‘kib turiladi. Qopqoq va qobiq birikmasini zichlash maxsus polimer qistirmalar ishlatiladi.



7.14 - rasm. Go‘sht maydalagich (kutter)
1-qopqoq; 2-devor; 3-jom; 4-uzatma; 5-stanina;
6-kesuvchi asbob.

7.5. Donador, sochiluvchan materiallarni klassifikatsiyalash

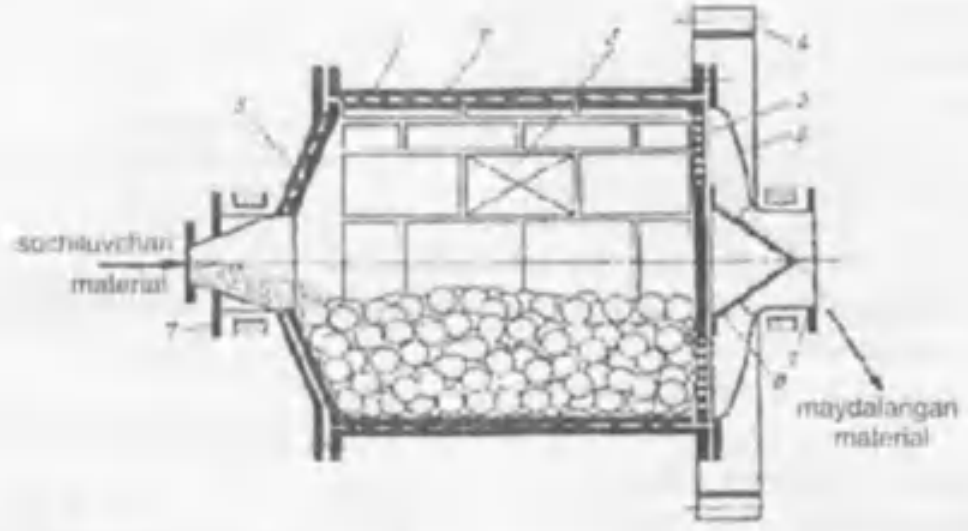
Donador material aralashmasini fraksiyalarga, bir-biriga yaqin bo‘lgan o‘lchamli zarrachalarni ajratish uchun uch xil klassifikatsiyalash qo‘llaniladi:

– mexanik usul, bunda sochiluvchan materiallarni elak, to‘r va shunga o‘xshash moslamalarda elab olinadi. Mexanik klassifikatsiyalashda o‘lchami elak teshigidan kichik bo‘lganlari undan o‘tib ketadi. O‘lchami katta bo‘lgan bo‘laklar yoki donachalar esa yana qayta maydalashga jo‘natiladi;

– gidravlik klassifikatsiyalash qattiq zarrachalar aralashmalarini suyuqlikda cho‘kish tezligi asosida fraksiyalarga ajratadi;

– havo yordamida ajratish – qattiq zarrachalar aralashmasini havoda cho‘ktirish yordamida amalga oshiriladi.

Klassifikatsiyalash yordamchi jarayon sifatida qo‘llaniladi, ya’ni materialni maydalashdan oldin mayda fraksiyasi ajratib olinadi. Ushbu jarayon yirik bo‘laklarni elab olib, qayta maydalashga jo‘natish uchun, yana kerakli o‘lchamdagi tayyor mahsulotni ajratib olish uchun ham qo‘llanishi mumkin. Mexanik klassifikatsiyalash yana ajratish (yoki elash) deb ham nomlanadi. Bu usulda zarrachalar o‘lchami millimetrning bir necha ulushidan toki bir necha santimetr o‘lchamli materiallarni ajratish uchun qo‘llaniladi. Klassifikatsiyalash jarayoni elash (groxot) yoki ajratish (separator) moslamalarida amalga oshiriladi.



7.11-rasm. Sharli tegirmon.
1-baraban qobig'i; 2-zirxli plita; 3-lyuk; 4-uzatma shesternyasi; 5-panjara; 6,9 qopqoq; 7-tchi bo'sh saptalar, 8-yo'naltiruvchi konus.

Tegirmon aylanishi paytida, devor va sharlar ishqalanishi natijasida sharlar aylanish yo'nalishida tepaga ko'tarilib boradi. Ushbu hol, ko'tarilish burchagi materialning tabiiy qiyalik burchagidan ortmaguncha davom etadi, so'ng esa sharlar pastga qarab dumalaydi.

Aylanish tezligi ortishi bilan markazdan qochma kuch va ko'tarilish burchagi ko'payadi. Sharlar og'irligi markazdan qochma kuchdan ko'payishi bilan sharlar pastga, parabolik trayektoriya bo'ylab tushib ketadi.

Agarda aylanish tezligini yanada oshirsak, markazdan qochma kuchlar shunchalik ko'payadiki, sharlar tegirmon bilan birgalikda aylana boshlaydi.

Sharlar tushib ketmaydigan tegirmonning chegaraviy aylanish chastotasi quyidagi formuladan topiladi:

$$n_c = \sqrt{\frac{900 \cdot g}{\pi^2 R}} = \frac{42,3}{\sqrt{D}} \qquad (7.22)$$

Odatda tegirmonning aylanish chastotasi n_c ning 75% ga teng deb qabul qilinadi va ushbu formuladan aniqlanadi.

$$n = \frac{32}{\sqrt{D}} \qquad (7.23)$$

bu yerda, D – baraban diametri, m.

Tegirmonning ish unumdorligi Q *(t/soat)* quyidagi taxminiy formuladan hisoblab topiladi:

$$Q = \mathrm{V} \cdot \mathrm{K} \cdot \mathrm{D}^{0,6} \qquad (7.24)$$

bu yerda, V – baraban hajmi, m; K – xomashyo bo'laklarining o'rtacha o'lchamiga bog'liq proporsionallik koeffitsiyenti, K=0,41...1,31.

Afzalliklari: universal, maydalash darajasi yuqori, ishlatishda xavfsiz va qulay.

Kamchiliklari: qo'pol, og'ir, foydali ish koeffitsiyenti kichik, yanchish vositalari ham uqalanib maydalanilayotgan materialni ifloslantiradi.

Tebranma tegirmonlar mayin yanchish uchun mo'ljallangan. Bu mashinalar barabandan iborat bo'lib, 70% hajm maydalovchi sharlar bilan to'ldirilgan. Uning

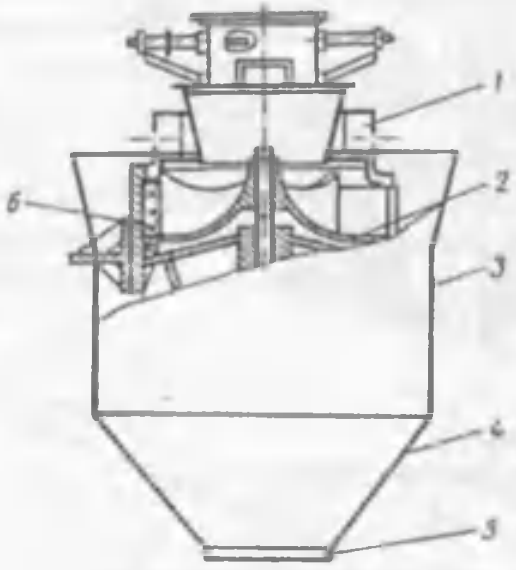
ichida tebratgich o'rnatilgan bo'lib, u shar va materiallarni tebrantiradi. Bunday tegirmonlarning ishlash samaradorligi tebranish chastotasi va amplitudaga bog'liq.

Odatda tebranish amplitudasi 2...4 mm bo'lganda, chastotasi esa 1500...2500 min^{-1}.

Kolloid tegirmonlar suspenziyalarni o'ta mayin yanchish uchun qo'llaniladi. Maydalash nam usulda olib boriladi. Kolloid tegirmonlarning asosiy qismi konus shaklidagi botiq qobiq va rotordir. Konus yuzali qobiq va rotor orasida tirqish bo'lib, uning qiymati 0,01...0,5 mm ga teng bo'ladi. Rotorning aylana bo'ylab tezligi 30...120 m/s. Qobiq va rotor orasidagi tirqishda suspenziya yedirilish usulida maydalanadi.

Markazdan qochma, romli kesgich. Odatda, bu turdagi mashina qand lavlagini parrak qilib kesish uchun mo'ljallangan (7.12-rasm).

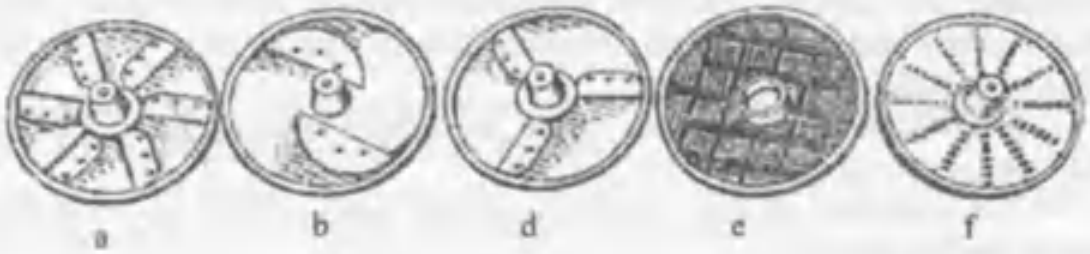
Lavlagi bunker 1 orqali mashinaga yuklanadi, aylanayotgan moslama uni ilintirib oladi va markazdan qochma kuch ta'sirida kesuvchi pichoqlarga siqiladi. Natijada, pichoqning o'tkir qirralari bilan parraklarga kesiladi. Qirqalgan lavlagi parraklari mashina qobig'i va rom orasidagi bo'shliqqa tushadi, so'ng esa lyuk orqali keyingi qayta ishlash jarayoniga uzatiladi. Kesuvchi pichoqlarni tozalash bug' yoki siqilgan havo yordamida amalga oshiriladi.



7.12-rasm. Markazdan qochma, romli kesgich.
1-yuklovchi bunker; 2-pichoqli rom; 3-qobiq; 4-tub; 5-lyuk; 6-uch parrakli spiralsimon moslama.

Vertikal sabzavot kesgichlar. Mahsulotlarni tilimcha, kub, qalamcha va hokazo shakllarda kesish uchun mo'ljallangan. Ushbu mashina yuklovchi bunker maydalash kamerasi va uzatmalardan iborat. Kesuvchi asbob sifatida elektr yuritkich yordamida aylantirilayotgan vertikal o'qga o'rnatilgan gorizontal disk xizmat qiladi.

Mashina, ustiga poliamid materiali qoplangan, yuqori sifatli, rangli materialdan yasaladi. Kesilgan sabzavotlarni rangi va o'lchami pichoqning konstruksiyasi va konfiguratsiyasiga



7.13-rasm. Sabzavot kesgichning qirqish disklari.
a-tilimcha qilib kesadigan; b-yumshoq va sersuv mahsulotlarni yupqa kesadigan; d-taram-taram tilimcha kesadigan; e-kub shaklidagi kesadigan; f-qirg'ich.

bog'liq (7.13-rasm). Go'sht maydalagich - kutter konstruksiyasi 7.14-rasmda keltirilgan.

Legirlangan po'latdan yasalgan va aylanuvchi jomga go'sht avtomatik ravishda yuklanadi. Jomdagi freza shaklidagi kesuvchi asbob yordamida go'sht kerakli

Materiallarni elash uchun metall yoki boshqa material listlarida teshiklar hosil qilingan to‘rlar, metall sterjenlari parallel joylashtirilgan kolosniklardan foydalaniladi. Elak teshigi ko‘rinishi kvadrat yoki to‘g‘ri to‘rtburchak shaklida bo‘lishi mumkin. O‘lchami esa 0,04 dan 100 mm gacha bo‘ladi. Elak raqami shu elak teshigi o‘lchamining qiymati bilan bir xil bo‘ladi.

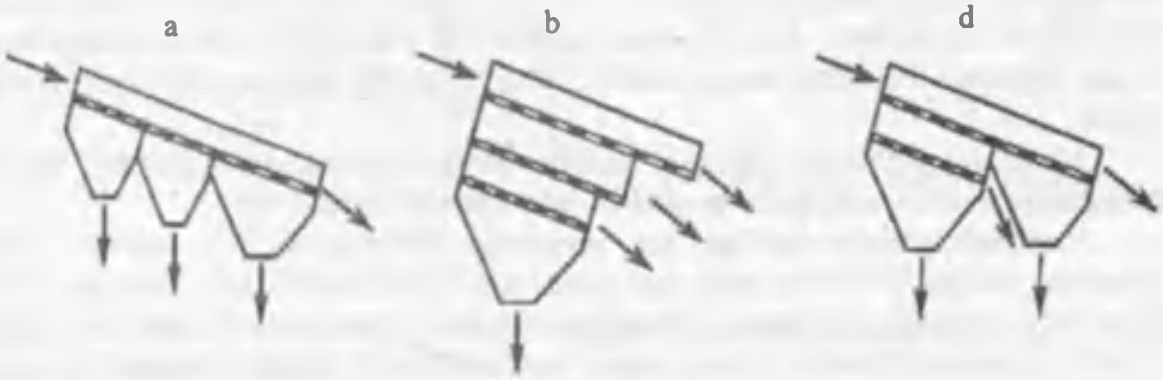
To‘rlar 2...12 mm qalinlikdagi metall listlardan 2...10 mm diametrlardagi teshikli qilib yasaladi. Teshiklar tiqilib qolmasligi uchun teshik pastga qarab kengayib boruvchi shaklda qilinadi.

Kolosniklarni sterjenlardan trapetsidal ko‘rinishda qilib yig‘iladi. Moslamaning ko‘rinishdagi bu yig‘ish zarrachalar o‘tishini osonlashtiradi.

Sochiluvchan materiallar perforatsiyali yuzaga nisbatan harakati davrida klassifikatsiyalash jarayoni sodir bo‘ladi. Bunda, perforatsiya qilingan yuza qo‘zg‘almas yoki tebranma harakatda bo‘lishi mumkin. Agar perforatsiyali yuza qo‘zg‘almas qilib o‘rnatilsa, uning ufqqa nisbatan qiyalik burchagi, material ishqalanish burchagidan katta burchak ostida bo‘lishi kerak.

Klassifikatsiyalash natijasida ikki xil mahsulot, ya’ni elangan va elanmagan mahsulotga ajraladi. Elangan mahsulot – teshiklardan o‘tgani bo‘lsa, elanmagani bu elakdan o‘tmagan qismi bo‘ladi.

Klassifikatsiyalash bir va ko‘p marotabali bo‘ladi. Oddiy klassifikatsiyalashda material bir marotaba elansa, ko‘p martali klassifikatsiyada esa teshiklari turli o‘lchamli bir nechta elaklardan o‘tkaziladi.



7.15-rasm. Elash usullari.
a - maydadan yirikka; b - yirikdan maydaga; d –kombinatsiyalangan.

Elaklar. Ma’lum bir qator fraksiyalarni klassifikatsiyalab ajratib olish uchun quyidagi ko‘p marotabali elash usuli qo‘llaniladi (7.15-rasm):

– maydadan yirikka. Ushbu usulda material teshik o‘lchamlari ortib boruvchi bir necha elakdan ketma-ket o‘tkazish yo‘li bilan amalga oshiriladi;

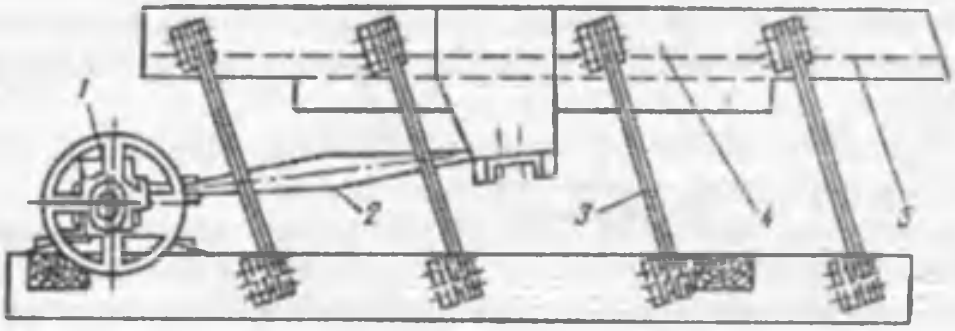
– yirikdan maydaga. Teshik o‘lchamlari kamayib boruvchi elaklar biri-birini ustiga o‘rnatiladi;

– kombinatsiyalangan.

Sanoatda harakatchan va qo‘zg‘almas turdagi elaklar ishlatiladi. Elaklarning ko‘p qo‘llaniladigan turi – qo‘zg‘almas elaklardir. Elaklar tebranuvchan, barabanli, siltalanuvchan, diskli, g‘ildirakli, kolosnikli va zanjirli bo‘lishi mumkin. 7.16-rasmda tebranuvchan elak sxemasi tasvirlangan.

Elak krivoship mexanizmi yordamida tebranma harakat kiladi. Elangan mahsulot pastga teshikdan to‘kiladi, elanmagani esa elak bo‘ylab harakatlanib, qayta maydalashga

jo‘natiladi. Bir qancha fraksiyalarga ajratish uchun tebranuvchi elaklar ko‘p qavatli qilinadi. Material qurilmaning eng yuqorisiga to‘kiladi. Katta o‘lchamli material yuqori qavatda qoladi, maydalari esa pastki qavatda to‘planadi. Katta o‘lchamli bo‘laklari yana qaytadan maydalashga jo‘natiladi.



7.16-rasm. Tebranuvchi elak.
1-ekssentrik; 2-shatun; 3- prujina; 4-qobiq; 5-elak.

Teshikli tebranuvchan g‘alvir mashinaning afzalliklari: g‘alvirlash samaradorligi yuqori; ixcham; ta’mirlash qulay.

G‘alvir mashinaning kamchiliklari: konstruksiyasi mukammal emas; saralash paytida silkinib, tebranib ishlaydi.

Rolikli elaklar harakatchan kolosnikli mashinalar qatoriga kiradi. Bu turdagi mashinalarda elash yuzasini parallel o‘rnatilgan. Aylanuvchi o‘qlarga mahkamlangan disk yoki roliklar bajaradi. Ajratilayotgan material disk yoki g‘ildirak ustida harakatlanadi va ular orasidagi tirqishdan pastga tushadi. Elangan material elakning oxiridan tashqariga to‘kiladi.

Materialni uzluksiz silkinishi tufayli uning g‘ildirak yoki disklar bo‘ylab harakatlangani uchun fraksiyalarga ajralish samaradorligi ortadi.

Barabanli g‘alvir mashina esa gorizontga nisbatan 4...7° burchak ostida joylashgan baraban bo‘lib, to‘rdan yoki taram-taram qilib temir listdan yasalgan bo‘lib, o‘qqa yoki tirgakli g‘ildirakka o‘rnatilgan bo‘ladi. Barabanning ochiq tomonidan material yuklanadi. Baraban devori orqali mayda material elanadi, elakdan o‘tmagani esa barabanning past tomonidan to‘kib olinadi. Barabanli g‘alvir mashina eng mayda zarrachalarni yirik bo‘laklardan klassifikatsiyalash uchun ishlatiladi.

G‘alvir teshiklarini material harakatlanish yo‘li bo‘yicha o‘zgartirish, ya’ni kattalashtirish ham mumkin bo‘ladi.

Barabanli g‘alvir mashinaning kamchiliklari: ajratish samadorligi va unumdorligi kichik.

Don va boshoqli don mahsulotlarini tozalash uchun gorizontal va vertikal silindrik don tozalash ajratkichlardan foydalaniladi. Ajratish jarayoni metall to‘rli ajratkichlarda amalga oshiriladi.

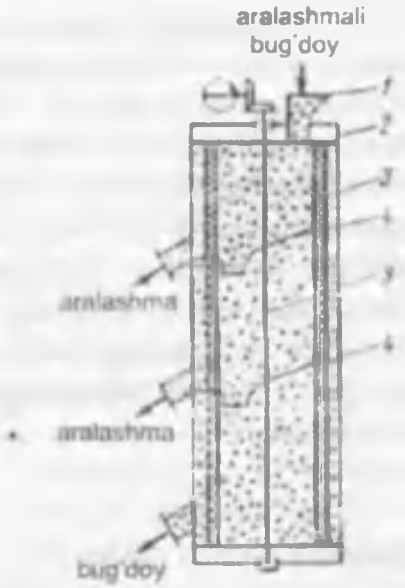
Elak (to‘r) teshiklari don aralashmasi harakati yo‘nalishi bo‘yicha kattalashib boradi. Aralashmani ajratish esa vertikal ajratgichda markazdan qochma kuch yordamida amalga oshsa, gorizontal ajratkichda esa tebranma harakat tufayli amalga oshiriladi.

Baraban bir necha qism (seksiya) dan tashkil topgan. Tozalanmagan don yuqori seksiyaga kelib tushadi. Markazdan qochma kuch ta’sirida boshoqli material barabanli ajratkichning g‘alvirsimon devor chetiga uriladi. Material tarkibidagi dondan kichik aralashmalar g‘alvir orqali o‘tib ketadi va ajratkichdan chiqarib tashlanadi. Don esa

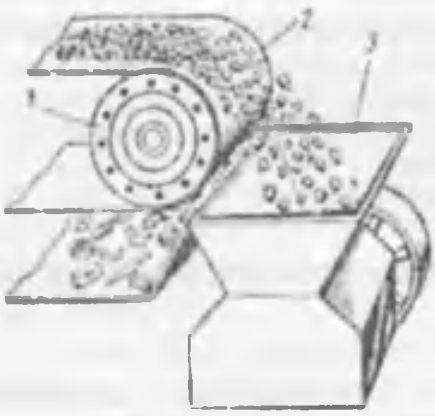
qurilmaning pastki qismiga tushadi. Bu seksiya devorining teshiklari mahsulot o'lchamidan katta bo'lgani uchun don g'alvirsimon devordan o'tib, qurilmadan chiqarib yuboriladi.

Vibratsion g'alvir mashinalarining elagi tekis yotiq bo'lib, tebratkich yordamida harakatga keltiriladi. Materialning elak ustida doim tebranib (silkinib) turishi tufayli, elak teshiklari to'lib qolmaydi va zarrachalar teshikdan o'tib ketadi. Ushbu jarayonni tebranish chastotasi va amplitudasini o'zgartirish yo'li bilan rostlash oson. G'alvirda detallarni almashtirish qiyin emas.

Sochiluvchan materiallar tarkibidagi temir va cho'yan aralashmalarni tozalash elektromagnit ajratkich yordamida amalga oshiriladi (7.18-rasm).



7.17-rasm. Barabanli g'alvir
1-yuklash shtutseri;
2-qibiq; 3-baraban;
4-kanalli to'siq; 5-o'q.



7.18-rasm. Elektromagnit barabanli g'alvir
1-ajratkich; 2-konveyer;
3-bunker.

7.17-rasmda barabanli markazdan qochma ajratkich (separator) ning sxematik ko'rinishi tasvirlangan.

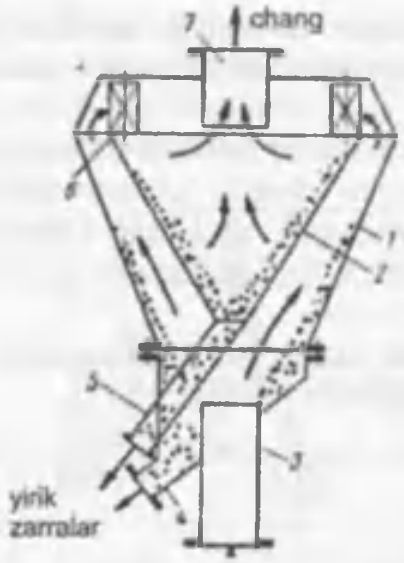
Elektromagnit barabanli ajratkichda o'qqa mos ravishda qo'zg'almas magnit joylashtiriladi. Bu magnit o'zgarmas elektr tokida ishlaydi. Baraban aylanganda uning yuzasi elektromagnit qutblari yaqinida joylashgan bo'ladi. Metall aralashmalar kuchli magnit maydon ta'siriga duch kelib, baraban yuzasiga yopishib qoladi. Magnit maydon ta'siriga tushmaydigan boshoqli materiallar bunkerga to'kilaveradi. Keyin esa, metall zarrachalar ham maydon ta'siridan uzoqlashgandan so'ng, ular ham bunkerdan tashqariga yig'iladi. Shu usulda donlarni metalldan ajratish mumkin bo'ladi.

Magnitli ajratkichlar metallarni mashinalarga yuklash jarayonida ham ishlatish mumkin bo'ladi.

Qattiq jismlar aralashmasini fraksiyalarga gidravlik klassifikatsiyalash, qattiq zarrachalarni suyuqlikda cho'kishininig umumiy qonuniga bo'ysunadi.

Gidravlik klassifikatsiyalash suv oqimining gorizontal yoki ko'tarilish harakatida amalga oshiriladi.

Oqim tezligi shunday tanlanadiki, bunda klassifikatordan kichik o'lchamli ma'lum zarrachalar oqim bilan chiqib ketsa – bu zarrachalar yuqori mahsulot deb nomlansa, klassifikatorning o'zida qoladigan zarrachalar o'lchami katta bo'ladi va u ostki mahsulot deb nomlanadi.



7.19-rasm. Markazdan qochma seperator sxemasi.

1-qobiq; 2 -ichki konus; 3 - materialni yuklash patrubkasi; 4,5 -yirik zarrachalarni yuklash patrubkasi; 6 -yo'naltiruvchi kurakcha; 7 - changni chiqarish patrubkasi.

Markazdan qochma kuch ta'sirida klassifikatsiyalash esa gidrosiklonlarda amalga oshiriladi.

Havo yordamida ajratish gidravlik klassifikatsiyalashdan farqi shundaki, zarrachalarni havoda cho'ktirish tezligi suyuqlikda cho'kish tezligidan tezroq boradi. Havo yordamida ajratish siklonli qurilmalarda havoning yuqoriga ko'tariluvchi oqimida amalga oshiriladi.

7.19-rasmda markazdan qochma ajratkich sxemasi ko'rsatilgan. Bunday ajratkichlar tegirmondan chiqadigan havo oqimiga ulanadi. Yirik zarrachalar markazdan qochma kuch ta'sirida halqa (aylanma) oraliq va konus devorlariga urilib ajratiladi. Yig'ilgan yirik zarrachalar konus devoridan sirpanib-dumalab qurilmaning pastki qismidan ajratib olinadi. Ajralmagan mayda zarrachalar havo oqimi bilan birgalikda siklonga chiqib ketadi.

7.6. Qattiq materiallarni maydalashning maxsus usullari

Oxirgi vaqtda qattiq materiallarni portlatish, termik va elektrotermik hamda termomexanik maydalash va yanchish usullari ustida keng miqyosda tadqiqot ishlari olib borilmoqda va sanoat texnologiyalariga tatbiq etilmoqda.

Gidravlik portlatish usulida qattiq jismlarni maydalashning mohiyati shundaki, parchalash jarayonida material va portlovchi moddalarni suv ichida portlatish yo'li bilan amalga oshiriladi. Bunda, portlash moddalarini kengayish paytida hosil bo'ladigan juda yuqori bosim materialga ta'sir etadi. Undan tashqari, suyuqlik ichida portlash natijasida tarqaladigan zarba to'lqini ham material parchalanishiga qo'shimcha hissa qo'shadi.

Elektrogidravlik maydalash usulida materialni parchalovchi zarba to'lqini elektr razryadi yordamida hosil qilinadi.

Termik usullarda tozalash, qattiq material bo'laklarini mahalliy qizdirish hisobiga amalga oshiriladi. Bunda, qizdirish joyi issiqlik «ponasi» vazifasini bajaradi. Issiqlik manbalari sifatida elektr razryadi, ekzotermik yonish reaksiyasi issiqliklari, yuqori temperaturali gaz, yuqori temperaturali plazma oqimchalari, lazer nuri va hokazo.

Elektrotermik usulda parchalashning mohiyati shundaki, qattiq material bevosita elektroenergiya yordamida notekis qizdiriladi. Natijada, hosil bo'lgan ichki kuchlanishlar ta'sirida qattiq material parchalanishi sodir bo'ladi.

Termomexanik usulda maydalash jarayonida materialni qizdirish dastlabki jarayon bo'lib faqat uning mustahkamligini kamaytirish uchun qo'llaniladi. Yakunlovchi jarayon maydalash esa yuqorida ko'rib chiqilgan birorta mexanik usulda bajariladi. Ba'zi hollarda material qizdirilgandan so'ng keskin ravishda sovutiladi.

ToshkTI «Kimyoviy texnologiya jarayon va qurilmalari» kafedrasida go'shtni noan'anaviy «portlatish» usulida tayyor mahsulot holatiga keltirish jarayoni yaratildi.

Bu usulning mohiyati shundaki, go'sht mahsuloti solingan germetik idish ichida suv bug'ining ortiqcha bosimi hosil qilinadi. Qurilmada hosil qilinadigan ortiqcha bosimning miqdori qayta ishlanayotgan mahsulot turiga bog'liq. Odatda, silindrik shakldagi qurilma ichida suv bug'ining bosimi kerakli qiymatda o'rnatiladi. Qayta ishlanayotgan mahsulotga ma'lum vaqt ichida ishlov beriladi. So'ng, idishdagi ortiqcha bosim 0,01-0,3 s vaqt ichida, keskin ravishda atmosferaga chiqarib yuboriladi, ya'ni atrof-muhit bosimi bilan tenglashtiriladi. Natijada bosimlar farqi ostida, mahsulot tarkibidagi namlik o'ta qizigan holatdan qisqa onda bug' agregat holatiga o'tadi va material ichidan tashqariga qarab juda katta tezlikda harakat qiladi. Shu paytda, mahsulot ichidan tashqariga yo'nalgan suv bug'ining kuchi pishgan go'sht mahsulotining yaxlitligini buzadi va uni bo'ylama tolalarga parchalaydi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, parchalangan go'sht tolalari tayyor holatda, ya'ni pishgan bo'ladi. Lekin shunday texnologik rejimlar tanlash mumkinki, «portlatish» usulida go'sht ushbu usulda qayta ishlanganda pishib chiqadi, ammo yaxlitligi, bir butunligi saqlanib qoladi. Undan tashqari, ushbu usulda tarkibida yog' bor materiallar (paxta chigiti, pista, masxar, mevalar danagi, poliz mahsulotlarning urug'lari) va deformatsiyalanuvchi materiallar (sabzi, kartoshka va boshqalar)ni chaqish va tozalash mumkin. Tajribalar shuni ko'rsatdiki, danak va urug'larni «portlatish» usulida chaqish, butun mag'iz va maydalanmagan qobiq olish imkonini berdi. Xuddi shunday, kartoshka va sabzini bu usulda artish yuqori samara berdi. Jarayon afzalliklari: xomashyoning yo'qotilishi minimal miqdorda va mahsulot yaxlitligi buzilmaydi.

Bu turdagi qurilmaning tuzilishi sodda, ixcham, f.i.k yuqori, kapital va ekspluatatsion sarflar kam. Kamchiligi shundan iboratki, ishlatib bo'lingan bug'dan qayta foydalanish imkoni yo'q. Hozirgi kunda ushbu muammo ustida jadal izlanishlar olib borilmoqda.

7.7. Maydalagichlarni hisoblash

Jag'li maydalagich hisobi. Quyidagi xossalarga ega bo'lgan g'ovaksimon ohaktoshni birinchi bosqichda maydalash uchun mashina hisoblansin va loyihalansin: qattiq jism o'lchamlari $\delta_{nmax}= 75\cdot10^{-3}$ m, siqishga mustahkamlik chegarasi $\sigma_{sj}=75\cdot10^{6}$ Pa, elastiklik moduli $E=3\cdot10^{10}$ Pa, to'kma zichligi ρ_n =1200 kg/m^3 i zarrachalar zichligi ρ_m =2600 kg/m^3. Materialning dispers xarakteristikasi $R(\delta_n)$ 7.20a-rasmda keltirilgan. Maydalangan material bo'yicha unumdorligi G =100 t/soat. Zarrachalar o'lchami maydalash jarayonidan so'ng δ_0<0,025 m bo'lishi kerak.

Yechish: Boshlang'ich ma'lumotlar asosida 7-2 jadvaldan tishli juvali maydalagich, 7-3 jadvaldan esa maydalagich rusumli DDZ-16 ni topamiz.

7-2 jadval

Ezuvchi va zarbali maydalagichlarni tanlash uchun taxminiy ma'lumotlar

Mashina xarakteristikasi	Mashina turi					
	bolg'ali	konusli	juvali			jag'li
			tishli juva	gofrirlangan juva	tekis juva	
σ_{maxs}, MPa	80	350	80	250	400	350
δ_{nmax}, m	0,6	1,2	1,2	0,06	0,075	1,3
i	10-30	4-8	6-10	3-5	3-5	4-6

Juvalar orasidagi tirqish qiymatini a=0,12 m va juva aylanma tezligini n=0,5 s^{-1} deb qabul qilib, maydalagich unumdorligini hisoblaymiz.

$$w = \pi \cdot D \cdot n = 3{,}14 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}5 = 2{,}5 m/s \quad (7.25)$$

Unda

$$G = a \cdot L \cdot w \cdot \rho_н \cdot (0{,}5 - 1{,}12 \cdot a) = 0{,}12 \cdot 2 \cdot 2{,}5 \cdot (0{,}5 - 1{,}12 \cdot 0{,}12) = 272 kg/s \quad (7.26)$$

yoki

$$G = \frac{272 \cdot 3600}{1000} = 982 t/ch \quad (7.27)$$

Hisoblangan unumdorlik berilganga nisbatan juda katta bo'lgani uchun kerakli mashinani jag'li maydalagichlar orasidan tanlaymiz. (7-2 jadvalga qarang).

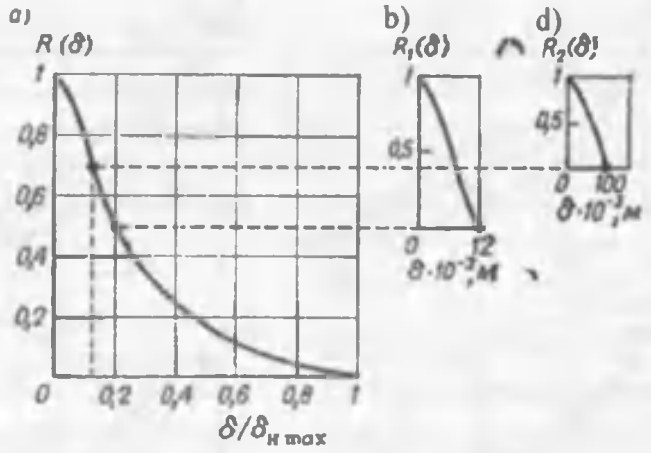
Berilgan hajmiy unumdorlik bo'yicha:

$$V = \frac{G}{\rho_н} = \frac{100 \cdot 1000}{3600 \cdot 1200} = 0{,}023 m^3/s \quad (7.28)$$

7-3 jadval

Tekis, tishli va gofrirlangan juvali maydalagichlarning asosiy parametrlari

Maydalagich turi	Juva o'lchami		Yuklanayotgan bo'lak o'lchami, δ_{max}, mm	Juvalar orasidagi tirqish a, mm	Juva aylanish soni n, s^{-1}	Elektr yuritkich quvvat N_{dv}, kVt
	D, mm	L, mm				
DG-400x250	400	250	20	2-12	2,38	8
					3,33	
					4,76	
DG-600x400	600	400	30	2-14	2,00	22
					2,50	
					3,16	
DG-800x500	800	500	40	4-16	1,20	30
					1,66	
					2,42	
DG-1000x550	1000	550	50	4-18	0,95	40
					1,50	
					1,92	
DG-1500x600	1500	600	75	4-20	0,63	55
					1,00	
					1,26	
DR-400x250	400	250	40	5-20	2,00	8
					3,00	
					4,00	
DR-600x400	600	400	60	10-30	1,66	8
					2,16	
					2,66	
DDZ-4	400	500	100	15-65	1,06	10
DDZ-6	630	800	400	30-80	0,83	20
DDZ-10	1000	1250	400	65-130	0,60	55
DDZ-16	1600	2000	1200	130-200	0,50	315



7.20-rasm. Taqsimlanish funksiyasi.

7-4 jadval ma'lumotlari asosida SHDS-9x12 rusumli maydalagich tanlaymiz.

To'kish tirqishining minimal enini va maydalash qobiliyati koeffitsiyenti K_p=1,2 ni inobatga olib ish unumdorligini aniqlaymiz:

$$V_a = V \cdot K_p\left(1+\frac{\Delta a}{a}\right) = 0{,}044 \cdot 1{,}2 \cdot \left(1+\frac{0{,}03}{0{,}13}\right) = 0{.}041 m^3/s \qquad (7.29)$$

Maydalagichdan chiqishda material dispersion tarkibi 2 ta tarqalish funksiyalarining yig'indisi sifatida topiladi. 7.20a-rasmdan ko'rinib turibdiki, 0,1 m dan kichik o'lchamli (7.20a-rasmda abssissadagi 0,1/0,75=0,13 qiymat) bo'lgan zarrachalar massasi 30% ni tashkil etadi va uning dispersion tarkibi $R_2(\delta)$ funksiya bilan ifodalanadi (7.20d-rasm). $R(\delta_n)$ egri chiziq R(0,13)=0,7 da tepa qismini kesish orqali olingan. Unda, maydalagichdan chiqayotgan 70% material massasi 7.21b-rasmda (1 chiziq) ko'rsatilgan dispersion xarakteristikaga ega bo'ladi.

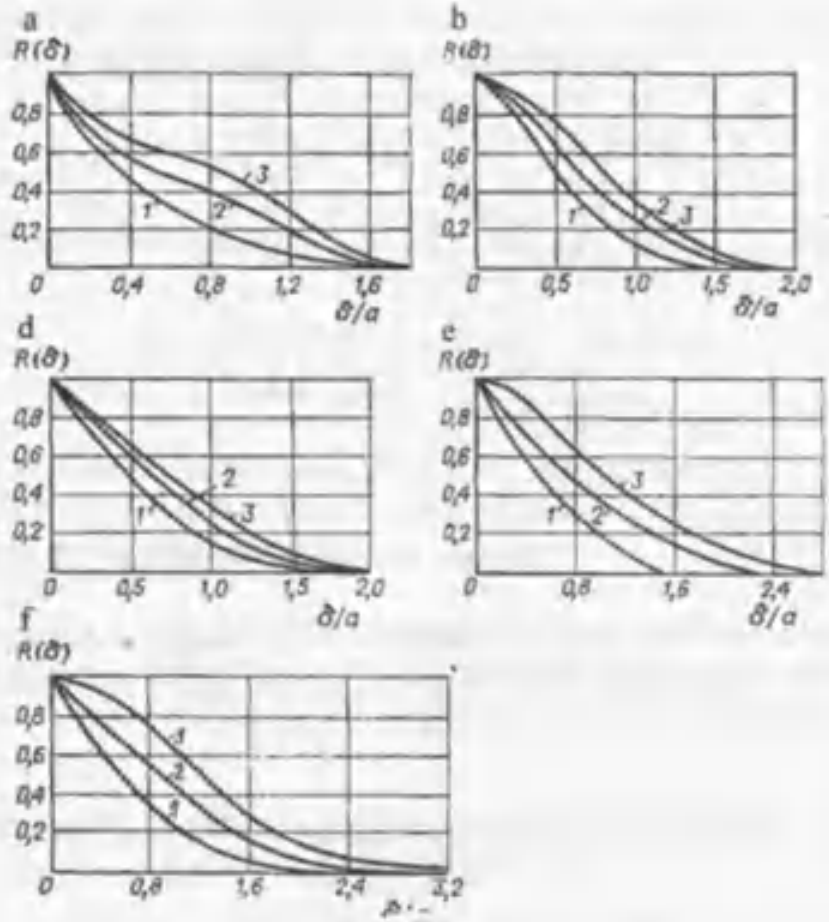
(7.30) va (7.31) tenglamalardan materialni dastlabki maydalash darajasini aniqlaymiz:

$$N = \frac{3 \cdot \left(K_\sigma \cdot \sigma_{sj}\right)^2 \cdot G}{2E\rho_m} \cdot (i-1) \qquad (7.30)$$

$$N_{dv} = \frac{N}{\eta_\delta \cdot \eta_n} \qquad (7.31)$$

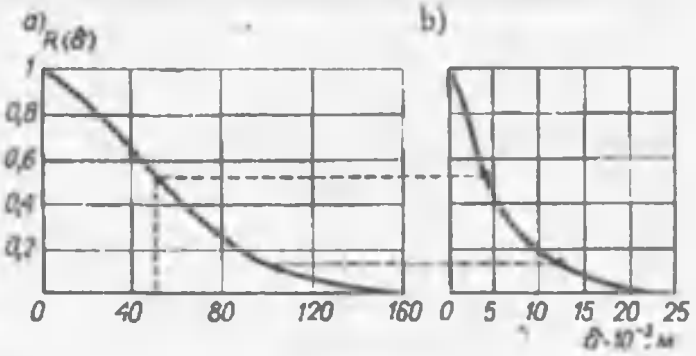
7.20a va 7.22a-rasmlardagi grafiklardan $\delta_{n.cp}$=0,205 mkm va $\delta_{k.cp}$=0,06 mkm ekanligi topamiz. Unda, ushbu tenglamadan maydalash darajasini aniqlaymiz:

$$i = \frac{\delta_{n.cp}}{\delta_{k\,cp.}} = \frac{0{,}205}{0{,}06} = 3{,}42$$



7.21-rasm. Juvali (a), jag'li (b), yirik maydalovchi konusli (d), o'rtacha maydalovchi konusli (e), mayin maydalovchi konusli (f) mashinalarda turli materiallarni maydalashdan so'ng mahsulotlar dispersion tarkib xarakteristikalari:
1-yumshoq; 2-o'rtacha mustahkam; 3- mustahkam.

Maydalangan mahsulotning $R(\delta_k)$ dispersion xarakteristikasi 7.22a-rasmda keltirilgan.

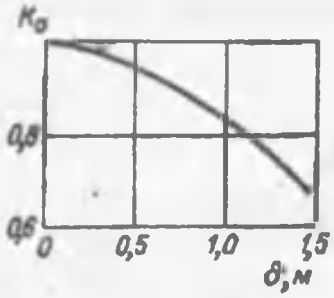


7.22-rasm. Bolg'ali mashinada maydalangan mahsulot R(δ) funksiyasini aniqlashga oid.
a – boshlang'ich material; б – maydalangan mahsulot.

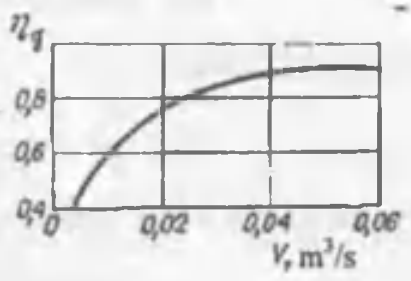
Demak, K_σ=0,97 da (7.23-rasm), G=100·1000/3600=28 kg/s va η_d=0,7 (7.24-rasm) maydalagich elektr yuritkichining quvvati:

$$N = \frac{3 \cdot (K_\sigma \cdot \sigma_{siq})^2 \cdot G}{2E\rho_M} \cdot (i-1) = \frac{3 \cdot (0{,}97 \cdot 75 \cdot 10^6)^2 \cdot 28}{2 \cdot 3 \cdot 10^{10} \cdot 2600} \cdot$$

$$\cdot (3{,}42-1) \cdot \frac{1}{0{,}7 \cdot 0{,}9} = 10947Vt$$



7.23-rasm. Bo'lak o'lchamlari δ ning koeffitsiyent K_σ bog'liqligi.



7.24-rasm. Konuvli va jag'li mashinalar f.i.k ning hajmiy sarf V bog'liqligi.

Maydalashning ikkinchi bosqichda maydalagich tanlashda 7.22-rasmdagi egri chiziq boshlang'ich, ya'ni $\delta_{nmax} = 150 \cdot 10^{-3}$ m deb hisoblanadi.

Maydalashning ikkinchi bosqichida 7-2 jadvalga binoan bolg'ali maydalagich tanlaymiz.

Bolg'ali maydalagich hisobi. Quyidagi xossalarga ega bo'lgan g'ovaksimon ohaktoshni birinchi bosqichda maydalash uchun mashina hisoblansin va loyihalansin: qattiq jism o'lchamlari $\delta_{nmax} = 150 \cdot 10^{-3}$ m, siqishga mustahkamlik chegarasi $\sigma_{siq} = 75 \cdot 10^6$ Pa, elastiklik moduli $E = 3 \cdot 10^{10}$ Pa, to'kma zichligi $\rho_n = 1200$ kg/m^3 i zarrachalar zichligi $\rho_m = 2600$ kg/m^3. Materialning dispers xarakteristikasi $R(\delta_n)$ 7.22a-rasmda keltirilgan. Maydalangan material bo'yicha unumdorligi G =600 t/soat=28 kg/s.

Yechish: Boshlang'ich ma'lumotlar asosida 7-2 jadvaldan bolg'ali maydalagich tanlaymiz. 7-4 jadvalga binoan boshlang'ich ma'lumotlarga esa M-13-11 rusumli maydalagich to'g'ri keladi [19].

7-4 jadval

Maydalagich turi	Rotor o'lchami		Bo'lak o'lchami δ_{nmax}, mm	Rotor aylanish chastotasi n^{-1}	Elektr yuritkich quvvati $N_{e.y.}$, kVt	Bolg'acha qatorlarining soni z_p	Bolg'acha turi	Unumdorligi G, kg/s
	D, mm	L, mm						
M-6-4 M-8-6	600 800	400 600	150 250	20,8 16,6	20 55	6	I	2,8-4,2 2,8-6,7
M-13-11 M-13-16	1300	1100 1600	400	12,5	130 210		II	28-36 42-56
M-20-20 M-20-30	2000	2000 3000	600	10,0	800 1250		III	158-183 250-333

Maydalagichdan chiqayotgan material dispersion tarkib egri chizig'ini topamiz. Buning uchun quyidagi tenglamaga kiradigan hamma parametrlarni hisoblab chiqamiz:

$$i = \frac{w^2 \cdot z \cdot M \cdot \rho_M \cdot E}{3 \cdot \sigma_{ij}^2 \cdot (z \cdot M + m)} + 1 \qquad (7.32)$$

bu yerda, w – bolg'achalar uchi bo'ylab rotorning aylanma bo'ylab tezligi, m/s; M – ideal bolg'acha massasi, kg; z – bo'lakka bir vaqtda zarba beradigan bolg'achalar soni; $m=\rho_M \cdot \delta^3$ – bo'lak massasi.

Bolg'achalar uchi bo'ylab rotorning aylanma bo'ylab tezligi:

$$w = \pi \cdot D \cdot n = 3{,}14 \cdot 1{,}3 \cdot 12{,}5 = 50 m/s \qquad (7.24)$$

Ideal bolg'acha massasi:

$$M = \frac{J_p}{r^2} = \frac{0{,}38}{0{,}27^2} = 5{,}2 kg \qquad (7.25)$$

Bo'lakka bir vaqtda zarba beradigan bolg'achalar soni:

$$z = \frac{\delta_M}{0{,}08} \qquad (7.26)$$

bu yerda, 0,08 – bolg'acha kallagining eni.

Zarracha oxirgi o'lchami ushbu formuladan topiladi:

$$\delta_K = \frac{\delta_M}{l} \qquad (7.27)$$

Zarrachalar uchta δ_M qiymati uchun oxirgi o'lchamlarini hisoblashni bajaramiz:

1) $150 \cdot 10^{-3}$ m; 2) $100 \cdot 10^{-3}$ m; 3) $50 \cdot 10^{-3}$ m.

Birinchi holatda $m=0{,}15^3 \cdot 2600=8{,}8$ kg; $z=0{,}15/0{,}08 \approx 2$.

$$i = \frac{w^2 \cdot z \cdot M \cdot \rho_M \cdot E}{3 \cdot \sigma_{cmc}^2 \cdot (z \cdot M + m)} + 1 = \frac{50^2 \cdot 2 \cdot 5{,}2 \cdot 2600 \cdot 3 \cdot 10^{10}}{3 \cdot (75 \cdot 10^6)^2 \cdot (2 \cdot 5{,}2 + 8{,}8)} + 1 = 7{,}25$$

$$\delta_K = \frac{\delta_M}{l} = \frac{0{,}15}{7{,}25} = 0{,}021 m$$

Ikkinchi holatda $m=0{,}1^3 \cdot 2600=2{,}6$ kg; $z=0{,}1/0{,}08 \approx 1$

$$i = \frac{w^2 \cdot z \cdot M \cdot \rho_M \cdot E}{3 \cdot \sigma_{cmc}^2 \cdot (z \cdot M + m)} + 1 = \frac{50^2 \cdot 1 \cdot 5{,}2 \cdot 2600 \cdot 3 \cdot 10^{10}}{3 \cdot (75 \cdot 10^6)^2 \cdot (5{,}2 + 2{,}6)} + 1 = 7{,}7$$

$$\delta_K = \frac{\delta_M}{l} = \frac{0{,}10}{7{,}7} = 0{,}013 m$$

Uchinchi holatda $m=0{,}05^3 \cdot 2600=0{,}32$ kg; $z=0{,}1/0{,}08 \approx 1$

$$i = \frac{w^2 \cdot z \cdot M \cdot \rho_M \cdot E}{3 \cdot \sigma_{siq}^2 \cdot (z \cdot M + m)} + 1 = \frac{50^2 \cdot 1 \cdot 5{,}2 \cdot 2600 \cdot 3 \cdot 10^{10}}{3 \cdot (75 \cdot 10^6)^2 \cdot (5{,}2 + 0{,}32)} + 1 = 12{,}5$$

$$\delta_K = \frac{\delta_M}{l} = \frac{0{,}05}{12{,}5} = 0{,}004 m$$

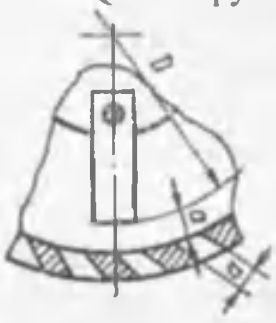
7.22-rasmda maydalagichdan chiqayotgan material dispersion tarkibining egri chizig'ini qurish keltirilgan.

δ_{kmax}=21 mm da a kattalik quyidagiga teng bo'ladi (7.25-rasm):

$$a = 2\delta_{\kappa\max} = 2 \cdot 21 = 42mm$$

a=50 mm deb qabul qilamiz.

Quvvat qiymatini ushbu formuladan topamiz:



7.25-rasm. Kolosniklar, kolosnikli panjara va bolg'achalar orasidagi tirqishlar.

$$N_{sh} = \frac{G \cdot \omega^2}{2 \cdot \eta_\partial \cdot \eta_n} = \frac{28 \cdot 50^2}{2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}9} = 77800kVt$$

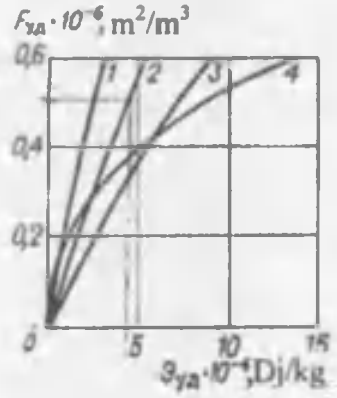
Tanlangan mashina boshlang'ich ma'lumotlar va talab etilgan maydalash shartlariga to'g'ri keladi.

Materialni maydalagichga tushirish balandligi ushbu tenglama bo'yicha hisoblanadi:

$$H = 0{,}018 \cdot \left(\delta_{n\max} \cdot n \cdot z_p\right)^2 = 0{,}018 \cdot \left(0{,}15 \cdot 12{,}5 \cdot 6\right)^2 = 2{,}3m$$

Sharli tegirmon hisobi. O'rtacha zichlikka ega bo'lgan murakkab o'g'it yirik granulalarini maydalash uchun qurilma hisoblansin va tanlansin.

Qattiq jism o'lchamlari δ_{nmax}= $4 \cdot 10^{-3}$ m, siqishga mustahkamlik chegarasi $\sigma_{c.ж}$=$180 \cdot 10^6$ Pa, elastiklik moduli E=$5 \cdot 10^{10}$ Pa, to'kma zichligi $\rho_м$ =1200 kg/m^3. Maydalangan material bo'yicha unumdorligi G =40 t/soat va u keyin «ho'l» usulda sement ishlab chiqarish uchun ishlatiladi. Zarrachalar o'lchami maydalash jarayonidan so'ng δ_0<0,0001 m bo'lishi kerak.



7.26-rasm. Solishtirma yuza F_{ud} o'sishining material solishtirma energiyasi E_{uc} sarfiga bog'liqligi
1-apatit, gips, ohaktosh; 2-ohaktosh, mergel; 3-granit; 4-toshko'mir.

Yechish: Boshlang'ich ma'lumotlar asosida barabanli tegirmon konstruksiyasini tanlaymiz. Tegirmonga zarur quvvatni (7.28) formula yordamida hisoblaymiz:

$$N_{sh.z.} = G \cdot Э_{sol} \qquad (7.28)$$

bu yerda G – ish unumdorligi, kg/s; E_{sol}– materialni maydalash solishtirma energiyasi, J/kg.

Ushbu qiymat 7.26-rasmdan topiladi. Buning uchun $F_{yo'k}$ ni (7.29) tenglamadan aniqlaymiz

$$F_{sol} = \frac{41{,}4}{\delta_{nam}} \cdot \lg\left(\frac{\delta_{nam} \cdot 10^6}{5{,}47}\right) = \frac{41{,}4}{100 \cdot 10^{-6}} \cdot \lg\left(\frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6}{5{,}47}\right) = \qquad (7.29)$$

$$0{,}522 \cdot 10^6 \frac{m^2}{m^3}$$

Unda, F_{sol}=0 deb qabul qilib, E_{sol} =$33 \cdot 10^3$ J/kg ekanligini topamiz. G va E_{sol} larni (7.28) tenglamaga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$N_{sh.z.} = 40 \cdot \frac{1000}{3600} \cdot 45 \cdot 10^3 = 500 \cdot 10^3 Vt = 500kVt$$

Quvvatiga qarab

$$(1,3-1,5)\cdot N_{sh.z} = 650-750kVt$$

7-5 jadvaldan MSHR–3600x4000 rusumli sharli tegirmonni tanlaymiz.

Aniqlovchi hisob. Buning uchun K_N koeffitsiyentni quyidagi tenglamadan topamiz:

$$K_N = \frac{60\cdot N_{sh.a}}{\rho_{r.sh}\cdot R^{2,5}\cdot L\cdot g} = \frac{60\cdot 500\cdot 10^3}{4100\cdot 1,74^{2,5}\cdot 3,88\cdot 9,8} = \frac{30000000}{622608,1} = 48,2$$

7-5 jadvaldan n=0,33 c^{-1} tanlab $n\sqrt{2R}$ ni hisoblaymiz.

7-5 jadval

Yanchish usuli	Tegirmon rusumi	Maydalash kamerasi o'lchamlari, mm		Baraban aylanish chastotasi n, c^{-1}	Yuklanadigan sharlar massasi m_{sh}, t	Elektr yuritkich quvvati N_{dv}, kVt
		D	L			
q u r u q	SHBM-207/265	2070	2650	0,38	10	105
	SHBM-220/330	2200	3300	0,36	14	150
	SHBM-250/390	2500	3900	0,33	25	265
	SHBM-287/410	2870	4100	0,31	30	350
	SHBM-320/510	3200	5100	0,30	-	-
	SHBM-320/570	3200	5700	0,30	54	700
	SHBM-340/650	3400	6500	0,28	-	-
	SHBM-370/850	3700	8500	0,29	100	1400
h o' l	MSHR-900x900	830	830	0,56-0,66	1.0	15
	MSHR-1210x1200	1100	1100	0,50-0,58	2,2	30
	MSHR-1500x1600	1400	1500	0,43-0,52	4,8	55
	MSHR-2100x1500	2000	1400	0,36-0,43	10,0	132
	MSHR-2100x2200	2000	2100	0,36-0,43	15,0	160
	MSHR-2100x3000	2000	3900	0,36-0,43	20,0	200
	MSHR-2700x3600	2580	3480	0,32-0,38	42,0	400
	MSHR-3200x3100	3080	2980	0,30-0,35	52,0	630
	MSHR-3600x4000	3480	3880	0,28-0,33	82,0	1000
	MSHR-3600x5000	3480	4880	0,28-0,33	100,0	1250
	MSHR-4000x5000	3860	4860	0,26-0,32	120,0	2000
	MSHR-4500x5000	4360	4860	0,25-0,30	150,0	2500

$$n\sqrt{2R} = 0,33\sqrt{3,48} = 0,62$$

Unda 7.27-rasmdan barabanning to'ldirilish koeffitsiyentini φ=0,35 topamiz. Yuklanadigan sharlar massasi ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$m_{sh} = \varphi\cdot\pi\cdot R^2\cdot L\cdot\rho_{n.sh} = 0,35\cdot 3,14\cdot 1,74^2\cdot 3,88\cdot 4100 = 52931kg$$

Hisoblangan kattalik m_{sh} 7-4 jadvalda keltirilgan kattalikdan kichik, ya'ni . 52,931 t < 82,0 t.

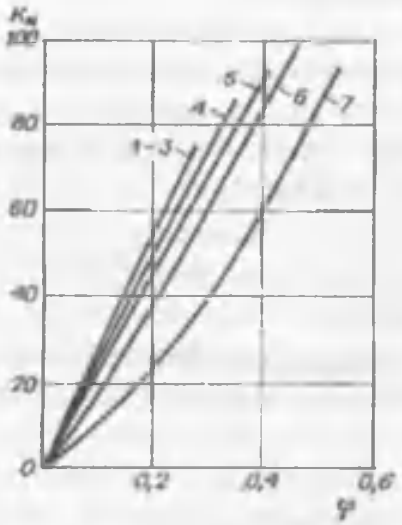
Shar diametrini topish uchun avval uning tushish tezligini hisoblash kerak. 7.28-rasmdan φ=0,35 va $n\sqrt{2R} = 0,62$ topamiz:

$$R_n = 0,75\cdot 1,74 = 1,305m$$

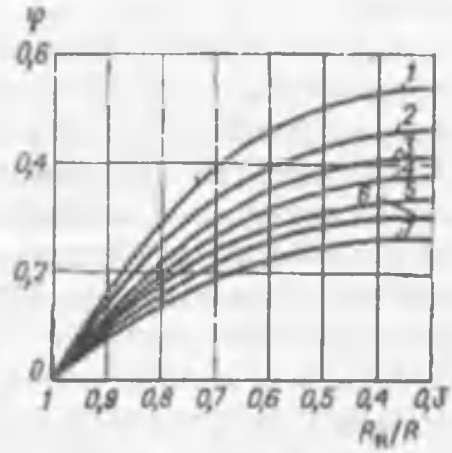
Unda

$$w_{sh}^2 = 16 \cdot g \cdot \left[R_n(2n) - R_n^3(2n)^5\right]^2 = 16 \cdot 9{,}81 \cdot \left[1{,}305 \cdot (2 \cdot 0{,}33) - 1{,}305^3 (2 \cdot 0{,}33)^5\right]^2 =$$

$$= 52{,}8 m^2 / s^2$$



7.27-rasm. Sharlar yuklanish quvvat koeffitsiyentining $n\sqrt{2R}$ turli qiymatlarida barabanning to'ldirish koeffitsiyentiga bog'liqligi.
1-0,42; 2-0,45; 3-0,47; 4-0,5; 5-0,53; 6-0,57; 7-0,62.



7.28-rasm. To'ldirilish koeffitsiyentining $n\sqrt{2R}$ turli qiymatlarida sharlarning eng kichik radiusiga bog'liqligi.
1-0,62; 2-0,57; 3-0,53; 4-0,5; 5-0,47; 6-0,45; 7-0,42.

Shar diametri quyidagi tenglamadan hisoblanadi:

$$d_{sh} = \sqrt[3]{\frac{18 \cdot \sigma_{ssh}^2}{\rho_{sh} \cdot \pi \cdot E \cdot w_{sh}^2}} \cdot \delta_{max} = \sqrt[3]{\frac{18 \cdot (180 \cdot 10^6)^2}{7800 \cdot 3{,}14 \cdot 5 \cdot 10^{10} \cdot 52{,}8}} \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 8{,}3 \cdot 10^{-3} m$$

Olingan natijaga tayanib d_{sh}=10 mm li shar tanlaymiz.

$\rho_{i.a.}$ ni ushbu formuladan aniqlaymiz:

$$\rho_{i.z} = \rho_{i.sh} + 1{,}15 \cdot \left(1 - \frac{\rho_{i.sh}}{\rho_h}\right) \cdot \rho_n = 4100 + 1{,}15 \cdot \left(1 - \frac{4100}{7800}\right) \cdot 1950 = 3036{,}25 kg/m^3$$

Tegirmon elektr yuritkichining quvvatini aniqlash uchun ushbu formuladan hisoblaymiz

$$N_{dv} = \frac{K_N \cdot \rho_{n.z} \cdot R^{2.5} \cdot L \cdot g}{60 \cdot \eta_{per}} = \frac{48{,}2 \cdot 3036{,}25 \cdot 1{,}74^{2.5} \cdot 4{,}88 \cdot 9{,}81}{60 \cdot 0{,}92} =$$

$$= \frac{21211525}{55{,}2} = 384266{,}8 Vt$$

Ushbu elektr yuritkich quvvatining qiymati 7-5 jadvalda keltirilgan kattalikdan kichik, ya'ni 384,266 kVt<1000 kVt.

7-bob. Mexanik jarayonlar bo‘yicha
Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Qattiq jismlarni maydalab nimaga erishiladi?
2. Maydalash darajasi qaysi formuladan topiladi?
3. Noto‘g‘ri shaklli jismning o‘rtacha diametri qanday aniqlanadi?
4. Qattiq jismdan iborat biror fraksiyaning o‘rtacha diametri qaysi formuladan topiladi?
5. Sochiluvchan material aralashmasining o‘rtacha diametri qanday hisoblanadi?
6. Qattiq jismlarni maydalashning qanday usullari bor?
7. Yirik maydalash qaysi maydalash darajasini ta’minlaydi?
8. O‘rtacha maydalash qaysi maydalash darajasini ta’minlaydi?
9. Mayda yanchish qaysi maydalash darajasini ta’minlaydi?
10. Mayin maydalash qaysi maydalash darajasini ta’minlaydi?
11. O‘ta mayin maydalash qaysi maydalash darajasini ta’minlaydi?
12. Dispersion tarkib nima?
13. Sochiluvchan materiallar to‘kma zichligining ta’rifi.
14. Jismning qattiqligi qaysi o‘lcham birligida o‘lchanadi?
15. Jismning mo‘rtlik xossasi ta’rifini bering.
16. Yuza nazariyasini ta’riflang.
17. Hajmiy nazariyani ta’riflang.
18. Rittinger tenglamasini yozing va undagi parametr nomlarini ayting.
19. Kik-Kirpichev gipotezasi va uni ifodalovchi formulani yozing.
20. Maydalagichlar klassifikatsiyasini chizib bering.
21. Jag‘li maydalagich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
22. Konusli maydalagich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
23. Bolg‘ali maydalagich konstruksiyasi, ishlashi, afzallik va kamchiliklari.
24. Dezintegrator konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
25. Dismembrator konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
26. Diskli tegirmon konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
27. Juvali maydalagich konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
28. Sharli tegirmon konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
29. Yuguruvchi tegirmon konstruksiyasi, ishlashi, afzallik va kamchiliklari.
30. Tebranma tegirmon tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
31. Kolloid tegirmon tuzilishi, afzallik va kamchiliklari.
32. Sochiluvchan materiallarni elash usullari.
33. Tebranuvchi elak konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
34. Barabanli g‘alvir konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
35. Elektr magnit barabanli g‘alvir konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
36. Markazdan qochma separator konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
37. Qattiq jismlarni maydalashning maxsus usullari.
38. Maydalagichlarni hisoblash ketma-ketligi.

8 - bob. GRANULLASH VA PRESSLASH

8.1. Umumiy tushunchalar

Qattiq materiallarni suvsizlantirish, briketlash hamda plastik materiallarni granullash va shakllantirish uchun kimyoviy, oziq-ovqat, farmatsevtika va boshqa sanoatlarda presslash kabi jarayon qo'llaniladi.

Presslash jarayonining mohiyati shundaki, maxsus presslarda tashqi kuchlar ta'sirida qayta ishlanayotgan materialning shakli va granulometrik tarkibi o'zgartiriladi.

Turli xomashyo va materiallarni suvsizlantirish, briketlash, shakllash va shtamplash uchun ortiqcha bosim ta'sirida ishlov beriladi.

Bosim ostida suvsizlantirish kimyo va oziq-ovqat sanoatlarining turli sohalarida ishlatiladi: qand lavlagi turpidan suvni, shakar qamishdan sharbatini, chigit, kungaboqar va boshqa urug' va danaklardan yog'ini, meva va meva-rezavorlardan sharbatini ajratib olishda keng qo'llaniladi.

Briketlash jarayoni briketlar, ya'ni silindrik va to'rtburchak shakldagi presslangan bo'laklar olish uchun qo'llaniladi. Ushbu jarayon turli sanoatlarda juda keng tarqalgan: masalan, shakar ishlab chiqarish sanoatida qand-rafinat, qand lavlagi turpi, oziq-ovqat konsentratlari va dorivor briketlarini olishda, konditer va omuxta yemlar, hamda chiqindilarni qayta ishlash sanoatlari va boshqalarda briketlash keng ishlatiladi.

Briketlash jarayonining turlari ko'p bo'lib, eng asosiylari granullash va tabletkalash. Ma'lumki, tabletka va granulalar o'lchamlari briketnikiga qaraganda ancha kichik bo'ladi. Xalq xo'jaligida mineral o'g'it, plastmassa, yem, choy, oziq-ovqat konsentratlari, sintetik yuvish vositalari va boshqa mahsulotlar granula holida ishlab chiqariladi.

Shakllantirish – plastik materiallarni qayta ishlashning asosiy usulidir. Bu jarayon: non yopish, makaron, yem, plastmassa ishlab chiqarish sanoatlarida ko'p qo'llaniladi. Materiallarga turli shakl berishda ekstruziya jarayoni ham keng ishlatiladi.

8.2. Suvsizlantirish va briketlash

Mahsulot tarkibidagi suyuqlik qimmatbaho yoki uni suvsizlantirish natijasida mahsulotning qadrligi ortsa, bunday hollarda mahsulotlardan suyuqlik ajratib olish uchun suvsizlantirish jarayoni qo'llaniladi.

Odatda bu jarayon ortiqcha bosim ostida amalga oshiriladi. Materialga ortiqcha bosim asosan ikki xil usulda: presslarda porshen bosimi yoki sentrifugalarda markazdan qochma kuch ta'siri orqali berilishi mumkin.

Mahsulot sifatini oshirish, nobudgarchilikni kamaytirish, uzoq muddat davomida foydalanish, transportda tashilishini yaxshilash maqsadida briketlash, tabletkalash va granullash jarayonlari qo'llaniladi.

Masalan, qand lavlagi jomi press mashinalarda 9...10% namlikkacha presslanadi. Natijada, diametri 11...20 mm li yoki ko'ndalang kesimi to'rtburchak balandligi 20...40 mm li briketlar hosil qilish mumkin. Presslangan jom zichligi ~750 kg/m^3.

Suvni siqib chiqarish darajasi presslash bosimiga bog'liq. Lekin suvni siqib chiqarish darajasini ortishi press ish unumdorligini pasayishiga va solishtirma energiya sarfini ko'payishiga olib keladi.

Briketlash jarayoni har doim maxsus presslarda amalga oshiriladi. Olingan briket o'z-o'zidan uqalanib yoki parchalanib ketmaydigan zichlikkacha presslanadi. Briketlar pressdan chiqishi bilan sovutiladi yoki quritiladi.

Briketlash jarayonining asosiy xarakteristikasi bu presslash bosimining ortishi va presslanayotgan moddaning zichlanish koeffitsiyentlari o'rtasidagi bog'liqlikdir:

$$\frac{\beta}{\beta_0} = \frac{V}{V_1} = \frac{h}{h_1} \tag{8.1}$$

bu yerda, β, β_0 – oxirgi va boshlang'ich zichlanish koeffitsiyentlari; V, V_1 – mahsulotning presslashdan avvalgi va keyingi hajmlari; h, h_1 – briketning boshlang'ich va oxirgi balandliklari.

Presslash bosimi mahsulotni zichlash bosimi va uni press-qolipga ishqalanish kuchini yengish bosimlari yig'indisiga tengdir.

Agar press-qolipga ishqalanish kuchlarini inobatga olmasak va mahsulot bir jinsli sistema deb qabul qilsak, unda presslash jarayonini ifodalash uchun prof. S.M. Grebenyuk formulasidan foydalansa bo'ladi:

$$\psi \ln \frac{p}{p_0} = \beta - \beta_0 \tag{8.2}$$

Press-qolip tubidagi solishtirma bosim:

$$p_h = p \cdot \exp\left(\frac{\xi f \Pi z}{F}\right) \tag{8.3}$$

bu yerda, h – briket balandligi; z – matritsa (o'yma qolip)dagi briket va puanson orasidagi masofa; Π – briket perimetri; f - materialning matritsa devoriga ishqalanish koeffitsiyenti; F – ko'ndalang kesim yuzasi; $\xi = p_{x.} / p_z$ - yon tomondagi solishtirma bosimning vertikal tomondagi solishtirma bosimga nisbati.

O'zgarmas ko'ndalang kesimli briketning o'rtacha. zichligi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\rho = \frac{\rho - \rho_x \cdot \psi \cdot \ln \frac{p}{p_0}}{1 - \frac{\psi \xi f \Pi G_k}{2F\rho_k}} \tag{8.4}$$

bu yerda, G_k – briketdagi qattiq faza massasi.

Bir tomonlama presslash jarayonida hosil bo'lgan briketning zichligi uning balandligi bo'yicha bir tekisda bo'lmaydi. Bunga sabab, materialning matritsa devoriga ishqalanishidir. Shuning uchun, yuqori sifatli, balandligi bo'yicha zichligi bir xil briketlar ikki tomonlama presslash natijasida hosil bo'ladi.

8.3. Shakllantirish

Presslash va granullash jarayonini o'tkazishdan maqsad bosim, temperatura, namlik va siljish (surilish) kuchlanishlarining kompleks ta'sirida tayyor va qisman yarim tayyor mahsulotlarni olishdir.

Ushbu jarayonlar ekstruderlarda o'tkaziladi. Ekstruziya jarayonining afzalligi shundaki, unda aralashtirish, disperslash, bir jinsli qilish, sovitish, shakllantirish va quritish kabi jarayonlarni bir vaqtda olib borish mumkin. Undan tashqari, ekstruziya jarayoni qayta ishlanayotgan materialning tarkibini va xossalarini zarur yo'nalishda o'zgartirish, jarayonni uzluksiz tashkil etish, materialga uzluksiz ravishda aromatik birikma, bo'yoq, plastifikator va ta'm beradigan moddalarni beto'xtov uzatish imkoniyatini beradi. Ekstruziya jarayoni plastmassa, rezina, xamir kabi materiallarni, hamda makaron, konditer mahsulotlari, omuxta yem, bolalar ovqati, granullangan yemlar ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Ekstruziya usulida olingan tayyor mahsulot yoki qisman tayyor mahsulot **ekstrudat** deb ataladi. Ekstrudatning shakli unga o'rnatilgan matritsa teshiklari shakli bilan belgilanadi.

Issiq, sovuq yoki qaynash ekstruziya usullari bor.

Plastik xomashyo va materiallarni matritsa orqali ezib o'tkazgandagi mexanik shakllantirish-sovuq ekstruziya usulida amalga oshiriladi.

Namligi 20...40% va tarkibida kraxmal bor materiallarni qisman kleysterizatsiya qilish uchun issiq ekstruziya usulidan foydalaniladi. Olingan mahsulot albatta qovuriladi yoki pishiriladi.

Qaynash ekstruziyasi jarayonida qayta ishlanayotgan materialda qaytmas biofizik o'zgarishlar (birinchi galda oqsil, kraxmal va shakar) sodir bo'ladi. Odatda, hosil bo'lgan ekstrudat quritiladi yoki qovuriladi va zarur modda bilan qoplanadi.

8.4. Mahsulotlarni presslash uskunalari

Kimyo, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda turli xil konstruksiyali presslar ishlatiladi. Ularni 2 ta guruhga ajratsa bo'ladi: gidravlik va mexanik presslar.

Gidravlik press – gidravlik qonunlariga binoan ishlaydi. Pressning asosiy qismi silindrik bo'lib, uning ichida qo'zg'almas plita bilan bog'langan plunjer harakat qiladi. Plunjerning harakati yuqori bosimli suyuqlik ta'sirida amalga oshadi.

Presslanayotgan material qo'zg'almas va harakatchan plitalar orasida bo'ladi. Materialda, plunjer yoki porshen yordamida hosil qilingan bosim kuchi, uning yuzasigi to'g'ri proporsional:

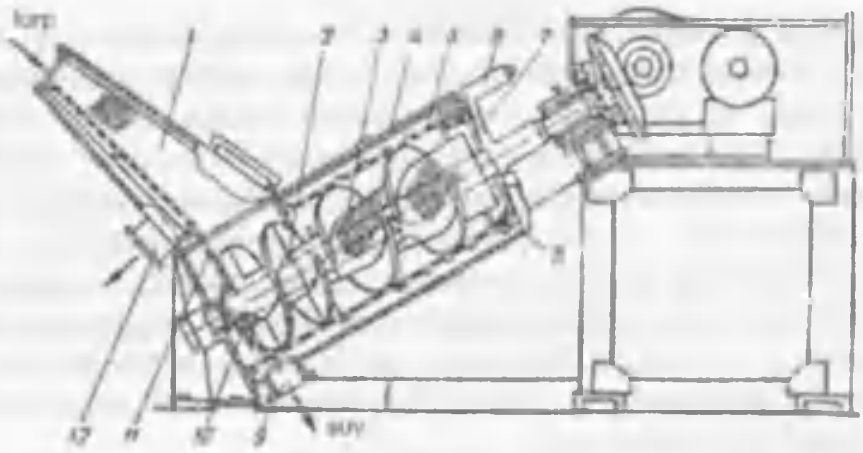
$$P = p \cdot F \qquad (8.5)$$

bu yerda, p – gidravlik sistemadagi bosim, N/m^2; F – porshen yoki plunjer yuzasi, m^2.

Qiya shnekli press lavlagi turpini siqib, sharbat olish uchun mo'ljallangan (8.1-rasm). Lavlagi turpi separator 1 ga yuklanadi va u yerda undan qisman suv chiqariladi, so'ng esa pressda suvning asosiy qismi siqib olinadi.

Bu suvning bir qismi silindrik elak 5 dan o'tib shtuser 9 orqali, ikkinchi qismi esa - elak 3 dan shnekning g'ovak o'qiga tushadi va teshik 10 va shtuser 9 orqali to'kiladi. Lavlagi turpi konussimon elak 8 va siquvchi shnek 4 lar orasidagi halqasimon teshikdan tushadi. Ushbu halqasimon teshik o'lchami turpning qurilmada qayta ishlanish vaqti va siqish darajasini belgilaydi. Ushbu parametrlarni rostlash moslama 6 yordamida amalga oshiriladi.

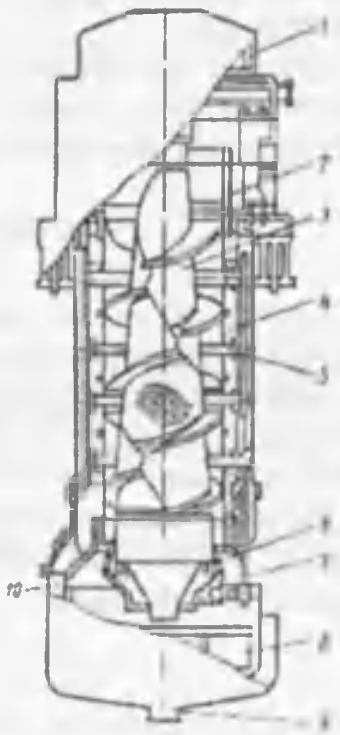
Gorizontal va qiya presslar bir-biriga o'xshash bo'ladi. Lekin gorizontal presslarda siqib bo'lingan turp bilan sharbat aralashishi sodir bo'ladi.



8.1-rasm. Qiya shnekli press.

1-separator; 2-shnek o'qi; 3-elak; 4-siquvchi shnek; 5-silindrik elak; 6-rostlovchi moslama; 7-turpni to'kish shtuseri; 8-konussimon elak; 9-shtuser; 10-suvni chiqarish shtuseri; 11-qo'shimcha filtrlash yuzasi; 12-suvni to'kish shtuseri.

Vertikal shnekli pressning asosiy qismi – bu maxsus traversaga o'rnatilgan ichi bo'sh vertikal shnekdir (8.2-rasm). Shnek bilan material birga aylanmasligi uchun shnek qobig'ida maxsus parraklar o'rnatiladi. Ushbu parraklar qurilma qobig'ining qarama-qarshi ikki tomonida o'rnatiladi. Bu esa, qayta ishlanayotgan materialni shnek bilan birga aylanishiga qarshilik qiladi. Maxsus parraklarda teshiklar bo'lib, ulardan truba quvurlari orqali kelayotgan bug' o'tadi.



8.2-rasm. Vertikal shnekli press.

1-shesternya; 2-yuklovchi shtuser; 3-shnek; 4-ajraluvchan elak; 5-maxsus parrak; 6-konussimon elak; 7-bolt; 8-qirg'ich; 9-shtuser; 10-kanal.

Pressning tepa qismida yuklovchi shtuser 2 joylashgan bo'lsa, pastki qismida esa – konussimon teshikli ajraluvchan silindrik elak 4 o'rnatilgan.

Nam lavlagi turpi yuklovchi shtuser 2 orqali presslashga tushiriladi va shnekning yuqori qismidagi parraklar yordamida ko'ndalang kesimi kichik zonaga, pastga qarab yo'naltiriladi. Xuddi shu zonada siqish jarayoni sodir bo'ladi, ya'ni materialdagi suv siqib olinadi.

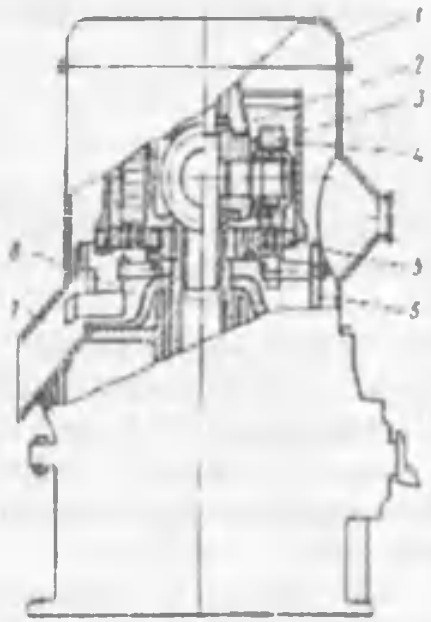
Suvning bir qismi silindrik elakning teshiklari, boshqa qismi esa – ichi bo'sh shnek orqali oqib chiqadi va kanal 10, shtuser 9 lardan to'kiladi.

Silindrik elakning pastki qismida harakatchan konussimon elak joylashtirilgan bo'lib, u bolt 7 yordamida tepaga ko'tarilishi va pastga tushirilishi mumkin. Bu ikki elak orasidagi tirqishning o'lchami mahsulotni siqish darajasini belgilaydi.

Rotatsion presslar quruq turpni briketlash uchun qo'llaniladi. Ushbu presslarning tekis, yassi yoki silindrik matritsasi bo'ladi.

Presslash jarayonida bu turdagi presslarda juda katta inersion kuchlar hosil bo'ladi. Shuning uchun bu qurilmalar katta, og'ir poydevorga o'rnatiladi.

Yassi matritsali gorizontal rotatsion pressning konstruksiyasi 8.3-rasmda ko‘rsatilgan.



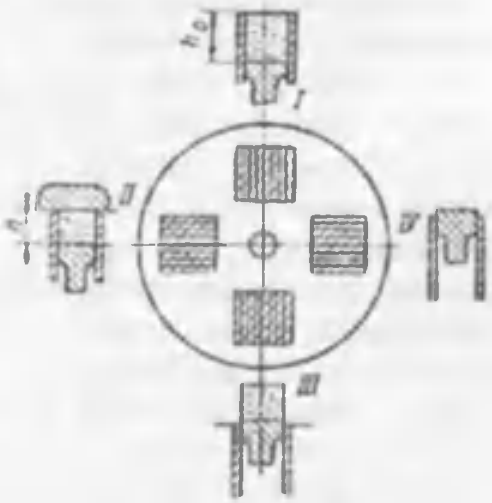
8.3-rasm. Rotatsion press.
1-qobiq; 2-material taqsimlagich; 3-bunker; 4-presslovchi juva; 5-matritsa; 6-granulani kesish moslamasi; 7-to‘kish novi; 8-parrak.

Pressning asosiy qismi – bu presslovchi bo‘lak bo‘lib, matritsa 5 va presslovchi juva 4, granula kesish moslamasi 6 va ichi bo‘sh o‘qlardan tarkib topgan. Matritsa 5 ichi bo‘sh o‘qqa o‘rnatilgan va u bilan birga aylanadi. Konussimon taqsimlagich 2 quruq materialni juva 4 ostiga yo‘naltirish uchun mo‘ljallangan.

Matritsadan chiqayotgan presslangan material pichoq bilan kesiladi va parrak yordamida to‘kish noviga yo‘naltiriladi. Matritsa va pichoq orasidagi tirqish 0,5 mm dan ortmasligi kerak. Lekin pichoq matritsaning ishchi enini yopib turishi va pichoq tig‘i matritsaning ostki yuzasiga parallel bo‘lishi zarur. Gorizontal tekislikka nisbatan pichoqning qiyalik burchagi 30° bo‘ladi.

Briketni kesish uchun 4 ta pichoq o‘rnatiladi. Agar yirik o‘lchamdagi briketlar olinishi zarur bo‘lsa, pichoqlar soni kamaytiriladi.

Diskli press – qand-rafinatni ishlab chiqarishda qo‘llaniladi va u quyidagi asosiy qismlardan iborat: rafinat bo‘tqasini qabul qilish qutichasi; puanson va matritsali disklar; rafinat bo‘laklarini presslash uchun tayanch; stol yuzasini ishqalab ortish mexanizmi; presslangan rafinat bo‘laklarni ko‘tarish mexanizmi; stanina, uzatma va disklarni aylantirish mexanizmi.



8.4-rasm. Diskli pressning ishlash sxemasi.

Press stoli gorizontal tekislikda soat milliga qarshi yo‘nalishda aylanma harakat qiladi (8 4-rasm).

Ushbu stol bitta aylanishida to‘rt marotaba to‘xtaydi va ketma-ket quyidagi jarayonlar bajariladi:

I – matritsani rafinat bo‘tqasi bilan to‘ldirish;

II – puanson yuqoriga harakat qilganda shakllantirish;

III – matritsadan qand bo‘laklarini puanson yordamida surib chiqarish;

IV – puansonni qand qoldiqlaridan tozalash va mastika bilan ishqalash.

Odatda press matritsalari qutichalar shaklida latun materialdan tayyorlanadi va disk teshiklariga joylashtiriladi.

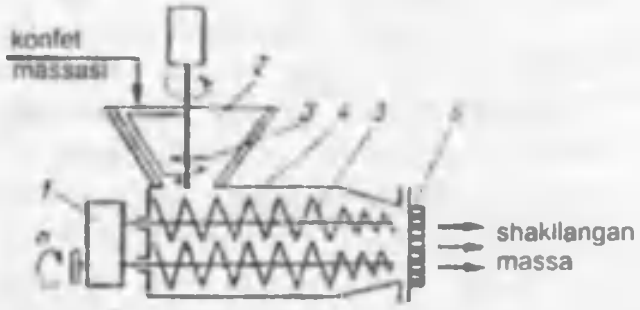
Tabletka qilish mashinalaridan eng keng qo‘llaniladigan turi sifatida rotatsion qurilmani ta’kidlash mumkin.

Rotatsion tabletka qilish mashinalari 2 sinfga bo‘linadi. Birinchi sinfga oid mashinalarda puanson kopira ustida dumalab harakatlanadi, ikkinchisida esa – sirpanadi.

Rotatsion tabletka qilish mashinalarining ish unumdorligi ushbu formuladan topiladi:

$$Q = 60\left(\frac{P}{p}\right)h \cdot \rho \cdot N \cdot m \cdot kn \qquad (8.6)$$

bu yerda, P–presslash kuchlanishi, N; p–presslash bosimi, MPa; h–matritsadagi materialning presslashgacha bo‘lgan balandligi, m; ρ – material zichligi, kg/m^3; N–rotordagi matritsalar soni; m – matritsadagi uyalar soni; k – ko‘p pozitsiyalik koeffitsiyenti (k=1,2,3,4); n – rotor aylanish chastotasi, min^{-1}.



8.5-rasm. Ikki shnekli shakllantirish pressi.
1-uzatma; 2-yuklovchi shtuser; 3-qadoqlovchi shnek; 4 -press qobig‘i; 5-shnek; 6-filyera.

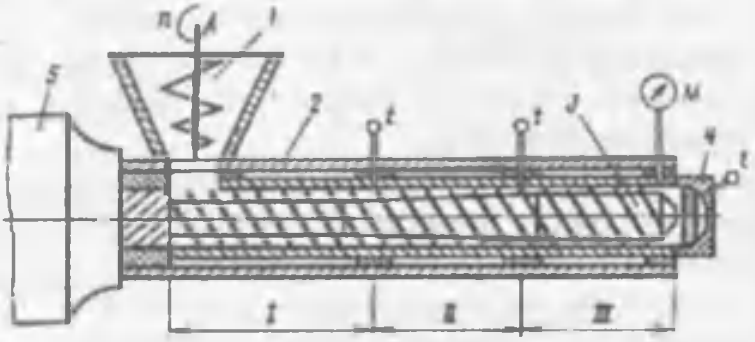
Ikki shnekli shakllantirish pressi kimyo va oziq-ovqat sanoatlarida keng ko‘lamda ishlatiladi (8.5-rasm).

Press yordamida mahsulotga bosim beriladi va u filyera orqali siqib chiqariladi.

Filyera – bu teshiklari bor yassi metall disk bo‘lib, uning teshiklaridan yuqori bosimda qayta ishlanayotgan mahsulot siqib chiqariladi. Ushbu teshiklarning shakli tayyor mahsulot tashqi ko‘rinishini belgilaydi. Filyeradan chiqish paytida mahsulot bovliqi ekssentrik o‘rnatilgan pichoqlar bilan granula qilib kesiladi.

Shnek hosil qiladigan bosim filyera teshiklarining gidravlik qarshiligiga bog‘liq. O‘z navbatida gidravlik qarshilik mahsulot konsistensiyasi, teshiklar shakli va o‘lchamiga bog‘liqdir.

Bir shnekli ekstruder 8.6-rasmda ko‘rsatilgan bo‘lib, yuklovchi shtuser 1, qobiq 2, shnek 3, matritsa 4 va boshqarish sistemali uzatma 5 lardan tarkib topgan. Shnek diametri 50...250 mm, uzunligi esa -l dan 20 ta diametrgacha. Shnek o‘rami shaklining ko‘ndalang kesimi to‘g‘ri burchakli yoki trapetsidal bo‘lishi mumkin.



8.6-rasm. Bir shnekli ekstruder.
1-yuklovchi shtuser; 2-qobiq; 3-shnek; 4-filyera; 5-uzatma; t - termoparalar; M-bosim datchiki.

8.6-rasmdagi I zona materialning nam holatini, II qayishqoq holatini va III zona amorf, oquvchan massani ifodalaydi.

Ekstruder ishlash ko‘rsatkichi – bu uning samaradorligi, ya’ni ish unumdorligining iste’mol qilayotgan quvvatga nisbati bilan aniqlanadi. Iste’mol quvvati ekstruder uzatmasining turiga bog‘liq. Agar elektr tokining kuchlanishi U va kuchi I ma’lum bo‘lsa, $N=UI$ formuladan ekstruder quvvati aniqlanadi.

8.5. Granullash usullari va granulator konstruksiyalari

Sochiluvchan materiallarning fizik-mexanik xossalari, tarkibi, shakli va ma'lum o'lchamli materiallarni olishga yo'naltirilgan fizik-mexanik va fizik-kimyoviy jarayonlar yig'indisiga ***granullash*** jarayoni deb ataladi. Tabiatda granullash jarayoni turli muhitlarda mavjud: yer ostida vulqon otilib chiqishi, yer ustida muz va tuproq siljishida, shag'al va atmosferada do'l hosil bo'lishlardir.

Insoniyat qadim zamonlardan yerga ishlov berishda, ya'ni uning unumdorligini oshirish uchun unga yumaloq-yumaloq tarkib yoki qurilishda mineral xomashyoni shakllantirishda granullash jarayonidan foydalanib kelgan.

Bu jarayon natijasida fizik-mexanik xossalari yaxshilangan granulalar olish mumkin. Chunonchi, granullangan mahsulotlarning tashqi ko'rinishi yaxshi, sochiluvchan va zichligi yuqori bo'lgan holda mustahkam tarkibga ega. Undan tashqari, ularning o'lchamlari bir xil, yuklash va uzoq masofaga uzatish paytida changimaydi.

Granullash jarayoni quyidagi texnologik bosqichlardan iborat:

– xomashyoni qayta ishlashga tayyorlash komponentlarni qadoqlash va aralashtirish;

– granula hosil qilish (aglomeratsiya, kristallash, zichlash va h.);

– granula tarkibini mo'tadillash (quritish, sovitish, polimerizatsiya usullarida zarrachalar orasidagi bog'larni mustahkamlash);

– klassifikatsiyalash, yirik fraksiyalarni parchalash (yanchish);

Hozirgi kunda sanoatda qo'llaniladigan va ma'lum granullash usullari quyidagilardir:

1) qattiq moddalarni yumalatib granullash; 2) eritmani purkash va granulatsion minoralarda sovitish; 3) quruq kukunlarni presslash; 4) eritmani mavhum qaynash qatlamida purkash; 5) turboparrakli qurilmada tezkor granullash; 6) tangasimon plastinalar hosil qilish (eritmani boshqa yuzalarda sovitish yo'li bilan); 7) ekstruziy.

Qattiq moddalarni yumalatib granullash barabanli yoki tarelkali qurilmalarda olib boriladi. Granullash albatta suyuqlik ishtirokida olib boriladi. Suyuqlik qattiq faza bilan birga yoki eritma sifatida qurilmaga yuboriladi.

Granula hosil bo'lish va uning diametri o'sishiga, qattiq va suyuq fazalar orasidagi nisbat katta ta'sir ko'rsatadi.

Bu granullash jarayoni 4 bosqichdan iborat:

– bog'lovchi va returni aralashtirish;

– mayda zarrachalar va maydalangan bo'laklardan granula hosil qilish;

– yumalatish va zichlash;

– mo'tadillash (stabillash).

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, jarayonning har bir bosqichida o'lcham bo'yicha zarrachalarning taqsimlanishi o'zgarib boradi.

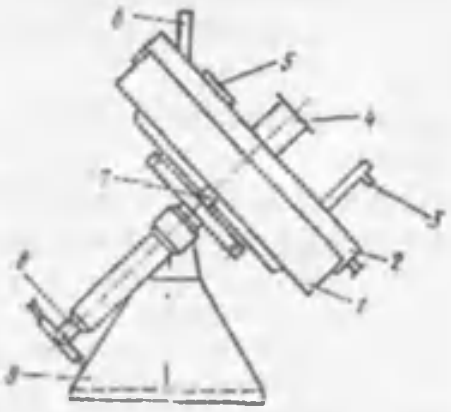
Kukun va returni aralashtirish paytida bog'lovchi modda sifatida turli xil suyuqliklar ishlatiladi, chunonchi, suv, mahsulot eritmasi, birorta komponentning eritmasi (plav) va boshqalar. Suyuqlik va materiallarning o'zaro ta'sir sxemasi quyidagicha:

agarda fraksiyada mayda zarrachalar ulushi ko'p bo'lsa, ular orasidagi masofa bo'sh qolib ketadi. Shuning uchun, zarrachalar orasidagi tortishish kuchi kichik bo'ladi va granula mustahkamligi past bo'lishiga olib keladi;

agarda fraksiyada mayda zarrachalar ulushi ko'paysa, granula zichligi ortadi va ularning mustahkamligi ortadi.

silindrik obechayka 1 material bilan birga aylanadi. Barabanning bir chetida yuklovchi, ikkinchi chetida to'kuvchi kameralar joylangan bo'lib, ular granulatorning ishchi hajmini zichlash funksiyasini ham bajaradilar. Yuklovchi tarnov 2 orqali shixta yoki quruq kukun yuklanadi. Agar qurilmaga quruq kukun berilsa, unda qatlam ustiga bog'lovchi taqsimlagich 3 dan kerakli miqdorda suyuq faza yuboriladi.

Ushbu granulatorning asosiy qismi o'z o'qi atrofida aylanuvchi tarelka 1 bo'ladi. Maxsus mexanizm 8 yordamida uning qiyalik burchagini ham o'zgartirish mumkin. Bog'lovchi moddani uzatish uchun tarelka 1 ustida purkagich 3 o'rnatiladi. Granullash paytida tarelkaga yopishib qolgan massani tozalash uchun maxsus qirgich o'rnatiladi.

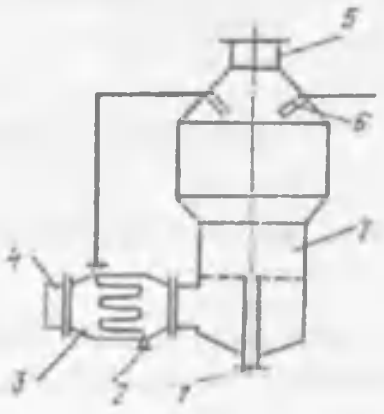


8.8-rasm. Tarelkali granulator.
1-aylanuvchi tarelka; 2-zichlovchi qobiq; 3-suyuqlik uzatuvchi purkagich; 4-bug'larni so'rib olish patrubkasi; 5-kuzatish oynasi; 6-kukun yuklash patrubkasi; 7-o'q; 8-tarelka qiyalik burchagini o'zgartiruvchi mexanizm; 9-tayanch.

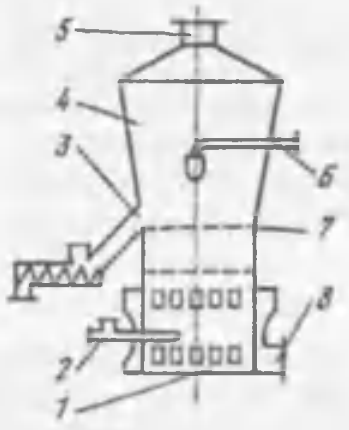
Bu turdagi qurilmalar tahlili shuni ko'rsatadiki, bu qurilmada yuqori sifatli mahsulot olish bilan birga, juda ko'p issiqlik va massa almashinishga erishsa bo'ladi. Olingan mahsulotning granulometrik tarkibi 80...90% tovar fraksiyasini tashkil etadi. Undan tashqari, jarayonni avtomatlashtirish qiyin emas.

Kamchiliklari: o'lchami katta, qo'pol; metall ko'p sarflanadi; suyuqlikni purkash uchun ko'p energiya sarf bo'ladi; mahsulot qurilma devorlariga yopishishi mumkin;

Bu usulda ishlaydigan qurilmalarni optimallashdan maqsad, kerakli granulometrik tarkibdagi mahsulot olish va maksimal ish unumdorlikka erishishdan iboratdir.



8.9-rasm. Markaziy to'kish va isitilgan eritmani qatlamga uzatuvchi silindrik qurilma.
1-mahsulotni to'kish patrubkasi; 2-suyuqlikni yuklash patrubkasi; 3 - kalorifer; 4-issiqlik eltkich kirish patrubkasi; 5 - ishlatib bo'lingan eltkichni chiqarish patrubkasi; 6- suyuqlik purkagich; 7-qurilma qobig'i.



8.10-rasm. Konussimon qurilma.
1-o'txona; 2-gaz yondirgichi; 3-granulani to'kish patrubkasi; 4-qobiq; 5-ishlatib bo'lingan issiqlik eltkichni chiqarish patrubkasi; 6-mexanik purka gich; 7-gaz taqsimlovchi to'r parda; 8-issiqlik eltkich kirish patrubkasi.

Lekin shuni alohida ta'kidlash kerakki, yirik zarrachalarning granula hosil qilishda ijobiy roli ham bor, chunki ular bo'lajak granulaning skeleti bo'lib xizmat qiladi. Bunda, mayda zarrachalar katta zarrachalar orasidagi bo'shliqni to'ldiradi va natijada ular orasidagi masofa kamayadi. Faqat nam aralashma tarkibidagi yirik va mayda zarrachalarning ma'lum bir optimal qiymatlaridagina zichligi yuqori va katta tortishish kuchiga ega granulalar hosil qilish mumkin.

Yumalatib granullash bosqichi – bunda zarrachalarning nisbatan qo'zg'almas qatlamga ko'p marta urilishi natijasida granulalar hosil qilish va ularni zichlash mumkin.

Granulaning zichlanishi ko'p marta urilishlar va yuqoridan pastga qarab to'kilishlari oqibatida ro'y beradi. Natijada material tarkibidagi ortiqcha namlik siqib chiqariladi. Buning oqibatida quruq materiallardan hosil bo'lgan granula yopishishiga ideal sharoit yaratiladi. Zarrachalarning bir-biriga yaqinlashishi bilan, suv qatlamining qalinligi tobora kamayib boradi, lekin granullalarning tortishish kuchi esa ortib boradi. Hosil bo'layotgan granulaga yangi zarrachalarning yopishish mexanizmining asosiy sharti shundakim, bu hodisa faqat granula va zarracha o'lchamlarining ma'lum bir nisbatida ro'y beradi.

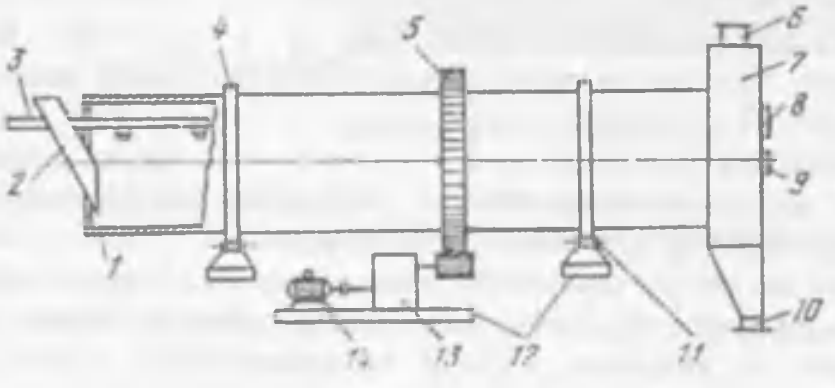
Granula tarkibining zichlanishi har tomonidan ko'p urilishlar natijasida asta-sekin boradigan jarayondir.

Granula tarkibini mo'tadillash bosqichi. Tayyor mahsulot olish uchun granulaning mustahkamligini oshirish zarur. Buning uchun granula tarkibidagi namlik yo'qotiladi yoki qattiq agregat holatiga o'tkaziladi. Lekin granula tarkibidagi namlikni yo'qotishning eng keng tarqalgan usuli – bu quritishdir. Granula namsizlantirilganda qattiq faza kristallanadi. Ba'zi hollarda bu jarayon granula parchalanishiga olib keladi, shuning uchun har doim ham granulalar tarkibiga juda yuqori talab qo'yib bo'lmaydi.

8.7 va 8.8 - rasmlarda yumalatib granullash qurilmalarining sxematik tasvirlari keltirilgan.

Barabanli granulator odatda ufqqa nisbatan 1...30° og'ish burchagida o'rnatiladi. 8.7-rasmda barabanli granulator-quritkich qurilmasi ko'rsatilgan. Bu qurilma eritmalarni granullash va quritish, hamda konstruksiyasiga qarab, hosil qilingan mahsulotni klassifikatsiyalash va sovitish uchun qo'llaniladi.

Silindrik obechayka 1 ning tashqarisiga bandaj 4 va tojli shesternya 5 lar o'rnatiladi. Elektr yuritkich 14 dan aylanma harakat reduktor 13 yordamida 5 ga uzatiladi va natijada



8.7-rasm. Barabanli granulator.
1-obechayka; 2-kukunni yuklash tarnovi; 3-bog'lovchi taqsimlagich;
4-bandaj; 5-tishli shesternya; 6-bug'larni so'rib olish patrubkasi;
7-to'kish kamerasi; 8-yoritish uchun darcha; 9-ko'rish oynasi;
10-granulani to'kish patrubkasi; 11-tayanch g'ildirakcha;
12-beton poydevor; 13-reduktor; 14-elektr yuritkich.

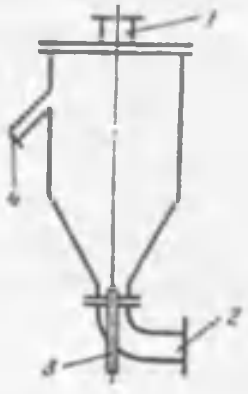
Mavhum qaynash qatlamida granullash uchun turli konstruksiyali granulatorlar ishlatiladi. Odatda bunday granulator qobig'i shakliga qarab silindrik (8.9b-rasm), 30...60° konuslik burchagi kichik bo'lgan (20° gacha) (8.10-rasm) va konusligi katta (8.11-rasm), konussimon, silindrik-konussimon, to'g'ri burchakli (8.12-rasm) va kvadrat ko'ndalang kesimli (8.13-rasm) bo'ladi. Qurilmaning shakli uning gidrodinamikasini belgilaydi.

Konuslik burchagi 20° gacha bo'lgan qurilmalarda hamma ko'ndalang kesimlarida bir tekisda mavhum qaynash sodir bo'ladi (8.9-rasm).

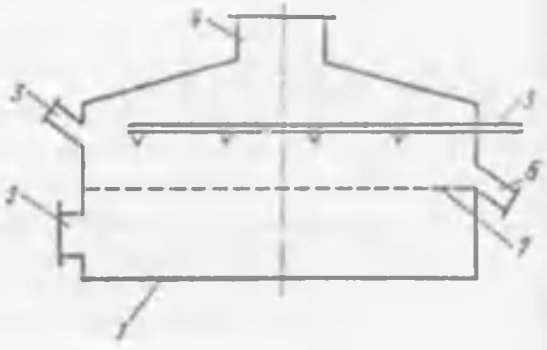
Agar konuslik burchagi katta bo'lsa, qurilma markazida siyraklashgan va devor atrofida esa zarrachalar sekin-sekin to'planib qatlam zichlanadi, ya'ni favvorasimon mavhum qaynash jarayoni sodir bo'ladi (8.11-rasm).

Silindr-konussimon mavhum qaynash qatlamli qurilmalarning silindrik qismida qatlamning zarrachalari umuman bo'lmaydi (8.10-rasm).

Issiqlik eltkichlar o'zaro kesishgan yo'nalishda harakat qilgan holatlarda qattiq zarrachalarni ma'lum bir yo'nalishda uzatish uchun to'g'ri to'rtburchak shaklidagi qurilmalar ishlatiladi. (8.12-rasm)



8.11-rasm. Favvorasimon qatlamli konussimon granulator.
1-issiqlik eltkichni chiqarish patrubkasi; 2-issiqlik eltkichni kirish patrubkasi; 3-suyuqlik purkagich; 4-mahsulotni to'kish patrubkasi.



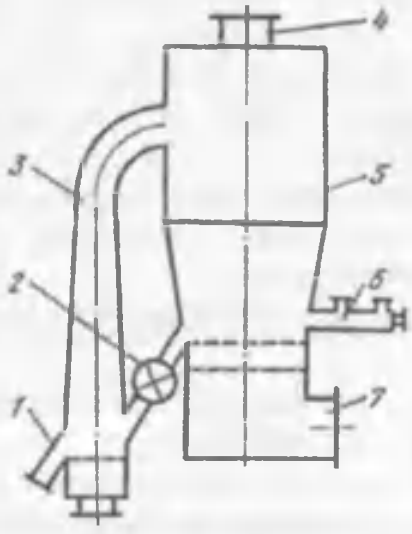
8.12-rasm. To'g'ri to'rtburchak shaklidagi mavhum qaynash qatlamli granulator.
1 - qobiq; 2 - issiqlik eltkich kirish patrubkasi; 3 - resikl uchun kirish patrubkasi; 4-ishlatib bo'lingan issiqlik eltkichni chiqarish patrubkasi; 5-suyuqlik taqsimlagich; 6-mahsulotni to'kish patrubkasi; 7-gaz taqsimlash teshikli panjarasi.

Katta ish unumdorlikka erishish uchun to'g'ri to'rtburchakli qurilmalarni loyihalash, jarayonni yarim sanoat sharoitlarida tekshirish va sinash uchun kvadrat ko'ndalang kesimli qurilmalar juda qulaydir (8.13-rasm).

Barabanli granulator-quritkich (BGQ) granullash va quritish uchun mo'ljallangan, hamda konstruksiyasiga qarab mahsulotlarni klassifikatsiyalash va sovitishi mumkin.

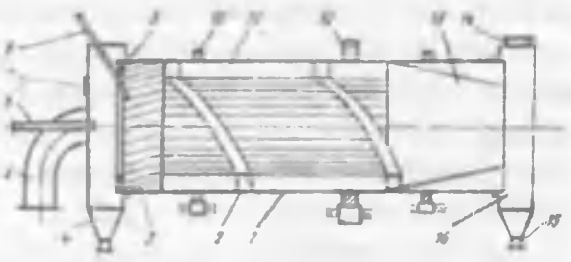
BGQ ning asosiy qismi baraban bo'lib, granula to'kilish tomoniga qarab qiya o'rnatiladi. Baraban, tashqarisida 2 ta bandaj tayanch 10 larga tayanib turadi. Undan tashqari, tojli shesternya 12 ham o'rnatiladi va uning yordamida elektr yuritkichdan reduktor orqali kelayotgan aylanma harakat barabanga uzatiladi. Sanoat qurilmalari 3-5 ayl/min tezlikda harakat qiladi.

Barabanda yuklash va to'kish kameralari bo'lib, ularni zichlash uchun lentali yoki sektorli qistirmalar o'rnatiladi. Chang hosil bo'lmasligi va o'txona bir me'yorda



8.13-rasm. Kvadrat shaklidagi mavhum qaynash qatlamli granulator
1-granula to'kish patrubkasi; 2-tamba; 3-havoli konussimon klassifikator; 4-ishlatib bo'lingan issiqlik eltkichni chiqarish patrubkasi; 5-qobiq; 6-suyuqlik va resiklni uzatish bo'lagi; 7-issiqlik eltkich kirish patrubkasi.

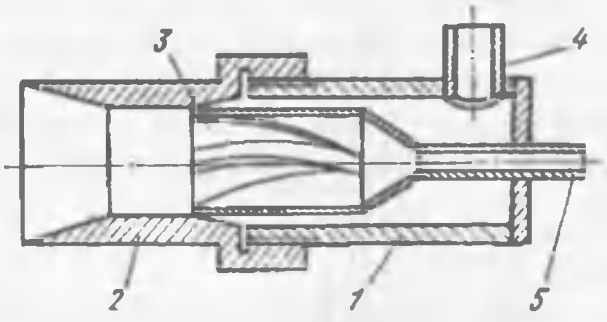
ishlashini ta'minlash uchun qurilmada 10...50 Pa vakuum ushlab turiladi (8.14-rasm).



8.14-rasm. Barabanli granulator – quritkich.
1-baraban qobig'i; 2-orqaga yo'nalgan shnek; 3-parrakli nasadka; 4-yuklovchi kamera; 5-qurituvchi eltkich kirish patrubkasi; 6-pulpa purkagich; 7-kuzatish oynasi; 8-resikl kirish patrubkasi; 9-zichlovchi halqalar; 10-bandaj; 11-tokchali nasadka; 12-tojli shesternya; 13-konus-klassifikator; 14-ishlatib bo'lingan eltkichni chiqarish patrubkasi; 15-granula to'kish patrubkasi;16 - to'kish kamerasi.

BGQ tashqi ko'rinishidan barabanli granulatorga o'xshasa ham, lekin unda granula hosil qilish mexanizmi tubdan farq qiladi. Bunga sabab, BGQ ning ichidagi qo'shimcha konstruktiv elementlar borligidir.

Granullash jarayonida asosiy vazifani pulpa purkagichlar bajaradi.



8.14a-rasm. Pnevmatik purkagich.
1-qobiq; 2-soplo; 3-pulpa uyurmalagich; 4-siqilgan havo kirish patrubkasi; 5-pulpa chiqarish patrubkasi.

Sanoatda qo'llaniladigan purkagich konstruksiyalarida ikkala faza moslama ichida aralashadi. Ular bir-biridan siqilgan havoni kiritish joyi, purkash dispersligini rostlash va suyuqlik kanalini tozalash usullari bilan farqlanadi (8.14a-rasm). Pulpani purkash uchun bosimi 0,2...0,4 MPa va sarfi 60...70 m^3/m^3 bo'lgan siqilgan havo ishlatiladi.

Eritmalarni purkab granullash. Bu usulda granullash mexanizmi quyidagicha: eritma, granulatsion minorada purkagichlar yordamida mayda tomchilar holatigacha purkalib, pastga qarab yo'naltiriladi. Pastdan yuqoriga qarab esa, ventilator yordamida berilayotgan sovuq havo yordamida tomchilar sovitiladi, ya'ni o'z issiqligini havoga beradi va granula shakliga keltiriladi. Chunonchi, tomchi issiqlikni berishi bilan granula hosil bo'la boshlaydi va tomchining tashqi yuzasi kristallanib, jarayon oxirida ichki qatlamlari ham kristallanadi. Shunday qilib, kristallanish jarayoni tomchining tashqi yuzasidan ichkariga qarab, yo'nalgan bo'ladi.

Granulatsion minorada granula hosil bo'lishi noturg'un issiqlik almashinish jarayonida o'tadi. Lekin issiqlik manbai, eritma tomchisining ichida bo'lgani uchun jarayon yanada murakkablashadi va qiyinlashadi.

Bunday jarayonlarni amalga oshiruvchi qurilmalarning muhandislik hisobi shundan iboratki, granulatsion minora balandligi yoki tomchilarning tushish vaqti aniqlanadi. Albatta, bu vaqt ichida yoki shu balandlikni bosib o'tish davrida, tomchi kristallanib ulgurishi kerak. Undan tashqari, hosil bo'lgan granula bir-biriga yopishmasligi va pastga tushganda shakli buzilmasligi kerak.

Ma'lumki, vaqt o'tishi bilan tomchining kristallanishi ortadi. Shuning uchun, granula olish temperaturasi shunday bo'lishi kerakki, bunda kristallarning suyuq eritmaga nisbati granulaning tarkibini, yaxlitligini buzmasligi kerak.

Odatda tomchilardan granula hosil qilish, granulatsion minoralarda yoki mavhum qaynash qatlamida amalga oshiriladi.

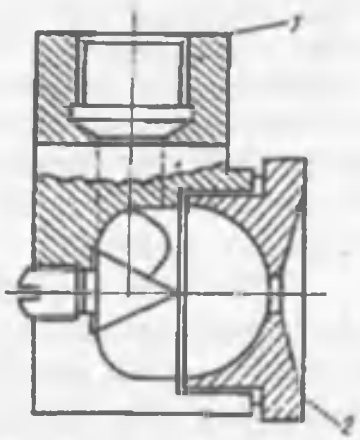
Ushbu qurilmalarning asosiy elementlaridan biri purkagichdir. Purkagichlar konstruksiyasiga qarab, markazdan qochma, statik va vibratsion bo'ladi.

Agarda ushbu mahsulotlar mavhum qaynash qatlamida sovutilsa, selitra uchun yoz faslida granulatsion minora balandligi h = 30 m va diametri d=10...20 m bo'lishi kerak.

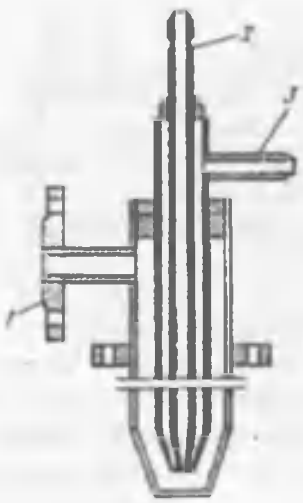
Karbamid uchun yoz faslida granulatsion minora balandligi h=55...50 m va diametri d=15...20 m bo'lishi zarur.

Nitroammofoska granulatsiya qilish uchun, yoz faslida, granulatsion minora balandligi h=50...55 m va diametri d=10...20 m bo'lishi kerak.

Qatlamga suyuqlikni purkash uchun mexanik (8.14b-rasm) va pnevmatik (8.14d-rasm) lar qo'llaniladi. Pnevmatik purkagichlar mayda va bir tekisda suyuqlikni purkaydi, ammo uning energetik sarflari katta. Mexanik purkagich yordamida bevosita mavhum qaynash qatlamiga suyuqlikni uzatib bo'lmaydi, chunki suyuqlikning moslamadan chiqishdagi tezligi kichik (3…6 m/s) va mayda dispers suyuqlikning qatlamda tarqalishi uchun qattiq zarrachalarsiz bo'shliq yo'q.

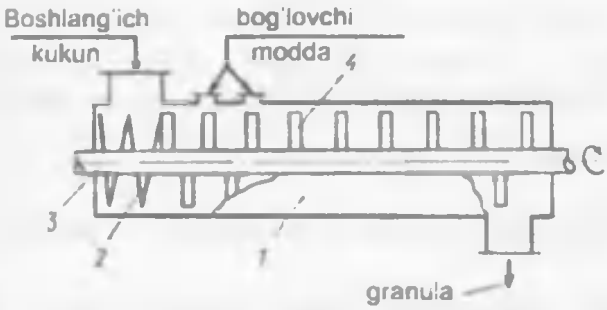


8.14b-rasm. Mexanik purkagich. 1-suyuqlikning tangensial kirishi; 2-purkash soplosi.



8.14d-rasm. Ko'p kanalli pnevmatik purkagich. 1-gaz yoki issiqlik eltkich kirishi; 2-suyuqlik kirishi; 3-purkalayotgan suyuqlik kirishi.

Mexanik va pnevmatik purkagichlar suyuqlikni 0,1-0,8 mm li mayda dispers tomchilarga aylantirib uzatishni ta'minlaydi. Purkagichlarga qo'yiladigan asosiy talablar: bir tekisda va turg'un ishlashi, purkash zichligi yuqori va uzluksiz bo'lishini, ishonchli ishlashi va energetik sarflar minimal bo'lishi hamda granula hosil qilish rejimini ta'minlashi kerak.



8.15-rasm. Turboparrakli tezkor granulyator.
1-qobiq; 2-shnek; 3-rotor o'qi; 4-rotor sterjenlari.

Turboparrakli granulatorda granullash. Kukunsimon materiallarni turboparrakli tezkor granulatorlarda granullash mexanizmi barabanli yoki tarelkali qurilmalarda materiallarni yumalatib granullash jarayoniga o'xshashdir.

Tezkor granulatorlarda granula hosil bo'lishi, aralashtiruvchi parraklarning materialga ta'siri, ya'ni 170 s^{-1} chastota bilan aylanayotgan elementlar aralashtirishi asosiy sabab bo'ladi (8.15-rasm).

Materialni turboparraklarda qurilmada qayta ishlash vaqti bir necha sekunddan 2...3 min gacha bo'ladi.

Bu turdagi qurilmalarda granula hosil bo'lishi bir necha bosqichda boradi, ya'ni jarayon davrlarining almashinish ketma-ketligi quyidagicha: aralashtirish, aglomeratsiya, dezintegrallash, granula hosil qilish, granulalarni zichlash va sharsimon shakl berish.

Tezkor usulda granullash jarayonida kimyoviy reaksiyalar samarador o'tishi mumkin. Bog'lovchi modda vazifasini reaksiyaning suyuq mahsulotlari o'taydi.

Undan tashqari, materialni intensiv aralashtirilishi, uning temperaturasini ortishiga va termoplastifikatsiyaga olib kelishi mumkin. Termoplastifikatsiya yoki qattiq qatlam bir qismining suyuq holatga fazaviy o'tishi granullash jarayonini kam bog'lovchi bilan yoki bog'lovchisiz o'tkazish imkoniyatini beradi va olingan granulalarni quritmasa ham bo'ladi. Bunga misol qilib, selitra yoki karbamid asosida murakkab-aralashgan mineral o'g'itlarni olish jarayonini ko'rsatish mumkin.

Turboparrakli tezkor granulatorda qayta ishlanayotgan material oqimi harakatining tahlili, bu jarayonning asosiy parametrlarini aniqlash imkonini beradi.

Material qatlamini uzatishning chiziqli tezligi:

$$v_{ch} = \frac{Q_0}{\pi \cdot \rho_{tuk} \cdot \varphi \cdot R_k^2} \tag{8.7}$$

bu yerda, Q_0 – granullanayotgan aralashma sarfi; ρ_{tuk}- granullanayotgan aralashma zichligi; φ – granulator ishchi kamerasini to'ldirilish koeffitsiyenti; R_k – ishchi kamera radiusi.

Granullash jarayonida granula bosib o'tgan masofa uzunligi l:

$$l = \frac{L \cdot \pi \cdot \rho_{tuk} \cdot \varphi \cdot \omega \cdot R_k^3}{Q_0} \tag{8.8}$$

bu yerda, L – granulator ishchi kamerasi uzunligi; ω– granulator o'qining aylanish chastotasi.

Hosil qilingan granulaning o'rtacha diametri ushbu formuladan hisoblab topiladi:

$$d = d_0 \cdot \exp m \cdot \left(W - W_p\right) \tag{8.9}$$

bu yerda, d_0 – granula hosil bo'lish paytidagi granula diametri; m – material xossalari va Frud kriteriysiga bog'liq koeffitsiyent; W – granula hosil bo'lish paytida aralashma tarkibidagi bog'lovchi modda miqdori.

Bog'lovchi modda sarfi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q_{bog'} = Q_0 \left(W_{bosh} + \frac{1}{m \ln \frac{d}{d_0}} \right) \quad (8.10)$$

Turboparrakli tezkor granulatorda olingan granulalar o'lchamlari logarifmik normal taqsimlanish qonuniga bo'ysinadi.

Ushbu darslik mualliflari tomonidan turboparrakli tezkor granulatorda paxta chigiti kunjarasini granullash bo'yicha ijobiy natijalar olingan.

Qurilma xomashyoni yuklash, maydalash, granullash, granulalarni zichlash va shakl berish zonalaridan iboratdir.

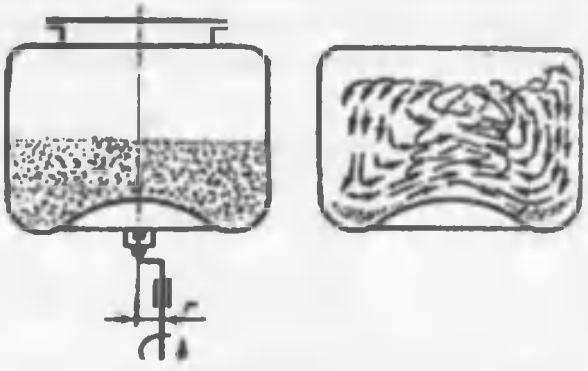
Kunjarani turboparrakli, tezkor granulatorda maydalash darajasi ushbu formulada hisoblanadi:

$$i = 0{,}74 \cdot \omega^{0{,}2} \left(\frac{t}{d} \right)^{-0{,}35} \quad (8.11)$$

Paxta chigiti kunjarasini turboparrakli qurilmada tezkor granullash natijasida olingan material qatlamining granulometrik tarkibini ushbu formulada aniqlash mumkin:

$$R = 11 \cdot V^{0.8} \cdot \tau_0^{0{,}03} \left(\frac{t}{d} \right)^{0{,}66} \cdot \left(\frac{U}{U_m} \right)^{0{,}3}$$

bu yerda, V – aylanma tezligi, s^{-1}; τ_0 –o'lchamsiz vaqt; t/D – bilalar joylashish qadami; U – namlik %; U_m – material muvozanat namligi, %.



8.16-rasm. Drajje yasash granulatorida zarrachalarning harakat sxemasi.

Drajje yasash granulatori. Bu qurilmaning asosiy qismi botiq elliptik qobiq bo'lib, u gorizontal tekislikda murakkab harakat qiladi (8.16-rasm).

Elliptik qobiq o'z o'qi va uzatma o'qi atrofida aylanadi. Bunday murakkab harakat materialga spiralsimon-ko'tarilma trayektoriya beradi. Natijada, yadro qobiq bilan qoplana boshlaydi va vaqt o'tishi bilan uning qalinligi ortib boradi. Yadro sifatida mayiz, yong'oq, rezavorlar va boshqalar qo'llaniladi. Qobiq sifatida esa kakao, kofe, qand kukunlari ishlatiladi.

8.6. Sochiluvchan materialni granullashga moyilligini baholash

Ma'lumki, granula hosil bo'lishi bilan uning tarkibi zichlanib boradi. Shuning uchun, moddalarni granullanishga moyillik ko'rsatkichi sifatida zichlanishni hisoblash mumkin. Demak, zichlanishga moyillik, bu moddalarning ma'lum bosim ostida zichlanish xususiyatidir:

$$\Gamma_1 = \frac{\partial(\rho/\rho_0)}{\partial P} \quad (8.12)$$

Undan tashqari, moddalarning zichlanishga moyilligi ularning shakllanishga moyilligi bilan ham ifodalanadi. Shakllanishga moyillik bu shunday xususiyatki, bunda modda presslab granullanish natijasida olgan shaklini saqlash qobiliyatidir:

$$\Gamma_2 = \frac{\partial \sigma}{\partial P} \tag{8.13}$$

Turli mahsulotlarni granullanishga moyillik ko'rsatkichi sifatida granullanishga moyillik koeffitsiyenti qo'llaniladi:

$$K_1 = \frac{(\rho/\rho_0)}{P_{zich}}; \qquad K_2 = \frac{\sigma}{P_{zich}} \tag{8.14}$$

bu yerda, ρ va ρ_0 – materialning oraliq va boshlang'ich zichliklari, t/m^3; σ – ezish davrida granulaning mustahkamligi, Pa; P_{zich} – zichlanish bosimi, Pa.

Agarda materialning zichlanish qobiliyati K_1 qancha yuqori bo'lsa, uning shunchalik shakllanish qobiliyati K_2 yaxshi bo'ladi.

Materiallarni granullanishga moyilligini baholash ularning zichlanish va shakllanish qobiliyatlari bo'yicha klassifikatsiya qilish imkonini beribgina qolmay, balki ushbu material uchun eng ishonchli va yaroqli granullash usulini tavsiya etish imkonini beradi.

Qanchalik K_1 va K_2 yuqori bo'lsa, shunchalik kichik kuchlanishlarda granulalarning zichlanish darajasi yuqori bo'ladi. Demak, ushbu sharoitlarda yumalatib granullash usuli tavsiya etilishi mumkin.

Agar moddaning granullashga moyilligi kichik bo'lsa, unda granullash uchun katta kuchlanishlar talab qilinadi. Masalan, presslash yoki bog'lovchi modda qo'shib yumalatib granullash.

Granullanishga moyillik materialning fizik xossalari va holat parametrlari (temperatura t, namlik W, granulometrik tarkib R, pH va hokazo) ga katta bog'liq.

8-1 jadvalda ba'zi bir kimyoviy mahsulotlarning granullanishga moyilligi va tavsiya etiladigan granullash usullari keltirilgan.

8-1 jadval

t/r	*Material nomi*	$K_1 \cdot 10^{-3}$	K_2	W, %	T, °C	Usul
1	Fosfogips	1,0	0,008	20	20	bog'lovchi modda qo'shib presslash yoki yumalatib granullash
2	Xlorli kaliy	0,8	0,01	0,05	20	-
3	Superfosfat	1,0	0,011	2,5	20	-
4	Ammofos	2,07	0,028	0,8	20	yumalatib granullash
5	Nitroammofos kaliyli o'g'it	1,23	0,027	0,3	20	presslash
6	Mochevina	0,8	0,07	0,3	20	eritmani purkash

8.7. Granulatorlarni hisoblash

Mavhum qaynash qatlamda granullash jarayoni hisobi. Mavhum qaynash qatlamli qurilmada ikki qatlamli karboammofoska granulalarini ishlab chiqarishning asosiy ko'rsatkichlarini hisoblash. Mochevina granula, ammofos va xlorli kaliy aralashmasi pulpa ko'rinishida uzatiladi.

Boshlang'ich ma'lumotlar: mahsulot - ammofos.

– ish unumdorlik - G=10 t/soat;
– mochevina granulalari sarfi - G_p=3,5 t/soat;
– mochevina granula o'rtacha diametri - $d_{o'r}$=1,2 mm;
– nam saqlashi:
pulpaniki - W_n=0,3 kg/kg;
mahsulotniki - W_{mah}=0,005 kg/kg;
atmosfera havoniki - X_1=10 g/(kg q.h.);
– temperatura
mavhum qaynash qatlamniki - t_{qat}=75°C;;
pulpaniki - t_n=95°C;
– ishlatib bo'lingan issiq havo nisbiy namligi - φ_2=15%;
– mahsulot issiqlik sig'imi - c_{mah}=1,26 kJ/kg;
– erishning solishtirma issiqligi - q=147 J/kg;
– zichlik:
granula yadrosiniki - ρ_{ya}=1300 kg/m^3;
qobiqniki - ρ_{qob}=1800 kg/m^3;
«to'kma» mahsulotniki - $\rho_{to'}$=850 kg/m^3;
– pulpa temperatura o'tkazuvchanligi - a=14·10^{-4} m^2/soat.

Ramzinning I-x diagrammasidan qatlam temperaturasi t_k va φ_2 lar bo'yicha ishlatib bo'lingan issiqlik eltkichning nam saqlashi x_2 =40 kg/kg quruq havo topiladi.

Issiqlik eltkichning sarfi:

$$G_B = \frac{(G_{np} - G_p)\cdot W_П}{(x_2 - x_1)\cdot 10^{-3}} = \frac{(10000 - 3500)\cdot 0{,}3}{30\cdot 10^{-3}} = 65000 kg/soat$$

Issiqlik balansni hisoblaymiz

Issiqlik kirishi:

– issiqlik eltkich bilan

$$I_1 = G_{voz}\cdot\left[\left(0{,}24 + 0{,}47X_1\cdot 10^{-3}\right)\cdot t_{s.a.} + 595X_1\cdot 10^{-3}\right]\cdot 4{,}19 =$$
$$= 65000\cdot\left[\left(0{,}24 + 0{,}47\cdot 10\cdot 10^{-3}\right)\cdot t_{s.a.} + 595\cdot 10\cdot 10^{-3}\right]\cdot 4{,}19$$

bu yerda, $t_{s.a.}$ – issiqlik eltkich temperaturasi.

– pulpa bilan

$$I_2 = \left(G_{np} - G_p\right)\cdot\left(c_{np} + c_{suv}\cdot W\right)\cdot t_n = 4{,}19\cdot\left(10000 - 3500\right)\cdot$$
$$\cdot\left(0{,}3 + 0{,}3\right)\cdot 95 = 370000\cdot 4{,}19 = 1550000 J/kg$$

– mochevina granulalari bilan

$$I_3 = G_p\cdot c_p\cdot t_p = 4{,}19\cdot 3500\cdot 0{,}3\cdot 20 = 21000\cdot 4{,}19 = 88000 J/kg$$

– erish issiqligi bilan

$$I_4 = G_{np} \cdot q = 4{,}19 \cdot 65000 \cdot 35 = 228000 \cdot 4{,}19 = 956000 J/kg$$

Issiqlik sarfi:

– ishlatib bo'lingan issiqlik eltkich bilan

$$I_5 = G_{voz} \cdot \left[\left(0{,}24 + 0{,}47 X_2 \cdot 10^{-3}\right) \cdot t_{s.a} + 595 X_2 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 4{,}19 =$$
$$= 65000 \cdot \left[\left(0{,}24 + 0{,}47 \cdot 40 \cdot 10^{-3}\right) \cdot 75 + 595 \cdot 40 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 4{,}19 = 11770000 J/kg$$

– mahsulot bilan

$$I_6 = G_{np} \cdot c_{np} \cdot t_{qat} = 4{,}19 \cdot 10000 \cdot 0{,}3 \cdot 75 = 225000 \cdot 4{,}19 = 945000 J/kg$$

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = I_5 + I_6$$

Issiqlik eltkich temperaturasini issiqlik balansdan aniqlaymiz, ya'ni $t_{c.a}$.=128°C. Ikki qatlamli mineral o'g'itlar uchun granula hosil qilish koeffitsiyentini ushbu formuladan topamiz:

$$k = 10T^{1{,}52} \cdot W_n^{0{,}26} \cdot R^{-0{,}25} = 10 \cdot 0{,}275^{1{,}52} \cdot 0{,}3^{0{,}26} \cdot 1{,}2^{-0{,}52} = 0{,}98$$

Mahsulot granulometrik tarkibi:

$$F(d_i) = 1 - \exp\left[-\frac{3G_{np}}{k\left(G_{np} - G_p\right)} \cdot \frac{\ln\dfrac{d_i(1+2A) - 2A \cdot d_p}{d_p}}{\left(\dfrac{d_p}{d}\right)^2 \cdot \left(\dfrac{\rho_s}{\rho_{ob}} - 1\right) + 1}\right]$$

Karboammofoska uchun A=0,52.

$$F(4) = 1 - \exp\left[-\frac{6{,}9 \cdot 10000}{0{,}98 \cdot (10000 - 3500)} \cdot \frac{\ln\dfrac{4 \cdot (1 + 2 \cdot 0{,}52) - 2 \cdot 0{,}52 \cdot 1{,}2}{d_p}}{\left(\dfrac{1{,}2}{2}\right)^2 \cdot \left(\dfrac{1{,}3}{1{,}8} - 1\right) + 1}\right]$$

F(4)=1, ya'ni mahsulotda o'lchami 4 mm dan kichik bo'lgan fraksi miqdori 100% ni tashkil etadi.

Mavhum qaynash boshlanishi tezligi prof. O.M. Todes formulasi yordamida aniqlanadi:

$$\mathrm{Re} = \frac{Ar}{1400 + 5{,}22\sqrt{Ar}}$$

$$\frac{w_{no} \cdot 0{,}002}{20 \cdot 10^{-6}} = \frac{2{,}35 \cdot 10^5}{1400 + 5{,}22\sqrt{2{,}35 \cdot 10^5}}$$

$$w_{no} = 0{,}63 m/s$$

Qurituvchi eltkichning ishchi tezligi w_i=2,5 m/s.

Gaz taqsimlash to'r pardasining yuzasi:

$$S = \frac{G_h}{w_u}$$

Granulaning mavhum qaynash qatlamida harakat vaqti $\tau_{o'r}$ ning o'rtacha qiymati ushbu tenglamadan topiladi:

$$\frac{W_{np}}{W_n} = 0{,}1 \cdot Gu^{-0{,}60} \cdot Fo^{-0{,}65}$$

$$\frac{0{,}05}{0{,}3} = 0{,}1 \cdot \left(\frac{75-37}{273+75}\right)^{-0{,}60} \cdot \left(3{,}63 \cdot 10^{2} \cdot \tau\right)^{0{,}65}$$

$$\tau_{o'r} = 0{,}32s$$

Mavhum qaynash qatlamining massasi:

$$G_{qat} = G_{np} \cdot \tau_{qp} = 10000 \cdot 0{,}32 = 3200kg$$

Mavhum qaynash qatlamining balandligi:

$$H_0 = \frac{G_{qat}}{\rho_n \cdot S} = \frac{3200}{850 \cdot 7{,}6} = 0{,}5$$

Qurilma ishchi qismining balandligi:

$$H_p = 5{,}6 \cdot H_0 \cdot \mathrm{Re}^{0{,}7} \cdot Ar^{-0{,}375} = 5{,}6 \cdot 0{,}5 \cdot \left(\frac{2{,}5 \cdot 0{,}002}{20 \cdot 10^{-6}}\right)^{0{,}7} \left(2{,}35 \cdot 10^{5}\right)^{-0{,}375} = 1{,}3m$$

Uchib chiqish tezligi ushbu formuladan topiladi:

$$w_y = 0{,}09 \cdot Ar^{0{,}25} \cdot \lg \frac{w_u}{w_{mu}} = 0{,}09\left(2{,}35 \cdot 10^{5}\right)^{0{,}25} \cdot \lg 4$$

$$w_y = 1{,}18m/s$$

Qatlam zarrachasining maksimal uchib chiqish tezligi quyidagicha aniqlanadi:

$$w_{y\text{-}\max} \cong 3 \cdot w_y = 3 \cdot 1{,}18 = 3{,}54m/s$$

Qurilma ajratish bo'limining minimal balandligi:

$$H_{ajr} = \frac{w_y^2}{2g} = \frac{1{,}18^2}{2 \cdot 9{,}8} = 0{,}07m$$

Barabanli granulator-quritkichni hisoblash (BGQ). Karbamid granulalarini olish uchun quyidagi ma'lumotlar asosida BGQ hisoblansin.

$G = 30\,m/ч;$

$t_1 = 450\,°C;$

$t_2 = 100\,°C;$

$W_1 = 24\%;$

$W_2 = 1{,}2\%;$

$W_{кр} = 4\%;$

$\mathcal{E} = m = 0{,}65;$

$D = 0{,}7\,mm;$

$Z = 40;$

$V_1 = 2{,}4\,m/s;$

$V_e = 0{,}21\,m/s;$

$t_n = 85\,°C;$

$t_{ум} = 80\,°C;$

Issiqlik eltkich temperatura napori aniqlash:

$$\Delta T = t_1 - t_2 = 450 - 100 = 350\,°C$$

Qurilma ko'ndalang kesimiga namlik bo'yicha kuchlanishni hisoblaymiz:

$$A_F = 0{,}49\Delta T + 200 = 0{,}49 \cdot 350 + 200 = 371\,kg/(m^3 \cdot soat)$$

Tayyor mahsulot unumdorligi bo'yicha qurilmada bug'latilgan namlikning umumiy miqdorini aniqlaymiz:

$$Q_0 = G_{np}\frac{W_1 - W_2}{100 - W_1} = 30 \cdot \frac{24 - 1.2}{100 - 24} = 9\,m/soat$$

Qurilma diametrini topamiz:

$$D = \sqrt{\frac{Q_0}{0{,}785 A_F}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^3}{0{,}785 \cdot 371}} = 5{,}5\,m$$

Modifikatsiyalashgan Frud kriteriysi qiymatini Fr_{maq}=0,022 deb qabul qilib qurilma aylanish chastotasini hisoblaymiz:

$$n = \frac{60}{\pi}\sqrt{Fr_{maq}\frac{g}{D}} = \frac{60}{3{,}14}\sqrt{\frac{0.022 \cdot 9{,}8}{5{,}5}} = 3{,}8\ ayl/\min$$

Pulpani purkash favvorasi uzunligini topamiz:

$$\frac{L_f}{D} = 0{,}44\left(\frac{P}{P_0}\right)^{0.9}\left(\frac{V_m}{V_e}\right)^{0.29}\left(\frac{G_w}{G_n}\right)^{-0.1}$$

$$\frac{L_f}{D} = 0{,}44 \cdot \left(\frac{2}{1}\right)^{0.9} \cdot \left(\frac{2{,}4}{0{,}21}\right)^{0.29} \cdot \left(\frac{66{,}7}{31{,}7}\right)^{-0.1}$$

$$\frac{L_f}{D} = 0{,}44 \cdot 1{,}86 \cdot 2{,}02 \cdot 0{,}93 = 1{,}54$$

$$L_f = 1{,}54 \cdot D = 1{,}54 \cdot 5{,}5 = 8{,}47\,m$$

Pulpani purkash zonasining uzunligini L_p=1 m deb qabul qilib kukun uchish zonasining uzunligini aniqlaymiz:

$$L_z = L_f - L_p = 8{,}47 - 1 = 7{,}47\,m$$

Qisman quritish zonasida namlikning kamayishi:

$$W_c = G_{np}\frac{W_{kp}-W_2}{100-W_{kp}} = 30\frac{4-1,2}{100-4} = 0,875 t/ch$$

Qisman quritish zonasida issiqlikning sarfi:

$$Q_c = W_c(595+0.47t_2-t_n)$$

$$Q_c = 0,875\cdot10^3(595+0,47\cdot100-85) = 487,375\cdot10^3\ kkal/ch$$

$$Q_c = 567\cdot10^3\ Vt$$

Qisman quritish zonasining uzunligi bo'yicha o'rtacha temperatura napori ushbu tenglamadan topiladi:

$$\Delta t_Д = \frac{(t_2^{'}-t_n)-(t_2-t_m)}{2.3\lg\frac{t_2^{'}-t_n}{t_2-t_m}}$$

$$\Delta t_Д = \frac{(120-85)-(100-80)}{2,3\lg\left(\frac{120-85}{100-80}\right)} = 26,8°C$$

Qisman quritish zonasida hajmiy issiqlik berish koeffitsiyenti ushbu formuladan hisoblab topiladi:

$$\alpha_v = 1130a\lambda_m nB(1-m)\sqrt{\frac{(V_m^{\ 2}+V_s^{\ 2})D}{\nu}}\cdot\sqrt{\frac{1}{\delta_0^{\ 3}}}$$

$$\alpha_v = 1130\cdot0,007\cdot35\cdot10^3\cdot3,8\cdot0,27(1-0,65)\cdot\sqrt{\frac{(2,4^2+7,77^2)\cdot5,5}{23\cdot10^{-6}}}\cdot\frac{1}{\sqrt{(1\cdot10^{-3})^3}}$$

$$\alpha_v = 97,5 Vt/(m^2\cdot K)$$

Kurakchadan zarrachaning o'rtacha tushish balandligi:

$$H_{o'r} = 0,56D = 0,56\cdot5,5 = 3,08m$$

Kurakchadan zarrachaning tushish tezligi:

$$V_s = \sqrt{2gH_{o'r}} = \sqrt{2\cdot9,8\cdot3,08} = 7,77 m/s$$

Kurakchalarning mahsulot qatlamidan chiqishda kurakchadagi material egallab turgan baraban ko'ndalang kesimidagi yuzasi:

$$F_s^{\ u} = \frac{\varepsilon\cdot F}{Z} = \frac{0,45\cdot24}{40} = 0,27m^2$$

$$\varepsilon = 0,45$$

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14\cdot5,5^2}{4} = 24m^2$$

Zarrachalarning qurilma ishchi kurakchalaridan tushish jarayonida issiqlik berish inobatga oluvchi koeffitsiyentni hisoblaymiz:

$$\alpha = \frac{1}{1+0{,}31\cdot\left(100F_s^{M}+0{,}55\cdot\left(100F_s^{M}\right)^2\right)}$$

$$\alpha = \frac{1}{1+0{,}31\cdot\left(100\cdot 0{,}27+0{,}55\cdot\left(100\cdot 0{,}27\right)^2\right)} = \frac{1}{133{,}7} = 0{,}007$$

$$B = \frac{F_s^{M}}{D^2}\cdot Z\cdot\sqrt{\frac{H_{ep}}{D}}$$

$$B = \frac{0{,}27}{5{,}5^2}\cdot 40\cdot\sqrt{\frac{3{,}08}{5{,}5}} = 0{,}009\cdot 40\cdot 0{,}75 = 0{,}27$$

Qisman quritish zonasining hajmi:

$$V_c = \frac{Q_c}{\alpha_V\cdot\Delta t_{\bar{a}}} = \frac{567\cdot 10^3}{97{,}5\cdot 26{,}8} = 217\,m$$

Unda, qisman quritish zonasining uzunligi:

$$L_c = \frac{V_c}{F_b} = \frac{V_c}{0{,}785D^2} = \frac{217}{0{,}785\cdot 5{,}5^2} = 9{,}14\,m$$

Qurilmaning umumiy uzunligi:

$$L_{um} = L_p + L_z + L_c = 1 + 7{,}47 + 9{,}14 = 17{,}61\,m$$

Qurilma uzunligini L_{um}=18 m deb qabul qilamiz.

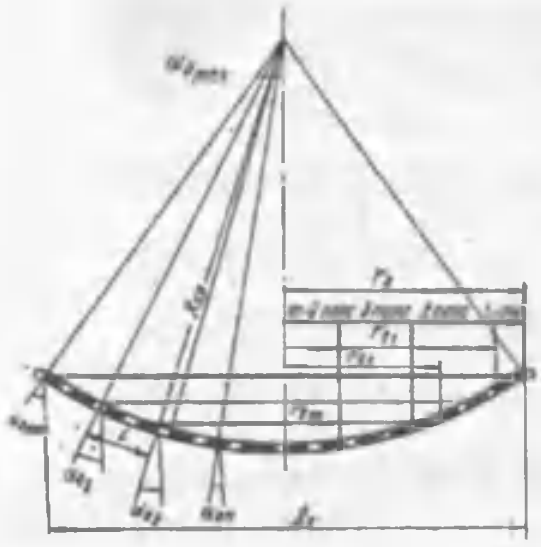
Quritishga ketadigan issiqlik eltkichning to'liq sarfi :

$$Q_m = \upsilon_m\cdot F_b = 2{,}4\cdot 0{,}785\cdot 5{,}5^2 = 57\,m^3/s$$

Inert muhitda purkash usulida granullash jarayonini hisoblash. Statik granulatorli minorada ammiakli selitrani granullash jarayonining asosiy parametrlarini hisoblash (8.17-rasm).

Boshlang'ich ma'lumotlar: mahsulot – ammiakli selitra.

– ish unumdorlik - Q_n=60 t/soat;
– granula o'rtacha diametri - $d_{o'r}$ =2 mm;
maksimal diametri - d_{max} =3 mm;
– sovutuvchi havoning solishtirma sarfi - Q_x/Q_b=9-10;
– statik granulatorlar soni - $n\geq 6$;
– suyuqlikning o'rtacha purkalish zichligi - $q_{o'r}$=0,6-0,8 t/(m^2 soat);
– eritmaning statik napori - H_{st}=1,1 m;
– dnishchening teshikli qismining diametric - D_t=0,4-0,5 m;
– dnishche belbog'larining soni - $m\leq 5$-6;
– aylana va teshiklar orasidagi qadam - $t_t\geq 7$;
– tomchilarni uzoqqa uchish dispersiyasi - σ_T^2=0,109 m^2;
– diametri 1 mmdan kichik teshik
u-n sarf koeffitsiyenti - μ=0,8;
– oqimchaning statik buzilish koeffitsiyenti - A=0,6;
– tezlik koeffitsiyenti - φ=0,98-1,00;
– qarshilik koeffitsiyenti - ξ=0,45-0,50.



8.17-rasm. Statik granulator sxemasi.

Minora purkalayotgan ko'ndalang kesimi yuzasini topamiz:

$$F_{o'r} = \frac{Q_н}{q_{o'r}} = \frac{60}{0,6} = 100m^2$$

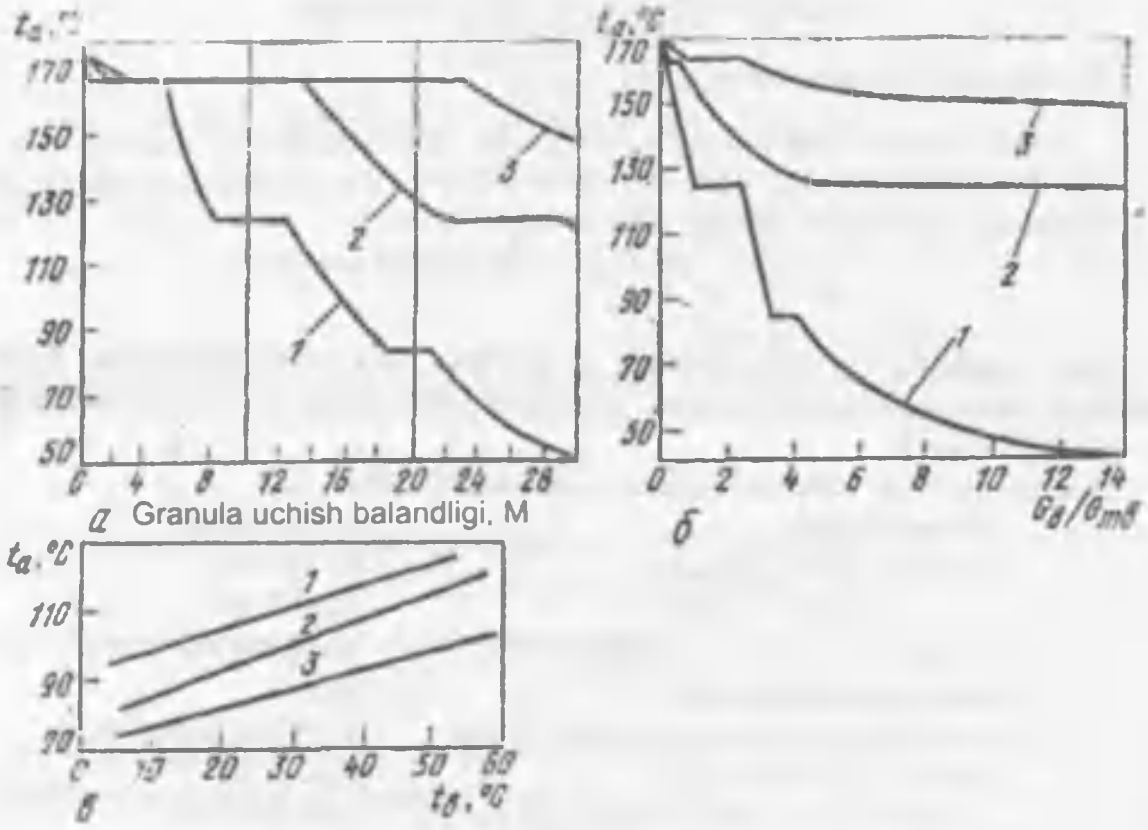
Minora purkalayotgan ko'ndalang kesimi diametrini topamiz:

$$D_{o'r} = \sqrt{\frac{4F_{yp}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100}{3,14}} = 11,3m$$

Minora diametri

$$D_b = D_{o'r} + 0,7 = 12m$$

Granulaning adiabatik temperaturasi t_a uning qaysi balandlikdan uchib tushmoqda, $Q_x/Q_н$ nisbatdan, granula diametri va minora balandliklariga bog'liq.



8.18-rasm. Granula adiabatik temperaturasi t_a ning jarayonning turli parametrlariga bog'liqligi.

a – havo temperaturasi 30°C da minora va granula uchib tushish balandliklariga; G_s/G_{ma}=9 va υ_{rp}=6 m/s, 1-d_{sp}=1 mm; 2-d_{sp}=2 mm; 3-d_{sp}=3 mm;

b – sovutuvchi havo va eritma sarflari nisbati $Q_x/Q_н$ dan, 1-d_{sp}=1 mm; 2-d_{sp}=2 mm; 3-d_{sp}=3 mm;

d – selitra diametri 2 mm bo'lganda sovutuvchi havo temperaturasidan, 1 – G_s/G_{ma} =3,2; 2- G_s/G_{ma} =6,5; 3- G_s/G_{ma} =11,5.

8.18b-rasmdan t_a = 125°C ekanligini aniqlaymiz. t_a va d_{gr} lar bo'yicha 8.18a-rasmdan minora balandligi N_6=30 m ekanligi topamiz. Bitta granulator ish unumdorligi $Q_{gr} = Q_N/n$=10 t/soat.

Granulator teshiklarining diametrini ushbu tenglikdan aniqlaymiz:

$$d_{o'r} = 2{,}06 \cdot d_{oma}^{0{,}55}$$

D_{oma}=0,0011 m. Oqimchaning boshlang'ich oqib chiqish tezligi:

$$\upsilon_b = \phi\sqrt{2gH} = 0{,}98 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}1} = 4{,}5 m/s$$

Tomchilarning boshlang'ich tezligi:

$$\upsilon_b = (0{,}8...1{,}0) \cdot \upsilon_n = 0{,}9 \cdot 4{,}5 = 4{,}0 m/s$$

Bitta teshik uchun eritma sarfi:

$$g_o = 3600\mu \cdot F_o \cdot \upsilon_n \cdot \rho_j$$

$$F_o = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$g_o = 3600 \cdot 0{,}8 \cdot 4{,}5 \cdot 9{,}5 \cdot 10^{-7} \cdot 1500 = 1{,}83 kg/ch$$

Teshiklar soni

$$N = \frac{Q_{gr}}{g_o}$$

Harakatdagi granulalar sochilish radiusi

$$r_1 = \sqrt{\frac{d_{gr} \cdot \xi}{4\sigma^2 \cdot A^2}}$$

Statik granulatorlarni joylashish aylanasining diametri

$$D_{pgr} = \frac{D_b}{42}$$

Purkalish sohasining maksimal radiusi (x_f) favvoralar bir-biriga tegish shartidan aniqlanadi x_f=2,4 m.

O'lchami 2 mm bo'lgan granulaning uchib chiqish tezligi ushbu formuladan topiladi:

$$\upsilon_\infty = 2 \cdot \sqrt{\frac{d_{gr} \cdot g \cdot (\gamma_{ma} - \gamma_z)}{3\xi \cdot \gamma_z}}$$

Uchib chiqish tezligiga chiqish vaqti:

$$\tau_\infty = \frac{\upsilon_\infty}{n} = 1{,}02 s$$

Granula purkalish uzunligi:

$$x_\phi = x - r_1 - \frac{D_z}{2} = 2{,}4 - 0{,}54 - 0{,}2 = 1{,}66 m$$

Granulani maksimal o'lchamsiz purkalish uzunligi:

$$x_{max} = \frac{x}{g \cdot \tau_\infty^2} = \frac{1{,}66}{9{,}81 \cdot 1{,}02^2} = 0{,}165$$

Granulalarning otilib chiqish burchagi ushbu tenglamadn aniqlanadi:

$$x_{\max} = \frac{2V_o \cdot \sin\alpha_o}{\sqrt{1-V_o^2}} \cdot arctg\sqrt{\frac{1-V_o}{1+V_o}}$$

bu yerda $V_o = \upsilon_o / \upsilon_\infty$.

$$\alpha_{o\max} = 20^o$$

Dnishchening egrilik radiusi:

$$R_{kp} = \frac{D_z}{2\sin\alpha_{o\max}} = \frac{0,4}{2 \cdot 0,342} = 0,585m$$

Elaksimon dnishche perimetri:

$$L = R_{kp} \cdot 2\alpha_{o\max} = 0,41$$

Dnishche belbog'ining uzunligi:

$$l = \frac{L}{2m} = \frac{0,41}{2 \cdot 5} = 0,041m$$

Har bir belbog' chegarasida granula otilib chiqish burchagi:

$$\alpha_{oi} = \frac{L/2 - (m-1) \cdot l}{R_{kp}}$$

$$\alpha_{o1} = 20^o; \quad \alpha_{o2} = 16^o; \quad \alpha_{o3} = 12^o; \quad \alpha_{o4} = 8^o; \quad \alpha_{o5} = 4^o$$

Teshiklardan gorizontal otilib chiqish uzunligi:

$$x_m = x_{\max} \cdot g \cdot \tau_\infty^2 + \frac{D_r - (2m-1) \cdot t}{2}$$

Tegishli otilib chiqish burchaklari uchun X_{max} ni yuqorida keltirilgan formulalardan topamiz:

$$x_{m1} = 1,66m; \quad x_{m2} = 1,34m; \quad x_{m3} = 1,00m; \quad x_{m4} = 0,70m; \quad x_{m5} = 0,34m;$$

Bitta belbog'ning eritma purkalish yuzasi:

$$F_m = \pi\left(x_{m-1}^2 - x_m^2\right)$$

$$F_1 = 3,0m^2; \quad F_2 = 2,5m^2; \quad F_3 = 1,6m^2; \quad F_4 = 1,2m^2; \quad F_5 = 0,4m^2;$$

Har bir belbog'dagi teshiklar soni ushbu proporsiyadan topiladi:

$$\frac{M_1}{F_1} = \frac{M_2}{F_2} = \ldots = \frac{M_m}{F_m}$$

$$M_1 = 191shm; \quad M_1 = 159shm; \quad M_1 = 102shm;$$

$$M_1 = 74shm; \quad M_1 = 24shm;$$

Teshiklarni joylashish aylanalarining soni:

$$z = \frac{L}{2t_r} = 15$$

Teshiklar joylashish qadamini t_r=0,0136 m deb qabul qilamiz.

$$t_{tesh} = \frac{2\pi\left[D_r - (2m-1)\cdot l\right]}{m \cdot M_m}$$

$t_{o1} = 0{,}0175m;\ t_{o2} = 0{,}0162m;\ t_{o3} = 0{,}0191m;\ t_{o4} = 0{,}0154m;\ t_{o5} = 0{,}0161m.$

Pnevmomexanik purkagichni hisoblash. Mavhum qaynash qatlamiga xamirturish ishlab chiqarish qoldig'i-pulpasini purkash uchun pnevmomexanik purkagich hisoblansin.

Boshlang'ich ma'lumotlar: mahsulot – xamirturish ishlab chiqarish qoldig'i-pulpasi.

– pulpa bo'yicha ish unumdorlik	- G=100 t/soat;
– qurilma diametri	- D =0,5 m;
– trubadagi pulpa bosimi	- P=0,3 MPa;
– granula ekvivalent diametri	- d_e=3 mm;
– mavhum qaynashning ishchi tezligi	- w_p=3 m/s;
– qatlam balandligi	- H_p=0,3 m;
– temperatura	
purkovchi havo	- t_p=450°C;
mavhum qaynash qatlami	- t_{qat}=90°C;
– oqimdagi suyuqlik mass. konsentratsiyasi	- χ=0.835 kg/kg;
– pulpa zichligi	- ρ=1160kg/ m^3;
– pulpa kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti	- ν=1,75·10^{-6}m^2/s;
– sirtiy taranglik koeffitsiyenti	- σ=0,051 N/m;
– qattiq zarracha zichligi	- ρ_T=1100kg/ m^3;

Oqimcha koeffitsiyentini aniqlaymiz:

$$C_1 = 0{,}8Ar^{-0{,}115} \cdot \mathrm{Re}_n^{0{,}32} = 0{,}8 \cdot \left(6{,}15 \cdot 10^5\right)^{-0{,}115} \cdot 407^{0{,}32} = 1{,}185$$

Uchib chiqish tezligi:

$$w_{uch} = \frac{\mathrm{Re}_n \cdot \nu}{d_e} = \frac{990 \cdot 2{,}21 \cdot 10^{-5}}{3 \cdot 10^{-3}} = 7{,}3m/s$$

$w_o r_o$ – kompleksi quyidagicha aniqlanadi:

$$w_o r_o = \left(\frac{X_\phi}{H_p}\right) \cdot 0{,}366 \cdot w_e \cdot C_1 \cdot H_p$$

bu yerda, r_o – oqib chiqish sohasidagi oqimcha radiusi; w_e – V bhhb oqib chiqish tezligi.

Kompleks $X_f/N_r \geq 0{,}8$ bo'lgani uchun X_f/N_r=1,2 deb qabul qilamiz. Unda,

$$w_o r_o = \left(\frac{X_\phi}{H_p}\right) \cdot 0{,}366 \cdot w_e \cdot C_1 \cdot H_p = 1{,}2 \cdot 0{,}366 \cdot 7{,}3 \cdot 1{,}185 \cdot 0{,}3 = 1{,}14m^2/s$$

Favvora uzunligini ushbu usulda topamiz:

$$X_f = 1{,}2 \cdot H_p = 0{,}36m$$

Favvora uchidan eng yaqin devorgacha bo'lgan masofa (8.19-rasm):

$$X_{gor} = \frac{w_o \cdot r_o}{0{,}585 \cdot w_e \cdot C_1} = \frac{1{,}14}{0{,}585 \cdot 7{,}3 \cdot 1{,}185} = 0{,}225m$$

Favvora maksimal radiusi, ya'ni gorizontal joylashgan purkagichdan gaz taqsimlash panjarasigacha bo'lgan masofa:

$$b_{\max} = 0{,}565 \cdot \frac{w_o \cdot r_o}{w_a} = 0{,}565 \cdot \frac{1{,}14}{7{,}3} = 0{,}088m$$

Purkagichdan oqimchaning eng minimal ko'ndalang kesimigacha bo'lgan masofa:

$$h_f = 1{,}25 \cdot \frac{w_o \cdot r_o}{w_a \cdot C_1} = 1{,}25 \cdot \frac{1{,}14}{7{,}3 \cdot 1{,}185} = 0{,}165m$$

Favvora hajmi quyidagicha hisoblanadi:

$$V_f = 1{,}05 b_{\max}^2 \cdot X_f = 1{,}05 \cdot 0{,}088^2 \cdot 0{,}36 = 0{,}00292m^3$$

Bitta purkagich unumdorligi:

$$G_\phi = q_v \cdot V_\phi = 34000 \cdot 0{,}00292 = 100kg/soat$$

bu yerda q_v=34000 kg/m^3.

Purkagichlar soni:

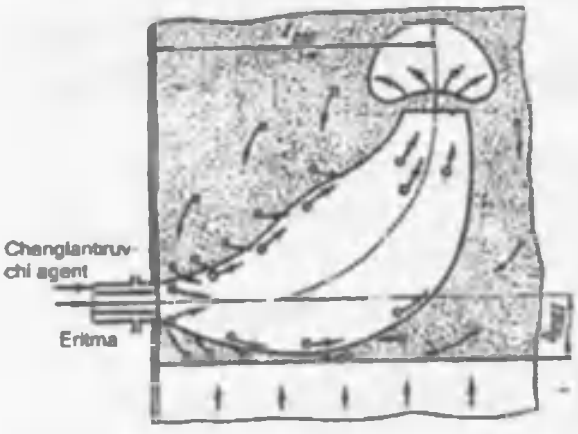
$$N = \frac{G}{G_f} = 1$$

Pulpaning oqib chiqish tezligi:

$$\upsilon_{ucm} = \varphi \sqrt{2g \frac{p}{\rho_r}} = 0{,}97 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot \frac{3 \cdot 10^4}{1160}} = 22{,}5m/s$$

Pulpaning ekvivalent oqib chiqish tezligi:

$$\upsilon_э = \xi_o \cdot \upsilon_{ucm}$$



8.19-rasm. Mavhum qaynash qatlamida purkagich ishlashining ideallashgan modeli.

bu yerda, suyuqlik sarf koeffitsiyenti ξ_o=0,15 deb qabul qilamiz. Unda,

$$\upsilon_э = \xi_o \cdot \upsilon_{ucm} = 0{,}15 \cdot 22{,}5 = 3{,}38m/s$$

Suyuqlik chiqadigan soplo diametri:

$$d_o = \sqrt{\frac{4G_\phi}{\pi \upsilon_э \cdot \gamma_p}} =$$

$$= \sqrt{\frac{4 \cdot 100}{3{,}14 \cdot 3{,}38 \cdot 1160 \cdot 3600}} = 3{,}0mm$$

Ideal suyuqlik sarf koeffitsiyenti:

$$\xi = 12{,}9 \cdot \left(\frac{D_k}{d_o}\right)^{0.5} \cdot \mathrm{Re}^{-0{,}33} \cdot \xi_o$$

Suyuqlik soplosi va purkagich kallaklarining diametrlarning nisbatini D_k/d_o=7,5 deb qabul qilamiz (8.20-rasm).

$$\xi = 12{,}9 \cdot \left(\frac{D_к}{d_o}\right)^{0{,}5} \cdot \mathrm{Re}^{-0{,}33} \cdot \xi_o = 12{,}9 \cdot 7{,}5^{0{,}5} \cdot 5760^{-0{,}33} \cdot 0{,}15 = 0{,}296$$

Birinchi yaqinlashishdagi qayta hisoblash :

$$\upsilon_э = \xi_o \cdot \upsilon_{кі} = 0{,}296 \cdot 22{,}5 = 6{,}66 m/s$$

$$d_o = \sqrt{\frac{4G_ф}{\pi \upsilon_э \cdot \gamma_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100}{3{,}14 \cdot 6{,}66 \cdot 1160 \cdot 3600}} = 2{,}14 mm$$

$$\xi = 0{,}264$$

Ikkinchi yaqinlashishdagi qayta hisoblash :

$$\upsilon_э = \xi_o \cdot \upsilon_{кі} = 0{,}264 \cdot 22{,}5 = 5{,}94 m/s$$

$$d_o = \sqrt{\frac{4G_ф}{\pi \upsilon_э \cdot \gamma_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100}{3{,}14 \cdot 5{,}94 \cdot 1160 \cdot 3600}} = 2{,}27 mm$$

$$\xi = 0{,}269$$

Uchinchi yaqinlashishdagi qayta hisoblash :

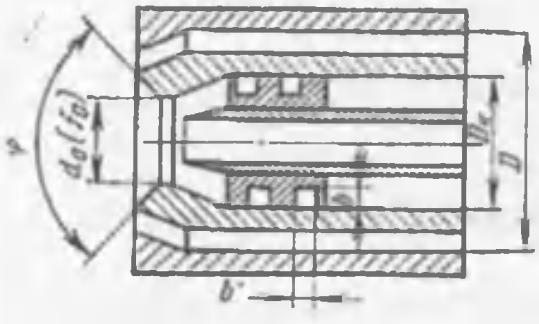
$$\upsilon_э = \xi_o \cdot \upsilon_{кі} = 0{,}269 \cdot 22{,}5 = 6{,}05 m/s$$

$$d_o = \sqrt{\frac{4G_ф}{\pi \upsilon_э \cdot \gamma_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100}{3{,}14 \cdot 6{,}05 \cdot 1160 \cdot 3600}} = 2{,}25 mm$$

$$\xi = 0{,}268$$

Uyurmalagich tangensial ariqchalarining yuzasini quyidagicha aniqlaymiz:

$$f_{кх} = 1{,}5 f_o = 5{,}95 mm^2$$



8.20-rasm. Purkagich maydalash kallagining konstruksiyasi.

Kanallar soni 2. Kvadrat shaklidagi tangensial kanalning ko'ndalang yuzasi:

$$b = \sqrt{\frac{f_{kar}}{n}} = \sqrt{\frac{5{,}95}{2}} = 1{,}7 mm$$

Uyurmalagich kamerasining diametri:

$$D_к = 7{,}5 d_o = 7{,}5 \cdot 2{,}25 = 17 mm .$$

Oqimchaning konuslik burchagi 8.21-rasmdan aniqlanadi:

$$A = \frac{D_к}{d_o} \cdot \frac{f_o}{f_{кх}}$$

$$A = 7{,}5 : 1{,}5 = 5; \qquad \varphi = 117^0$$

Tomchilarning o'rtacha diametri:

$$\frac{d}{d_o} = \frac{47,8}{A^{0,6} \cdot \mathrm{Re}_э^{0,7} \cdot \Pi_1^{0,1}}$$

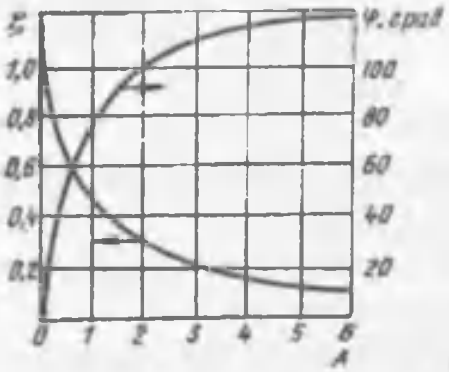
bu yerda

$$\Pi_1 = \frac{\rho \cdot \nu^2}{g d_o \sigma} = \frac{1160 \cdot \left(1,76 \cdot 10^{-6}\right)^2}{9,8 \cdot 5,1 \cdot 10^{-4} \cdot 2,25 \cdot 10^{-3}} = 3,2 \cdot 10^{-5}$$

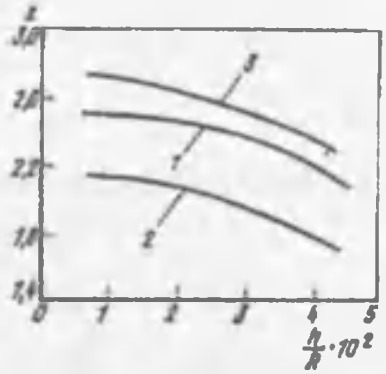
$$d = \frac{47,8 \cdot 2,25 \cdot 10^{-3}}{5^{0,6} \cdot 7750^{0,7} \cdot \left(3,2 \cdot 10^{-5}\right)^{0,1}} = 0,155mm$$

Halqasimon kanaldan oqib chiqayotgan purkaluvchi eltkichning tezligi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$(w_o)_к = (10...15) \cdot w_e = 95m/s$$



8.21-rasm. Oqimchaning konuslik burchagi va sarf koeffitsiyentining purkagich geometrik parametrlariga bog'liqligi.



8.22-rasm. Oqim siqilish koeffitsiyentining juvalar orasidagi tirqishning nisbiy eniga bog'liqligi.
1 – karboammofoska; 2-mochevina; 3-xlorli kaliy.

Purkalayotgan eltkich sarfi:

$$G_p = 1,2G_ф = 1,2 \cdot 100 = 120kg/soat$$

Halqasimon kanal yuzasi:

$$F_к = \frac{120}{3600 \cdot 0,49 \cdot 95} = 7,2 \cdot 10^{-4} m^2$$

Kanal diametri:

$$D = \sqrt{\frac{F_к}{0,785} + D_к^2} = \sqrt{\frac{7,2 \cdot 10^{-4}}{0,785} + (1,7 \cdot 10^{-2})^2} = 34,6mm$$

Alanganing geometrik o'lchamlariga qarab qabul qilingan nisbatlar to'g'riligini tekshiramiz:

– dumaloq oqimcha ekvivalent diametri

$$w_o = \frac{(w_o)_к + \chi \cdot \nu_э}{1 + \chi} = \frac{95 + 0,835 \cdot 6,05}{1,835} = 54,5m/s$$

– halqasimon oqimchaning boshlang'ich ko'ndalang kesim yuzasi

$$F_o = \frac{7{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot 95}{54{,}5} = 12{,}6 \cdot 10^{-4}\, m^2$$

– halqasimon oqimchaning boshlang'ich radiusi

$$r_o = \sqrt{\frac{F_o}{\pi}} = \sqrt{\frac{12{,}6 \cdot 10^{-4}}{3{,}14}} = 0{,}02m$$

$w_o r_o$ – kompleksi quyidagi teng bo'ladi:

$$w_o r_o = 0{,}02 \cdot 54{,}5 = 1{,}1$$

Halqasimon oqimcha uchun $w_o r_o$ kompleksining qabul qilingan va hisoblangan qiymatlarini solishtirish quyidagi farqni ko'rsatdi:

$$\Delta = \frac{1{,}14 - 1{,}1}{1{,}14} 100 = 3{,}5\%$$

Ushbu qiymat ruxsat etilgan ko'rsatkichdan kam, demak, hisoblashlar to'g'ri.

8-bob. Granullash va presslash bo'yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Presslash nima?
2. Bosim ostida suvsizlantirish orqali nimaga erishiladi?
3. Briketlash qanday jarayon?
4. Shakllantirish nima?
5. Gidravlik press tuzilishi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
6. Qiya shnekli press konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
7. Vertikal shnekli press konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
8. Rotatsion press konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
9. Ikki shnekli shakllantirish pressining konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
10. Bir shnekli ekstruder konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
11. Granullash qanday jarayon?
12. Granullash jarayoni qanday bosqichlardan tarkib topgan?
13. Qattiq materiallarni yumalatib granullash jarayonining fizik asoslari.
14. Tarelkali granulator konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
15. Mavhum qaynash qatlamli granulator konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
16. Barabanli granulator konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
17. Turboparrakli tezkor granulator konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
18. Granullashga moyillikni baholash koeffitsiyentlarini yozing.
19. Granulatorlarni hisoblash ketma-ketligi.

9 - bob. KIMYOVIY JARAYONLAR

9.1. Umumiy tushunchalar

Kimyoviy aylanishlarni o'tkazish uchun mo'ljallangan qurilmalar ***reaktorlar*** deb ataladi. Kimyoviy texnologiyaning jarayon va qurilmalari orasida kimyoviy reaktorlar va ularda kechadigan jarayonlar alohida o'rin tutadi. Ushbu jarayonlar kimyo sanoatining asosidir.

Kimyoviy aylantirishlar quyidagi xossalari bilan xarakterlanadi:

a) gidrodinamik, issiqlik va massa almashinish hodisalari hamda kimyoviy kinetika qonunlari kimyoviy jarayonlar kechish qonuniyatlarini belgilaydi;

b) kimyoviy-texnologiya jarayonlarining kechishiga katta ta'sir etuvchi omillar kimyoviy jarayonlar uchun muhim ahamiyatga ega; reaksiyalarni bir vaqtda parallel va ketma-ket kechishida temperatura va aralashtirish kabi omillar mahsulot sifatiga salmoqli ta'sir etadi;

d) umuman olganda, jarayon tezligi eng sekin o'tadigan bosqich bilan belgilanganligi sababli, kimyoviy jarayonlar diffuzion, kinetik va oraliq sohalarda kechishi mumkin.

Agar jarayon tezligi massa almashinish (diffuziya) tezligi bilan belgilansa, jarayon **diffuzion** sohada o'tadi. Agar jarayon tezligi faqat kimyoviy aylanishlar tezligi bilan belgilansa, jarayon **kinetik** sohada boradi. Agar kimyoviy reaksiya va diffuziya tezliklari taxminan bir xil bo'lsa, jarayon **oraliq** sohada kechadi. Lekin sanoat qurilmalarida kimyoviy jarayonlarning tezligi faqat issiqlikni uzatish yoki ajratib olish tezliklari bilan ham belgilanishi mumkin.

Ko'pincha reaktorlar sifatida maxsus, o'ta murakkab konstruksiyali qurilmalar qo'llaniladi.

9.2. Kimyoviy aylanishlar davridagi muvozanat

Odatda, yangi reaktorlar yaratish uchun loyihachiga reaksiya yo'nalishi va oxirgi konsentratsiyalar berilgan bo'ladi. Shunga qaramasdan, loyihachi kimyoviy muvozanat nazariyasining (fizik-kimyo fanining kimyoviy termodinamika qonuniyatlari) asosiy holatlarini bilishi zarur.

Massalar ta'sir qonuni. Ma'lumki, kimyoviy reaksiyalar qaytar bo'lishi mumkin, ya'ni boshlang'ich moddalar o'zaro kimyoviy ta'siri (to'g'ri reaksiya) bilan birga reaksiya mahsulotlarining o'zaro kimyoviy ta'sirida boshlang'ich moddalar hosil bo'lishi (teskari reaksiya) mumkin. To'g'ri reaksiya o'tib borishi bilan uning tezligi kamaysa, shu davrda mahsulot ortishi bilan teskari reaksiya tezligi o'sadi. To'g'ri va teskari reaksiya tezliklari tenglashishi bilan kimyoviy muvozanat holati boshlanadi. Tashqi sharoitlar buzilmasdan turganda muvozanat aralashmadagi moddalar tarkibi va konsentratsiyasi o'zgarmas bo'ladi. Tashqi sharoitlarning cheksiz kichik o'zgarishi, muvozanat holatini cheksiz o'zgarishiga olib keladi. Demak, kimyoviy reaksiyalar termodinamik muvozanat holatida borishi va ularga termodinamik muvozanatning umumiy shartlarini qo'llash mumkin.

Kimyoviy reaksiyada qatnashayotgan moddalarning parsial bosimlari yoki muvozanat konsentratsiyalari o'rtasidagi bog'liqlik massalar ta'sir qonuni bilan ifodalanadi. Muvozanat holatidagi gomogen gazli kimyoviy reaksiya uchun:

$$aA + bB \rightleftarrows cC + dD \tag{9.1}$$

agar reaksiya komponentlari – ideal gazlar bo'lsa, quyidagi tenglama to'g'ri keladi:

$$\frac{p_C^c \cdot p_D^d}{p_A^a \cdot p_B^b} = K_p \tag{9.2}$$

bu yerda, a,b,c,d – A,B,C,D moddalarning stexiometrik koeffitsiyentlari;

r_i – tegishli stexiometrik koeffitsiyentlar darajasidagi *A, B, C, D* komponentlarning parsial bosimlari.

O'zgarmas K_r ning qiymati **muvozanat konstantasi** deb ataladi. Ushbu konstanta faqat temperaturaga bog'liq va boshlang'ich aralashma komponentlarning parsial bosimi va bosimlar yig'indisiga bog'liq emas. (9.2) tenglama massalar ta'sir qonunining ifodasi bo'lib, uning miqdoriy ifodasi va keltirib chiqarilishi 1867-yili Guldberg va Vaaglar tomonidan taklif etilgan.

Haqiqiy gazlar uchun komponentlar parsial bosimlarini har bir i – komponentning uchuvchanligi f_i bilan almashtirish kerak. Bunda, muvozanat konstantasi K_f ham komponentlarning uchuvchanligi orqali ifodalanadi.

Muvozanat konstantasi konsentratsiyalar yordamida ham ifodalanishi mumkin:

$$\frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = K_c \tag{9.3}$$

Ideal bo'lmagan eritmalar uchun muvozanat konstantasi K_a komponent a ning faolligi orqali ham ifodalanishi mumkin.

Suyultirilgan eritmalar uchun $a_i=c_i$ va $K_c=K_a$.

Parsial bosim va mol ulushlar (K_N) orqali ifodalangan muvozanat konstantalari o'zaro quyidagicha bog'langan:

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n} = K_N P^{\Delta n} \tag{9.4}$$

bu yerda, Δn – reaksiya gazsimon qatnashchisining mol soni o'zgarishi; P – sistemadagi umumiy bosim; R – gaz doimiysi; T – temperatura, K.

Agar reaksiya gazsimon moddaning mol ulushi o'zgarishsiz o'tsa, ya'ni $\Delta n=0$ bo'lsa, unda $K_P=K_C=K_N$ bo'ladi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, umumiy holda K_N miqdoriy jihatdan K_P dan farq qiladi va temperatura hamda sistemadagi bosimga bog'liqdir.

Muvozanat konstantasining son qiymati reaksiyaning yo'nalishi va qaysi miqdorlari uchun stexiometrik tenglama yozilganiga bog'liq. Agar (9.1) reaksiya tenglamasini teskari yo'nalish uchun yozsak, ya'ni:

$$cC + dD \rightleftarrows aA + bB \tag{9.5}$$

unda, muvozanat konstantasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$K_p' = \frac{1}{K_p} \tag{9.6}$$

Agar (9.1) tenglamadagi stexiometrik koeffitsiyentlarni 2 barobar kamaytirsak, unda quyidagi ifodaga erishamiz:

$$0{,}5aA + 0{,}5bB \rightleftarrows 0{,}5cC + 0{,}5dD \tag{9.7}$$

unda, muvozanat konstantasi K_p'' quyidagicha ko'rinishni oladi:

$$K_p'' = K_p^{0,5} \tag{9.8}$$

Agar muvozanat sistemasiga, masalan (9.7)ga qo'shimcha ma'lum miqdorda *A* komponent kiritilsa, u *B* modda bilan reaksiyaga kirishib, qo'shimcha miqdorda *C* va *D* moddalar hosil qiladi. Natijada muvozanat holatiga erishiladi va *C*, *D* moddalarning parsial bosimlari boshlang'ich holatdagidan ancha ko'payadi. Modda *B* ning bosimi kamayadi, *A* niki esa – ortadi. Muvozanat holatiga erishilgandan so'ng, reaksiyada qatnashayotgan hamma moddalar parsial bosimlarining nisbati muvozanat konstantasi K_P ning son qiymatiga yana to'g'ri keladi.

Geterogen reaksiyalar uchun muvozanat konstantalari gazsimon komponentlar parsial bosimi yoki haqiqiy gazlar uchun gazsimon komponent uchuvchanligi orqali ifodalanadi. Erimaydigan va uchuvchan bo'lmagan fazalar kondensatlari muvozanatga ta'sir etmaydi.

Har bir qattiq faza gazsimon faza tarkibiga kiradigan to'yingan bug' hosil qiladi deb taxmin qilish mumkin. Masalan, ushbu reaksiyani ko'rib chiqamiz:

$$CaCo_{3(к)} \rightleftarrows CaO_{(к)} + CO_{2(газ)}$$

Ushbu holatda 2 ta qattiq va 1 ta gazsimon fazalar mavjud. Sistemadagi moddalar parsial bosimlari p_{CaCO_3}, p_{CaO}, p_{CO_2}. Unda, massalar ta'sir qonuniga binoan:

$$\frac{p_{CaO}\,p_{CO_2}}{p_{CaCO_3}} = const \tag{9.9}$$

O'zgarmas temperaturada qattiq faza ishtirok etgan sistemada moddaning to'yingan bug' bosimi o'zgarmas, va p_{CaO}/p_{CaCO_3} nisbati o'zgarmas kattalikdir.

Shunday qilib, yuqorida qayd etilganlarni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$p_{CO_2}\left(\frac{p_{CaCO_3}}{p_{CaO}}\right) = const = K_p$$

ya'ni ushbu reaksiyada muvozanat konstantasi karbonat angidrid gazining bosimiga teng.

Jarayonni amalga oshirish imkoniyati izobar-izotermik *(ΔG)* yoki izoxor-izotermik *(ΔF)* potensiallar kattaliklari bilan belgilanadi. Standart sharoitda ular muvozanat konstantasi bilan belgilanadi. Standart sharoitda quyidagi bog'liqlikda bo'ladi:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_P$$
$$\Delta F^0 = -RT \ln K_C \qquad (9.10)$$

Agar $\Delta G^0 < 0$ bo'lsa, standart sharoitda reaksiya boradi; agar $\Delta G^0 > 0$ bo'lsa, reaksiya bormaydi. Xuddi shunday, agar $\Delta F^0 < 0$ bo'lsa, reaksiya to'g'ri, $\Delta F^0 > 0$ bo'lsa – teskari yo'nalishda boradi.

Nostandart sharoitda jarayon yo'nalishini aniqlash uchun **kimyoviy reaksiya izotermalari** *tenglamasidan* foydalanish mumkin:

$$\Delta G^0 = RT \ln \frac{p_C^c \cdot p_D^d}{p_A^a \cdot p_B^b} - RT \ln K_P \qquad (9.11)$$

$$\Delta F^0 = RT \ln \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b} - RT \ln K_C \qquad (9.12)$$

(9.11) tenglamaning o'ng qismidagi birinchi hadi boshlang'ich sistema komponentlarining parsial bosimini ifodalaydi; (9.12) tenglamaning o'ng tomonidan birinchi hadi esa – boshlang'ich aralashmadagi komponentlar konsentratsiyasini ko'rsatadi. $\Delta G^0 < 0$ va $\Delta F^0 > 0$ bo'lganda, reaksiya to'g'ri, $\Delta G^0 > 0$ va $\Delta F^0 > 0$ bo'lganda esa – teskari yo'nalishda boradi.

Jarayonni amalga oshirish imkoniyatlari va reaksiya to'liq borishiga ta'sir etuvchi omillar. Termodinamik hisoblarga $(\Delta G^0 < 0)$ qaramasdan reaksiya bormasa, demak uni sekinlashturuvchi qandaydir omillar bor. Bunday hollarda ushbu omilni yengish, ya'ni reaksiya tezligini oshirish zarur.

Jarayon termodinamikasi va kinetikasiga reagentlar temperaturasi, bosimi va konsentratsiyasi kabi omillar ta'sir etadi. Faqat reaksiya tezligiga ta'sir etuvchi omil, bu katalizatorlar bo'lib, lekin ular muvozanat konstantasi qiymatini o'zgartirmaydi.

Kimyoviy muvozanatning temperaturaga miqdoriy bog'liqligini **Vant-Goffning izobar** tenglamasidan topish mumkin:

$$\frac{d \ln K_P}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \qquad (9.13)$$

bu yerda, H – entalpiya o'zgarishi yoki o'zgarmas bosimdagi reaksiyaning issiqlik effekti.

(9.13) tenglamani kichik temperaturalar oralig'ida integrallasak, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\ln \frac{K_{PT2}}{K_{PT1}} = \frac{\Delta H}{R} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2 \cdot T_1} \qquad (9.14)$$

Xuddi shunday qilib, Vant-Goffning izoxor tenglamasini keltirib chiqarish mumkin:

$$\ln \frac{K_{CT2}}{K_{CT1}} = \frac{\Delta U}{R} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2 \cdot T_1} \qquad (9.15)$$

bu yerda, ΔU – sistema ichki energiyasining o'zgarishi yoki o'zgarmas hajmdagi reaksiyaning issiqlik effekti.

Temperatura o'sishi bilan K_p ortishi yoki kamayishi mumkin, lekin jarayon tezligi ko'pchilik hollarda ortadi.

Bosim o'sishi bilan konsentratsiya ortadi. Shuning uchun, ko'pincha reaksiya tezligi ortadi. Agar jarayon hajm o'sishi bilan kechayotgan bo'lsa, unda umumiy natija qanday bo'lishi noma'lum. Bunday hollarda qandaydir bir optimal qiymatni qabul qilish kerak.

Muvozanat o'zgarishini hisoblash uchun muvozanat konstantasi va boshlang'ich moddalar mol soni ma'lum bo'lishi kerak. So'ng, muvozanatdagi har bir modda miqdorini mol miqdori orqali ifodalab olamiz. Masalan,

$$0{,}5\,N_2 + 0{,}5\,O_2 \rightleftarrows NO$$

Reaksiya uchun 2500K da K_p=0,0455. Agar boshlang'ich aralashmada 21% kislorod va 79% azot bo'lsa, muvozanat aralashmadagi *NO* konsentratsiyasi (mol%) aniqlansin.

Stexiometrik tenglamaga binoan muvozanat aralashma tarkibidagi azot konsentratsiyasini *(79-x)*, kislorod konsentratsiyasini - *(21-x)* va *NO* konsentratsiyasini *2x* ga teng deb qabul qilamiz. Muvozanat aralashma tarkibini massalar ta'sir qonuniga binoan quyidagicha ifodalash mumkin:

$$K_P = 0{,}0455 = \frac{[NO]}{[N_2]^{0.5} \cdot [O_2]^{0.5}} = \frac{2x}{(79-x)^{0.5} \cdot (21-x)^{0.5}}$$

Ushbu tenglamani x ga nisbatan yechsak, uning qiymatini topamiz. Muvozanat aralashmada *NO* ning miqdori *2x* ga teng, ya'ni 1,8%.

9.3. Kimyoviy jarayonlar kinetikasi

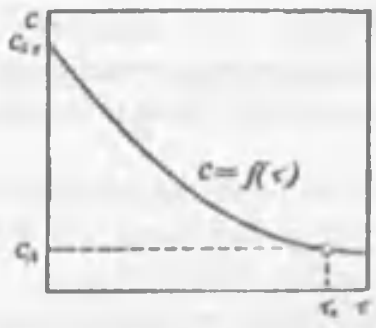
Har doim ham kimyoviy jarayonlarning o'tish tezligi kimyoviy aylanishlar tezligi bilan belgilanmaydi. Ayrim hollarda jarayon tezligi issiqlikni uzatish va ajratib olish tezligi yoki massaning bir fazadan ikkinchisiga tarqalish tezligi bilan aniqlanadi. Bunday holatlarda reaktorlar issiqlik yoki massa almashinish qonunlari bilan topiladigan o'lchamlarga ega bo'lishi kerak. Quyida, kimyoviy aylanishlarning kinetik qonuniyatlarini ko'rib chiqamiz.

Kimyoviy reaksiyalar tezligi. Kimyoviy kinetikaning asosiy qonuni (postulati)ga binoan, o'zgarmas temperaturada gomogen reaksiya tezligini ushbu formuladan topish mumkin:

$$w = Kc_A^{V_A} \cdot c_B^{V_B} \qquad (9.16)$$

Oddiy holatlarda V_A va V_B daraja qiymatlari stexiometrik koeffitsiyentlarga teng.

O'zgarmas temperaturadagi har bir reaksiya uchun proporsionallik koeffitsiyenti K o'zgarmas kattalikdir. Ushbu proporsionallik koeffitsiyent **reaksiyaning tezlik konstantasi** deb nomlanadi. Uning kattaligi reaksiyaga kirishayotgan moddalar konsentratsiyalari birga teng bo'lgan reaksiya tezligiga teng. Reaksiya darajasi va uning molekularligi degan ikkita tushunchani farqlash kerak, chunki ular bir xil emas.



9.1-rasm. Reaksiyaga kirishayotgan moddalar konsentratsiyasi s ning vaqt τ ga bog'liqligi.

Reaksiya darajasi (9.16) kinetik tenglama konsentratsiyalaridagi daraja ko'rsatkichlarining yig'indisi bilan aniqlanadi. Kimyoviy kinetika bo'yicha reaksiya darajalarini aniqlash usullari maxsus adabiyotlarda keltirilgan.

Oddiy reaksiya molekularliligi – bu kimyoviy o'zaro ta'sirda qatnashayotgan boshlang'ich modda molekulalarining soni. Reaksiyalar monomolekular, bimolekular va hokazo bo'ladi. Bir vaqtda 3 tadan ortiq molekulalarning to'qnashish ehtimoli juda kam. Shuning uchun, ko'pincha past molekularli reaksiyalar bo'ladi.

Moddaning reaksiya mahsulotiga aylanish jarayonini ko'rib chiqamiz (9.1-rasm). Ko'rinib turibdiki, 0 dan τ_{ox} oraliqda konsentratsiya c_{Ab} dan c_A gacha kamayadi:

$$\frac{c_{Ab}-c_A}{c_{Ab}}=1-\frac{c_A}{c_{Ab}}=x \qquad (9.17)$$

Ushbu nisbat **aylanish darajasi** deb nomlanadi. (9.17) nisbatdan quyidagi ko'rinishdagi tenglikni olamiz:

$$c_A=c_{Ab}(1-x) \quad \text{ва} \quad dc_A=-c_{Ab}dx \qquad (9.18)$$

Kamayuvchi modda bo'yicha reaksiya tezligi quyidagiga teng:

$$w=-\frac{dc_A}{d\tau}=Kc_A \qquad (9.19)$$

Yuqorida qayd etilganlarni hisobga olsak:

$$-\frac{dc_A}{d\tau}=c_{Ab}K(1-x) \qquad (9.20)$$

yoki

$$\frac{dx}{d\tau}=K(1-x) \qquad (9.21)$$

Fizik ma'nosiga ko'ra, $(1-x)n$ kattalik ushbu daqiqada jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi. Turli darajali reaksiyalar uchun kinetik tenglamalar quyidagi differensial shaklda yozish mumkin:

nol va birinchi darajali reaksiyalar uchun:

$$\frac{dx}{d\tau}=K_0; \qquad \frac{dx}{d\tau}=K_1(1-x) \qquad (9.22)$$

ikkinchi va n – darajali reaksiyalar uchun:

$$\frac{dx}{d\tau}=K_2(1-x)^2; \qquad \frac{dx}{d\tau}=K_n(1-x)^n \qquad (9.23)$$

Uzluksiz jarayonlarni harakatga keltiruvchi kuch. Prof. Planovskiy A.N. tomonidan yaratilgan uzluksiz jarayonlar nazariyasiga binoan, reaksion qurilmalar 3 ga bo'linadi: ideal (to'liq) siqib chiqaruvchi; ideal (to'liq) aralashish; ikkila tip oralig'idagi reaktorlar.

Ideal siqib chiqaruvchi reaktorlarda vaqt o'tishi bilan harakatga keltiruvchi kuch Δc asta-sekin kamayadi. Agar Δc kamaysa, jarayon tezligi ham kamayadi. Bunday hollarda harakatga keltiruvchi kuch o'rtacha logarifmik kattalik sifatida topiladi.

Ideal aralashish yoki oraliq tipidagi uzluksiz ishlaydigan reaktorning harakatga keltiruvchi kuchining ideal siqib chiqaruvchi qurilmaning harakatga keltiruvchi kuchiga nisbati ideal siqib chiqarish qurilmasidagi jarayon davomiyligi $\tau_{id.s}$ ning ideal aralashish τ_{ar} yoki oraliq tipidagi reaktordagi jarayon davomiyligi τ_{or} nisbatiga teng kattalikka reaktorning **konsentratsion foydali ish koeffitsiyenti** η_c deb nomlanadi.

Agar

$$\eta_c = \frac{\tau_{id.s}}{\tau_{ar}} \qquad \text{va} \qquad \eta_c = \frac{\tau_{id.s}}{\tau_{or}} \tag{9.24}$$

Ideal siqib chiqarish va aralashish qurilmalaridagi qaytmas kimyoviy reaksiyalar tezliklarini taqqoslaymiz. Nol darajali reaksiya qurilmalari uchun

$$\tau_{id.s} = \frac{x}{K_0} \qquad \text{va} \qquad \tau_{ar} = \frac{x}{K_0} \tag{9.25}$$

Demak, $\eta_c = 1$, ya'ni nol darajali reaksiyaning tezligi aralashtirishga bog'liq emas.

Birinchi darajali reaksiya uchun

$$\tau_{id.s} = \frac{1}{K_1} \ln \frac{1}{1-x} \tag{9.26}$$

Ideal aralashtirish qurilmasida jarayon o'zgarmas va oxirgi aylanish darajasida boradi.

Unda

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{x}{\tau_{ar}} = K_1(1-x) \tag{9.27}$$

yoki

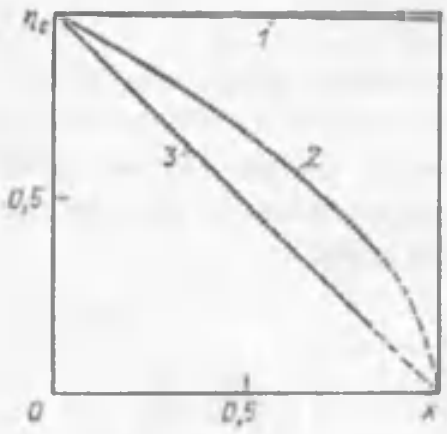
$$\tau_{ar} = \frac{x}{K_1(1-x)} \tag{9.28}$$

Bundan

$$\eta_c = \frac{1-x}{x} \cdot \ln \frac{1}{1-x} \tag{9.29}$$

Xuddi shunday, ikkinchi darajali reaksiya uchun

$$\eta_c = 1 - x \tag{9.30}$$



9.2-rasm. Ideal aralashtirish qurilma f.i.k. η_c ning reaksiyalar aylanish darajasiga bog'liqligi.
1-nol darajali; 2-birinchi darajali; 3-ikkinchi darajali.

9.2-rasmda ideal aralashtirish qurilmasi foydali ish koeffitsiyentining aylanishi va reaksiya darajalariga bog'liqligi ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, aylanish va reaksiya darajasi ortishi bilan qurilma foydali ish koeffitsiyenti kamayadi. Ya'ni aylanish va reaksiya darajalari qanchalik katta bo'lsa, kimyoviy aylanish tezligiga aralashtirish shunchalik salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Shunday qilib, agar reaksiya tezlik koeffitsiyenti K ning o'zgarmas kattaligida, ideal aralashtirish qurilmasining aylanish tezligi ideal siqib chiqarish qurilmasinikidan kichik bo'ladi; bir xil aylanish darajasiga erishish uchun siqib chiqarish qurilmanikiga qaraganda, ideal aralashish qurilmasida ko'proq vaqt bo'lishi zarur.

Ikkilamchi mahsulotlar hosil bo'lishiga η_c ning ta'siri. Ma'lumki, reaktorlarda asosiy reaksiya bilan birga qo'shimcha reaksiyalar (parallel va ketma-ket) boradi. Ideal aralashish qurilmasida foydali ish koeffitsiyentining asosiy va ikkilamchi mahsulotlar nisbatiga ta'sirini ko'rib chiqamiz. Ideal siqib chiqarish qurilmasida mahsulot A dan mahsulot X hosil bo'lish tezligi (9.31), mahsulot X dan mahsulot Y hosil bo'lish tezligi esa (9.32) tenglamadan aniqlanadi:

$$\frac{dx}{d\tau} = K_x(a-x) \tag{9.31}$$

$$\frac{dy}{d\tau} = K_Y(x-y) \tag{9.32}$$

bu yerda, a – boshlang'ich modda A ning miqdori; x – hosil bo'lgan mahsulot X ning miqdori; y – Y mahsulotga aylangan X modda miqdori.

(9.31) va (9.32) tenglamalarni solishtirib, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{K_y}{K_x} \cdot \frac{x-y}{a-x} \tag{9.33}$$

Tezlik koeffitsiyentlar nisbatini $K_Y/K_X=B$ deb belgilab, (9.33) tenglamani yechsak:

$$y_{ox} = x_{ox} - \frac{(a-x_{ox})^B - (a-x_{ox})}{1-B} \tag{9.34}$$

bu yerda, y_{ox} va x_{ox} – y va x parametrlarning oxirgi qiymatlari.

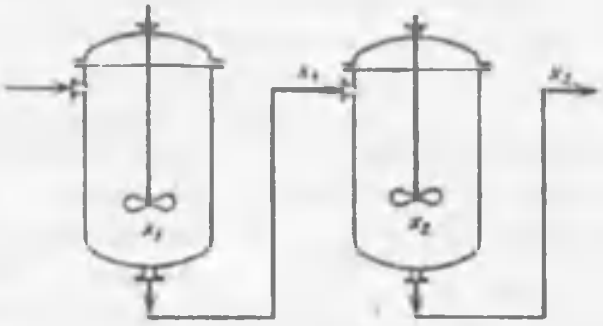
Ideal aralashish qurilmalari uchun:

$$\frac{x}{\tau_{ar}} = K_X(a-x); \qquad \frac{y}{\tau_{ar}} = K_Y(x-y)$$

yoki

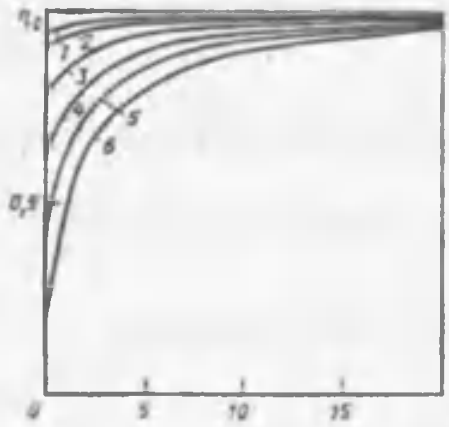
$$\frac{y}{x} = B\frac{x-y}{a-x}; \qquad y_{ox} = \frac{Bx_{ox}^2}{(a - x_{ox}) - Bx_{ox}} \tag{9.35}$$

Ideal aralashish qurilmasida y_{ox} qiymati yuqori bo'ladi. Demak, foydali ish koeffitsiyentning kamayishi jarayon davomiyligi τ ning ortishiga va mahsulot sifatining yomonlashishiga (ikkilamchi mahsulot o'sishiga) olib keladi.

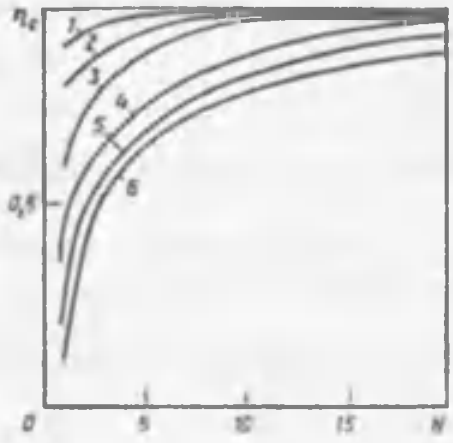


9.3-rasm. Ikkita ketma-ket ulangan ideal aralashish qurilmasidan iborat agregat sxemasi.

Qurilmalarni seksiyalash – foydali ish koeffitsiyentni oshirishning asosiy usuli. Qandaydir kimyoviy jarayonni o'tkazish uchun ideal aralashish ikkita qurilmasi ketma-ket ulangan deb, faraz qilaylik (9.3-rasm).



9.4-rasm. Seksiyalar soni N va aylanish darajasi x larning reaktor f.i.k. η_k ga ta'siri (birinchi darajali reaksiya uchun).
1- x=0,1; 2- x=0,2; 3- x=0,3; 4- x=0,4; 5- x=0,5; 6- x=0,6.



9.5-rasm. Seksiyalar soni N va aylanish darajasi x larning ikkinchi darajali reaksiya borayotgan qurilmaning f.i.k. η_k ga ta'siri.
1 - x=0,1; 2 - x=0,2; 3 - x=0,3; 4 - x=0,4; 5 - x=0,5; 6 - x=0,6.

Birinchi qurilmada aylanish darajasi x_1, ikkinchisida esa – x_2. Reaksiyada qatnashayotgan moddalarning umumiy vaqti $\tau = \tau_1 + \tau_2$ (bu yerda τ_1 va τ_2 – birinchi va ikkinchi qurilmalarda moddaning bo'lish vaqti). Shunday qilib, birinchi darajali reaksiya uchun:

$$\tau = \frac{x_1}{K \cdot (1 - x_2)} + \frac{x_2 - x_1}{K \cdot (1 - x_2)} \tag{9.36}$$

Ko'rinib turibdiki, τ yuklamaning taqsimlanish funksiyasi. x_2 ni o'zgarmas deb, τ ning minimal qiymatini (9.36) tenglamani differensiallab topamiz:

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{1}{K(1 - x_2)^2} - \frac{1}{K(1 - x_2)} = 0 \tag{9.37}$$

Bundan

$$K \cdot (1 - x_1)^2 = K(1 - x_2); \qquad x_1 = x_2 - x_1 + x_1^2 \tag{9.38}$$

Tegishli o'zgartirishlardan so'ng quyidagi ko'rinishni olamiz:

$$\frac{x_1}{1 - x_2} = \frac{x_2 - x_1}{1 - x_2} \tag{9.39}$$

Bundan, $\tau_1 = \tau_2$ yoki $V_{a1} = V_{a2}$ ekanligi kelib chiqadi. Shunday qilib, qurilmalar hajmlari tengligi optimal nisbatdir.

9.4 va 9.5 - rasmlarda qurilma foydali ish koeffitsiyentiga seksiyalar soni va aylanish darajasining ta'sirlari ko'rsatilgan.

Rasmlardan ko'rinib turibdiki, reaktorning foydali ish koeffitsiyenti seksiyalar soni N va aylanish darajasi x ga bog'liq. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, reaksiyaning darajasi qanchalik katta bo'lsa, uning qurilma foydali ish koeffitsiyentiga ta'siri ham keskin ravishda ortadi. Agar $N=\infty$ bo'lsa, sistema ideal siqib chiqarish qurilmasiga mos keladi. $N=8...10$ bo'lganda, reaktor ideal siqib chiqarish rejimida ishlaydi.

Ko'p seksiyali reaktorlarning foydali ish koeffitsiyentini quyidagi empirik formuladan topish mumkin:

$$\eta_{CN} = 30 \frac{mN}{30 + (m - 1)N} \tag{9.40}$$

Ushbu formuladagi m quyidagi tenglamadan topiladi:

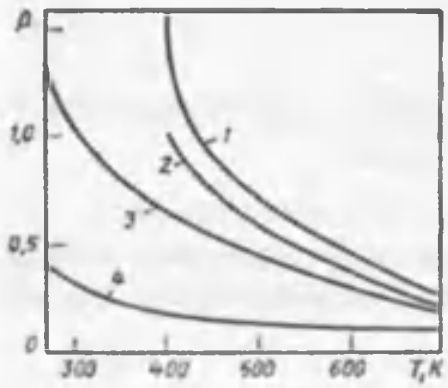
$$m = \frac{30\eta_{C1}}{1 - \eta_{C1}}$$

bu yerda η_{c1} – bir seksiyali qurilma foydali ish koeffitsiyenti.

Reaksiya tezligi koeffitsiyentiga temperatura ta'siri. Ushbu ta'sir Arrenius qonuniga bo'ysunadi va quyidagicha ifodalanadi:

$$K = z_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \tag{9.41}$$

bu yerda, z_0 – o'zgarmas, proporsionallik konstantasi (molekulalarning o'zaro to'qnashuv omili); E – reaksiyaga kirishayotgan moddalarning faollanish energiyasi; R – gaz doimiysi.



9.6-rasm. Reaksiya tezligi temperaturaviy koeffitsiyenti β ning temperatura T va faollashish energiyasi YE ga ta'siri.

Ushbu tenglamadan quyidagi ko'rinishni olish mumkin:

$$\ln\frac{K_2}{K_1}=\frac{E}{R}\left(\frac{1}{T_2}-\frac{1}{T_1}\right) \qquad (9.42)$$

bu yerda, K_1 va K_2 – absolyut temperaturalar T_1 va T_2 ga tegishli tezlik koeffitsiyentlari.

$K_{t+10}/K_t=\beta$ nisbat reaksiya tezligining **temperaturaviy koeffitsiyenti** deb nomlanadi.

9.6-rasmda faollashish energiyasi va temperaturaning, koeffitsiyent β ga ta'siri ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, faollashish energiyasi ortishi va temperatura kamayishi bilan β ning miqdori ortadi. Agar β= 2...4 bo'lsa, jarayon kinetik zonada,

β=1,2...1,5 da esa – diffuzion zonada boradi.

9.4. Kimyoviy jarayonlar moddiy va issiqlik balanslari

Moddiy balans. Qayta ishlanayotgan va hosil qilinayotgan materiallar miqdorini aniqlash uchun kimyoviy jarayonning moddiy balansi tuziladi: Yuqorida qayd etilgan miqdorlarni bilish reaktorning asosiy o'lchamlarini aniqlash, issiqlik balansini tuzish va hisoblashlarni o'tkazish uchun zarur.

Olinayotgan moddalar miqdori vaqtga (kg/sutka, kg/soat, kg/s) yoki ishlab chiqilayotgan mahsulot massasiga nisbatan aniqlanishi mumkin.

Moddiy balans tuzish uchun (9.1) stexiometrik tenglama asos bo'la oladi. Agar reaksiya chapdan o'ngga qaytmas kechayotgan bo'lsa, unda jarayon oxirida A modda to'liq sarflanadi, ya'ni G_A=0.

Unda, modda V ning sarfi quyidagiga teng bo'ladi:

$$G_B=G_A\left(\frac{b\cdot M_B}{a\cdot M_A}\right) \qquad (9.43)$$

Hosil bo'layotgan S va D moddalar uchun esa:

$$G_C=G_A\left(\frac{c\cdot M_C}{a\cdot M_A}\right);\qquad \cdot\ G_D=G_A\left(\frac{d\cdot M_D}{a\cdot M_A}\right) \qquad (9.44)$$

bu yerda, M_A, M_B, M_C, M_D – o'zaro ta'sirdagi moddalar massalari; G – asosiy, boshlang'ich mahsulot (masalan, A) miqdori.

Moddiy balansning hisoblash natijalari, odatda, ushbu ko'rinishda keltirilishi mumkin (9-1 jadval):

9-1 jadval

Moddalar	Miqdorlar
A	G_A
B	$G_A(bM_B/aM_A)$
Kirayotgan moddalar jami:	$G_A + G_A(bM_B/aM_A)$
C	$G_A(cM_C/aM_A)$
D	$G_A(dM_D/aM_A)$
Hosil bo'layotgan mahsulotlar jami:	$G_A(cM_C/aM_A) +$ $G_A(dM_D/aM_A)$

Issiqlik balansi. Kimyoviy jarayon issiqlik balansi quyidagi umumiy ko'rinishida yozilishi mumkin:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 \qquad (9.45)$$

bu yerda, Q_1 – qayta ishlanayotgan material bilan kirayotgan issiqlik; Q_2 – issiqlik eltkichdan qayta ishlanayotgan moddaga berilayotgan issiqlik; Q_3 – jarayonning issiqlik effekti; Q_4 – reaksiyada qaynashayotgan materiallar bilan chiqib ketayotgan issiqlik; Q_5 – atrof-muhitga yo'qotilayotgan issiqlik.

Qayta ishlanayotgan materiallar bilan olib kirilayotgan va reaksiya mahsulotlari bilan chiqib ketayotgan issiqlik miqdori quyidagi tenglikdan topilishi mumkin:

$$Q = \sum G \cdot c \cdot t \qquad (9.46)$$

bu yerda, G – modda massasi; s – material solishtirma issiqlik sig'imi; t – temperatura.

Reaksiyaning issiqlik effekti Gess qonuniga binoan hisoblanadi:

$$q = \Sigma q_K - \Sigma q_H \qquad (9.47)$$

bu yerda, q_p – reaksiya issiqlik effekti; Σq_H – kimyoviy reaksiyaga kirishayotgan, birikmalar hosil bo'lish issiqliklarining yig'indisi; Σq_K – kimyoviy ta'sir natijasida hosil bo'layotgan birikmalar hosil bo'lish issiqliklarning yig'indisi.

Reaksiya issiqligi q maxsus adabiyotlarda $20°C$ uchun keltirilgan bo'ladi. Bundan yuqori temperaturalardagi qiymatini topish uchun Kirxgof qonunidan foydalanish mumkin. Uning matematik talqini ushbu tenglama ko'rinishida bo'ladi:

$$\frac{dq}{dT} = \Delta c_P \qquad (9.48)$$

bu yerda, Δc_p – olingan mahsulot va boshlang'ich moddalar issiqlik sig'imlarining farqi (stexiometrik koeffitsiyentlar hisobga olingan).

Issiqlik sig'imning temperaturaga bog'liqligi ushbu ko'rinishdagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$c_p = a + bT + cT^2 + \ldots \qquad (9.49)$$

bu yerda, a, b, c – empirik konstantalar; T – temperatura.

Demak, Δc_p ning temperaturaga bog'liqligi ham (9.49) tenglamaga o'xshash funksiya bilan ifodalanadi:

$$\Delta c_p = a_1 + b_1T + c_1T^2 + \ldots \qquad (9.50)$$

Ushbu tenglamaga binoan, Kirxgof qonunini ifodalovchi tenglik quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\frac{dq}{dT} = a_1 + b_1T + c_1T^2 + \ldots \qquad (9.51)$$

bu yerda, a_1, b_1, c_1 – olingan mahsulot va boshlang'ich moddalar formulalaridagi tegishli *a*, *b*, *c* koeffitsiyentlarning farqiga son jihatdan teng koeffitsiyentlar.

(9.51) tenglamani integrallash, reaksiya issiqlik effekti va temperatura orasidagi bog'liqligining quyidagi ko'rinishini beradi:

$$q = a_1 T + \frac{1}{2} b_1 T^2 + \frac{1}{3} c_1 T^3 + \ldots + C \qquad (9.52)$$

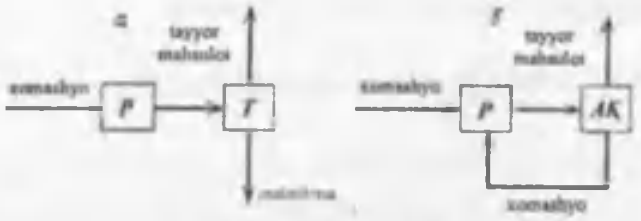
20 yoki 25°C temperaturadagi reaksiya issiqligini q_0 orqali belgilab olsak, integrallash o'zgarmas kattaligi C ni hisoblash osonlashadi:

$$C = q_0 - \left(a_1 T + \frac{1}{2} b_1 T^2 + \frac{1}{3} c_1 T^3 + \ldots \right) \qquad (9.53)$$

Agar C ning qiymati (9.53) dan aniqlansa, istalgan T temperaturadagi reaksiyaning issiqlik effekti (9.52) tenglamadan aniqlanadi.

9.5. Kimyoviy jarayonlarning prinsipial sxemalari

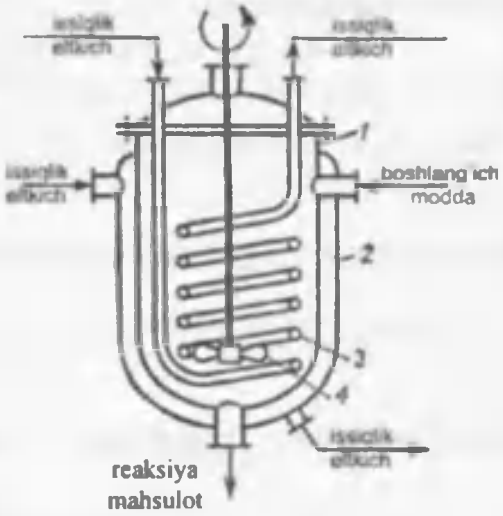
Kimyoviy jarayonlarning hamma prinsipial sxemalarini 2 guruhga ajratish mumkin: bir bosqichli (9.7a-rasm) va resirkulatsiyali (9.7b-rasm).



9.7-rasm. Kimyoviy jarayonlar prinsipial sxemalar.
a-bir bosqichli; b-resirkulatsiyali.

Bir bosqichli sxemalarda xomashyo reaktor P ga uzatiladi va u yerda to'liq o'zgarish ro'y beradi. Jarayonda hosil bo'lgan moddalar tozalash qurilmasi T ga yuboriladi. Ushbu qurilmada u tayyor mahsulot va aralashmalarga ajratiladi.

Sirkulatsiyali sxemada ham xomashyo reaktor P ga uzatiladi va u yerda qisman o'zgarishga uchraydi. Shuning uchun, u yana qayta ishlanadi. Bunday holda reaktor P ga boshlang'ich va qayta ishlashgan xomashyo aralashmasi yuklanadi va uning optimal darajada qayta ishlanishiga erilishadi. So'ng, tayyor mahsulot va reaksiyaga kirishmagan xomashyo aralashmasi reaktordan ajratish qurilmasi AK ga uzatiladi. Unda, tayyor mahsulot aralashma tarkibidan ajratib olinadi. Reaksiyaga kirishmagan xomashyo qaytadan reaktorga yuboriladi. Birinchi va ikkinchi guruh sxemalaridagi qurilmalarni hisoblash usullari har xil. Birinchi guruh sxemalaridagi qurilmalar jarayonning berilgan boshlang'ich va oxirgi parametrlari bo'yicha hisoblanadi. Ikkinchi guruh sxemalaridagi qurilmalar esa bir necha variant bo'yicha hisoblanadi va faqat texnik-iqtisodiy taqqoslashgina reaktor va ajratish qurilmasidagi jarayonlarning optimal parametrlarini aniqlash imkonini beradi.



9.8-rasm. Davriy reaktor.
1-qobiq; 2-g'ilof; 3-zmeyevik; 4-aralashtirgich.

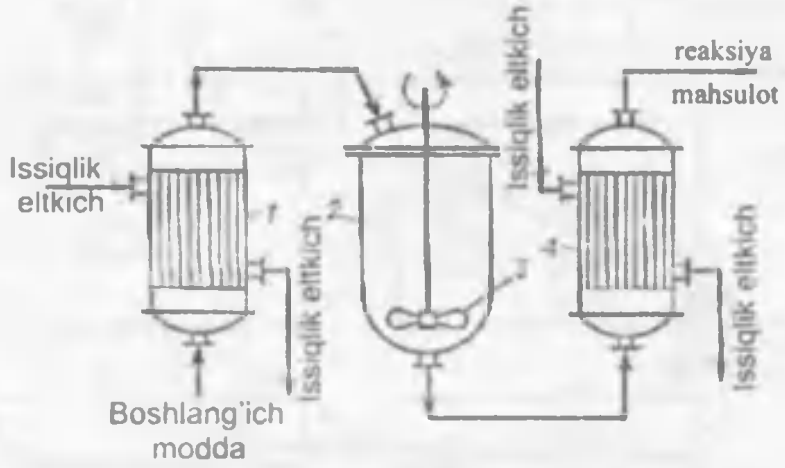
9.6. Reaktorlar konstruksiyalari

Jarayonni tashkil etish bo'yicha reaktorlar 3 guruhga bo'linadi:

Davriy ishlaydigan reaktorlarda jarayonning hamma bosqichlari har xil vaqtda ketma-ket kechadi (9.8-rasm).

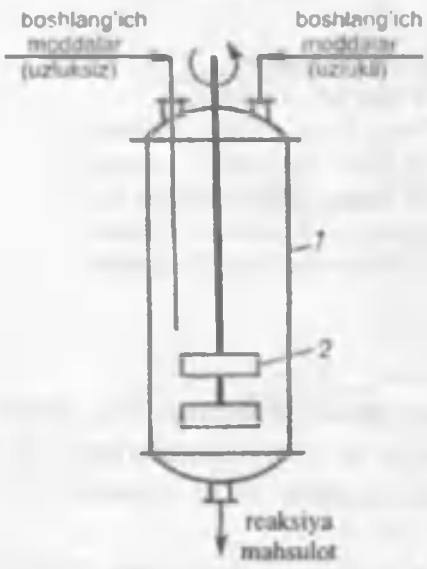
O'zaro ta'sirdagi moddalar konsentratsiyasining o'zgarish xarakteri reaksion hajmning hamma nuqtalarida bir xildadir. Lekin hajmning biror nuqtasi uchun vaqt bo'yicha turlicha bo'ladi. Bu turdagi qurilmada reaksiya davomiyligini bevosita o'lchash mumkin, chunki reaksiya vaqti va reaksion hajmda reagentlarning ta'sir vaqti bir xil. Davriy qurilmalarda texnologik jarayon parametrlari vaqt o'tishi bilan o'zgaradi.

Bunday reaktorlar ish unumdorligi kichik va ularni avtomatlashtirish hamda rostlash qiyin.



9.9-rasm. Uzluksiz ishlaydigan reaktr
1,4-isitkichlar; 2-reaktor; 3-aralashtirgich.

Uzluksiz ishlaydigan reaktorda kimyoviy aylanish jarayonining hamma bosqichlari parallel va bir vaqtda yuz beradi (9.9-rasm).



9.10-rasm. Yarim uzluksiz ishlaydigan reaktor.
1-qobiq; 2-aralashtirgich.

O'zaro ta'sirdagi moddalar konsentratsiyasining o'zgarish xarakteri har bir daqiqada reaksion hajmning turli nuqtalarida har xil. Lekin hajmning biror nuqtasi uchun vaqt bo'yicha o'zgarmasdir. Bu turdagi qurilmada reaksiya davomiyligini bevosita o'lchash mumkin emas, chunki uzluksiz ishlaydigan qurilmalarda reaksiya vaqti va reaksion hajmda reagentlarning ta'sir vaqti turlicha. Umumiy holda, moddalarning reaktorda bo'lish vaqti aralashtirish intensivligi, oqimlar tarkibiga bog'liq va har bir qurilma uchun alohida bo'ladi.

Bu turdagi reaktorlarning ish unumdorligi katta, ularni ekspluatatsiya qilish oson va avtomatlashtirishga moyil.

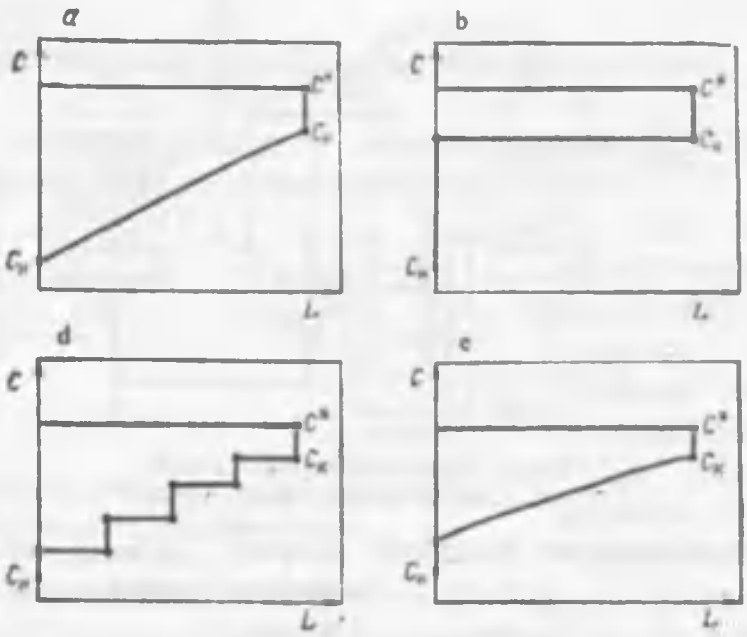
Yarim uzluksiz reaktorlar noturg'un sharoitda ishlaydi, ya'ni ba'zi bir reagentlar uzluksiz, boshqalari esa – davriy uzatiladi (9.10-rasm).

Ushbu turdagi reaktorlar kichik tonnajli ishlab chiqarish korxonalarida, ayniqsa ekzotermik reaksiya o'tkazish zarur bo'lgan jarayonlarda qo'llanilishi maqsadga muvofiq.

Gidrodinamik rejimga qarab, reaktorlar 3 guruhga bo'linadi.

Ideal aralashish reaktorlarida reagentlar oqimi butun reaksion hajmda bir zumda va bir tekisda aralashadi. Demak, bunday reaktorlarda aralashmaning tarkibi va temperaturasi butun reaksion hajmda bir xil deb hisoblash mumkin. Bu turdagi reaktorlar qatoriga kichik hajmdagi aralashtirgichli, sirkulatsiyali, mavhum qaynash qatlamli qurilmalar kiradi (9.11, 9.12-rasmlar).

Ideal siqib chiqarish reaktorlarida reagentlarning harakati porshensimon xarakterda bo'lib, ya'ni qurilmadan o'tayotgan har bir oldin uzatilgan hajm, keyingi uzatilgan bilan aralashmasdan, siqib chiqariladi. Natijada, qurilmaning markaziy qismi va



9.11-rasm. Turli tipdagi reaktorlarda moddalar konsentratsiyasining o'zgarish xarakteri.
a-siqib chiqarish qurilmasi; b-aralashish qurilmasi; d-ko'p seksiyali, aralashish qurilmasi: e-oraliq tipdagi qurilma; C-biror ondagi konsentratsiya; C_n-boshlang'ich konsentratsiya: C_k-oxirgi konsentratsiya; C*-muvozanat konsentratsiya; L-qurilma uzunligi.

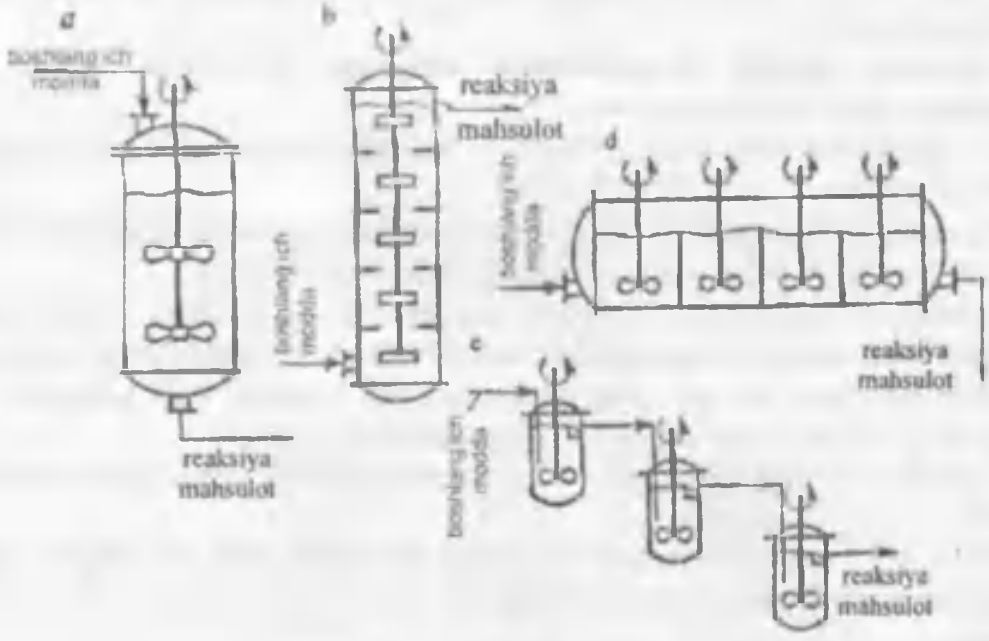
devor atrofidagi aralashmaning tarkibi va temperaturasi bir-biridan farq qiladi. Undan tashqari, qurilmaga kirish va chiqish konsentratsiya va temperaturalari orasida sezilarli katta farq bo'ladi. Bu turdagi reaktorlarga qobiq-trubali, ya'ni kolonnali qurilmalar kiradi (9.11,9.13-rasmlar).

Oraliq gidrodinamik rejimli reaktorlar juda keng tarqalgan. Ushbu turdagi qurilmalarda tez-tez ideal aralashish rejimidan chetga chiqish rejimlari sodir bo'ladi. Bunday holatlarda reagentlarning aralashmaydigan zonalari paydo bo'lishi va boshqa salbiy hodisalar hosil bo'ladi.

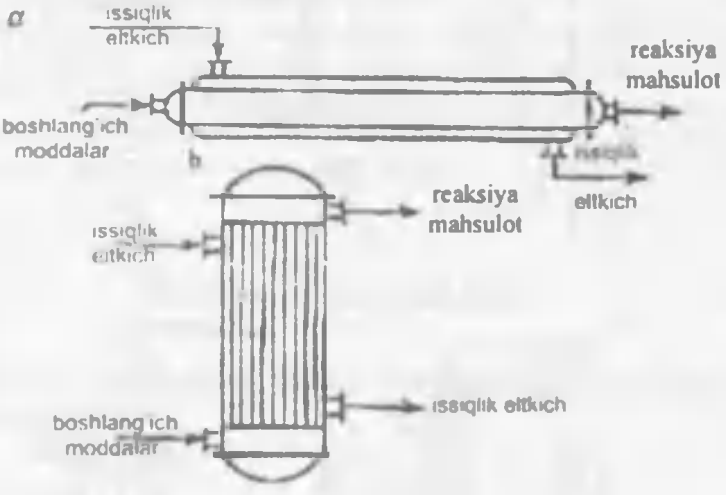
9.7. Reaktorlarning aralashtirish va issiqlik almashinish moslamalari

Reaktorning normal ishlashi, yuqori ish unumdorlik va oliy sifatli mahsulot olishga erishish uchun undagi moddalarni aralashtirish eng asosiy shartlardan biridir.

Aralashtirish usullari va uni konstruktiv jihozlash o'zaro ta'sirdagi moddalarning agregat holatiga bog'liq.



9.12-rasm. Aralashish reaktorlari
a-bir pog'onali qurilma; b-vertikal, ko'p pog'onali qurilma; d-gorizontal, ko'p seksiyali qurilma; e-aralashish qurilmasi batareyasi.



9.13-rasm. Siqib chiqarish reaktori.
1-bir trubali qurilma; 2-ko'p trubali qurilma.

Aralashtirish. Gazlarni aralashtirish uchun qo'llaniladigan eng sodda moslamalar qatoriga soplo, injektor, labirintli va kaskadli aralashtirgichlar kiradi. Odatda, aralashtirish moslamalari reaktor bilan bir qobiqda o'rnatiladi.

«Suyuqlik–suyuqlik» va «suyuqlik–qattiq jism» sistemalarini aralashtirish uchun mexanik usuldan foydalanish yuqori samara beradi. Buning uchun parrakli, turbinali,

yakorli va shnekli hamda pnevmatik aralashtirgichlar ishlatiladi. «Gaz-qattiq jism» sistemasida sifatli aralashtirishga erishish uchun jarayon mavhum qaynash yoki harakatchan qatlamda o'tkaziladi.

Issiqlik almashinish. Kimyoviy reaktorlarni turli usullarda isitish yoki sovitish mumkin. Reaktordagi issiqlik almashinish usulini tanlash kimyoviy jarayonning o'tkazish temperaturasi hamda issiqlik eltkichning fizik, issiqlik-diffuzion va kimyoviy xossalariga bog'liq. Sanoat miqyosida isitish va sovitishning 2 ta, ya'ni bevosita va bilvosita usullari bor.

Bevosita issiqlik almashinishda aralashma va issiqlik eltkich quyidagi variantlardan birida issiqlik uzatiladi:

1) issiqlik bevosita reaktorda beriladi, masalan, ekzotermik reaksiya yoki elektrik razryad yo'li bilan;

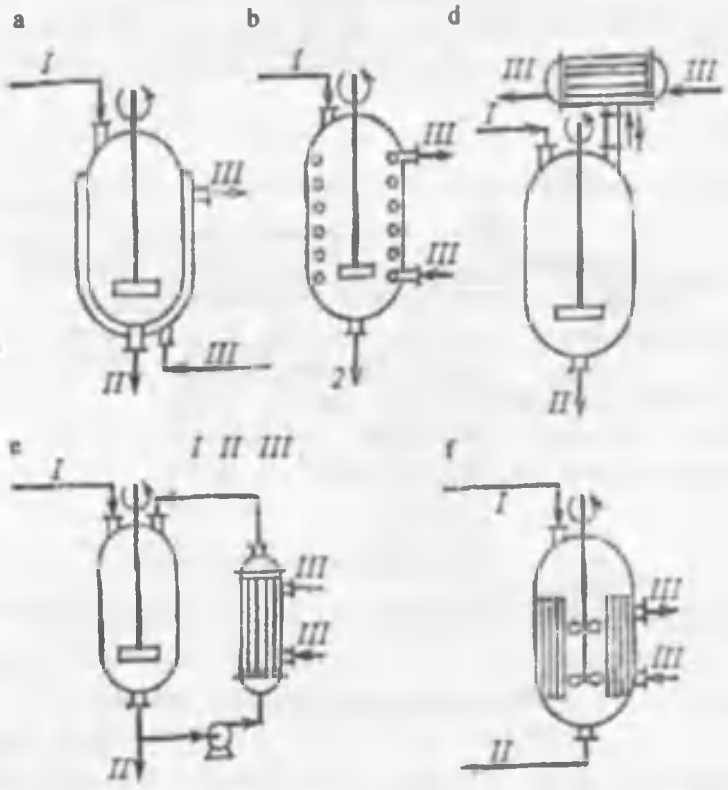
2) issiqlikning uzatilishi reaksion aralashmaning birorta komponentini qisman yoki to'liq bug'latish orqali yoki endotermik reaksiya yo'li bilan:

3) reaksion hajmda issiqlik eltkichning sirkulatsiyasi hisobiga issiqlik uzatish.

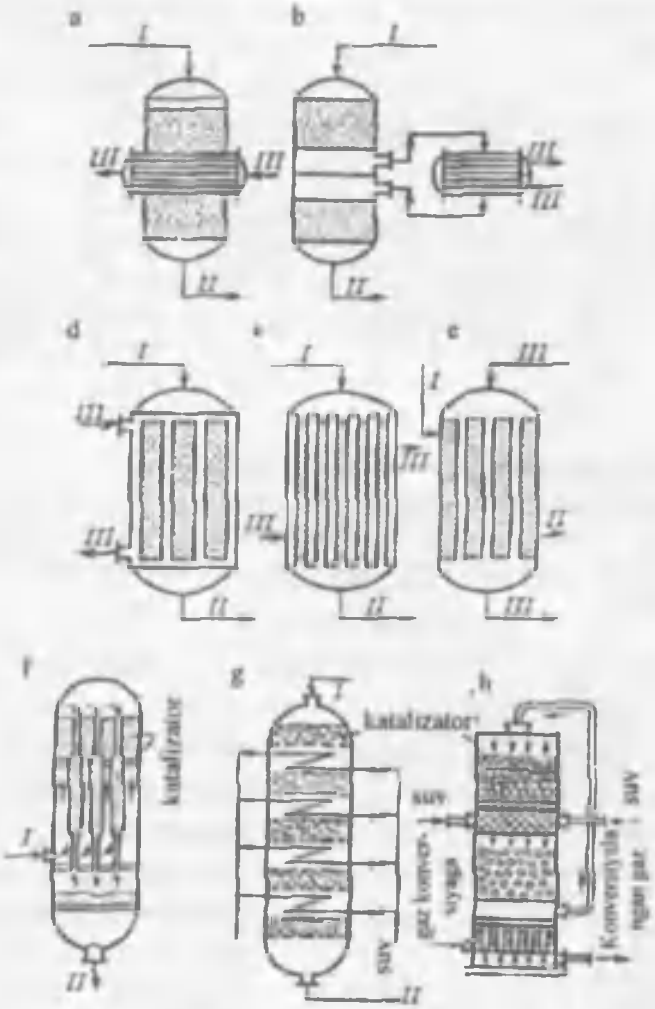
Bilvosita issiqlik almashinishda issiqlik eltkich va reagentlar qo'zg'almas devor yordamida ajratilgan bo'ladi. Issiqlik almashinish yuzalari turli geometrik shaklda (zmeyevik, g'ilof, halqa va hokazo) bo'lishi mumkin.

Odatda reaktorni isitish yoki sovitish uning tashqarisidagi g'ilof orqali amalga oshiriladi.

9.14...9.17-rasmlarda issiqlik almashinishni tashkil etish va issiqlik almashinish moslamalari hamda reagentlarni aralashtirish uchun mo'ljallangan ayrim moslamalar keltirilgan.



9.14-rasm. Aralashish reaktorining issiqlik almashinish moslamalari.
I-boshlang'ich moddalar, II-reaksiya mahsuloti, III-issiqlik eltkich; a-g'ilofli qurilma; b-ichki zmeyevikli qurilma; d-tashqi deflegmatorli qurilma; e-tashqi issiqlik almashinish qurilmali; f-ichki issiqlik almashinish qurilmali.



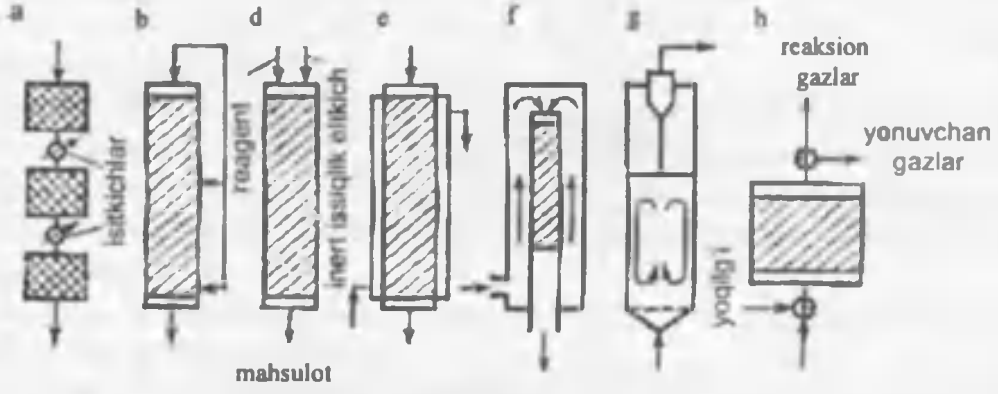
9.15-rasm. Siqib chiqarish reaktorining issiqlik almashinish moslamalari.
I-boshlang'ich moddalar, II-reaksiya mahsuloti, III-issiqlik eltkich; a-ichki issiqlik almashinish moslamali; b-tashqi issiqlik almashinish moslamali; d-trubalarida katalizator to'ldirilgan qurilma; e-trubalararo bo'shlig'i katalizator bilan to'ldirilgan qurilma; f-kombinatsiyalangan tipdagi qurilma; g-tokchali va katalizator qatlamlari orasida sovitish moslamali qurilma; h- katalizator qatlami orasiga suv purkovchi moslamali qurilma.

9.8. Reaktorlarni hisoblash

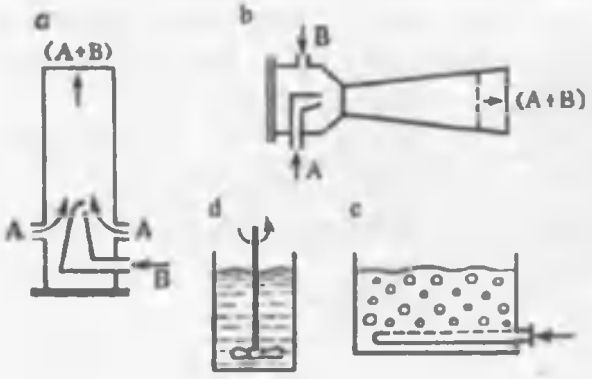
Reaktorning asosiy o'lchamlari (hajmi, fazalarning to'qnashish yuzasi) quyidagi umumiy nisbatdan aniqlanadi:

$$A = \frac{M}{DK} \tag{9.54}$$

bu yerda, M– kimyoviy o'zgarishga uchragan yoki bir fazadan ikkinchisiga o'tgan material miqdori (uzatilayotgan yoki ajratib olinayotgan issiqlik miqdori); D – jarayonning harakatga keltiruvchi kuchi; K – jarayonning tezlik koeffitsiyenti.



9.16-rasm. Eritmada optimal temperature hosil qilish usullari.
a-adiabatik seksiyalarga ajratish; b-sovuq reagentlar qo'shib; d-inert, issiq eltkich qo'shib; e-bilvosita issiqlik almashinish; f-reagent bilan bevosita issiqlik almashinish' g-harakatchan (mavhum qaynash) qatlamli; h-regenerativ issiqlik almashinish.



9.17-rasm. Kimyoviy reaktorlar aralashti - ruvchi moslamalarining turlari.
a-soplo; b-oqimchali;
d-aralishtirgich; e-barboter.

Kimyoviy jarayonning qaysi omili hal etuvchi bo'lishiga qarab, reaktor asosiy o'lchami jarayon davomiyligi (agar jarayon kinetik zonada bo'lsa), moddaning bir fazadan ikkinchisiga tarqalish tezligi (agar jarayon diffuzion zonada bo'lsa) yoki issiqlik uzatilishi (ajratib olinishi) orqali aniqlanadi. Oxirgi ikki usulda esa, reaktor xuddi issiqlik va massa almashinish qurilmasi kabi hisoblanadi. Bundan keyin, faqat jarayon davomiyligi orqali reaktorlarning asosiy o'lchamini hisoblashni ko'rib chiqamiz.

Davriy, ideal aralashish reaktorlari. Eng oddiy reaktor zmeyevik yoki g'ilofli qozon va aralashtirgichlardan tarkib topgan bo'ladi. Aralashtirgich aralashmani intensiv qorishtiradi va hajmning istalgan nuqtasida bir xil konsentratsiya bo'lishini ta'minlaydi, ya'ni konsentratsiya faqat vaqt o'tishi bilan o'zgaradi.

Reaktorlarni hisoblash uchun quyidagi parametrlar berilgan bo'ladi: vaqt birligidagi ish unumdorligi va jarayon davomiyligi $\Delta\tau$. Agar jarayon davomiyligi $\Delta\tau$ topib olinsa, qurilmada bir sutkada ishlab chiqariladigan mahsulot partiyalarining soni β ni aniqlash juda oson.

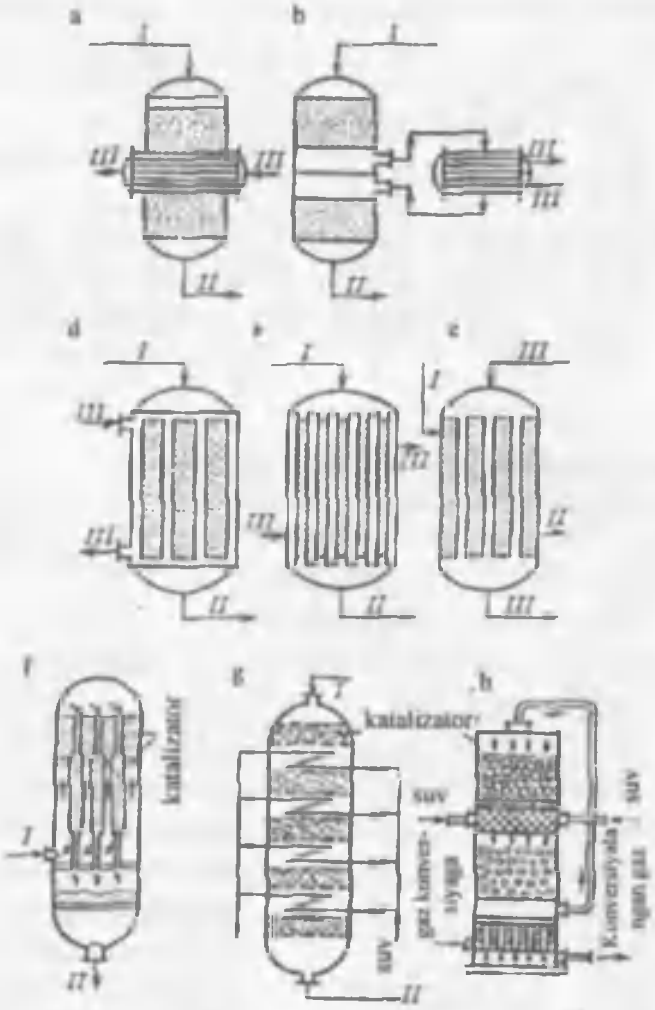
$\Delta\tau$ni soatda ifodalab, quyidagi nisbatni olamiz:

$$\beta\,\Delta\tau = 24 \quad \text{va} \quad \beta = \frac{24}{\Delta\tau} \tag{9.55}$$

Bir sutkada ishlab chiqariladigan partiyalar soni α esa ushbu nisbatdan topiladi:

$$\alpha = \frac{V_{sut}}{V_a} \tag{9.56}$$

bu yerda, V_{sut} – bir sutkada qayta ishlanayotgan materialning hajmi.



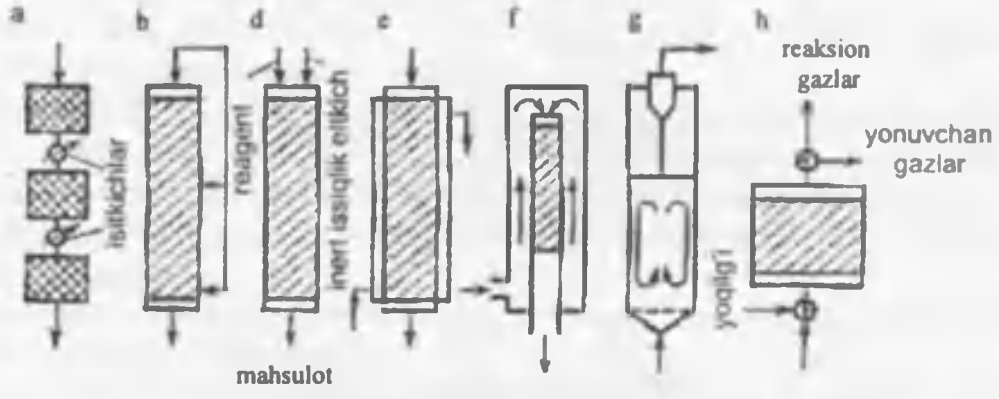
9.15-rasm. Siqib chiqarish reaktorining issiqlik almashinish moslamalari.
I-boshlang'ich moddalar, II-reaksiya mahsuloti, III-issiqlik eltkich; a-ichki issiqlik almashinish moslamali; b-tashqi issiqlik almashinish moslamali; d-trubalarida katalizator to'ldirilgan qurilma; e-trubalararo bo'shlig'i katalizator bilan to'ldirilgan qurilma; f-kombinatsiyalangan tipdagi qurilma; g-tokchali va katalizator qatlamlari orasida sovitish moslamali qurilma; h- katalizator qatlami orasiga suv purkovchi moslamali qurilma.

9.8. Reaktorlarni hisoblash

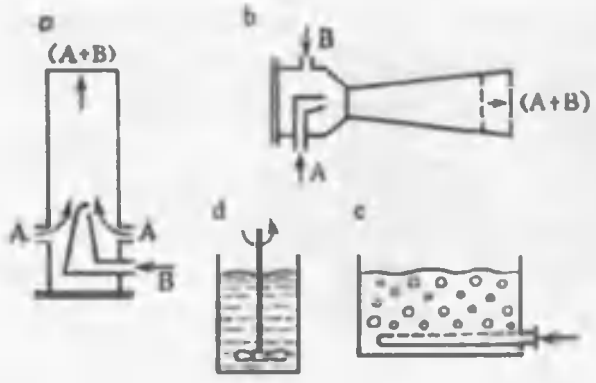
Reaktorning asosiy o'lchamlari (hajmi, fazalarning to'qnashish yuzasi) quyidagi umumiy nisbatdan aniqlanadi:

$$A = \frac{M}{DK} \tag{9.54}$$

bu yerda, ***M***– kimyoviy o'zgarishga uchragan yoki bir fazadan ikkinchisiga o'tgan material miqdori (uzatilayotgan yoki ajratib olinayotgan issiqlik miqdori); ***D*** – jarayonning harakatga keltiruvchi kuchi; ***K*** – jarayonning tezlik koeffitsiyenti.



9.16-rasm. Eritmada optimal temperature hosil qilish usullari.
a-adiabatik seksiyalarga ajratish; b-sovuq reagentlar qo'shib; d-inert, issiq eltkich qo'shib; e-bilvosita issiqlik almashinish; f-reagent bilan bevosita issiqlik almashinish' g-harakatchan (mavhum qaynash) qatlamli; h-regenerativ issiqlik almashinish.



9.17-rasm. Kimyoviy reaktorlar aralashti - ruvchi moslamalarining turlari.
a-soplo; b-oqimchali;
d-aralishtirgich; e-barboter.

Kimyoviy jarayonning qaysi omili hal etuvchi bo'lishiga qarab, reaktor asosiy o'lchami jarayon davomiyligi (agar jarayon kinetik zonada bo'lsa), moddaning bir fazadan ikkinchisiga tarqalish tezligi (agar jarayon diffuzion zonada bo'lsa) yoki issiqlik uzatilishi (ajratib olinishi) orqali aniqlanadi. Oxirgi ikki usulda esa, reaktor xuddi issiqlik va massa almashinish qurilmasi kabi hisoblanadi. Bundan keyin, faqat jarayon davomiyligi orqali reaktorlarning asosiy o'lchamini hisoblashni ko'rib chiqamiz.

Davriy, ideal aralashish reaktorlari. Eng oddiy reaktor zmeyevik yoki g'ilofli qozon va aralashtirgichlardan tarkib topgan bo'ladi. Aralashtirgich aralashmani intensiv qorishtiradi va hajmning istalgan nuqtasida bir xil konsentratsiya bo'lishini ta'minlaydi, ya'ni konsentratsiya faqat vaqt o'tishi bilan o'zgaradi.

Reaktorlarni hisoblash uchun quyidagi parametrlar berilgan bo'ladi: vaqt birligidagi ish unumdorligi va jarayon davomiyligi $\Delta\tau$. Agar jarayon davomiyligi $\Delta\tau$ topib olinsa, qurilmada bir sutkada ishlab chiqariladigan mahsulot partiyalarining soni β ni aniqlash juda oson.

$\Delta\tau$ ni soatda ifodalab, quyidagi nisbatni olamiz:

$$\beta\,\Delta\tau = 24 \quad \text{va} \quad \beta = \frac{24}{\Delta\tau} \tag{9.55}$$

Bir sutkada ishlab chiqariladigan partiyalar soni α esa ushbu nisbatdan topiladi:

$$\alpha = \frac{V_{sut}}{V_a} \tag{9.56}$$

bu yerda, V_{sut} – bir sutkada qayta ishlanayotgan materialning hajmi.

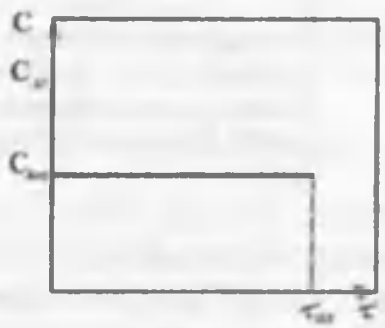
(9.55) va (9.56) tenglamalardan quyidagi bog'liqlikni topish mumkin:

$$\frac{\alpha}{\beta}=\left(\frac{V_{sut}}{24}\right)\cdot\frac{\Delta\tau}{V_a}=n \qquad (9.57)$$

bu yerda, n – parallel ishlayotgan qurilmalar soni.

Agar qurilmalarning ishchi hajmi V_a ni qabul qilib olsak, qurilmalar soni n ni aniqlash mumkin. Agar bitta qurilma (n=1) qo'llash maqsadga muvofiq bo'lsa, unda (9.57) tenglamadan uning ishchi hajmini aniqlash mumkin:

$$V_a=\frac{V_{sut}\cdot\Delta\tau}{24} \qquad (9.58)$$



9.18-rasm. Ideal aralashish reaktorida konsentratsiya C ning vaqt τ ga bog'liqligi.

Uzluksiz ishlaydigan ideal aralashish reaktorlari. Ideal aralashish reaktorlarida material hajmining hamma nuqtalarida va vaqt o'tishi bilan konsentratsiyalar o'zgarmasdir. Bunday turdagi reaktorlar uchun s -τ diagramma 9.18-rasmda keltirilgan.

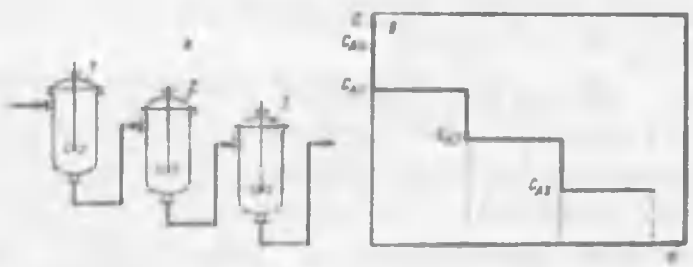
Rasmdan ko'rinib turibdiki, bunday qurilmalarda konsentratsiya boshlang'ich qiymat s_{Ab} dan oxirgi konsentratsiya s_A=s_{ox} ga bir zumda tushadi. Ushbu holat, birinchi darajali reaksiyalar uchun moddalar o'zaro ta'sir vaqti va reaktorning ishchi hajmi ushbu tenglamalardan topiladi:

$$\tau_{ap}=\frac{x_{ox}}{K_1\left(1-x_{ox}\right)}; \qquad V_a=V_\tau\cdot\tau_{ap} \qquad (9.60)$$

bu yerda, x_{ox} – qurilmadagi modda konsentratsiyasi (c_A=c_{ox}); V_τ – τ vaqt ichida qayta ishlangan hajm.

Ma'lumki, ideal aralashish qurilmalari juda kichik foydali ish koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi. Demak, boshqa sharoitlar bir xil bo'lganda, uning hajmi maksimal qiymatga ega.

Ideal aralashish reaktorlar kaskadi. Ideal aralashish qurilmalarining foydali ish koeffitsiyentini oshirish maqsadida ulardan kaskad qilinadi (9.19-rasm).

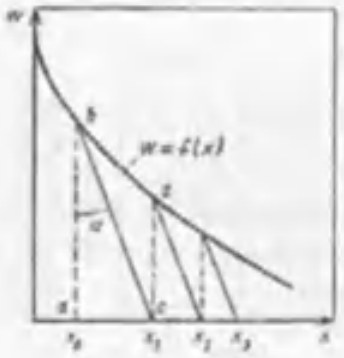


9.19-rasm. Ideal aralashish qurilmalar kaskadi (a) va unda konsentratsiya s ning vaqt τ ga bog'liqligi (b).

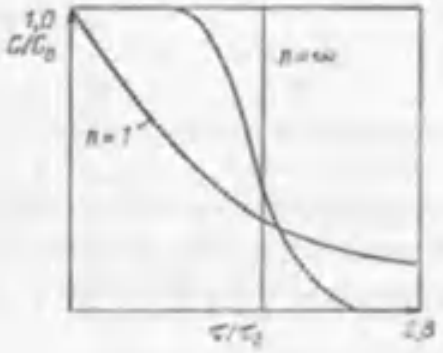
Kaskaddagi reaktorlar sonini aniqlash uchun grafik usulidan foydalanish maqsadga muvofiq (9.20-rasm). Birinchi darajali reaksiya uchun birinchi reaktorda boshlang'ich aylanish darajasi x_0 dan x_1 gacha oshadi. Unda, abc uchburchakdan:

$$\frac{ac}{ab}=\frac{x_2-x_1}{w}=tg\alpha \qquad (9.61)$$

bu yerda, w=$\Delta x/\Delta\tau$ – reaksiya tezligi; $tg\alpha$ - bc chizig'ining reaksiya tezligi o'qiga qiyaligi;



9.20-rasm. Kaskaddagi reaktorlar sonini aniqlashning grafik usuli.



9.21-rasm. F - diagramma (mavhum pog'onalar soni n bo'lganda moddalarning yuvilib ajrash egri chiziqlari).

Nuqta b dan abssissa o'qi bilan kesishguncha to'g'ri chiziq o'tkazib, konsentratsiya x_1 ni topamiz. Shu nuqtadan tezlik egri chizig'i bilan kesishguncha vertikal chiziq o'tkazib d nuqtani aniqlaymiz. Hosil qilingan d nuqtadan α burchak ostida abssissa o'qi bilan tutashguncha to'g'ri chiziq o'tkazib x_2 topamiz. Xuddi shuni bir necha marta qaytarsak, x_0-x_{ox} oraliqda siniq, pog'onali chiziq hosil bo'ladi.

Siniq chiziqdagi pog'onalar soni kaskaddagi reaktorlar sonini bildiradi. Grafikdagi α burchak quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{x_2 - x_1}{w} = tg\alpha = \tau \qquad (9.62)$$

Lekin $\tau = V_a/V_\tau$, demak

$$tg\alpha = \frac{V_a}{V_\tau}$$

Odatda, hisoblashlarni o'tkazish uchun V_τ ning qiymati berilgan bo'ladi. V_a ning qiymati esa tanlab olinadi, so'ng pog'onali siniq chiziq quriladi va undan kaskaddagi reaktorlar soni topiladi.

Ideal siqib chiqaruvchi reaktorlar. Bunday reaktor modeli sifatida uzunligi l ning diametri D nisbati juda katta *(l/D>20)* bo'lgan trubalar namuna bo'la oladi. Ushbu reaktorning har bir ko'ndalang kesimining radiusi bo'ylab konsentratsiya bir tekisda (ideal aralashish) bo'ladi. Lekin reaktorda bo'ylama aralashish yuz bermaydi. Bunday sharoitda konsentratsiya c_A ning o'zgarishi xuddi shu turdagi davriy ishlaydigan qurilmaniki kabi va son jihatdan bir xil bo'ladi. Buning uchun 9.1-rasmdagi abssissa o'qida τ emas, reaktor uzunligi l qo'yilishi kerak.

Qurilmaning ishchi hajmi ushbu tenglamadan topiladi:

$$V_a = V_{sek} \cdot \tau \qquad (9.63)$$

bu yerda τ – jarayon davomiyligi va u yuqorida keltirilgan kimyoviy kinetika tenglamalaridan aniqlanadi.

Piroliz jarayonining trubali reaktorini hisoblash. Propan fraksiyasini piroliz qilish reaktorini hisoblash. Piroliz mahsulotining (pirogaz) tarkibi 9-2

jadvalda keltirilgan. Piroliz o'txonaning quvvati G=10000 kg/soat. Jarayonga Z=2000 kg/soat (20% mass. xomashyoga hisoblaganda) suv bug'i berilmoqda. O'txonaga kirayotgan xomashyoning temperaturasi T=308K.

9-2 jadval.

Komponentlar	Tarkibi, mol %		Komponentlar	Tarkibi, mol %	
	propan fraksiyasi	pirogaz		propan fraksiyasi	pirogaz
N_2.....	0,7	13,2	C_1N_2.....	10,7	8,9
CN_4.....	6,3	33,6	C_3N_8.....	56,7	4,1
C_2N_2.....	-	0,3	C_4.....	4.1	0,9
C_2N_4.....	4,9	27,3	C_5.....	-	2,1
C_2N_6.....	16,6	9,6	Summa	100.0	100,0

Yoqilg'i gazining tarkibi: CH_4-98, CH_6-0,3, C_3H_8-0,2, n-C_4H_{10}-0,1, SO_2-0,3, N_2-1,1 (% hajm.) va havoning ortiqlik koeffitsiyenti α = 1,06. Normal sharoitda gazning zichligi 0,730 kg/m^3.

Hozirda, devorlari nur tarqatuvchi va ikki tomondan nurlovchi trubali piroliz o'txona (reaktor) eng mukammal hisoblanadi. Bunday o'txonalarni hisoblash, qisqa vaqt ichida reaksiya kechadigan o'txona trubalarini hisoblashdan iborat. Piroliz jarayonida reaksiya kechadigan truba uzunligi bo'yicha temperatura, bosim, hajm va mahsulot tarkibi uzluksiz ravishda o'zgarib turadi Shuning uchun reaksiya kechadigan trubaning hisobi ikki qismdan iborat bo'ladi: birinchi bosqich - dastlabki hisoblashdan, ikkinchi bosqich - trubaning bo'laklarini alohida hisoblashdan iborat.

Dastlabki hisoblashda isitish yuzasi, trubaning soni va uzunligi hamda reaksiya natijasida hosil bo'lgan mahsulotni truba ichida bo'lish vaqti aniqlanadi.

Gradiyent tipidagi trubali o'txonaning zmeyevik shaklidagi trubasini dastlabki hisoblash ketma-ketligi.

1. Yonish jarayoni hisoblanadi.

2. O'txonaning quvvatini, xomashyo va piroliz mahsulotining tarkibini bilgan holda quyidagilar aniqlanadi:

a) xomashyoning molekular massasi va zichligini, undagi har bir komponentning bir soat ichidagi massa va mol miqdorini;

b) pirogazning molekular massasi va zichligini (normal sharoitdagi), uning har bir komponentning bir soat ichidagi massa va mol miqdorini;

d) bug'-gaz aralashmasining o'txonaga kirish va chiqishdagi tarkibi (massa va mol ulushda).

Olingan ma'lumotlar jadvalga yig'iladi.

3. Pirolizga beriladigan gaz tarkibini bilgan holda, reaksiya ketadigan zmeyevikli shaklidagi trubaning oxiridagi temperaturani aniqlaymiz. Buning uchun gaz aralashmasining o'txona trubasi ichida bo'ladigan umumiy vaqtini oldindan belgilab olamiz.

4. O'txonaning foydali issiqlik quvvatini, f.i.k. va yoqilg'ining soat ichida sarflanadigan miqdorini aniqlaymiz. Hisoblashni quyidagi sxema bo'yicha olib boramiz:

a) xomashyoning uglevodorod tarkibini hisobga olgan holda, reaktordan chiqishdagi temperaturani aniqlaymiz;

b) piroliz jarayonidagi reaksiyaning issiqligini va bir soat ichida sarf bo'ladigan issiqlik miqdorini aniqlaymiz;

d) xomashyo va suv bug'ini o'txonaga kirishdagi temperaturadan reaksiya kechadigan trubaga kirishdagi temperaturagacha isitish uchun kerak bo'lgan issiqlikning bir soat ichidagi miqdorini aniqlaymiz (dastlab qabul qilib olinadi);

e) reaksiya trubasidagi bug'-gaz aralashmasini isitish uchun zarur bo'lgan issiqlikning bir soat ichida sarflanadigan miqdorini aniqlaymiz. Bunda bug'-gaz aralashma reaksiya trubasiga kirishdan oldin xomashyo va suv bug'idan, reaksiya trubasining oxirida piroliz mahsulotidan va suv bug'idan iborat bo'lishi nazarda tutiladi;

f) reaksiya trubasida sarf bo'ladigan issiqlikning bir soat ichidagi miqdori hisoblab topiladi;

g) o'txonaning foydali issiqligini aniqlaymiz;

h) o'txonadan chiqayotgan tutun gazlarining temperaturasini va tashqi muhitga yo'qotiladigan issiqlik ulushini qabul qilib, o'txonaning f.i.k.ni topamiz;

i) bir soatdagi yoqilg'i sarfini aniqlaymiz.

5. Radiant kameradan chiqayotgan tutun gazlarining temperaturasini aniqlaymiz. Buning uchun o'txonaning issiqlik balansidan reaksiya kechadigan trubaning issiqlik yuklamasini bilgan holda, tutun gazlarining o'txonadan chiqishidagi entalpiyasini va temperaturani aniqlaymiz.

6. Dastlab mumkin bo'lgan issiqlik kuchlanishini qabul qilib, reaksiya kechadigan trubaning isitish yuzasini aniqlaymiz. Trubaning diametrini va foydali uzunligini tanlab olib, zmeyevikli shaklidagi trubaning umumiy uzunligini topamiz. Parallel ulangan oqimlar sonini belgilab olamiz va trubaning foydali uzunligini, bir oqimdagi trubalar sonini topamiz. Bitta trubaning to'la uzunligini qabul qilib olib, bir oqimdagi reaksiya kechadigan trubaning to'la uzunligini topamiz.

7. Bug'-gaz aralashmasining reaksiya trubasidan o'tadigan vaqtini aniqlaymiz.

Hisoblash quyidagi sxema bo'yicha olib boriladi:

a) reaksiya trubasining oxiridagi bosimni qabul qilib, trubadagi bosim pasayishini belgilab, truba boshidagi bosimni topamiz;

b) trubaning boshi va oxiridagi bug'-gaz aralashmasining zichligini, hamda reaksiya trubasidagi o'rtacha zichlikni topamiz;

d) zmeyevikli trubadagi bug'-gaz aralashmasining massaviy tezligini topamiz;

e) trubaning boshi va oxiridagi bug'-gaz aralashmasining chiziqli tezligini hamda reaksiya trubasidagi o'rtacha tezligini topamiz;

f) bir oqimdagi reaksiya trubasining to'la uzunligini bug'-gaz aralashmasining o'rtacha tezligiga bo'lib, aralashmaning trubadagi vaqti aniqlanadi. Bu vaqt dastlab qabul qilingan vaqtdan ko'p bo'lmasligi kerak. Aks holda hisobni qaytadan bajarish kerak bo'ladi. Agar bunda ham vaqt kamaymasa, 3 banddan boshlab yana qayta hisoblanadi.

8. Darsi-Veysbax tenglamasidan reaksiya trubasidagi bosimning yo'qotilishini aniqlaymiz. Topilgan qiymat dastlab qabul qilingandan oshmasligi kerak. Aks holda hisoblash qayta bajariladi.

1. Yonish jarayonini hisoblash.

Yoqilg'ining quyi yonish issiqligini (kJ/m^3) quyidagi formula orqali topamiz:

$$Q_p^k = 360{,}33CH_4 + 590{,}4C_2H_4 + 631{,}8C_2H_6 + 868{,}8C_3H_6 +$$
$$+ 913{,}8C_3H_8 + 1092{,}81 \cdot изо - C_4H_{10} + 1195 \cdot н - C_4H_{10} + 1146C_4H_8 +$$
$$+ 1460{,}22C_5H_{12} + 251{,}2H_2$$

bu yerda, CH_4, C_2H_4 va hokazo – yoqilg'i tarkibidagi komponentlarning %(hajm) miqdori.

$$Q_p^k = (360{,}33 \cdot 98 + 631{,}8 \cdot 0{,}3 + 913{,}8 \cdot 0{,}2 + 1195 \cdot 0{,}1) = 35800 kJ/m^3$$

yoki

$$Q_p^k = \frac{35800}{0{,}730} = 49040 kJ/kg$$

Yoqilg'i tarkibini % (massa) ga o'tkazamiz.

Natijalarni jadvalga tushiramiz (9-3 jadval).

Yoqilg'ining element tarkibini % (massa) da aniqlaymiz. Yoqilg'i tarkibidagi uglerodning *i* komponentdagi miqdorini quyidagi formuladan topamiz:

$$C_i = \frac{g_i \cdot 12 \cdot n_i}{M_i}$$

bu yerda, n_i – yoqilg'i komponentidagi uglerod soni.

Uglerodning miqdori:

$$C = \sum_{CH_4}^{CO_2} C_i = \sum_{CH_4}^{CO_2} \left(\frac{g_i \cdot 12 n_i}{M_i} \right) = \frac{95{,}84 \cdot 12 \cdot 1}{16} + \frac{0{,}55 \cdot 12 \cdot 2}{30} + \frac{0{,}54 \cdot 12 \cdot 3}{44} +$$
$$+ \frac{0{,}35 \cdot 12 \cdot 4}{58} + \frac{0{,}84 \cdot 12 \cdot 1}{44} = 73{,}3\%(mass.)$$

Vodorodning miqdori:

$$H = \sum_{CH_4}^{n\text{-}C_4H_{10}} H_i = \sum \left(\frac{g_i \cdot m_i}{M_i} \right) = \frac{95{,}84 \cdot 14}{16} + \frac{0{,}55 \cdot 6}{30} + \frac{0{,}54 \cdot 8}{44} +$$
$$+ \frac{0{,}35 \cdot 10}{58} = 24{,}23\%(mass.)$$

bu yerda, m_i – yoqilg'i komponentidagi vodorod atomining soni.

9-3 jadval

Komponentlar	Molekular massa M_i	Mol (hajm) ulush, r_i	$M_i \cdot r_i$	Massa % $g_i=(M_i \cdot r_i / \Sigma M_i \cdot r_i) \cdot 100$
CH_4	16	0,980	15,680	95,84
C_2H_4	30	0,003	0,090	0,55
C_3H_8	44	0,002	0,088	0,54
n-C_4H_{10}	58	0,001	0,058	0,35
CO_2	44	0,003	0,132	0,84
H_2	28	0,011	0,308	1,88
Summa	-	1,000	M_r=16,36	100,0

Kislorodning miqdori:

$$O = \frac{g_{CO_2} \cdot 16P}{M_{CO_2}} = \frac{0{,}84 \cdot 16 \cdot 2}{44} = 0{,}61\%(mass.)$$

bu yerda, *P*– SO_2 molekulasidagi kislorod atomining soni

Azotning miqdori:

$$N = \frac{g_{N_2} \cdot 16n}{M_{N_2}} = \frac{1,88 \cdot 14 \cdot 2}{28} = 1,88\%(mass.)$$

bu yerda, n – molekuladagi azot atomining soni.

Tekshirish:

$$C + H + O + N = 73,3 + 24,23 + 0,61 + 1,88 = 100\%(mass.)$$

1 kg gazni yoqish uchun kerak bo'ladigan havoning nazariy miqdorini quyidagi formula bilan aniqlaymiz:

$$L_o = \frac{[0,267C + 0,08H + 0,01(S - O)]}{0,23} =$$

$$= \frac{0,267 \cdot 73,3 + 0,08 \cdot 24,23 + 0,01 \cdot (0 - 0,61)}{0,23} = 16.94 kg / kg$$

Devorlari nur tarqatuvchi o'txonalar uchun havoning ortiqchalik koeffitsiyenti α = 1,03...1,07. α = 1,06 deb qabul qilamiz. Bunda havoning haqiqiy miqdori quyidagicha bo'ladi:

$$L_k = \alpha \cdot L_o = 1,06 \cdot 16,94 = 17,96 kg / kg$$

yoki

$$\frac{L_x}{\rho_x} = \frac{17,96}{1,293} = 13,89 m^3 / kg$$

bu yerda, ρ_x = 1,293 kg/m^3 – havoning normal sharoitdagi zichligi (273K va 0,1·10^6 Pa).

1 kg yoqilg'i yonganda hosil bo'ladigan mahsulotning miqdorini aniqlaymiz:

$$m_{CO_2} = 0,0367C = 0,0367 \cdot 73,3 = 2,69 kg / kg$$

$$m_{H_2O} = 0,09H = 0,09 \cdot 24,23 = 2,18 kg / kg$$

$$m_O = 0,023L_o(\alpha - 1) = 0,023 \cdot 16,94 \cdot (1,06 - 1) = 0,23 kg / kg$$

$$m_{N_2} = 0,77L_o \cdot \alpha + 0,01N = 0,77 \cdot 16,94 \cdot 1,06 + 0,01 \cdot 1,88 = 13,84 kg / kg$$

Yonganda hosil bo'ladigan barcha mahsulotlarning miqdori:

$$\sum m_i = 2,69 + 2,18 + 0,23 + 13,84 = 18,94 kg / kg$$

Tekshirish:

$$\sum m_i = 1 + L_o\alpha = 1 + 1,06 \cdot 16,94 = 18,95 kg / kg$$

Havo tarkibidagi namlikni hisobga olmaymiz.

1 kg yoqilg'i yonganda hosil bo'ladigan barcha mahsulotlarning hajmini (m^3) topamiz (normal sharoitda):

$$V_{CO_2} = \frac{m_{CO_2} \cdot 22,4}{M_{CO_2}} = \frac{2,69 \cdot 22,4}{44} = 1,37 m^3 / kg$$

$$V_{H_2O} = \frac{m_{H_2O} \cdot 22,4}{M_{H_2O}} = \frac{2,18 \cdot 22,4}{18} = 2,71 m^3 / kg$$

$$V_{O_2} = \frac{m_{O_2} \cdot 22,4}{M_{O_2}} = \frac{0,23 \cdot 22,4}{32} = 0,16 m^3 / kg$$

$$V_{N_2} = \frac{m_{N_2} \cdot 22,4}{M_{N_2}} = \frac{13,84 \cdot 22,4}{28} = 11,07 m^3 / kg$$

Mahsulotlar hajmining yig'indisi:

$$\sum V_i = 1,37 + 2,71 + 0,16 + 11,07 = 15,31 m^3 / kg$$

Yonganda hosil bo'lgan mahsulotlarning 273K va $0,1 \cdot 10^6$ Pa dagi zichligi:

$$\rho_o = \frac{\sum m_i}{\sum V_i} = \frac{18,95}{15,31} = 1,24 kg / m^3$$

1 kg yoqilg'i yonganda hosil bo'ladigan mahsulotlarning turli temperaturadagi entalpiyasini quyidagi tenglama bilan aniqlaymiz:

$$q_T = (T - 273) \cdot \left(m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} + m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} + m_{O_2} \cdot c_{O_2} + m_{N_2} \cdot c_{N_2}\right)$$

bu yerda, T – yonganda hosil bo'lgan mahsulotlarning temperaturasi, K; c_{co2}, c_{H2O}, c_{CO2}, c_{N2} – yonish mahsulotlarining jadvaldan topiladigan o'rtacha massaviy issiqlik sig'imi [kJ/(kg K)].

Misol uchun q_{500} ning qiymatini topamiz:

$$q_{500} = (500 - 273) \cdot (2,69 \cdot 0,9207 + 2,18 \cdot 1,9004 + 0,23 \cdot 0,9391 + 13,84 \cdot 1,0362) =$$
$$= 4807 kJ / kg$$

Hisoblash natijalarini 9-4 jadvalga tushiramiz:

9-4 jadval

T, K	273	300	500	700	1100	1500	1500
q_t, kJ/kg	0	561	4807	9260	18837	29070	40048

Xomashyo va pirogazning tarkibi. Keyingi hisoblash uchun xomashyo va pirogazning tavsifi kerak bo'ladi. Bu ma'lumotlar Kuznetsov A.A., Kagermanov S.M. va boshqalarning «Rascheti protsessov i apparatov neftepererabativayushey promishlennosti» kitobida keltirilgan [45].

Xomashyoning molekular massasini M_x =39,2, zichligini ρ_x = 1,75 kg/m^3, pirogazning massasini M_n= 23,8; zichligini ρ_n = 1,07 kg/m^3 3.2 va 3.3 jadvallardan olamiz [45].

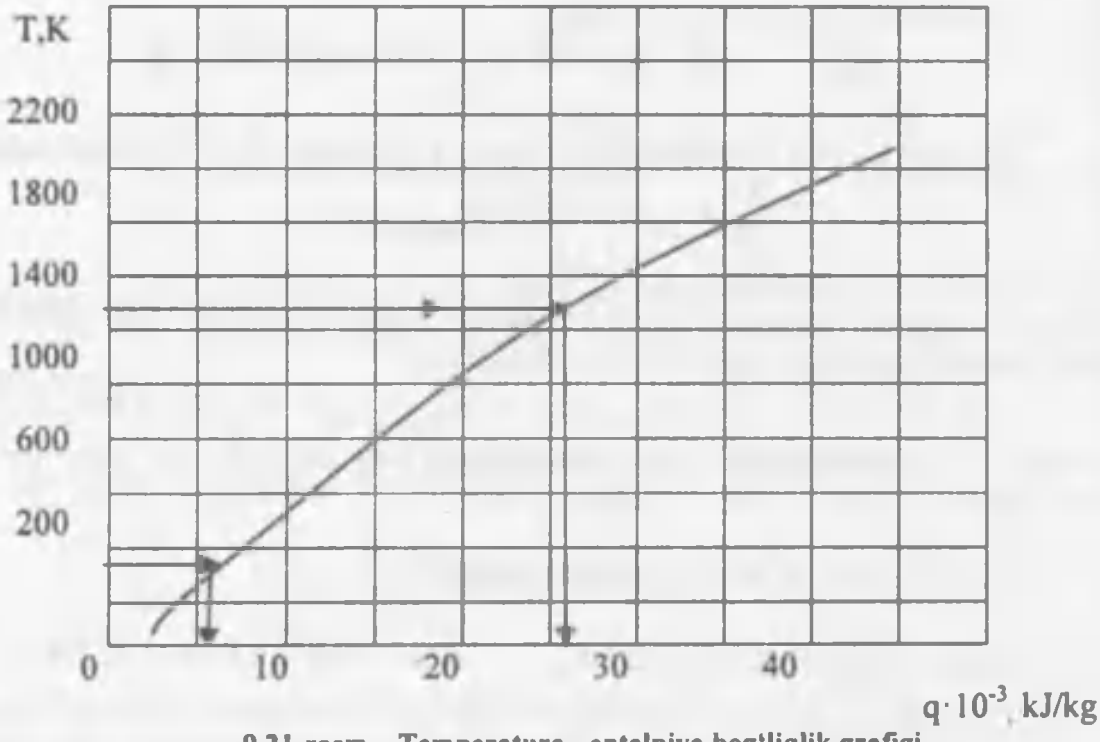
Topshiriqning sharti bo'yicha piroliz jarayoniga 20% (mass) yoki 2000 kg/soat suv bug'i beriladi. 9-5 jadvalda o'txonaga kirayotgandagi bug'-gaz aralashmasining tarkibi (xomashyo va suv bug'i) berilgan. Shundan foydalanib, bug'-gaz aralashmasining o'txonaga kirayotgandagi molekular massasini topamiz:

$$M_{kir} = \frac{12000}{366,9} = 32,7$$

o‘txonadan chiqayotgan bug‘-gaz aralashmasining molekular massasi

$$M_{chiq} = \frac{12000}{530,68} = 22,6$$

Jadvaldagi qiymatlardan $q = f(T)$ grafigini chizamiz (9.21-rasm).



9.21-rasm. Temperatura - entalpiya bog‘liqlik grafigi.

9-5 jadval

Tarkibi	O‘txonaga kirayotgan bug‘-gaz aralashma				O‘txonadan chiqayotgan bug‘-gaz aralashma			
	miqdor		qismi		miqdor		qismi	
	kg/s	kmol/s	mass.	mol	kg/s	kmol	mass.	mol
H_2.....	4	2,00	0,0003	0,0054	110	55,00	0,0092	0,1037
CH_4....	260	16,26	0,0217	0,0443	2260	141,20	0,1883	0,2657
C_2H_2...	-	-	-	-	30	1,16	0,0025	0,0023
C_2H_4...	349	12,42	0,0290	0,0338	3200	114,36	0,2667	0,2156
C_2H_6...	1280	42,68	0,1067	0,1162	1220	40,68	0,1017	0,0768
C_3H_6...	1155	27,50	0,0963	0,0749	1570	37,36	0,1308	0,0704
C_3H_8...	6344	144,46	0,5287	0,3940	760	17,26	0,0634	0,0328
C_4.....	608	10,48	0,0507	0,0286	220	3,80	0,0183	0,0072
C_5.....	-	-	-	-	630	8,76	0,0525	0,0165
H_2O...	2000	111,10	0,1666	0,3028	2000	111,10	0,1666	0,2090
Jami:	12000	366,90	1,0000	1,0000	12000	530,68	1,0000	1,0000

Reaksiya oxiridagi temperatura. Reaksiya oxiridagi temperatura yoki pirogazning o‘txonadan chiqishdagi temperaturasi:

$$T = T_2 x_2 + T_3 x_3 + T_3 x_3 + T_4 x_4$$

bu yerda, T_2, T_3, T_4 - C_2H_6, C_3H_6, C_3H_8, C_4H_{10} – uglevodorodlarni toza holda piroliz qilingandagi jarayonning oxirgi temperaturasi, K; x_2, x_3, x_4 va x_5- C_2H_6, C_3H_6, C_3H_8, C_4H_{10} uglevodorodlarning xomashyo aralashmasidagi miqdori, massa ulushda.

Jarayonning oxiridagi temperatura eng optimal kontakt vaqti bilan bog'liq:

etanni piroliz jarayonida uglerod ajralmagan holda

$$\lg \tau_{opt}^{et} = -12,75 + \frac{13700}{T_2}$$

Propilen, propan va butanni piroliz jarayonida uglerod ajralmagan holda

$$\lg \tau_{opt}^{prop} = -10,96 + \frac{11038}{T_3} \tau_{opt}^{prop}$$

bu yerda, τ_{opt}^{etan} va τ_{opt}^{prop} – optimal (eng qulay) reaksiyaning davom etish vaqti, s.

Piroliz jarayonida barcha uglevodorodlar reaksiyaga uchraydi, shuning uchun gaz aralashmasining reaksiya zonasida bo'lish vaqti τ_{um} barcha uglevodorodlar uchun bir xil bo'ladi. Gaz aralashmasining reaksiya zonasida bo'ladigan umumiy vaqti optimal vaqt bilan quyidagicha bog'langan:

$$\tau_{umum} \le (1,8 \div 2,1) \cdot \tau_{opt}$$

Gazlarni piroliz o'txonasi trubalarida bo'lishi umumiy vaqti to'g'risidagi ma'lumotlar 9-6 jadvalda keltirilgan:

9-6 jadval

Uglevodorod-larning pirolizi	Interval		
	Jarayon temperaturasi, K	Bosim · 10^{-3}, Pa	T_{umum}, s
C_2H_6.....	1048- 1113	208 - 319	0,7 - 1,30
C_3H_6.....	1065 - 1095	208 - 319	0,5 - 0,80
C_3H_8.....	883 - 1103	208 - 319	0,7 - 1,13
C_4H_{10}.....	883 - 1103	208 - 319	0,7 – 1,13

Xomashyo propan bilan boyitilgan, shuning uchun jadvaldan reaksiya zonasida bo'lishning umumiy vaqtini 0,7 s deb qabul qilamiz. Umumiy vaqtni optimal vaqtdan 2,1 marta ortiq deb qabul qilib, quyidagini topamiz:

$$\tau_{opt} = \frac{\tau_{umum}}{2,1} = \frac{0,7}{2,1} = 3,3s$$

Bu qiymatni yuqoridagi formulaga qo'yamiz :

$$\lg 0,33 = -12,75 + \frac{13700}{T_2}$$

$$\lg 0,33 = -10,96 + \frac{11038}{T_3}$$

va quyidagilarni topamiz:

$T_2 = 1117$ K va $T_3 = 1055$ K

Aralashma tarkibidagi uglevodorodlarning miqdorini aniqlab, ma'lumotlarni 9-7 jadvalga tushiramiz:

9-7 jadval

Komponentlar	G_i miqdori, jadvaldan, kg/s	$x_i = G_i/\sum G_i$, massa ulushi
C_2H_6.....	1280	0,1363
C_3H_6.....	1155	0,1230
C_3H_8.....	6344	0,6755
C_4.....	608	0,0652
Summa....	9387	1,0000

Olingan qiymatlarni o'txonadan chiqayotgan pirogaz mahsulotining oxirgi temperaturasini aniqlaydigan formulaga qo'yib, uni aniqlaymiz:

$$T = 1117 \cdot 0{,}1363 + 1055 \cdot 0{,}1230 + 1055 \cdot 0{,}6755 + 1055 \cdot 0{,}06552 = 1063\,K$$

O'txonaning issiqlik yuklamasi, f.i.k. va yoqilg'ining sarflanishi. O'txonaning foydali issiqligi:

$$Q_{foyda} = Q_1 + Q_{sarf}$$

bu yerda, Q_1 – reaksiya sodir bo'ladigan zmeyevikli quvurdagi xomashyoni isitish uchun sarflanadigan issiqlik, kVt; Q_{sarf} – reaksiyaga sarflanadigan issiqlik, kVt.

Xomashyoning temperaturasi reaksiya zonasiga kirishda, piroliz reaksiyasi boshlanadigan temperaturadan past bo'lishi kerak. Adabiyotdagi ma'lumotlarga qaraganda, propilen etilenda 883K da katalizatorsiz o'zgara boshlaydi, propan etilenda - 923K. Shuning uchun hisoblashda o'txonaga kirayotgan xomashyoning temperaturasini $T_n = 873$K deb qabul qilamiz.

Bug'-gaz aralashmasini berilgan $T_1 = 308$K dan $T_n = 873$K gacha isitish uchun sarf bo'ladigan issiqlik miqdorini quyidagi formuladan topamiz:

$$Q_1 = (G + Z) \cdot (q_{873} + q_{308})$$

bu yerda, $G = \sum G_i = 10000$ kg/s – xomashyoning miqdori; $Z = 2000$ kg/s – suv bug'ining miqdori; q_{873}, q_{308} – bug'-gaz aralashmasining T_1=308K va T_n=873K dagi entalpiyasi, kJ/kg.

Entalpiyani hisoblash natijalari 5-11 jadvalda keltirilgan, unga ko'ra $q_{873} = 1567{,}9$ kJ/kg va $q_{308} = 63{,}2$ kJ/kg.

Bosim unchalik katta bo'lmagani uchun uning entalpiyaga ta'siri hisobga olinmaydi.

$$Q_1 = (10000 + 2000) \cdot (1567{,}9 + 63{,}2) = 18{,}1 \cdot 10^6\,kJ/s = 5015\,kVt$$

Bug'-gaz aralashmasining entalpiyasini va aralashmadagi komponentlarning massaviy ulushini 9-8 jadvaldan topamiz.

Issiqlik Q_1 birmuncha ortiqcha qilib hisoblangan, chunki o'txona trubalariga berilayotgan qattiq qizdirilgan suv bug'ining temperaturasi xomashyoning boshlang'ich temperaturasidan ($T_1 = 308$ K) ancha ortiq.

Reaksiya va reaksiya zonasini isitish uchun beriladigan issiqlik miqdorini quyidagi formula bilan aniqlaymiz:

$$Q_p = Q_{pir} + Q_2$$

bu yerda, Q_{pir} – piroliz reaksiyasi uchun sarf bo'ladigan issiqlik, kVt; Q_2 – bug'-gaz aralashmasini T_i=873K dan (xomashyo va suv bug'i) $T = 1063$K gacha (pirogaz va suv bug'i) isitishga sarf bo'ladigan issiqlik, kVt.

9-8 jadval

Komponentlar	T_1 =308 K			T_N=873 K			T =1063		
	q_{i1} kJ/kg	x_i , massa ulushi	$q_1 \cdot x_i$ kJ/kg	q_{iN} kJ/kg	x_i, massa ulushi	$q_i \cdot x_i$ kJ/kg	$q_{i.}$ kJ/kg	x_i, massa ulushi	$q_i \cdot x_i$ kJ/kg
H_2...	502,0	0,0003	0.151	8750	0,0003	2,62	11650	0,0092	106,40
CH_4	80.4	0,0217	1,746	1897	0,0217	41,16	2743	0,1883	516,50
C_2H_2	62,0	0	0	1283	0	0	1764	0,0025	4,41
C_2H_4	57,4	0,0290	1.665	1452	0.0290	42,12	2080	0,2667	555.00
C_2H_6	64,5	0,1067	6.884	1690	0,1067	180,35	2453	0,1017	249,40
C_3H_6	57.0	0,0963	5,488	1451	0,0963	139,80	2092	0,1308	273,40
C_3H_8	62.8	0.5287	33,200	1658	0,5287	877,50	2400	0,0634	152,30
C_4...	62,0	0.0507	3,142	1647	0,0507	83,50	2370	0,0183	43,38
C_5...	62,0	0	0	1638	0	0	2353	0,0525	123,50
H_2O	65,8	0,1666	10,960	1206	0,1666	200,80	1640	0,1666	273,00
Jami:	-	1.0000	63,2	-	1,0000	1567,9	-	1,0000	2297,3

$$Q_{pir} = \Delta H \cdot \sum Q_i$$

bu yerda. ΔH – reaksiyaning issiqlik effekti, kJ/kmol xomashyo; $\sum Q_i$ =255.9 kmol/s – bir soat ichidagi xomashyoning mol qiymati.

Reaksiyaning issiqlik effektini quyidagi tenglama bilan topamiz:

$$\Delta H = H_2 - H_1$$

bu yerda, H_1 va H_2 – xomashyo va pirogazning hosil bo'lish issiqliklari, kJ/kmol.

H_1 va H_2 larni xomashyo va pirogaz komponentlarining hosil bo'lish issiqliklarini reaksiyaning oxirgi (T) temperaturasidagi ularning qiymatlarini qo'shish bilan topamiz.

Xomashyo va pirogaz komponentlarining T=1063K dagi hosil bo'lish issiqliklari adabiyotda keltirilgan [44], H_1 va H_2 larni hisoblash natijalarini 9-9 jadvaldan olamiz. Reaksiyaning issiqligi:

$$\Delta H = H_2 - H_1 = -66060 - (-101667) = 35607 \text{ kJ/kmol xomashyo}$$

Piroliz jarayoniga sarf bo'ladigan issiqlik:

$$Q_{pir} = \Delta H \cdot G_i = 35607 \cdot 255{,}8 = 9{,}11 \cdot 10^6 kJ/s = 2530 kVt$$

Bug'-gaz aralashmasini T_1 =873K (xomashyo va suv bug'i) dan T=1063K gacha (pirogaz va suv bug'i) isitish uchun sarf bo'ladigan issiqlik miqdori:

$$Q_2 = (G + Z) \cdot (q_{1063} + q_{873}) = (10000 + 2000) \cdot (2297{,}3 - 1567{,}9) =$$
$$= 8{,}76 \cdot 10^6 kJ/s = 2433 kVt$$

bu yerda, q_{1063} = 2297,3 ning qiymati 9-8 jadvaldan olingan.

Olingan qiymatlarni formulaga qo'yib o'txonaning radiant issiqlik miqdorini topamiz:

$$Q_p = 2530 + 2433 = 4963\,kVt$$

9-9 jadval

Komponentlar	Hosil bo'lish issiqligi, ΔH_f°, kJ/kmol	Xomashyo		Pirogaz	
		c_i mol ulush	$c_i \Delta H_f^\circ$ J/kmol xomashyo	$g_i / \sum G_i$ kmol/kmol xomashyo	$g_i \Delta H_f^\circ / \sum G_i$ kJ/kmol xomashyo
H_2.....	-	0,007	-	0,2150	-
CH_4.....	-90280	0,063	-5688	0,5520	-49850
C_2H_2.....	+223000	-	-	0,0045	+1003
C_2H_4.....	+38080	0,049	+1867	0,4472	+17050
C_2H_6.....	-106500	0,166	-17680	0,1590	-16930
C_3H_6....	-428	0,107	-46	0,146	-63
C_3H_8....	-130000	0,567	-73700	0,0675	-8750
C_4.....	-156600	0,041	-6420	0,0148	-2320
C_5.....	-181300	-	-	0,0342	-6200
Summa	-	1,000	H_1=-101667	1,64	H_2=-66060

O'txonaning foydali issiqligi:

$$Q_{foyda} = 4963 + 5015 = 9978\,kVt$$

O'txonadan tashqi muhitga yo'qotiladigan issiqlik q_1 yoqilg'i yonganda chiqadigan issiqlik Q_p^n ning 7% teng deb qabul qilamiz, ularning 5% radiatsiya kamerasida, 2% esa – konveksiyasida.

O'txonadan chiqib ketayotgan tutun gazlarining temperaturasini T_{chik}=673K deb qabul qilamiz, (ular keyin utilizator-qozonda sovutiladi). $q - T$ (9.21-rasm) grafikdan ularning entalpiyasini topamiz: q_2 = 8800 kJ/kg.

O'txonaning f.i.k. ni topamiz:

$$\eta = 1 - \left(\frac{q_1}{Q_p^n} + \frac{q_2}{Q_p^n} \right) = 1 - \left(0{,}07 + \frac{8800}{49040} \right) = 0{,}75$$

Yoqilg'ining sarfi:

$$B = \frac{Q_{foyda}}{Q_p^n \cdot \eta} = 9978 \cdot \frac{3600}{49040 \cdot 0{,}75} = 977\,kg/s$$

Radiant kamerasidan chiqib ketayotgan tutun gazlarining temperaturasini aniqlash. O'txonaning issiqlik balansi tenglamasidan

$$Q_p = B \cdot \left(Q_p^n \cdot \eta_T - q_{Tn}^z \right)$$

bu yerda, η_T – o'txonaning f.i.k., η_T = 1–0,05 = 0,95.

Chiqib ketayotgan gazlarning entalpiyasini topamiz:

$$q_{Tn}^z = Q_p^n \cdot \eta_T - \frac{Q_p}{B} = 49040 \cdot 0{,}95 - \frac{4943 \cdot 3600}{977} = 28250\,kJ/kg$$

$q = f(T)$ grafigi bo'yicha entalpiyaning bu qiymatiga $T_н$ = 1473K to'g'ri keladi.

Reaksiya kechadigan trubaning (ekran truba) isitish yuzasi. Reaksiya kechadigan trubaning yuzasini quyidagi formula bilan aniqlaymiz:

$$F_p = \frac{Q_p}{q_p}$$

bu yerda, q_p – isitiladigan yuzaning o'rtacha issiqlik kuchlanishi, kVt/m^2.

Bu ko'rsatkichning o'rtacha qiymatini hozirgi zamon o'txonalari uchun 34,7...37,2 kVt/ m^2 deb qabul qilamiz. q_p = 37,2 kVt / m^2 deb olib formulaga qo'yamiz:

$$F_p = \frac{Q_p}{q_p} = \frac{4963}{37,2} = 133 m^2$$

Trubaning diametrini $d_н$ = 0,14 m va devorning qalinligini 0,008 m deb olib, trubaning umumiy uzunligini topamiz:

$$L_p = \frac{F_p}{\pi \cdot d_н} = \frac{133}{3,14 \cdot 0,14} = 302 m$$

Xomashyo o'tadigan parallel oqimlarning sonini (m) 3 dan ortiq olish tavsiya etilmaydi. Loyihalanayotgan o'txona uchun m = 2 olingan. Bir oqimdagi trubalarning uzunligi quyidagicha bo'ladi:

$$L' \cdot p = L_p / m = 302 / 2 = 151 m$$

Bitta trubaning ishchi uzunligini tanlab olamiz l_T = 12,5 m. Unda bitta oqimdagi trubalar soni

$$N_p' = \frac{L'}{l_T} = \frac{151}{12,5} = 12$$

Bitta trubaning to'la uzunligi l_T' = 13 m bo'lsa, bir oqimdagi trubalarning umumiy uzunligi :

$$L_p' = N_p' \cdot l_T' = 12 \cdot 13 = 156 m$$

Bug'-gaz aralashmasining reaksiya trubasida bo'lish vaqti. Bug'-gaz aralashmasini reaksiya kechadigan trubada bo'lish vaqtini quyidagi tenglamadan topamiz:

$$\tau_{umum} = \frac{L_p''}{w_{o'rta}}$$

bu yerda, $w_{o'rta}$ – reaksiya kechadigan trubalardan o'tayotgan gazning o'rtacha chiziqli tezligi, m/s.

Chiziqli tezlikni ($w_{o'rta}$) aniqlash uchun dastlabki hisoblashni bajaramiz.

Bug'-gaz aralashmasining massa tezligini aniqlaymiz:

$$U = \frac{4(G+Z)}{3600 \cdot m \cdot \pi \cdot d_в^2} = \frac{4(10000+2000)}{3600 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,124^2} = 138 kg/m^2 \cdot s$$

Adabiyotlardagi ma'lumotlarga asosan reaksiya kamerasidagi bosimning o'zgarishini $\Delta P_p = 245 \cdot 10^3 ... 343 \cdot 10^3$ Pa ga teng qilib olamiz.

Reaktordan chiqayotgan bosim P_o ko'pincha $127 \cdot 10^3 \ldots 196 \cdot 10^3$ Pa ga teng bo'ladi.

$\Delta P_p = 335 \cdot 10^3$Pa va $P_o = 130 \cdot 10^3$ Pa deb qabul qilamiz. Bunda reaksiya trubasining boshlanishidagi bosim quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_b = P_o + P_p = 130 \cdot 10^3 + 335 \cdot 10^3 = 465 \cdot 10^3 Pa$$

Bug'-gaz fazaning reaksiya trubasi boshlanishidagi zichligi:

a) normal sharoitda

$$\rho_o^{'} = \frac{M_{kir}}{22,4} = \frac{32,7}{22,4} = 1,46 kg/m^3$$

bu yerda, $M_{kir} = 32,7$ – o'txonaga kirayotgan bug'-gaz aralashmasining o'rtacha molekular massasi (reaksiya trubasining boshlanishida ham bu qiymat o'zgarmaydi, chunki piroliz jarayoni hali boshlanmagan bo'ladi).

b) $T_b = 873$ K va $P_b = 465 \cdot 10^3$ Pa bo'lganda

$$\rho_b = \rho_o^{'}\left(\frac{T_o \cdot P_b}{T_b \cdot P_o}\right) = 1,46 \cdot \frac{273 \cdot 465 \cdot 10^3}{873 \cdot 98,1 \cdot 10^3} = 2,17 kg/m^3$$

Bug'-gaz aralashmasining reaksiya trubasining oxiridagi zichligi:

a) normal sharoitda

$$\rho_o^{''} = \frac{M_{kir}}{22,4} = \frac{22,6}{22,4} = 1,01 kg/m^3$$

bu yerda $M_{chiq} = 22,6$ – reaksiya trubasidan chiqayotgan bug'-gaz aralashmasining o'rtacha molekular massasi.

b) $T = 1063$ K va $P_b = 130 \cdot 10^3$ Pa bo'lganda

$$\rho_o = \rho_o^{''}\left(\frac{T_o \cdot P_b}{T_b \cdot P_o}\right) = 1,01 \cdot \frac{273 \cdot 130 \cdot 10^3}{1063 \cdot 98,1 \cdot 10^3} = 0,344 kg/m^3$$

Reaksiya trubasidagi aralashmaning o'rtacha zichligi:

$$\rho_{o'rt} = \frac{\rho_b + \rho_o}{2} = \frac{2,17 + 0,344}{2} = 1,257 kg/m^3$$

Bug'-gaz aralashmasining chiziqli tezligi:

a) reaksiya trubasining boshlanishida

$$w_b = \frac{u}{\rho_b} = \frac{138}{2,17} = 63,5 m/s$$

b) reaksiya trubasining oxirida

$$w_o = \frac{u}{\rho_o} = \frac{138}{0,344} = 401 m/s$$

d) o'rtacha tezlik

$$w_{o'rta} = \frac{w_b + w_o}{2} = \frac{63,5 + 401}{2} = 232 m/s$$

Topilgan qiymatlarni formulaga qo'yib, aralashmaning reaksiya trubasida bo'ladigan umumiy vaqtini topamiz:

$$\tau_{umum} = \frac{156}{232} = 0,674 s$$

Topilgan qiymat dastlab qabul qilingandan oshmaydi τ_{umum}= 0,7 s, shuning uchun qaytadan ishlab chiqishga hojat yo'q.

O'txonaning reaksiya kamerasida bosimning kamayishi. Yuqorida reaksiya kamerasidagi bosimni kamayishini ΔP_p= 335·10^{3}Pa deb qabul qilingan. Shuning to'g'riligini tekshirib ko'ramiz:

$$\Delta P_p = \lambda \frac{l_{ekv}}{d_e} \cdot \frac{\rho_{o'rt} \cdot u^2}{2}$$

bu yerda, λ – gidravlik qarshilik koeffitsiyenti; l_{ekv} – bir oqimdagi trubalar ekvivalent uzunligi, m.

Gidravlik qarshilik koeffitsiyentini topish uchun Reynolds sonini hisoblaymiz:

$$\mathrm{Re} = \frac{w_{o'rt} \cdot d_e}{\nu_{aral.s}}$$

bu yerda, ν_{aral} – reaksiya trubasidagi bug'-gaz aralashmasining kinetik qovushoqligi, m/s.

N_{aral} ni hisoblash uchun dastlab reaksiya trubasidagi bug'-gaz aralashmaning o'rtacha temperaturasini aniqlaymiz:

$$T_{o'r} = \frac{T_н + T}{2} = \frac{873 + 1063}{2} = 968K$$

Uglevodorod gazlarining o'rtacha molekular massasini aniqlaymiz.

$$M_{o'r} = \frac{M_c + M_x}{2} = \frac{39,2 + 23,8}{2} = 31,5$$

Hisobni soddalashtirish uchun uglevodorod gazlarining o'rtacha molekular massasi etannikiga to'g'ri keladi deb qabul qilamiz $M_{o'rta}$=31,5≈30, gazlarning 968K dagi kinematik qovushoqligini ekstrapolatsiya usuli bilan topamiz: ν_x = 71·10^{-6} m^2/s.

Suv bug'ining 968K dagi kinematik qovushoqligini jadvaldan aniqlaymiz [25]: $\nu_{suv\,b}$ = 120,9 · 10^{-6} m^2/s.

Suv bug'ining bug'-gaz aralashmasidagi o'rtacha miqdori (9-5 jadval):

$$y'_{o'r} = \frac{y_{bug'} + y_{bug'}}{2} = \frac{0,3028 + 0,2090}{2} = 0,559\,mol\,ulush$$

Reaksiya trubasidagi bug'-gaz aralashmasining kinematik qovushqoqligi:

$$\nu_{aral} = \frac{1}{\left(\frac{1 - y'_{o'r}}{\nu_x}\right) + \frac{y'_{o'r}}{\nu_{suvbug'i}}} = \frac{1}{\left(\frac{1 - 0,2559}{71 \cdot 10^{-6}}\right) + \frac{0,2559}{120,9 \cdot 10^{-6}}} = 78,9 \cdot 10^{-6}\,m^2/s$$

Reynolds soni:

$$\mathrm{Re} = \frac{\cdot w_{o'rt} \cdot d_e}{\nu_{aral}} = \frac{232 \cdot 0{,}124}{78{,}9 \cdot 10^{-6}} = 364000$$

Re =364000 bo'lganda va nisbiy g'adir-budirlik l/d_V = 0,0001/ 0,124 = 0,0008 bo'lganda, l = 0,0001 m – g'adir-budurlikning o'rtacha balandligi [130]. λ = 0,025.

Bir oqimdagi trubalarning ekvivalent uzunligini aniqlaymiz:

$$l_{ekv} = N_p^{'} \cdot l_{tr}^{'} + \left(N_p^{'} - 1\right) \cdot \psi \cdot d_e$$

bu yerda, ψ – trubalarning ulanish turiga bog'liq koeffitsiyent. Uning qiymati ψ = 50 [23].

Bundan

$$l_{ekv} = N_r^{'} \cdot l_{tr}^{'} + \left(N_p^{'} - 1\right) \cdot \psi \cdot d_e = 12 \cdot 13 + \left(12 - 1\right) \cdot 50 \cdot 0{,}124 = 224\,m$$

Yuqoridagi formulaga topilgan qiymatlarni qo'yib, ushbu qiymatni olamiz:

$$\Delta P_p = 0{,}025\left(\frac{224}{0{,}124}\right) \cdot \frac{138^2}{2} \cdot 1{,}257 = 343 \cdot 10^3\,Pa$$

Topilgan qiymat dastlab qabul qilingan qiymatdan ΔP_p=335·10^3 Pa dan ko'p farq qilmaydi, shuning uchun qaytadan hisoblanmaydi.

9-bob. Kimyoviy jarayonlar bo'yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Qanday jarayonlar kimyoviy jarayonlar deb ataladi?
2. Reaktorlar qanday qurilmalar?
3. Massalar ta'sir qonuni nimani ifodalaydi?
4. Vant-Goff tenglamasini yozing.
5. Kimyoviy jarayon moddiy balansini tuzing.
6. Kimyoviy jarayon issiqlik balansini tuzing.
7. Kimyoviy jarayon prinsipial sxemasini chizing.
8. Davriy reaktor konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
9. Uzluksiz ishlaydigan reaktor konstruksiyasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
10. Aralashish reaktorining konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
11. Siqib chiqarish reaktorining konstruksiyasi, afzallik va kamchiliklari.
12. Reaktorlarning issiqlik almashinish moslamalarining konstruksiyalari.
13. Reaktorlarni hisoblash ketma-ketligi.

10 - bob. SOVITISH JARAYONLARI

10.1. Umumiy tushunchalar

Kimyo sanoatining bir qancha jarayonlari ancha past temperaturada olib boriladi. Sovuqlik eltkich sifatida havo, suv va muzni ishlatib bunday jarayonlarni amalga oshirib bo'lmaydi.

Sun'iy sovitish yo'li bilan boradigan jarayonlar qatoriga ba'zi bir absorbsiya, kristallanish, gazlarni ajratish, sublimatsiyali quritish va boshqa jarayonlar kiradi. Shuningdek, bu turdagi sovitishdan qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash, yer qatlamlarini muzlatish, havoni konditsiyalash va boshqalarda keng foydalaniladi.

Sun'iy sovitish doimo past temperaturali muhitdan yuqoriroq temperaturali muhitga issiqlikni uzatish bilan bog'liq. Termodinamikaning ikkinchi qonuniga binoan, bunday uzatish energiya sarfini talab qiladi. Shuning uchun ham, sistemaga energiya kiritilishi sovuqlik olishning zaruriy sharti hisoblanadi.

Sovuqlik ishlab chiqarish usullari ma'lum darajada talab etilayotgan temperatura va qurilmaning ishlatilish ko'lami bilan aniqlanadi.

Shartli ravishda jarayon: 1) o'rta sovitish (atrof-muhit temperaturasidan - 100^0C gacha) va 2) chuqur sovitish (-100^0C dan past temperatura) larga bo'linadi.

O'z navbatida -100^0C dan past temperaturalar olish shartli ravishda quyidagicha klassifikatsiyalanadi:

a) chuqur sovitish texnikasi (45 K...273 K);

b) kriogen texnikasi (40 K...0,3 K);

d) ultra-past temperaturalar texnikasi (0,00002 K gacha);

2 K dan yuqori temperaturalar olinishi texnikada qo'llaniladi. Undan pastroq temperaturalarni olish esa, ilmiy tajribalar qilish texnikasiga to'g'ri keladi.

Chuqur sovitishga to'g'ri keladigan temperaturalarni olish gaz aralashmalarini qisman yoki to'liq suyultirish yo'li bilan ularni ajratish imkonini beradi. Natijada azot, kislorod, vodorod, propan, butan, etilen va boshqa gazlarni olish mumkin bo'ladi.

10.2. Sovuqlik olishning termodinamik asoslari

Asosiy tushunchalar. Termodinamika kursidan ma'lumki, energiyaning past temperaturali jismdan yuqori temperaturali jismga olib o'tilishi entropiya S ning kamayishiga olib keladi va shuning uchun bu jarayonni amalga oshirish uchun ish bajarilishi kerak (ya'ni energiya sarflanadi).

Sovitish qurilmalarida issiqlikni past temperaturali muhitdan yuqori temperaturali muhitga o'tkazish sovuqlik eltkich deb nomlanuvchi ishchi jism yordamida amalga oshiriladi.

Sovuqlik olish aylanma jarayon yoki sikl sifatida amalga oshirilib, kompressorda sovuq eltkich bug'larini siqish uchun tashqaridan energiya keltiriladi.

Termodinamikaning qonunlariga binoan, yuqori T – temperaturali muhitdan pastroq T_o temperaturali muhitga issiqlik o'tkazilishida shu issiqlikning ishga aylanishining eng yuqori darajasi Karno teskari siklning foydali ish koeffitsiyentiga to'g'ri keladi. Shuning uchun past temperaturali muhitdan yuqori temperaturali muhitga issiqlik o'tkazish jarayoni ko'rilganda shu sikldan foydalanish mumkin (10.1-rasm).

10.1-rasm. Karnoning teskari sikli entropiya diagrammasi.

Bu sikl quyidagi jarayonlardan iborat: 1-2-Bug'simon sovuqlik eltkichini adiabatik siqish; 2-3-Sovuq eltkich bug'larining izotermik kondensatsiyalanishi. Bu jarayon T temperaturadan tashqi muhitga Q kondensatsiya issiqligini berish bilan boradi;

3-4-Suyuq sovuqlik eltkichining adiabatik kengayishi (kengayishining yakuniy temperaturasi T_0);

4-1- Suyuq sovuqlik eltkichining T_o temperaturasidagi bug'lanishi. Bunda sovutilayotgan muhitdan Q_o bug'lanish issiqligi olib ketiladi.

Bunday siklni sistemaning entropiyasi o'zgarishsiz qolganida amalga oshirish mumkin. Shuning uchun sovitish eltkichining bug'lanishida sovitilayotgan muhit entropiyasi siqishda Q_o/T_o miqdorga kamaysa, issiqligi hamda sovuqlik eltkichni siqishda sarflangan L_k ishga ekvivalent issiqligini o'ziga olayotgan issiqroq muhit (masalan suv) ning entropiyasi ham shunday darajaga ortishi kerak. Natijada issiqroq muhit entropiyasining ortishi quyidagicha bo'ladi:

$$(Q_0 + L_k)/T \tag{10.1}$$

Energetik balansga muvofiq:

$$\frac{Q_0}{T_0} = \frac{Q_0 + L_k}{T} \tag{10.2}$$

bu yerdan, Karno teskari sikli bo'yicha ishlayotgan sovitish qurilmasida sarflangan ish:

$$L_k = Q_0\left(\frac{T - T_0}{T_0}\right) \tag{10.3}$$

Sovuqlik eltkich tomonidan $T_o<T$ temperaturada sovutilayotgan muhitdan olib ketilayotgan Q_o issiqligi siklning yoki sovitish qurilmasining sovuqlik unumdorligini belgilaydi. T-S diagrammada (10.1 - rasm) sovuqlik unumdorligi 1-4-5-6 yuza orqali ko'rsatilgan 2-3-5-6 yuza esa issiqroq muhitga berilayotgan issiqlikka ekvivalent. 2-3-5-6 va 1-4-5-6 yuzalarning ayirmasi sarf etilgan ish L_k ni beradi (2-3-4-1 yuza.)

Shunday qilib, Karno teskari sikli misolida har qanday sovitish mashinasining energetik balansini ko'rsatish mumkin:

$$Q_0 + L = Q \tag{10.4}$$

bu yerda, L – haqiqiy siklning ishi.

Sovitish sikllarining termodinamik samaradorligini sovitish koeffitsiyenti ε ifodalaydi. Sovitish koeffitsiyenti sovuqlik unumdorligi Q_o ni sarflangan ish L ga nisbati orqali topiladi:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{L} = \frac{Q_0}{Q - Q_0} \tag{10.5}$$

Bu koeffitsiyent sarflangan birlik ishga nisbatan sovuqlik eltkich olgan sovuqlik unumdorligini ko'rsatadi.

T-S diagrammaga ko'ra (10.1-rasm), $Q_0=T_0(S_1-S_2)$ va $Q=T(S_1-S_2)$. Q_0 va Q larni (10.5) formulaga qo'yib, Karno sikli uchun quyidagini olamiz:

$$\varepsilon_к = \frac{Q_0}{Q - Q_0} = \frac{T_0(S_1 - S_2)}{T(S_1 - S_2) - T_0(S_1 - S_2)} = \frac{T_0}{T - T_0} \tag{10.6}$$

Sovitish koeffitsiyenti sun'iy sovuqlik olish uchun mexanik ishdan foydalanish darajasini ko'rsatadi va (10.6) formuladan ko'rinib turganidek, sovuqlik eltkichning xususiyatlari hamda sovitish qurilmasining ishlash sxemasiga bog'liq emas, balki T_0 va T temperaturalarning funksiyasi. Bunda T va T_0 temperaturalar farqi qanchalik kichik bo'lsa, sovitish koeffitsiyenti shunchalik yuqori bo'ladi.

Sovitish koeffitsiyentini sovitish mashinasining foydali ish koeffitsiyenti sifatida qabul qilib bo'lmaydi. Foydali ish koeffitsiyenti issiqlikning ishga aylanishi mumkin bo'lgan qismini tavsiflaydi, shuning uchun u doim birdan kichkina bo'ladi. Yuqoridagi holatda esa sarflanayotgan ish issiqlikka aylanmaydi, balki past temperaturali muhitdan yuqori temperaturali issiqlikni o'tkazishda (ko'tarishda) vositachi vazifasini bajaradi. Shuning uchun ko'pincha Q_0 miqdor ish L dan katta, natijada $\varepsilon>1$. (10.6) formulaga muvofiq, T_0 temperaturaning pasayishi sarflanayotgan ishning keskin ortishiga olib keladi, natijada olinayotgan sovuqlikning ham naxi ortadi. Undan tashqari, bu temperaturaning pasayishi termodinamik foydali ish koeffitsiyentining kamayishiga olib keladi. Bu koeffitsiyent η haqiqiy sikl sovitish koeffitsiyenti ε ni Karno sikli sovitish koeffitsiyenti $\varepsilon_к$ ga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\eta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_к} \tag{10.7}$$

η ning pasayishi haqiqiy jarayonlarda T_0 temperatura kamayganda sovuqlikning qaytmas yo'qotilishlarining ortishi bilan tushuntiriladi.

10.3. Sun'iy sovitish usullari

Sun'iy sovitish jarayonlarida sovuqlik eltkich temperaturasi quyidagi yo'llar bilan pasaytiriladi:

1) past temperaturada qaynaydigan suyuqliklarni bug'latish;

2) siqilgan har xil gazlarni kengaytirish.

Gazlarni quyidagicha kengaytirish mumkin:

a) gazni drossellovchi qurilma (teshikli shayba, ventil va shunga o'xshash) ichidan o'tkazish. Drossellanishdagi kengayish adiabatik va tashqi ish bajarishsiz amalga oshadi.

b) tuzilishi jihatdan porshenli yoki turbokompressorga o'xshash mashina – detanderda gazni kengaytirish. Bundagi kengayish adiabatik, lekin tashqi ish bajarish bilan amalga oshadi.

Past temperaturada qaynaydigan suyuqliklarni bug'latish. Past, manfiy qaynash temperaturasiga ega bo'lgan har xil suyuqliklarni bug'latish sovuqlik olishda keng qo'llaniladi. Bug'lanishda bunday suyuqliklarning entalpiyasi kamayadi, natijada ular qaynash temperaturasigacha soviydi. Masalan, suyuq ammiak 1 atm bosimda bug'lansa, uning temperaturasi – 34^0C gacha pasayadi, bu temperatura ammiak uchun shu bosimdagi qaynash temperaturasi hisoblanadi. Bu holatda ammiakni har xil muhitlarni – 30^0C gacha sovitishga ishlatish mumkin. Yuqoriroq bosimda ammiak bug'latilsa, qaynash temperaturasi ham yuqori bo'ladi.

Gazlarni drossellash. Drossellashda gaz tomonidan bajariladigan ish drossellovchi qurilma teshigining qarshiligini yengish uchun sarflanadi va issiqlikka aylanadi, natijada kengayish jarayoni entalpiyaning o'zgarishisiz kechadi (izoentalpik).

Ideal gaz bo'lganda entalpiyaning o'zgarmas bo'lishi gaz temperaturasi ham o'zgarishsiz qolishiga olib keladi. Real gazlarni drossellashda esa, entalpiyaning o'zgarishsiz qolishiga qaramay gaz temperaturasi o'zgaradi.

Haqiqiy gazlarda bunday holatning bo'lishiga sabab, ularning entalpiyasi nafaqat temperatura T ning, balki bosimi R ning ham funksiyasidir:

$$i = u + pV = c_v T + u_{nom} + pV \qquad (10.8)$$

bu yerda, u – haqiqiy gazning ichki energiyasi; V – solishtirma hajm; c_v – o'zgarmas hajmdagi solishtirma issiqlik sig'imi; c_vT – gaz molekulalarining ichki kinetik energiyasi; u_{nom} – gazning ichki potensial energiyasi; pV – gazning hajmiy energiyasi.

Tashqi muhitdan sistemaga issiqlik oqimi bo'lmaganda, drossellash mobaynida gazning kengayishi uchun kerak bo'lgan energiya faqat gazning ichki energiyasi hisobiga olinishi mumkin.

(10.8) formulaga drossellashdan oldin va keyingi holatlar uchun 1 va 2 indekslarni qo'ysak hamda entalpiyaning o'zgarishsiz qolishini e'tiborga olsak:

$$c_v T_1 + u_1 + p_1 V_1 = c_v T_2 + u_2 + p_2 V_2$$

bu yerdan:

$$c_v (T_1 - T_2) = (u_2 - u_1) - (p_1 V_1 - p_2 V_2) \qquad (10.9)$$

Oxirgi ifoda drossellanishda o'zini qanday tutishini ko'rsatadi: agar $p_2V_2 > p_1V_1$ bo'lsa, $T_1 - T_2 > 0$ bo'ladi va natijada drossellanishda gazning temperaturasi pasayadi. Agar $p_2V_2 < p_1V_1$, lekin $(u_2 - u_1) > (p_1V_1 < p_2V_2)$ bo'lganda ham gaz temperaturasi pasayadi $(T_2 < T_1)$. Va nihoyat, $(u_2 - u_1) < (p_1V_1 < p_2V_2)$ bo'lganda, drossellanishdan keyin gazning temperaturasi ko'tariladi $T_2 > T_1$.

Haqiqiy gazning drossellanishidagi temperaturasi o'zgarish holati drossellanish effekti yoki Joul-Tomson effekti nomini olgan. Drossellanishda gaz sovitilsa, bu effekt musbat effekt deyiladi, aks holda – manfiy effekt deyiladi.

$(u_2 - u_1) = (p_1V_1 - p_2V_2)$ bo'lganda, (10.9) formulaga muvofiq, $c_v (T_1 - T_2) = 0$, ya'ni drossel effekti nolga teng.

Temperaturaning ko'tarilishi bilan drossel effekti kamayib boradi. Drossel effekti nolga aylanadigan temperatura **inversion temperatura** deyiladi *(t_{inv})*. Ko'pgina gazlar yuqori inversion temperaturaga ega va drossellanishda soviydi. Vodorod va geliy manfiy drossellanish effektiga ega va boshqa gazlardan farqli ravishda drossellanish vaqtida temperaturasi ko'tariladi. Lekin ular ham inversion temperaturadan pastroq temperaturalarda (vodorod uchun t_{inv} =–73^{0}C, geliy uchun t_{inv} =–243^{0}C) drossellanganda soviydi.

Temperaturaning juda kichik o'zgarishini uni keltirib chiqargan juda kichik bosim o'zgarishiga nisbati differensial **drossel effekti** deyiladi.

$$j = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_{i=const} \qquad (10.10)$$

Lekin amaliy hisoblarda differensial drossel effekti deganda haqiqiy gazning bosimi bir birlikka o'zgarganda, uning temperaturasini o'zgarishi tushuniladi.

Integral drossel effektiga gaz bosimining boshlang'ich P_1 dan oxirgi P_2 ga o'zgargandagi temperatura o'zgarishi to'g'ri keladi:

$$j_{int} = \int_{P_1}^{P_2} o\,dp = \int_{P_1}^{P_2}\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_{i=const} \qquad (10.11)$$

Integral drossel effekti entalpiya diagrammasi *i-T* yoki entropiya diagrammasi *T-S* orqali aniqlanishi mumkin. 10.2-rasmda havo uchun entropiya diagrammasi tasvirlangan.

Masalan, temperatura T_1*(T_1=205^{0}K)* va bosim P_1*(P_1=100 atm)* bo'yicha drossellanishdan oldingi nuqta 1 topiladi. Keyin i_1=*const* chizig'i va oxirgi bosim P_2=1 atm izobara chizig'ining kesishishida 2 nuqta aniqlanadi. Nuqta 2 ga drossellanishdan keyingi temperatura T_2=150K to'g'ri keladi. Drossel effekti $\Delta T = T_1 - T_2 = 55$K ni tashkil etadi.

Issiqlik birliklarida ifodalangan drossel effektini **izotermik** drossel effekti deyiladi.

Izotermik drossel effektini aniqlash uchun P_2=*const* izobara bo'yicha (10.2-rasm) 2-nuqtadan T_1 izotermada yotgan 3-nuqtaga ko'tarilamiz. 3-nuqtaga $i_3 \approx 100$ kkal/kg=4,19·10^{5}J/kg entalpiya to'g'ri keladi.

Shunga ko'ra, izlanilayotgan effekt 1-va 2- nuqtalar entalpiyalarining ayirmasiga teng va manfiy qiymatga ega, chunki $i_3 > i_1$:

$$\Delta i = i_1 - i_3 = 86 - 100 = -4\ kkal/kg \approx -16{,}8\ J/kg$$

Drossellanishda erishilayotgan sovuqlik unumdorligi Q_0 gazni izotermik siqishdan oldingi va keyingi entalpiyalari farqi bilan aniqlanadi.

Yana ham pastroq temperatura olish uchun drossellanish effektini **regenerativ issiqlik almashinish** bilan bog'lashadi. Bunda devor orqali drossellanishga kelayotgan gaz bilan drossellanishdan sovugan gaz o'zaro issiqlik almashadi. Bunday drossellanishdan oldingi sovitish jarayoni gazlarni suyultirishga olib kelishi mumkin.

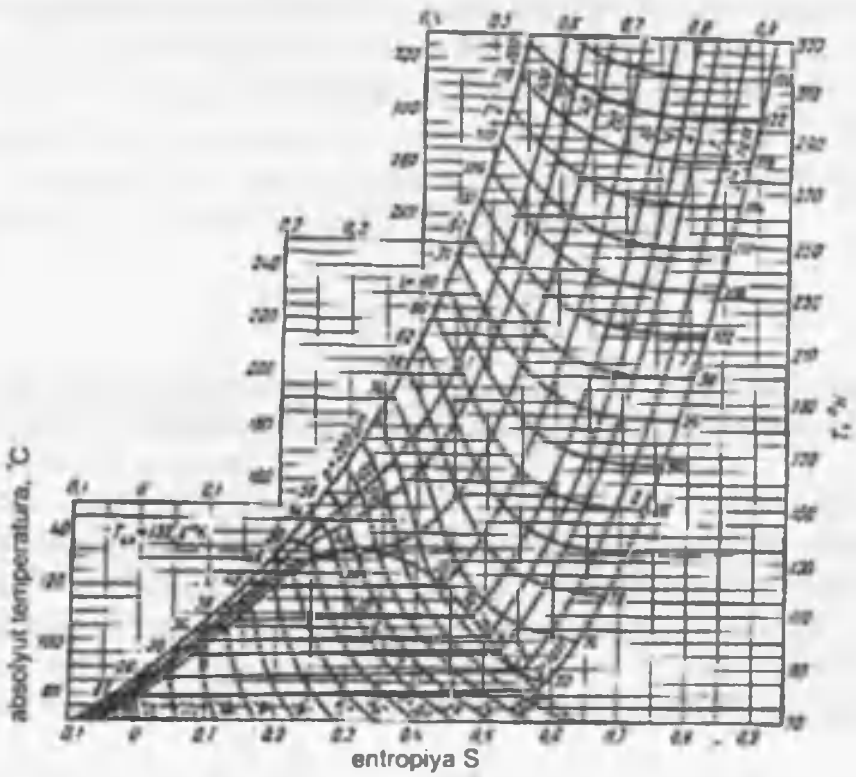
Gazlarni detanderda kengayishi tufayli sovishi. Bu holatda oldindan siqilgan gaz tashqi ish bajarayotgan gaz mashinasida kengayadi. Bu ish ixtiyoriy maqsadlarda ishlatilishi mumkin. Masalan, suyuqlik va gazlarni haydash uchun. Siqilgan gazning

detanderda kengayishi tashqi muhit bilan issiqlik almashinishsiz amalga oshiriladi va gaz tomonidan bajarilayotgan ish uning ichki energiyasi tufayli sodir bo'ladi, shuning uchun gaz soviydi. Ideal gazning chegaraviy sovish temperaturasi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \qquad (10.12)$$

Bu formula adiabatik jarayon uchun to'g'ri. Haqiqatda esa, erishilayotgan temperatura pasayishi kamroq bo'ladi va haqiqiy politropik jarayonga to'g'ri keladi.

Bu usulda gaz soviganda olinayotgan issiqlik va temperatura pasayishini ***T-S*** diagrammasidan aniqlash mumkin (10.2-rasm).



10.2-rasm. Havo uchun T-S diagramma.

Faraz qilaylik, siqilgan gazning detanderdan oldingi holati T_1=205 K va P_1=100 atm – nuqta 1 bo'lsin. Gazning tashqi ish berishi bilan adiabatik kengayishi *C=const* bo'yicha amalga oshadi. Shuning uchun 1- nuqtadan berilgan oxirgi bosim P_2= 1 atm izobara chizig'igacha vertikal tushirib, detanderlashning oxirgi holatini belgilovchi 4-nuqtani aniqlaymiz. Bu nuqtaga to'g'ri keluvchi temperatura $T_4 \approx 82$ *K* va temperatura pasayishi $\Delta T = T_1 - T_4 = 205\text{-}82 = 123$K. Gazdan olib ketilayotgan issiqlik bo'yicha ($Q = i_1 - i_4 = 86 - 58 = 26$ kkal/kg = $10{,}9 \cdot 10^4$J/kg) gazning kengayish ishi aniqlanadi.

T-S diagrammadan ko'rinib turibdiki, drossellanishga qaraganda gazning detanderda kengayishida sovitish effekti ancha yuqori. Bundan tashqari, detanderda tashqi ish olish hisobiga siklning umumiy energiya sarfi kamayadi.

Lekin amaliyotda detanderlashning drossellanishdan ustuvorligi unchalik katta emas. Ideal gazning adiabatik kengayishdagi ish formulasiga ko'ra:

$$l_{ad} = \frac{k}{k-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \qquad (10.13)$$

bu ish gaz absolyut temperaturasining 1- darajasiga to'g'ri proporsional. Detanderda gazlarning kengayishi kompressordagi siqish temperaturasidan ancha pastroq temperaturalarda amalga oshiriladi va shuning uchun ham detander ishi tufayli energiya sarfining kamayish miqdori unchalik katta emas. Agar detanderda gazning suyulishi hosil bo'lsa, bu miqdor yana kamayadi. Gidravlik zarba, uyurmalarning hosil bo'lishida ham sovitish unumdorligi pasayadi.

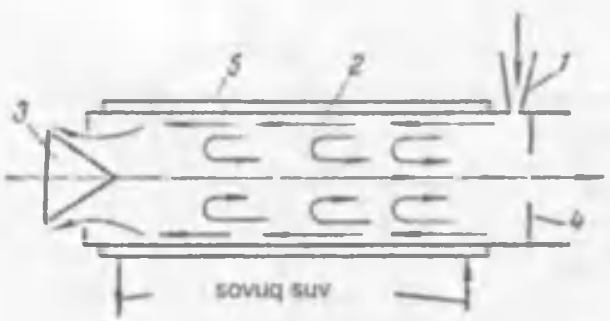
Yuqorida ko'rsatilgan kamchiliklarni inobatga olgan holda, sovitish unumdorligini oshirish maqsadida gazni detanderda kengayishi va drossellanish usullari bir-birini almashtirib turadi.

10.4. Past temperatura olish usullari

Drossellanish va siqilgan gazni detanderda kengayishidan boshqa usullar bilan ham sovuqlik olish mumkin.

Bu usullar ichiga fazaviy o'zgarish (erish, qaynash, sublimatsiya va boshqalar) jarayonlari kiradi. Ammiak, freon kabi past temperaturada qaynaydigan suyuqliklarni bug'latishdan tashqari, sovuqlik olish uchun muzni eritish ham ishlatiladi. Lekin toza suv yaxini eritib olishda faqat 0^0C gacha temperatura pasayishi mumkin. Erish temperaturasini pasaytirish uchun maydalangan muz (yoki qor) va tuzdan (masalan *NaCl* yoki $CaCl_2$) tashkil topgan aralashmalar qo'llaniladi. Kalsiy xlorid tuzi bilan muz aralashmasini -55^0C temperaturagacha sovuqlik olish uchun ishlatish mumkin.

Quyida keltirilgan boshqa usullar sanoatda kam qo'llanilsada, ular haqida to'xtalib o'tish lozim.



10.3-rasm. Uyurmaviy quvur.
1-soplo; 2- quvur; 3- drossel ventil;
4- diafragma; 5-sovuq qatlam.

Uyurmaviy effekt. Bu effekt oddiygina qurilma - uyurmaviy quvur yordamida gaz temperaturasini - 10^0 dan - 60^0C gacha pasaytirish uchun qo'llaniladi (10.3-rasm).

Yuqori tezlikda (200...400 m/s) siqilgan gaz (havo) quvur 2 ning soplosi 1 ga tangensial holatda kiritiladi va u yerdagi murakkab uyurmaviy harakat tufayli gaz issiq va sovuq oqimlarga ajratiladi. Gazning isigan tashqi oqimi o'ngdan chapga harakatlanadi va drossel ventili 3 orqali 50...100^0C temperatura bilan chiqib ketadi, sovugan ichki oqim esa qarama-qarshi tomonga harakatlanib, soplodan o'ng tomonda joylashgan diafragma 4 ning teshigidan chiqib ketadi.

Oqimlarning temperaturasi ventil 3 ni ochilib-yopilishi orqali rostlanadi.

Nisbatan kichik termodinamik samaradorlikka ega bo'lishiga qaramay, bu usul bir yo'la issiqlik va sovuqlik olishda, vaqti-vaqti bilan sovuqlik olish talab qilinganda qo'llaniladi. Siqilgan gazlarning arzon resurslari bo'lgan hollarda bu usulni ishlatish

mumkin. Uyurmaviy usulda sovitishning asosiy afzalligi qurilmaning oddiyligi va ishlatishdagi ishonchliligi.

Magnit-kalorik effekt. Juda past temperaturalarni paramagnit materiallarni adiabatik magnitsizlantirish yo'li bilan olish mumkin. Bunda gazlarni adiabatik kengayish jarayonida kabi ichki energiya sarflanib, tashqi kuchlar ustidan ish bajariladi, natijada temperaturaning keskin pasayishi sodir bo'ladi.

Bu usulda sovuqlik olishda paramagnit moddasi (ko'pincha paramagnit tuz bo'lagi) o'zgarmas temperaturada chuqur vakuumda, masalan qaynayotgan geliyli vannada ushlanib turiladi.

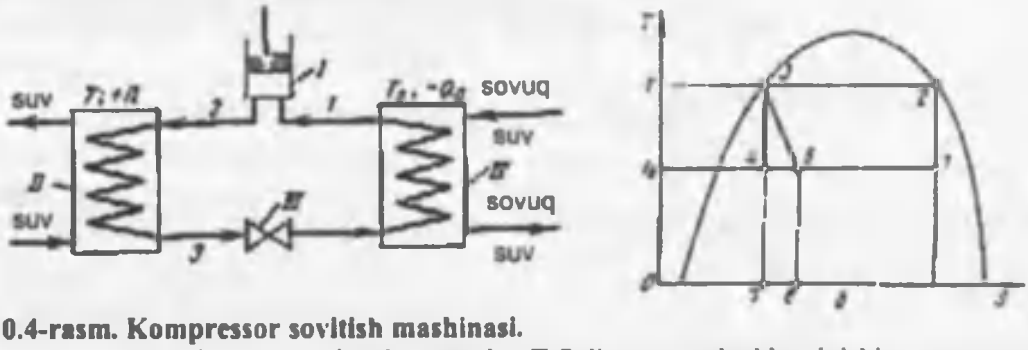
Modda kuchli magnit maydoni ostida bo'ladi. Maydon uzilganda (o'chirilganda) adiabatik magnitsizlanish yuzaga keladi va natijada paramagnit modda absolyut nolga yaqin temperaturagacha soviydi. Hozirgi vaqtga kelib 10K dan pastroq temperatura olish imkonini beradigan (juda kichik sovuqlik unumdorligida) magnit sovitish mashinalari yaratilgan.

Termoelektrik effekt. Bir-biriga kavsharlangan ikki har xil o'tkazgichdan tuzilgan zanjir orqali elektr toki o'tkazilganda kavsharlangan bir tomon isiydi, boshqasi soviydi (**Peltye effekti**). Oddiy o'tkazgichlar o'rniga yarim o'tkazgichlar qo'llanilsa, past temperaturalar olish imkoni yaratiladi. Buning uchun samarali termoelementlardan tuzilgan batareyalar yaratilishi kerak.

O'rtacha temperaturagacha sovitish. Bunday sovuqlik olishda sovuqlik eltkichi sifatida kritik temperaturasi atrof-muhit temperaturasidan yuqori bo'lgan gazlar ishlatiladi. Yuqorida aytib o'tganimizdek, bu usul bilan quyi chegarasi -100^0C temperaturani olish mumkin.

10.5. Kompressor bug' sovitish mashinalari

O'rtacha temperaturali sovuqlik olishda kompressor bug' sovitish mashinalari keng qo'llaniladi. Bunday mashinalarda sovutuvchi eltkich sifatida past temperaturada qaynaydigan suyuqliklar ishlatiladi.



10.4-rasm. Kompressor sovitish mashinasi.
a-qurilma sxemasi; b-jarayonning T-S diagrammadagi ko'rinishi;
I-kompressor; II-kondensator; III-drossel ventili; IV-bug'latkich.

Ideal mashina sikli. Karnoning teskari sikli bo'yicha ishlaydigan ideal kompressor sovitish mashinasida (10.4-rasm) kompressor ***I*** sovitish eltkichi bug'larini so'rib, ularni suv bilan sovitishda suyuqlikka aylanish mumkin bo'lgan bosim darajasigacha siqadi va kondensator ***II*** ga haydaydi. ***T-S*** diagrammada (10.4b-rasm) bug'larning adiabatik siqish jarayoni vertikal adiabatik chizig'i 1-2 bilan tasvirlangan. Siqish bug'ning temperaturasini T_0 (1 nuqta) dan T (nuqta 2) gacha ko'tarilishiga olib keladi. Kondensator ***II*** da suyuqlanish jarayoni o'zgarmas T temperaturada borishi

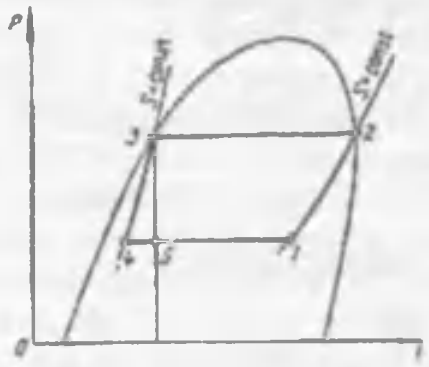
uchun siqish jarayoni suyuqlik - bug‘ muvozanat chizig‘i bilan chegaralangan sohada amalga oshirilishi kerak. Ideal mashinada kompressordan chiqayotgan bug‘ quruq to‘yingan holatda P bosimda bo‘ladi.

Kondensator *II* dagi suyuqlanish (kondensatsiyalanish) jarayoni T temperaturada izotermik ravishda boradi (gorizontal 2-3 chiziq). Kondensatordan suyuq sovitish eltkichi kengaytiruvchi silindrga keladi (10.4a-rasmda ideal siklda qo‘llaniladigan kengaytiruvchi silindr o‘rniga real siklda qo‘llaniladigan drossel ventili III ko‘rsatilgan). U yerda adiabatik kengayib, qaynash bosimiga to‘g‘ri keladigan T_o temperaturaga ega bo‘ladi (3-4 adiabatik chizig‘i). So‘ng suyuq sovitish eltkichi bug‘latkich IV da bug‘lanib (qaynab), sovutilayotgan muhitdan issiqlikni oladi. T_o temperaturadagi bug‘lanish jarayoni 4-1 izoterma chizig‘i bilan ifodalanadi. T_o temperaturadagi bug‘larni (1 nuqta) kompressor so‘rib oladi va sikl takrorlanadi. Shunday qilib butun jarayon 2 ta adiabata (1-2 va 3-4 kesmalar) hamda ikkita izoterma (2-3 va 4-1 kesma) lardan iborat.

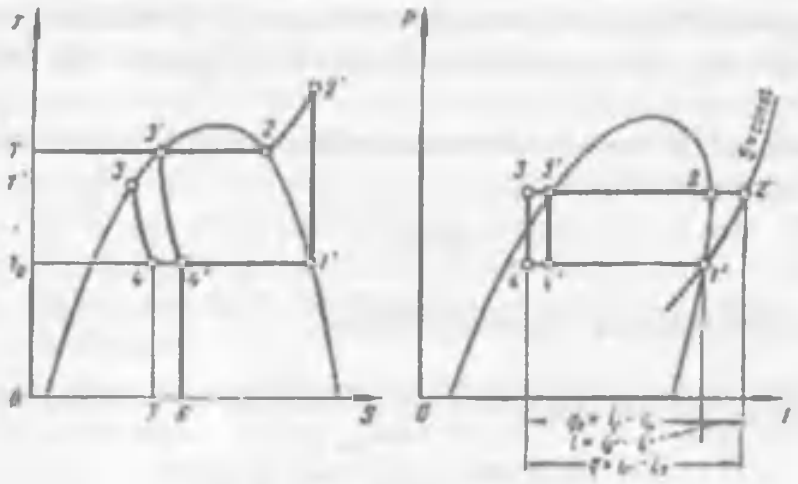
10.5-rasmda *r-i* diagrammadagi ideal kompressor sovitish mashinasining sikli ko‘rsatilgan. Bu diagrammada sovuqlik unumdorligi Q_o va sarflangan ishi L diagrammadagi kabi yuzalar orqali emas, balki to‘g‘ri chiziqli kesmalar orqali aniqlanadi. 1-2 kesma kompressor 1 dagi sovitish eltkichi bug‘larining adiabatik siqilishi; 2-3 kesma shu bug‘larning II kondensatordagi suyuqlanishi; 3-4 kesma suyuq sovitish eltkichining kengaytirish silindridagi kengayishi; 4-1 kesma suyuq sovitish eltkichining bug‘latkich IV dagi bug‘lanishi.

Haqiqiy mashina sikli. Ideal sovitish mashinasi konstruktiv yasalishi murakkab bo‘lgani uchun kengayish silindri drossel rostlovchi ventil bilan almashtirilgan. Bundan tashqari *T-S* va *p-i* diagrammalaridagi (10.6-rasm) haqiqiy mashina sikli ideal mashina siklidan quyidagi 2 ta o‘zgarish bilan farqlanadi:

a) sovitish eltkichi bug‘larining kompressor tomonidan siqilishi nam-bug‘ sohasida emas, balki o‘ta qizigan bug‘ sohasida amalga oshiriladi va kompressor quruq to‘yingan, ba’zida o‘ta qizigan bug‘larni so‘radi;



10.5-rasm. p-i diagrammadagi kompressor sovitish mashina sikli.



10.6-rasm. Haqiqiy kompressor sovitish mashinasi siklining T-S va p-i diagrammalardagi ko‘rinishi.

b) kondensatorda suyuqlangan sovitish eltkichi kondensatsiya temperaturasidan pastroq temperaturagacha o'ta sovitiladi.

Nazariy tomondan qaralganda, quruq to'yingan bug'larni siqish energiya sarfini oshirishga olib kelsada, amaliyotda kompressorning «qurnq yurishi» foydaliroqdir. Bug' quruq to'yingan holatda so'riladi (1-nuqta) va berilgan bosimgacha adiabatik siqiladi (2-nuqta). Bunda kompressor silindri devorlari bilan nam – bug' orasidagi intensiv issiqlik almashinishga asoslangan sovuqlik yo'qotilishi kamayadi. Bundan tashqari, kompressorning «nam yurishida» sovitish eltkichi silindr ichida bug'lanadi, bu esa kompressorning foydali ish hajmiy va uzatish koeffitsiyentining kamayishiga va o'z navbatida siklning sovuqlik unumdorligini pasayishiga olib keladi.

Kondensatorga kirayotgan o'ta qizigan sovitish eltkichi bug'lari o'zgarmas bosimda kondensatsiya temperaturasigacha soviydi (2-2 izobara chizig'i), so'ng ish bosimi va o'zgarmas temperaturada kondensatsiyalanadi (2-3 gorizontal chizig'i). Agar sovitish eltkichi o'ta sovitilmaganda edi, drossel ventilidagi uning kengayishi 3'-4' izoentalpiya chizig'i orqali ko'rsatish mumkin bo'lar edi. Sovitish eltkichi T temperaturasigacha o'ta sovitilsa, drossellanish jarayoni 3-4 entalpiya chizig'i bo'ylab boradi. Natijada siklning sovitish unumdorligi ortadi (4-5-6-7 yuza). Sikl sovitish eltkichini bug'latkichda $T_0=const$ temperaturada bug'lanish bilan tugaydi (4-1 izotermasi).

T-S va ***p-i*** diagrammalar orqali haqiqiy sovitish siklini xarakterlovchi asosiy kattaliklarni aniqlash mumkin: kompressordagi siqish ishi, kondensatorning issiqlik yuklamasi va sovitish koeffitsiyenti. ***P-i*** diagrammada 1kg sovitish eltkichi bug'larini siqish uchun kompressorda sarflangan solishtirma ishi quyidagicha:

$$l = i_{2'} - i_{1'} \tag{10.14}$$

bu yerda, $i_{2'}$; $i_{1'}$ – 2' va 1' nuqtalardagi entalpiyalar.

Kondensatorga tushayotgan solishtirma issiqlik yuklamasi:

$$q = i_{2'} - i_3 \tag{10.15}$$

bu yerda, i_3 – sovitish eltkichining 3-nuqtadagi entalpiyasi.

q ning miqdoriga qarab, kondensatorning issiqlik almashinish yuzasini, hamda sovitish eltkichi bug'larini suyultirish uchun kerak bo'lgan suvning sarfiy miqdori aniqlanadi.

Siklning solishtirma sovitish unumdorligi q_0 jarayondagi sovitish eltkichi entalpiyasining o'zgarishiga teng:

$$q_0 = i_{1'} - i_4 \tag{10.16}$$

bu yerda, i_4 – sovitish eltkichining 4-nuqtadagi entalpiyasi.

Haqiqiy sovitish siklining sovitish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{i_{1'} - i_4}{i_{2'} - i_{1'}} \tag{10.17}$$

Sovitish mashinasi tomonidan ta'minlanayotgan sovuqlik unumdorligi shu mashinaning temperatura rejimiga bog'liq.

Kompressor sovitish mashinalarining nominal sovitish unumdorligi ma'lum bir temperatura darajasiga nisbatan olinadi. Xalqaro amaliyotda shunday «standart» yoki «normal» rejim sifatida (bunda kompressor quruq to'yingan bug'larni so'radi deb qabul qilinadi): bug'lanish temperaturasi $t_0 = -15^0C$, suyuqlanish (kondensatsiya) temperaturasi $t_к = +30^0C$, o'ta sovish temperaturasi $t_п = +25^0C$ qabul qilingan.

Haqiqiy sovitish mashinalarining sxemalari 10.6-rasmdagi mashinaga qaraganda birmuncha murakkablashgan bo'ladi. Masalan, suyuq sovitish eltkichi kondensatorda o'ta soviy olmasa, drossel ventilidan avval sxemaga qo'shimcha issiqlik almashinish qurilmasi - o'ta sovitkichlar o'rnatiladi. Kompressorning «quruq yurish»ini ta'minlash uchun bug'latkich va kompressor orasiga suyuqlik ajratgich (tomchi ushlagich) qo'yilib, sovitish eltkichi bug'idan ajragan suyuqlik bug'latkichga qaytariladi, qurigan bug' esa kompressorga yo'naltiriladi.

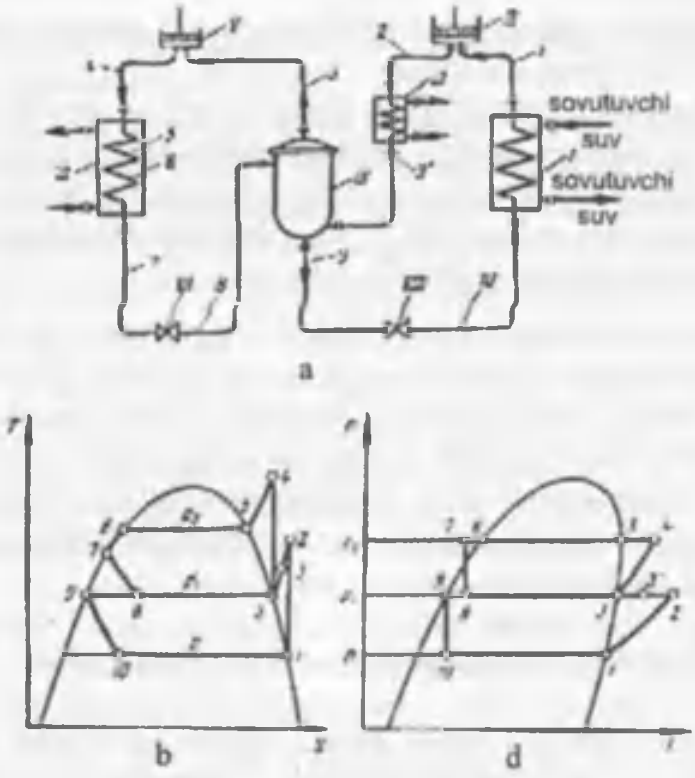
10.6. Ikki va uch bosqichli sovitish mashinalari

Ba'zi bir past temperatura olish talab qilingan texnologik jarayonlarda bir bosqichli mashinalarni effektiv ishlatib bo'lmaydi. Masalan, ammiak uchun 1 atm bosimda qaynash temperaturasi $t_0 = -34^0C$. Agar bundan past bug'lanish temperaturasini olish talab qilinsa, bir bosqichli sovitish mashinasi iqtisodiy ko'rsatkichi kichik yoki umuman ishlatishga yaroqsiz bo'lishi mumkin. Chunki bu holatda kondensatsiya va qaynash temperaturalari farqi ortganligi tufayli siqilish darajasi ham ortadi, natijada kompressorning foydali siqilish koeffitsiyenti kamayadi. Bundan tashqari sovitish eltkichi bug'larining siqilish darajasi ortganda ularning temperaturasi ham ortadi, bu esa bug'larning ajralishiga olib kelishi mumkin.

Shu sabablarga ko'ra, nisbatan past temperaturalarni olish uchun murakkabroq bo'lgan ikki bosqichli (10.7-rasm) va uch bosqichli mashinalar qo'llaniladi. Ammiak bug'larini siqish natijasida ikki bosqichli mashinalarda -50^0C gacha, uch bosqichlida esa -70^0C gacha temperatura pasaytirilishi mumkin.

Ikki bosqichli kompressor sovitish mashinasida ***P*** bosimdagi sovitish eltkichi bug'lari bug'latkich I dan so'rilib olinadi va past bosim kompressor silindrida oraliq P_1 bosimgacha siqiladi. Siqilgan bug' sovitkich III dan o'tib ajratgich idish IV ga keltiriladi. U yerda bug'lar qaynayotgan suyuq sovitish eltkichi ichidan yuqoriga o'tib (barbotaj), soviydi va quruq to'yingan holda yuqori bosim silindri V yordamida so'rib olinadi. U yerda P_2 bosimgacha siqilib, kondensator VI ga yo'naltiriladi. Kondensatsiyalanish tufayli hosil bo'lgan suyuq sovitish eltkichi drosssel ventil VII da P_1 bosimgacha drossellanadi. Shu bosimda suyuq sovitish eltkichi ajratgich-idish IV ga kirib, shu bosimda sovitgich III dan kelayotgan sovitish eltkichi bug'larini sovitadi va bir qismi bug'lanadi. Suyuq sovitish eltkichining qolgan qismi esa VIII drosssel ventilida ***P*** bosimgacha drossellanib bug'latkich I ga keladi, u yerda sovutilayotgan muhitdan issiqlikni olib bug'lanadi. Hosil bo'lgan sovitish eltkichi bug'larini ***P*** bosimda past bosim silindri II so'rib oladi.

T-S va ***p-i*** diagrammalarda (10.7b,d-rasmlar) ikki bosqichli kompressor sovitish mashinasining sikli ko'rsatilgan. Sovuq eltkich bug'lari past bosim silindrida 1-2 adiabata bo'yicha siqiladi, sovitkich III da 2-3′ izobara chizig'i bo'ylab bir oz soviydi, keyin ajratgich idish IV da o'ta qizish issiqligini to'liq yo'qotadi va to'yinish temperaturasigacha soviydi (3′-3 izobarasi).



10.7-rasm. Ikki bosqichli kompressor sovitish mashinasi.
a-qurilma sxemasi; b,d- jarayonning *T-S* va *p-i* diagrammalarda ko'rinishi;
I-bug'latkich; II-past bosim silindri; III-sovutkich; IV-ajratkich idish; V-yuqori bosim silindri; VI-kondensator; VII,VIII-rostlovchi ventillar.

Keyin to'yingan bug'lar yuqori bosim silindrida 3-4 adiabata bo'yicha 4 - o'ta qizigan holatigacha siqiladi. Kondensator IV o'ta qizigan sovuqlik eltkich bug'lari 4-5 bo'yicha to'yinish holatigacha (5 nuqta) soviydi va shu qurilmaning o'zida 5-6 izobara (ham izoterma) chizig'i bo'ylab kondensatsiyalanadi hamda 6-7 izobara bo'yicha o'ta soviydi. VII drossel ventilidagi drossellanish jarayoni 7-8 – izoentalpiya chizig'i bilan ifodalanadi. Kengayishdan keyin hosil bo'lgan nam bug' (8-nuqta) IV ajratkich idishda bug' (3- nuqta) va suyuq fazaga (9-nuqta) ajraladi. Suyuq sovuqlik eltkich VIII drossel ventilida 9-10 izoentalpiya bo'yicha P bosimgacha drossellanadi va bug'latkich I da 10-1 izoterma bo'yicha bug'lanadi.

Ikki bosqichli sovitish mashinasining past va yuqori bosim silindrlaridagi siqilish darajasi bir bosqichliga qaraganda kichik, shuning uchun ham kompressorning hajmiy foydali ish koeffitsiyenti yuqori bo'ladi.

10.7. Sovuqlik eltkichlar

Yuqorida ko'rsatib o'tilganidek sovitish koeffitsiyentining miqdori sovuqlik eltkichining xususiyatlariga bog'liq emas. Lekin sovitish mashinasining o'lchamlari, konstruksion materialning turi, ishchi bosimlar, sovuqlik eltkichining xususiyatlariga bog'liq. Shuning uchun sovuqlik eltkichlariga quyidagi talablar qo'yiladi:

1) Kondensatorda sovuqlik eltkich bug'larini tabiiy sovutuvchi moddalar (suv, havo) bilan suyultirishga imkon bo'lishi uchun, sovuqlik eltkichi yuqori kritik temperaturaga ega bo'lishi kerak.

2) Yuqori bug'lanish issiqligiga ega bo'lishi kerak. Bu sovitish unumdorligi yuqori bo'lishi, hamda sovuqlik eltkich sarfining kamayishiga olib keladi.

3) Kichik solishtirma hajmga ega bo‘lishi kerak. Bu o‘z navbatida sovitish mashinasining o‘lchamlarini kamaytiradi.

4) Bug‘lanish (so‘rish) bosimi atmosfera bosimidan yuqoriroq bo‘lgani ma’qul. Chunki sovuqlik eltkich yo‘qotilishini to‘xtatish, havo so‘rilishini to‘xtatishdan osonroq. Sistemaga so‘rilgan havo bug‘latkich, kondensatorda issiqlik almashinish jarayonini yomonlashtiradi, suv bug‘lari kirgani sababli rostlovchi ventilda muzlab qolish xavfi hamda kimyoviy faol birlashmalarining hosil bo‘lishiga sabab bo‘ladi.

5) Suyuqlanish (kondensatsiyalanish) bosimining juda yuqori bo‘lmasligi kerak. Aks holda qurilma konstruksiyasi murakkablashadi va narxi ortib ketadi.

Undan tashqari, sovuqlik eltkich kimyoviy agressiv bo‘lmasligi va inson organizmiga zararli ta’sir ko‘rsatmasligi kerak; yong‘in va portlashga xavfsiz, olinishi (tayyorlanishi) oson va arzon bo‘lishi kerak.

Qo‘yilgan talablarning ikkinchisi faqat porshenli kompressorlarga tegishli. Turbokompressor qurilmalari uchun sovuqlik eltkichlar kichik bug‘lanish issiqligiga ega bo‘lishi kerak. Chunki turbokompressorlar ko‘p miqdordagi sovuqlik eltkichini siqish uchun mo‘ljallangan.

Hozirgi paytda yuqoridagi talablarning ko‘piga muvofiq kelgan sovuqlik eltkichlari – ammiak va freonlar. Juda kam hollarda sovuqlik eltkichi sifatida uglerod ikki oksidi, oltingugurt angidridi va xlorli metil ishlatiladi. Propan, etan va etilen moddalarini –70°C dan past temperaturani olish uchun ishlatiladi.

Ammiakning afzalliklari quyidagilar: yuqori bug‘ hosil bo‘lish issiqligi, bug‘latkichdagi uncha katta bo‘lmagan ortiqcha (atmosferadan) bosim va yuqori bo‘lmagan kondensatsiya bosimi. Shu bilan birga ammiak, yonuvchan, zaharli, havo bilan aralashib portlovchi aralashma hosil qilishi mumkin va namlik bo‘lganda mis va uning qotishmalarini yemirishi (korroziya) mumkin.

Freonlar – bu metanning ftorxlor birikmalaridir. Freonlar yuqori bo‘lmagan suyuqlanish va bug‘lanish bosimiga ega, zararsiz, yong‘in va portlashga xavfsiz, konstruksion materiallarni yemirmaydi. Kamchiliklarga esa, sovuqlik eltkichining yo‘qotilishiga sabab bo‘ladigan juda kichik qovushoqlik va moylar bilan yaxshi aralashishi kiradi.

Uglerod dioksidi – yuqori solishtirma hajmiy unumdorlikka ega, bu esa o‘z navbatida kompressor silindrlarining ixcham bo‘lishiga olib keladi. Lekin juda past kritik temperatura va yuqori kondensatsiyalanish bosimiga ega bo‘lgani uchun uning ishlatilish sohasi chegaralangan.

Xlorli metil va oltingugurt angidridining asosiy kamchiliklari past bug‘lanish bosimi (atmosferadan) va oltingugurt angidridining korrozion faolligi va zaharliligidir.

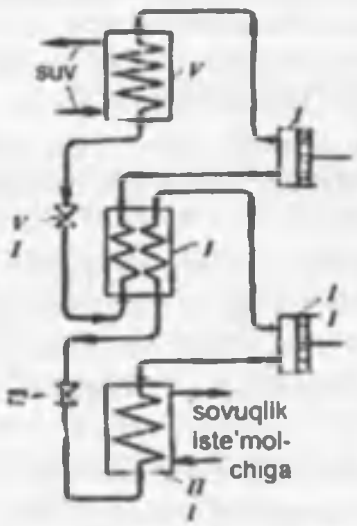
Ishlab chiqarish sharoitlarida sovitish qurilmalari boshqa bir qancha qurilmalarga xizmat ko‘rsatishi mumkin va bu qurilmalar **oraliq sovuqlik eltkichlar** orqali sovitiladi. Oraliq sovuqlik tashuvchilar sifatida past temperaturada muzlaydigan eritmalar – natriy xlorid, kalsiy xlorid yoki magniy xlorid tuzlarining suvdagi eritmalari qo‘llaniladi. Sovitish eritmalari nasos yordamida sovitish mashinasining bug‘latkichi va qurilmalar orasida aylanma harakat (sirkulatsiya) qiladi. Bug‘latkichda eritma soviydi va qurilmalarda issiqlikni o‘ziga olib isiydi. Eritma va uning konsentratsiyasini tanlash talab qilinayotgan sovitish temperaturasiga bog‘liq. Bu temperatura eritmaning muzlash temperaturasi – **kriogidrat nuqta** temperaturasidan yuqori bo‘lishi kerak.

10.8. Kaskadli sikl

Bitta sovuqlik eltkichida ishlab suyuqliklarni bug'latishga asoslangan sovitish sikllari yordamida –70°C dan past temperatura olib bo'lmaydi. Bu temperatura chegarasi sovuqlik eltkichining xususiyatlari bilan belgilangan.

Yanada pastroq temperatura olish maqsadida iqtisodiy samaradorligi yuqori bo'lgan **kaskadli sikl** qo'llanilishi mumkin. Bunda har xil xususiyatli bir qancha sovuqlik eltkichlari qo'llanilib, yuqori qaynash temperaturasiga ega sovuqlik eltkichi bug'lanib, pastroq qaynash temperaturasiga ega bo'lgan sovuqlik eltkichining kondensatsiyalanish issiqligini oladi. Shunda ikkinchi sovuqlik eltkichining suyuqlanishida birinchisiga nisbatan pastroq temperatura olinadi. Demak, kaskadli sikl bu bir qancha har xil oralig'ida ishlovchi sovuqlik eltkichlariga ega bo'lgan sikllarning kombinatsiyasi.

10.8-rasmda ikki sovitish siklidan iborat bo'lgan kaskad sikli tasvirlangan. Ikkala siklni birlashtirib turuvchi issiqlik almashinish qurilmasi I bug'latkich – kondensator deb ataladi. Kaskadning quyi sovitish siklida (kompressor II va kondensator III) pastroq temperaturada qaynaydigan sovuqlik eltkichi qo'llanilgan bo'lib, u bug'latkich kondensatorda o'z kondensatsiyalanish issiqligini yuqori sovitish siklida ishlovchi qaynayotgan sovuqlik eltkichiga beradi (kompressor IV va kondensator V).



10.8-rasm. Kaskadli sikl sxemasi.
I – bug'latkich (yuqori sikl) – kondensator (quyi sikl); II – quyi sikl kompressori; III – quyi sikl bug'latkichi; IV – yuqori sikl kompressori; V – yuqori sikl kondensatori; VI – yuqori sikl drossel ventili; VII – quyi sikl drossel ventili.

Bir qancha sovitish sikllaridan iborat kaskad qurilmalarida qiyin suyuladigan gazlarni suyuqlikka aylantirish mumkin. Masalan, azotni suyultirish uchun ammiak, etilen, metan va azot sovitish sikllaridan iborat kaskad qurilmasini qo'llash mumkin.

Gazsimon azot –161°C da qaynayotgan (atmosfera bosimida) metanga o'z issiqligini berib, $182 \cdot 10^4$ N/m^2 (18,6 at) bosimda suyuqlanadi. Bug'langan metan $242 \cdot 10^4$ N/m^2 (24,7 at) bosimgacha siqiladi va -104°C (atmosfera bosimida)da qaynayotgan etilenga o'z issiqligini berib, suyuqlanadi.

Bug'langan etilen $186 \cdot 10^4$ N/m^2 (19 at) bosimgacha siqiladi va -33°C (atmosfera bosimida) qaynayotgan ammiakka kondensatsiyalanish issiqligini berib, suyuqlikka aylanadi. Bug'simon ammiak esa 10^6N/m^2 (10,2 at) bosimgacha siqiladi va suv tomonidan suyuqlikka aylanadi.

Kaskadli qurilmaning alohida sikllarida qaytmaslik darajasi kichik bo'lgani uchun ularda energiya sarfi ham kamayadi.

10.9. Kompressor qurilmalarining jihozlari

Sovitish qurilmasi tarkibiga kompressorlar va har xil turdagi issiqlik almashinish qurilmalari kiradi.

Kompressorlar. Kompressor sovitish qurilmalarida porshenli, rotorli, turbokompressorlar va vintli kompressorlar qo'llaniladi. Shulardan eng keng tarqalgani - porshenli kompressorlardir. Yuqori va o'rtacha unumdorlikda V- va W- simon kompressorlar qo'llaniladi. Kichik unumdorlikda ishlovchi freonli kompressorlar elektr yuritkich bilan bir qobiqda joylashtirilib, salniksiz va germetik ravishda ishlab chiqariladi.

Yuqori siqish darajalariga erishish uchun ko'p bosqichli kompressorlar bilan bir qatorda ko'p bosqichli agregatga ulangan bir bosqichli kompressorlar ham qo'llaniladi. Masalan, past bosim bosqichida maxsus siqib beruvchi (buster kompressor) qo'llanilsa, yuqori bosimgacha esa - bir bosqichli kompressor qo'llaniladi. Sanoatda ikki bosqichli kompressorlar ham keng ishlatiladi. Yuqori sovitish unumdorligida ikki va uch bosqichli turbokompressorlar qo'llaniladi.

Issiqlik almashinish qurilmalari. Sovitish qurilmalarida qo'llaniladigan kondensatorlar issiqlikni ajratib olishi bo'yicha quyidagilarga bo'linadi:

1) Issiqlik suv tomonidan olib ketiladigan oqimli kondensatorlar;
2) Issiqlik suv tomonidan olib ketilib havoga bug'lanadigan, yuvilib turuvchi – bug'latkichli kondensatorlar;
3) Havoli kondensatorlar.

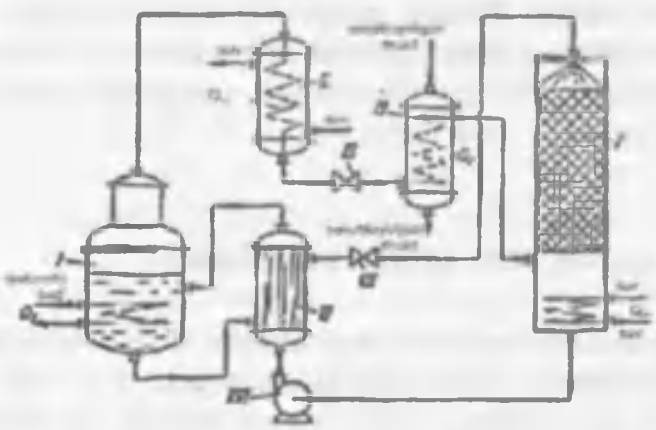
Yuqori va o'rta unumdorlikda ishlovchi qurilmalarda kondensatorlarning birinchi turiga mansub bo'lgan qobiq - trubali kondensatorlar qo'llaniladi. Kichik qurilmalarda esa ko'pincha havoli kondensatorlar qo'llaniladi. Bug'latkich sifatida ko'pchilik hollarda cho'ktirilgan va qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmalari qo'llaniladi.

10.10. Absorbsion sovitish mashinalari

Kompressor sovitish mashinalaridan farqli absorbsion sovitish mashinalarida sovuqlik olish uchun mexanik energiya emas, balki yuqori potensialli issiqlik sarflanadi.

Absorbsion sovitish mashinasining ishchi sovuqlik eltkichi bug'larining P_o bosimda absorbent tomonidan yutilishi (absorbsiya) va keyin qizdirishda P kondensatsiya bosimida chiqarilishiga asoslangan. Sovuqlik eltkichini suyultirish uchun siqish o'rniga, bu yerda ortiqcha bosim ostida haydash qo'llaniladi.

Absorbsion sovitish mashinalarida keng tarqalgan sovuqlik eltkichi sifatida ammiak, yutuvchi (absorbent) sifatida esa suv qo'llaniladi. Ma'lumki, ammiak suv tomonidan yaxshi yutiladi va bu aralashmaning qaynash temperaturasi toza ammiakning qaynash temperaturasidan ancha yuqori.



10.9-rasm. Suv-ammiak absorbsion sovitish mashinasining sxemasi:
I – qaynatkich; II – kondensator; III, VII – rostlovchi ventillar; IV – bug'latkich; V – absorber; VI – isitkich; VIII – nasos.

Suv-ammiak absorbsion sovitish mashinasida (10.9-rasm) 50% ammiak

bo'lgan suv-ammiak aralashmasi yuqori P bosimda ishlovchi qaynatkich I ga keladi. Aralashmadan ajragan ammiak kondensator II da suyuqlanib, ventil III dan P_0 bosimgacha drossellanib o'tadi. Bug'latkich IV ga kirib, sovitilayotgan muhitdan issiqlikni olib bug'lanadi. Mashinaning sovitish unumdorligi olib ketilayotgan issiqlik bilan belgilanadi.

Ammiak bug'lari bug'latkichdan absorber V ga keladi va qaynatkich I dan kelib purkalayotgan kuchsiz aralashma tomonidan yutiladi. Yutilish darajasini oshirish maqsadida qaynatkich va absorber orasiga VI isitkich o'rnatilgan. Bu issiqlik isitkichdan chiqqan kuchsiz aralashma VII drossel ventilida drossellanib soviydi, keyin absorberga kiradi. Absorberdagi absorbsiya issiqligi suv tomonidan olib ketiladi.

Qaynatkich I ga issiqlik eltkich (ko'pincha, qizigan bug') tomonidan suv ammiak aralashmasini qaynatish uchun issiqlik kiritiladi. Bu issiqlik sovitish siklini amalga oshirish uchun kerak bo'lgan ishga ekvivalent. Qurilmaning iqtisodiy samaradorligini oshirish uchun amaliyotda qaynatkichni uzluksiz ishlaydigan rektifikatsion kolonna bilan almashtiriladi.

Absorbsion sovitish mashinasining issiqlik balansi quyidagicha:

$$Q_k + Q_0 = Q_{kond} + Q_{abs}$$

bu yerda, Q_k – issiqlik eltkich tomonidan qaynatkichda suv-ammiak aralashmasiga keltirilgan issiqlik; Q_0 – bug'latkichda sovuq eltkichi tomonidan qabul qilingan issiqlik miqdori (qurilmaning sovitish unumdorligi); Q_{kond} – sovuq suv tomonidan kondensatorda olib ketilayotgan issiqlik miqdori; Q_{abs} – sovuq suv tomonidan absorberda olib ketilayotgan issiqlik.

Absorbsion sovitish mashinasining sovitish koeffitsiyenti quyidagicha topiladi:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{Q_k}$$

Absorbsion sovitish mashinasining sovitish koeffitsiyenti kompressor sovitish mashinasining sovitish koeffitsiyentidan kichik. Lekin bu mashinalarning nisbiy samaradorligi nafaqat sarflangan energiyaning miqdori, balki uning turiga ham bog'liq. Absorbsion sovitish mashinalarida kompressor ishlatadigan elektr energiya o'miga, ikkilamchi, arzon energiya sarflanadi. Buning natijasida ayrim hollarda bunday mashinalarni kompressor mashinalariga nisbatan ishlatish samaraliroq bo'lishi mumkin. Absorbsion sovitish mashinalarining asosiy kamchiligi (porshenli mashinalarga nisbatan) – ularni tayyorlash uchun ko'p metall sarflanishi.

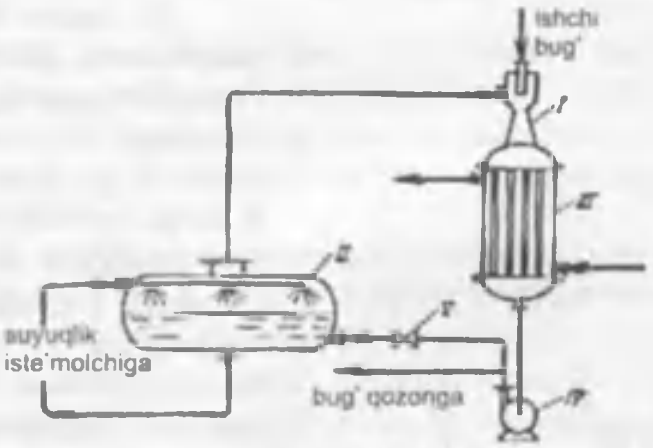
10.11. Suv bug'-injektor sovitish mashinalari

Kompressor bug' sovitish mashinalarida suvni sovutuvchi eltkich sifatida ishlatib bo'lmaydi. Chunki past temperaturalarni olish uchun juda past bosimlar hosil qilinishi kerak. Ma'lumki, suv bug'larining solishtirma hajmi yuqori bo'ladi va ularni siqish uchun kerak bo'ladigan porshenli kompressor o'lchamlari yasab bo'lmaydigan darajada katta bo'lishi kerak.

Lekin porshenli kompressorlar o'rniga bug'-oqimchali injektorlar qo'llanilsa, suvni sovutuvchi eltkich sifatida ishlatish mumkin.

Bunday mashinada $40 \cdot 10^4 ... 60 \cdot 10^4$ N/m^2 (~4...6 at) bosimidagi suv bug'i injektor soplosi I ga kiradi (10.10-rasm).

Bug'ning injektordagi kengayishidan bug'latkich II dagi bosimga to'g'ri keladigan vakuum hosil bo'ladi. Bug'latkichdan injektorga sovuq suv bug'lari so'riladi. Injektorning diffuzorida bug'lar aralashmasining tezligi pasayadi, bosimi bug'latkichnikidan kondensator III dagi bosimgacha ko'tariladi. Bu yerda sovitilayotgan suv yordamida bug'lar aralashmasi suyultiriladi. Hosil bo'lgan kondensat nasos IV yordamida so'rib olinib, ikkinchi qismi bug' qozoniga, bir qismi esa drossel ventili V orqali bug'latkich II ga, unda bug'lanish hisobiga kamayishini kompensatsiya qilish uchun beriladi.



10.10-rasm. Suv-bug' injektor sovitish mashinasining sxemasi:
I – injektor; II – bug'latkich; III – kondensator; IV – nasos; V – rostlovchi ventil.

Bug'latkichda sovitilgan suv iste'molchisiga uzatiladi. U yerdan isib qaytgan suv, yana bug'latkichga qaytadi.

Bunday mashinalarni –10 dan +10°C gacha bug'lanish (qaynash) temperaturasini olish uchun ishlatish mumkin.

Suv-bug' injektor mashinalarining kamchiliklaridan biri kondensatorda suv sarfi katta hamda unumdorlikni rostlash murakkab.

10.12. O'ta past temperaturali sovuqlik olish

Texnik jihatdan muhim gaz aralashmalarini rektifikatsiya yo'li bilan ajratish uchun zarur bo'lgan juda past temperaturalarni yuqorida aytib o'tilgan usullar bilan olib bo'lmaydi. Chunki yuqoridagi usullar bilan olingan qaynash temperaturalari gaz aralashmalarini ajratish jarayonlari uchun yuqori. Chuqur vakuum hosil qilinib, temperatura pasaytirilishi ba'zi bir sovuqlik eltkichlarining muzlab qolishiga hamda havo so'rilishiga olib keladi. Shuningdek kompressor ishi qiyinlashadi.

Juda past temperatura olishda kislorod (qaynash temperaturasi – 183°C) yoki azot (qaynash temperaturasi – 196°C) ni bug'latish usuli ham yaramaydi. Chunki ularning kritik temperaturalari ham juda past, suv bilan suyultirib bo'lmaydi.

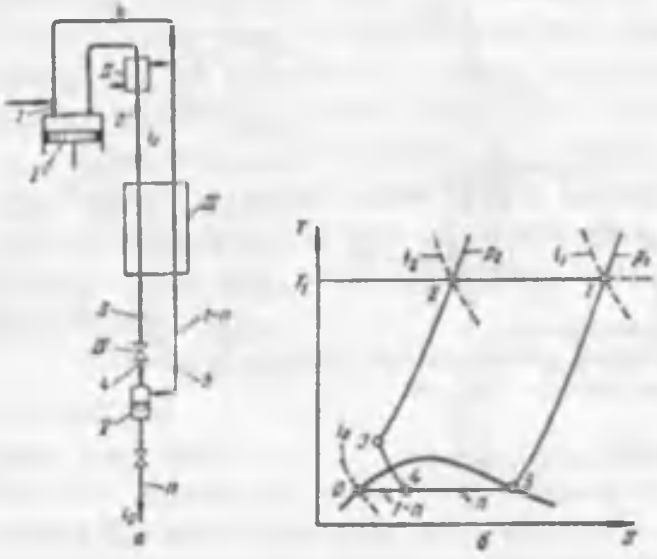
Kritik temperaturasi – 100°C dan past bo'lgan gazlarni (kislorod, azot, vodorod, geliy va boshqalar) suyultirish quyidagi usullar bilan amalga oshirish mumkin:

1. Gazni drossellash usuli bilan;
2. Gazni detanderda tashqi ish bajarish yo'li bilan kengaytirish;
3. Drossellash va detanderda kengaytirish usullarini birga qo'llash yo'li bilan.

Gazni detanderda kengaytirish sikli drossellanish sikliga qaraganda, iqtisodiy jihatdan samarali. Lekin eng samaradori uchinchisi, ya'ni kombinatsiyali usul hisoblanadi.

10.13. Gazni drossellash sikllari

Gazlarni drossellash sikllari texnikada **Linde sikli** deyiladi. Bu sikllarning hammasida **regenerativ** usul qo'llaniladi. Drossellash usuli bilan gazni suyultirib bo'lmaydi. Qarama-qarshi yo'nalishli regenerativ issiqlik almashinish qurilmasi qo'llanilsa, gazni drossel ventili oldidan drossellanish jarayonida temperaturasi pasaytirilgan gaz bilan sovitilsa, gaz suyuqlikka aylanadi.



10.11-rasm. Bir karra drossellanishli, yuqori bosimli regenerativ sikl.
a – sxemaning prinsipial ko'rinishi;
b – jarayonning T-S diagrammadagi tasviri; I – kompressor; II – sovutkich; III – regenerativ issiqlik almashinish qurilmasi; IV – drossel; V – suyuq mahsulot yig'gich.

Bir karra drossellanishli yuqori bosim sikli. p_1 bosim va T_1 temperaturaga ega bo'lgan gaz kompressor *I* tomonidan so'rib olinadi va p_2 bosimgacha siqilib *II* sovitkichga haydaladi. U yerda suv tomonidan issiqlik ajratib olinadi va gazning temperaturasi boshlang'ich T_1 holatiga keltiriladi (10.11-rasm). Siqish jarayoni *T-S* diagrammada 1-2 izoterma bilan tasvirlangan.

Keyin siqilgan gaz qarama-qarshi yo'nalishli regenerativ issiqlik almashinish qurilma III da «teskari» gazlar hisobiga o'zgarmas bosim (izobara 2-3) bo'yicha soviydi. p_2 bosimga ega bo'lgan, sovuq siqilgan gaz drossel IV orqali o'tadi. Drossellanish natijasida gaz bosimi boshlang'ich p_1 holatga keladi, 3-4 izoentalpiya chizig'i bo'ylab temperaturasi pasayib, suyuq fazaga o'tadi. Gazning suyulmagan qismi issiqlik almashinish qurilmasi III ga o'tib siqilgan gazni sovutadi. Bu jarayonda «qaytayotgan» gaz T_1 temperaturagacha p_1 o'zgarmas bosimda (5-1 izobara) isiydi va kompressor *I* orqali so'rib olinadi, sikl qaytariladi.

Suyultirilgan gaz miqdori *n* ning suyulmagan *n-1* qismiga nisbati (1 kg siqilgan gaz miqdoriga to'g'ri keluvchi) *T-S* diagrammada 4-5 va 0-4 kesmalar nisbati bilan aniqlanadi.

Sovitish koeffitsiyenti quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{i_1 - i_2}{1{,}69RT_1 \ln \frac{\rho_2}{\rho_1}}$$

bu yerda, i_1 va i_2 – 1 va 2 nuqtalardagi gazning entalpiyalari; R – gaz doimiysi.

Yuqori bosim bir karrali drossellanish siklining sovitish koeffitsiyenti kichik bo'ladi. Uni ko'tarish maqsadida **Linden**ing takomillashtirilgan sikllari ishlab chiqarilgan. Bu sikllarda samaradorlikni oshirish maqsadida quyidagi usullar qo'llaniladi:

1) regenerativ issiqlik almashinish qurilmasiga kirishdan avval ammiakni sun'iy sovitish;

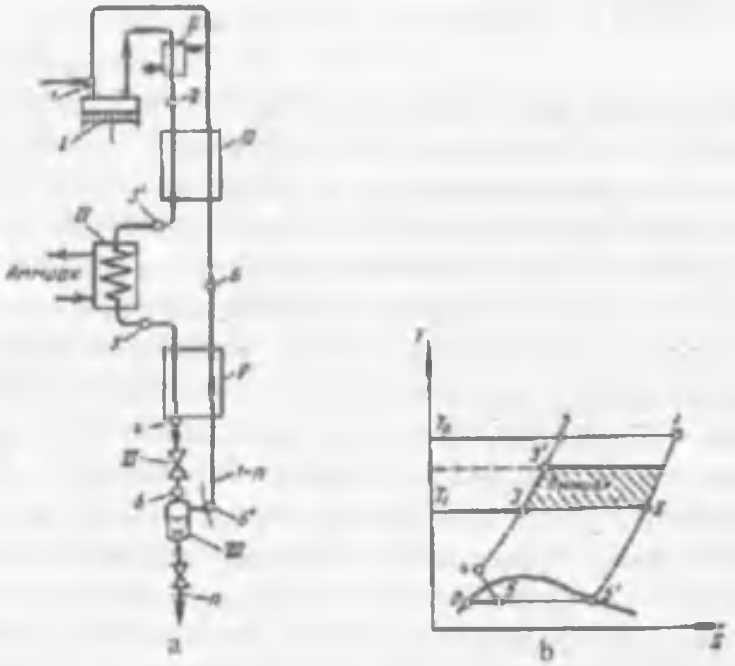
2) yuqori bosimgacha siqilgan gazni ikki karra drossellanish, gaz sirkulatsiyasini qo'llash.

10.14. Bir karra drossellanishli va ammiakli sovitish sikli

Bu siklni avvalgisidan farqi (10.11-rasm) shundaki, regenerativ issiqlik almashinish qurilmasi III bu yerda ikkita-birlamchi issiqlik almashinish III va asosiy issiqlik almashinish qurilma V lar bilan almashtirilgan (10.12-rasm). Ular orasidagi qo'shimcha sovutkich IV o'rnatilgan bo'lib, u yerda gaz drossellanishdan oldin ammiak tomonidan sovitiladi.

Ko'rinib turibdiki, gaz kompressor I tomonidan izotermik jarayonda siqiladi (***T-S*** diagrammadagi 1-2 kesma) va birlamchi issiqlik almashinish qurilma III da «qaytgan» (drossellanishdan keyin) gaz yordamida sovutiladi (2-3 kesma). Bundan «qaytgan» gaz boshlang'ich T_o temperaturagacha isiydi (6-1 kesma). Shundan so'ng, siqilgan gaz ammiak sovutkich IV da soviydi (3'-3 kesma) va asosiy issiqlik almashinish qurilma V dan o'tib «qaytgan» gaz tomonidan sovutiladi (3-4 kesma). Issiqlik almashinish qurilma V da «qaytgan» gaz isiydi (5-6 kesma). Siqilgan gaz issiqlik almashinish qurilma V dan so'ng, drossel VI orqali o'tadi va drossellanish tufayli (4-5 kesma) qisman suyuqlanadi. Gazning suyulmagan qismi esa (0-5 kesma), V va III – issiqlik almashinish qurilmalarda sovuqlik eltkich sifatida ishlatiladi.

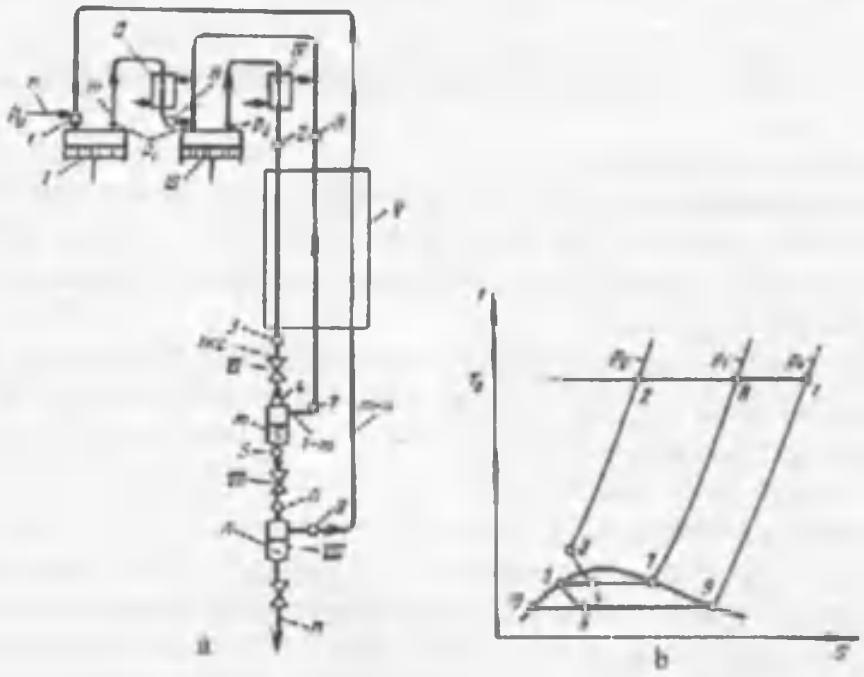
Ammiak sovitish mashinasidagi gazni qo'shimcha sovitilishi drossel sikli samaradorligini oshiradi. Bug'lanayotgan ammiak bilan sovitish asosan –20 dan –45°C temperaturagacha amalga oshiriladi.



10.12-rasm. Bir karra drossellanishli va qo'shimcha sovitishli regenerativ sikl.
a – qurilmaning prinsipial sxemasi; b – T-S diagrammadagi jarayonning ko'rinishi; I – kompressor; II – kompressor sovutkichi; III – birlamchi regenerativ issiqlik almashinish qurilmasi; IV- kompressor sovitish mashinasining ammiak sovitkichi; V- asosiy regenerativ issiqlik almashinish qurilmasi; VI – drossel; VII – suyuq mahsulot yig'gich.

10.15. Ikki karra drossellanishli va gazning bosim ostidagi aylanishli sikli

Drossellanish tufayli olinayotgan suyuqlik miqdori drossellanishdan oldingi va



10.13-rasm. Ikki karra drossellanishli va gazning bosim ostidagi aylanishli sikl.

a – qurilmaning prinsipial sxemasi; b – T-S diagrammadagi jarayonning tasviri; I – past bosimli kompressor; II – past bosimli kompressor sovitkichi; III – yuqori bosim kompressori; IV – yuqori bosim kompressorining sovitkichi; V - regenerativ issiqlik almashinish qurilmasi; VI, VII – drossellar; VIII – suyuq mahsulot yig'gichi.

keyingi bosimlar farqi p_1-p_2 ga to'g'ri proporsional. Izotermik siqishdagi sarflanayotgan ish esa, bosimlar nisbati r_2/r_1 ning logarifmiga proporsional. Demak, gazni 200 dan 50 at gacha yoki 150 dan 1 at gacha drossellansa, bir xil sovuqlik effekti olinishi kerak. Lekin birinchi holatdagi bajarilgan ish ln200/50, ikkinchi holatda ln150/1 ga proporsional bo'ladi, ya'ni ikkinchi holatda sarflangan ish katta. Agar gaz quyi chegaraviy bosimgacha emas, balki oraliq bosimgacha drossellansa, hamda suyuqlikka aylanmagan qismini yuqori bosimgacha siqishga qaytarilsa, gazni siqish uchun ketgan umumiy energiya sarfi tejaladi. Bu usul quyida keltirilgan siklda qo'llanilgan (10.13-rasm).

Kompressor I da gaz atmosfera bosimi p_0 dan oraliq bosim p_1 gacha izotermik siqiladi. Kompressor III da esa, p_1 dan p_2 bosimgacha siqiladi. II va IV sovitkichlar T_0 boshlang'ich temperaturagacha sovitilgan gaz qarama-qarshi yo'nalishli regenerativ issiqlik almashinish qurilmasidan o'tadi. U yerda drossellanishdan keyingi suyulmagan gaz hisobiga soviydi va drossel VI dan o'tib bosimi p_1 gacha pasayadi. Suyultirilgan qismi issiqlik almashinish qurilma V dan o'tib, o'z sovuqligini yuqori bosim gaziga berib temperaturasi T_0 gacha ko'tariladi va kompressor III tomonidan yana so'rib olinadi.

Gazning birinchi drossellanishidan keyingi suyuqlangan qismi drossel VII orqali o'tib, bosimi p_0 gacha pasayadi va bir qismi bug'lanadi. Gazning bug'langan qismi issiqlik almashinish qurilma V ga yo'naltiriladi. U yerda yuqori bosim gazidan issiqlik olib temperaturasi T_0 gacha ko'tariladi va kompressor I tomonidan yana so'rib olinadi.

Ikkinchi drossellanishda suyuqlangan gaz qurilmadan tayyor mahsulot sifatida chiqariladi. Uning o'rniga shuncha ***n*** miqdordagi gaz kompressor I tomonidan so'riladi.

T-S diagrammada 1-2 chiziq avval p_1 (8-nuqta) bosimgacha, keyin p_2 bosimgacha (2-nuqta) izotermik siqilishni ko'rsatadi; 2-3 chiziq issiqlik almashinish qurilma V dagi sovitish jarayoni; 3-4 chiziq drossel VI dagi birinchi drossellanish; 7-8 - birinchi drossellanishda suyuqlanmagan gazning V – issiqlik almashinish qurilmada isishi; 5-6 chiziq drossel VII da ikkinchi drossellanish; 9-1 chiziq ikkinchi drossellanishda bug'langan gazning issiqlik almashinish qurilma V da isishi. Nuqta 10 qurilmadan tayyor mahsulot sifatida chiqarilayotgan suyuqlangan gazning holatini ifodalaydi.

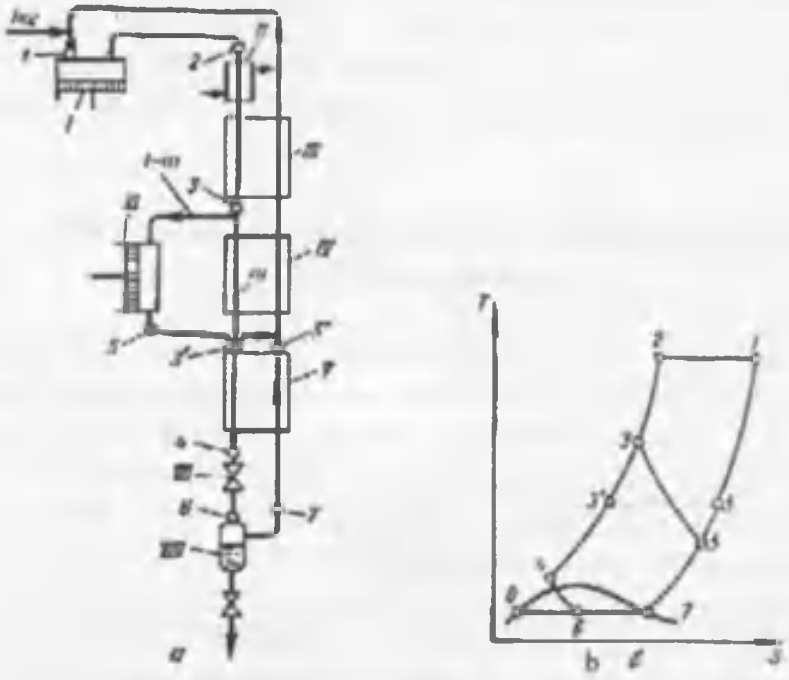
10.16. Drossellanish va gazni detanderda kengayishiga asoslangan sikllar

Agar bosimlar farqi katta bo'lsa, masalan, gaz bosimi 200 dan 1 at gacha pasaytirilsa, Joul-Tomson effekti gaz temperaturasini ancha pasaytirish imkonini beradi. Gazni detanderda kengaytirib, undan ham pastroq temperatura olish mumkin. Lekin gazni suyultirish uchun kerak bo'lgan juda past temperaturalarni olish uchun, faqat detanderda kengayishga asoslangan sikllar qo'llanilmaydi. Bunga sabab, gaz suyuqlanish temperaturasiga yaqin temperaturalarda bo'lganda, uning holati ideal gaz holatidan katta farq qiladi. Gaz hajmi keskin kamayadi, natijada kengayish xususiyati ham kamayadi. Bundan tashqari, suyuqlanish boshlanishida detanderda gidravlik zarba holati vujudga keladi va sovuqlik yo'qotilishi ortadi. Natijada juda past temperaturalarda gazni detanderda kengaytirish samaradorligi yomonlashadi. Shularni hisobga olgan holda, havo va boshqa gazlarni suyultirishda detanderda kengaytirish faqat ma'lum darajada, sovitish (suyuqlanguncha) drossellanish yo'li bilan amalga oshiriladi. Bunday birlashgan sikllar gazning siqilish bosimi bo'yicha va detander konstruksiyasi (porshenli detanderlar, turbodetanderlar) bo'yicha farqlanadi.

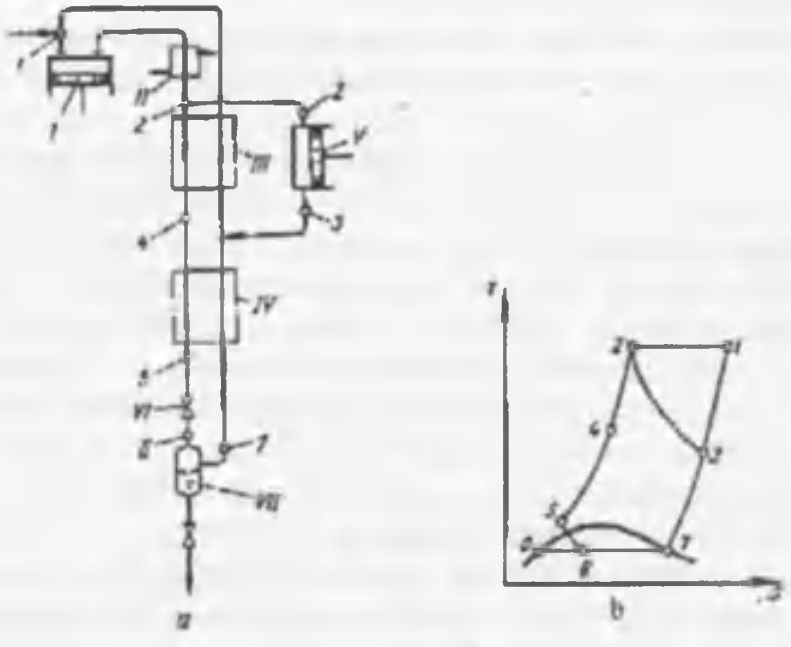
O'rta bosim sikli (Klod sikli). O'rta bosim siklida (10.14-rasm) kompressor I da gaz $245 \cdot 10^4 ... 392 \cdot 10^4 N/m^2$ (25...40 atm) bosimgacha siqilib, sovitkich II da so'rish bosimigacha soviydi.

Siqish jarayoni ***T-S*** diagrammada 1-2 izoterma chizig'i bilan tasvirlangan. Gaz regenerativ issiqlik almashinish qurilma III da (2-3 izobara bo'yicha) soviydi va undan chiqib, gaz ikki qismga bo'linadi. Bir qismi regenerativ issiqlik almashinish qurilma IV da (3-3 izobara bo'yicha) va V da (3-4 izobara bo'yicha) sovishni davom ettiradi. Boshqa qismi detander VI da kengayib (3-5 kesma), tashqi ish bajaradi. Bu ish kompressor I ning o'qiga uzatiladi (10.14-rasmda detander va kompressor shartli ravishda bir-biri bilan bog'lanmagan holda ko'rsatilgan). Detanderdan chiqayotgan past bosimli (1 atm atrofida) sovuq gaz ketma-ket IV va III issiqlik almashinish qurilmalardan o'tib, siqilgan gaz issiqligini o'ziga oladi va boshlang'ich temperaturagacha isiydi (5-1 kesma). Siqilgan va sovugan gaz issiqlik almashinish qurilma V dan chiqib, drossel VII da atmosfera bosimigacha kengayib, qisman suyuqlanadi (4-6 kesma). Gazning suyuqlanmagan qismi (7-nuqta) siqilgan gazni sovitish uchun issiqlik almashinish qurilma V (7-5' izobara bo'yicha), so'ng detanderdan chiqqan gaz bilan aralashib, birgalikda IV va III issiqlik almashinish qurilmalardan o'tadi. Bularda bo'ladigan issiq almashinish jarayoni izobara 5'-1 bilan tasvirlangan.

Bu siklda detander juda past temperaturalarda ishlaydi, chunki unda kengayotgan gaz (havo) taxminan – 140°C gacha soviydi. Shuning uchun detanderning foydali ish koeffitsiyenti – 0,6-0,65 dan ortmaydi. Bundan tashqari, yuritkichni ishlatishda qiyinchiliklar paydo bo'ladi, chunki bunday sharoitlarda oddiy moylarni qo'llab bo'lmaydi.



10.14-rasm. Birlashgan drosselli va detanderli regenerativ sikllar.
a – qurilmaning prinsipial sxemasi; b – jarayonning T-S diagrammadagi tasviri; I – kompressor; II – kompressor sovitgichi; III-V – regenerativ issiqlik almashinish qurilmalar; VI – detander; VII – drossel; VIII – suyuq mahsulot yig'gich.



10.15-rasm. Birlashgan drosselli va detanderli regeneratsiyasiz sikllar.
a – qurilmaning prinsipial sxemasi; b – jarayonning T-S diagrammadagi tasviri; I – kompressor; II – kompressor sovitkichi; III-V – regenerativ issiqlik almashinish qurilmalar; VI – detander; VII – drossel; VIII – suyuq mahsulot yig'gich.

Yuqori bosim sikli (Geylandt sikli). Bu sikl avvalgisidan uncha katta farq qilmaydi. Faqat bu siklda siqilgan gaz regenerativ issiqlik almashinish qurilmada sovumasdan ilgari, yuqoriroq temperaturada ishlaydi va foydali ish koeffitsiyenti ham ortadi. Lekin bu holatda drossellab yetarli sovuqlik olish uchun gazni yuqoriroq bosimgacha siqish kerak (~200 at).

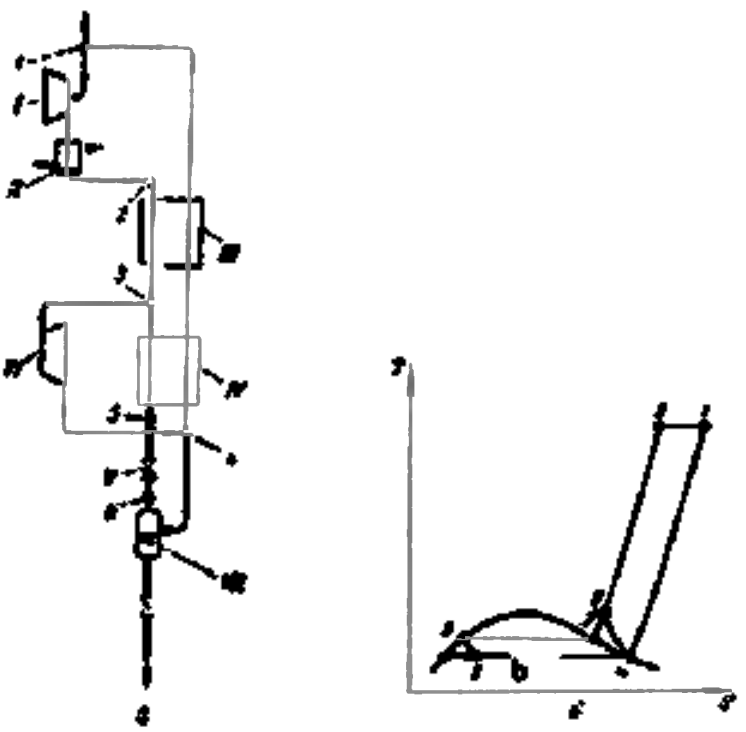
10.15-rasmda ko'rinib turibdiki, gaz kompressor I da siqilgandan so'ng (izoterma 1-2) ikki qismga bo'linadi. Bir qismi sovish uchun avval regenerativ issiqlik almashinish qurilma III (jarayon 2-4 izobara bo'yicha boradi) dan so'ng isitkich IV (4-5 chiziq) dan o'tadi. Gazning boshqa qismi esa detander V da kengayib (2-3 chiziq bo'yicha), tashqi ish bajaradi va bu ish kompressor I ning o'qiga uzatiladi.

Siqilgan va III, IV issiqlik almashinish qurilmalarida sovigan gaz drossel VI da atmosfera bosimigacha drossellanadi (5-6 izoentalpiya chizig'i bo'ylab) va qisman suyuqlikka aylanadi. Gazning suyuqlangan qismi qurilmadan chiqariladi, qolgan qismi esa sovutuvchi eltkich sifatida avval issiqlik almashinish qurilma IV da, so'ng detanderdan chiqayotgan gaz bilan aralashib, issiqlik almashinish qurilmasi III da siqilgan gazdan issiqlik oladi va boshlang'ich temperaturagacha isiydi (7-1 izobara bo'ylab).

10.17. Past bosim sikli (Kapitsa sikli)

Detanderda gazni kengaytirish samaradorligini oshirishning boshqa usuli – bu porshenli mashinalar o'rniga turbomashinalarni qo'llash.

Akademik P.L. Kapitsa tomonidan past temperaturalarda yuqori foydali ish koeffitsiyentga ega bo'la oladigan (η_{det}=0,8) bir bosqichli turbodetander kashf etildi. Bu turbodetanderni ishlatib, 6 atm dan oshmaydigan bosimda gazni (havoni) suyultirish imkoni yaratildi. Siklda faqat turbomashinalarni ishlatib, bitta agregatda juda katta unumdorliklarni olish mumkin.



10.16-rasm. Birlashgan drossel va detanderli (regenerativ) past bosim sikllari:
a – qurilmaning prinsipial sxemasi; b – jarayonning T-S diagrammadagi tasviri;
I – turbokompressor; II –turbokompressor sovutkichi; III,IV – regeneratorlar;
V – drossel; VI – turbodetander; VII – suyuq mahsulot yig'gich.

Past bosim siklda gaz turbokompressor I tomonidan (izoterma 1-2 bo‘ylab) taxminan $59 \cdot 10^4$ N/m^2 (6 atm) gacha siqiladi, so‘ng shu bosimda regenerator III da sovutiladi (10.16-rasm).

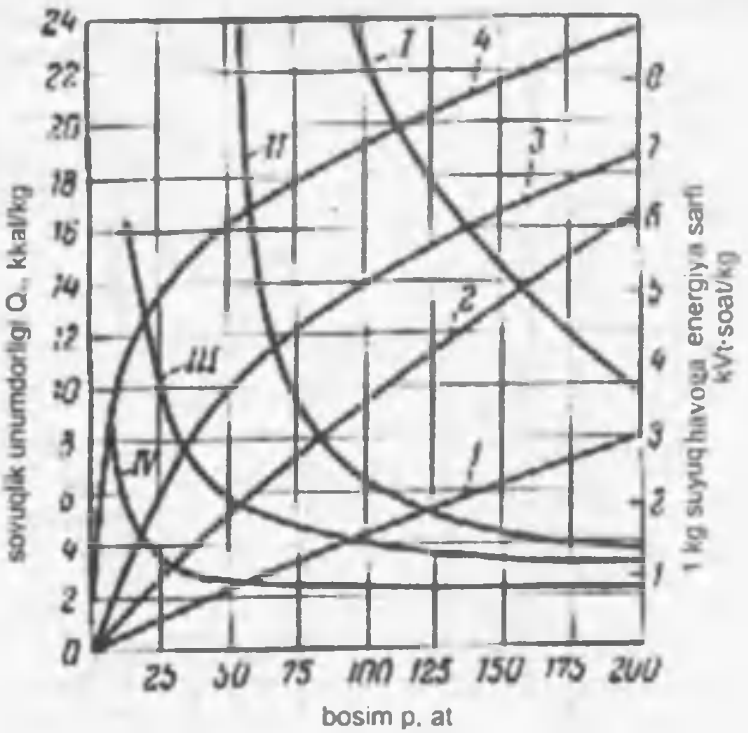
Gaz issiqlik almashinish qurilmasidan chiqib ikki qismga bo‘linadi. Kamroq qismi regenerator 4 ga kirib, pastroq temperaturagacha soviydi va suyuqlikka aylanadi (sovish va suyuqlanish jarayonlari 3-3′-5 chiziqlari bilan tasvirlangan). Suyuqlangan gaz drossel 5 orqali o‘tib boshlang‘ich bosimgacha drossellanadi (kesma 5-6).

Gazning ko‘p qismi turbodetander 4 da kengayib (kesma 3-4), tashqi ish bajaradi. Turbodetanderdan chiqayotgan sovuq gaz drossellanishida bug‘langan gaz bilan (nuqta 4) aralashib, ketma – ket IV va III issiqlik almashinish qurilmalaridan o‘tadi. U yerda siqilgan gaz issiqligini o‘ziga olib, boshlang‘ich temperaturagacha isiydi (4-1 izobara chizig‘i).

10.18. Chuqur sovitish sikllarini solishtirish

Yuqorida chuqur sovitish sikllarining asosiy turlari ko‘rib o‘tildi. Bu sikllarning energetik ko‘rsatkichlarini solishtirish uchun u yoki bu gazni suyultirishning aniq holatini ko‘rib chiqish kerak. Hozirgi paytda suyuq kislorod va havo olish uchun nisbatan iqtisodiy jihatdan samarador sikl deb yuqori bosim sikli (Geylandt sikli) hisoblanadi. Shuning uchun suyuq kislorod olish uchun porshen detanderli, yuqori bosim qurilmalari (p =19,62 N/m^2 yoki 200 atm.) ko‘proq qo‘llaniladi. Ulardagi solishtirma energiya sarfi 1,2...1,4 kVt·soat/kg ni tashkil etadi.

Yirik qurilmalarda siklning iqtisodiy samaradorligini oshirish uchun sun’iy ammiak sovitishli sikllarni qo‘llash maqsadga muvofiq.



10.17-rasm. Suyuq havo olishda ishlatiladigan asosiy sovitish sikllarining solishtirma xarakteristikalari:
bir karra drossellanishli sikl: 1 – Q_0, I - N; bir karra drossellanishli va ammiak sovitishli sikl; 2 - Q_0, II – N; gazni detanderda kengayishli sikl; 3 - Q_0, III – N; gazni detanderda kengayishli va ammiak sovitishli sikl; 4 - Q_0, IV –N.

Past bosim qurilmalari (Kapitsa sikli) samaradorligi kamroq bo'lgani bilan, yuqori bosim qurilmalaridan farqli ravishda havoni uglerod ikki oksididan tozalashni talab qilmaydi va tarkibidi moy bo'lmagan suyuq kislorod olish imkonini beradi, Shu bilan birga regeneratorlar yordamida toza mahsulot olish imkoni yo'q. Shuning uchun olinadigan kislorod asosan texnologik maqsadlarda ishlatiladi.

10.17-rasmda suyuq havo olishda ishlatiladigan asosiy sovitish sikllarining solishtirma xarakteristikalari keltirilgan.

Yuqori unumdorlik qurilmalarda gazsimon kislorod va azot olish uchun ikki karra drossellanishli va ammiak sovitishli hamda detanderli o'rta bosim (Klod sikli) sikllari keng qo'llaniladi. Ularda energiya sarfi taxminan 0,7...0,8 kVt soat/m^3 kislorodni tashkil etadi. Unumdorligi 100 m^3/soat kisloroddan ortmaydigan qurilmalarda nisbatan energiya sarfi yuqori bo'lishiga qaramay, murakkab bo'lmagan qurilma va ishlatishga oson bo'lgan bir karra drossellanishli sikl qo'llaniladi.

Grafiklar yordamida 1 kg suyuq havo olish uchun kerak bo'lgan sovuqlik unumdorligi va energiya sarfini aniqlash mumkin. Ko'rilayotgan hamma sikllarda gazning detanderdagi kengayish bosim $59 \cdot 10^4$ N/m^2 (6 atm); havoli kompressorning izotermik foydali ish koeffitsiyenti η_{iz}=0,59; detanderning foydali ish koeffitsiyenti η_{det}=0,65 bo'lgan holatlar uchun olingan.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, olinayotgan sovuqlik va energetik sarflar bo'yicha eng samarador sikl – detanderli va ammiak sovitishli sikllardir. Bir xil sharoitlarda havoni siqish bosimi ortgan sari, sikllarning iqtisodiy samaradorligi ham ortadi.

10.19. Perspektiv sovitish usullari

Kaskadli sovitish mashinalarining unumdorligini oshirish

Sovitish mashinalarining energetik unumdorligini oshirish turli usullari mavjud: samrador sovitish eltgichlaridan foydalanish, ikki bosqichli siqish, ikki bosqichli kengayishni qo'llash va h. ToshDTU «Sovitish va kriogen texnikasi» kafedrasida bajarilgan ilmiy-tadqiqot ishlarida issiqlik almashinishni jadallashtirish evaziga sovitish mashinasining unumdorligini oshirishga erishildi.

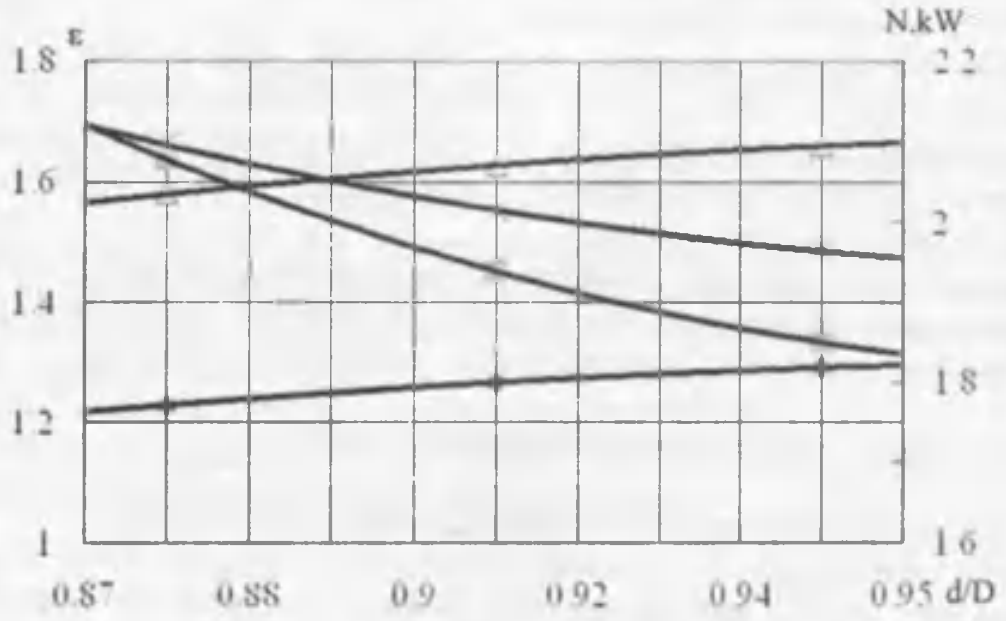
Tadqiqotlarda kaskadli sovitish mashinasining quyi qismida ishchi eltkich sifatida etan (R170) ishlatilgan. Bunga sabab, past bosimda ishlaydigan kompressorning nazariy hajmi yuqori bosimda ishlaydiganiga qaraganda ancha katta. Bosim qanchalik kichik bo'lsa, kompressorlar siqish bosimlarining nisbati shunchalik katta bo'ladi. Bu esa kapital sarflarning va kompressor ishqalanish quvvatining ortishiga olib keladi. Bundan tashqari, so'rish bosimi pasayganida klapanlardagi gazodinamik yo'qotishlar kommpressorning siqish ishiga yaqinlashib qoladi. Natijada, sovitish mashinasining energetik unumdorligi yanada kamayadi.

Yuqori qismning sovitish eltkichi – past bosimli uch komponentli uglevodorod gazlar aralashmasidir. Gazlar aralashmasi R290/R600a/R600 noazeotrop, gomogen bo'lib, qaynash va kondensatsiya jarayonida temperaturasi bir tekis o'zgaradi.

Kaskadli sovitish mashinasining kondensatori, bug'latkichi va kondensator-bug'latkichida tekis yuzali trubalar o'rniga 4.13 paragrafda bayon qilingan konstruktsiyadagi samarador trubalar ishlatilgan. Masalan, kaskadli sovitish mashinasining bug'latkichida tashqi tomonida ko'ndalang botiq ariqcha va ichki tomonida bo'rtiq to'siqli trubaning qo'llanishi sovitish eltkichining qaynash temperaturasini oshiradi. Qaynash temperaturasining ortishi namokob yoki

suyuqlikning issiqlik berish koeffitsiyentini o'sishi hisobiga sodir bo'ladi, qaynash jarayonidagi issiqlik berish koeffitsiyenti esa deyarli o'zgarmaydi. Har bir truba konstruktsiyalari uchun qaynash temperaturasi ma'lum qiymatgacha ortib boradi. Kaskadli sovitish mashinasining unumdorligi $T_0 = 233$ K K temperaturada kattaroq (1-rasm). Ekspluatatsiya sharoitlari bir xil bo'lganida eng unumdor mashina – nisbiy diametri d/D = 0,945 o'lchamli trubadan yasalgan bug'latkichga ega mashinadir. Energetik unumdorlik sovitish unumdorligining deyarli o'zgarmasligi va kompressor quvvatining kamayishi hisobiga erishiladi.

Tashqi tomonida ko'ndalang botiq ariqcha va ichki tomoni silliq bo'rtiq to'siqli trubalarni sovitish mashinasining kondensator-bug'latkichida qo'llanilishi tajribalarda sovutish koeffitsiyentiga deyarli ta`sir qilmadi.



10.18-rasm. Sovitish koeffitsiyenti va quvvatning samarador trubaning nisbiy diametri *d/D* ga bog'liqligi

◆ – T=213 K da ε Δ–T=233 K da ε
× – T=233 K da N ■–T=213 K da N

Sovitish mashinasi unumdorligini baholashning eksergetik kriteriylari

Mashina va qurilmalarni energetik baholashda eksergetik foydali ish koeffitsiyentidan tashqari aralash eksergetik kriteriylardan ham foydalanish mumkin: prof. Zokirov S.G. va dots. Karimov Q.F. tomonidan aralash eksergetik kriteriy taklif etilgan va ushbu ko'rinishga ega bo'lib

$$f = \frac{F}{E''} \qquad (10.18)$$

1 J/s eksergiyaga mos keluvchi issiqlik almashinish yuzasining maydonini bildiradi.

Issiqlik almashinish qurilmalari uchun asosiy ko'rsatkichlardan biri issiqlik almashinish yuzasini massa, gabarit o'lchamlar qatori termodinamik yoki iqtisodiy parametrlarga kirmaydi. Shuning uchun, aralash eksergetik kriteriylardan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Ammo (10.19) da keltirilgan formula amaliy hisoblashlarda qo'llash ancha noqulay. Muhandislik hisoblarida jarayon va

qurilmalarni tahlil qilish va baholashda ushbu ko'rinishdagi formulani qo'llash tavsiya etiladi:

$$f = \frac{F}{Q \cdot \tau_e} = \frac{1}{\alpha \cdot \tau_e \left(T' - T''\right)} \qquad (10.19)$$

Aralash eksergetik kriteriy f 0 dan $+\infty$ gacha oraliqda o'zgaradi. $T \to T_{o.c}$, ya'ni $\tau_e \to 0$ da eksergetik kriteriy f nolga intiladi. Issiqlik oqimining temperaturasi atrof-muhit temperaturasiga tenglashganida, ya'ni $\tau_e = 0$ da, f kriteriysi ma'noga ega emas. Issiqlik almashinish qurilmasining bunday termodinamik holati nol holat (inglizcha dead state) deb ataladi. Bu kriteriy eksergetik foydali ish koeffitsiyenti kabi ishonchli, chunki universal kattaliklarga taalluqlidir [10]. Energetik jihatdan maqbul issiqlik almashinish qurilma bu $-f$ kichik qiymatlarga ega bo'lganidir.

f kriteriysidan foydalanishni sovitish mashinasi kondensatorini hisoblash misolida ko'ramiz. Kondensator gorizontal, «truba ichida truba» konstruksiyali bo'lib, suv bilan sovutiladi.

Suv tekis truba ichida harakatlanadi, sovitish eltkichi trubaning tashqi yuzasida kondensatsiyalanadi. Suvning o'tish harakatlanish rejimda, chunki aynan shu rejimda issiqlik almashinishning intensivlashishi katta qiymatlarga ega.

Ma`lumki, issiqlik berish koeffitsiyentini ko'paytirish uchun devor yaqinida oqim harakatini intensivlash, ya'ni turbulizatsiyalash zarur. Buni esa trubani qovurg'alash, ariqchali turbulizatorlar qilish, burama trubalar va boshqa usullar qo'llab erishish mumkin.

Suvning qurilmalarga kirishda temperaturalari $T_c' = 278$, 288, 298 K. Temperaturalarnmg minimal farqi $\Delta T_c = 5\,\text{K}$.

Kondensatsiya jarayonida sovitish eltkichi uchun $T' - T''$ farq doim nolga teng. Formula (2) ni esa qurilmada muhitlar temperaturalari vaqt bo'yicha o'zgargan holatda kondensatorlar uchun qo'llash mumkin.

Kondensatorning issiqlik yuklamasi Q_K ($Q_K = Q_c$). Bunday shartda E'' ning birmuncha katta qiymatlarini hosil qilamiz. Formula (2) da issiqlik berish koeffitsiyenti sovutuvchi eltkichga tegishli.

Atrof-muhit temperaturasi suvning kondensatorga kirish temperaturasiga teng. Eksergetik temperaturalar funksiyasini hisoblashda T ni suvning o'rtacha arifmetik temperaturasiga teng qilib qabul qilamiz:

$$T = \frac{T_c'' + T_c'}{2}, \qquad (10.20)$$

Issiqlik almashinish trubalar yuzalarining turli konstruksiyalari geometrik xarakteristikalari va issiqlik berish koeffitsiyenti α ni hisoblash formulalari keltirilgan (10-1 jadval).

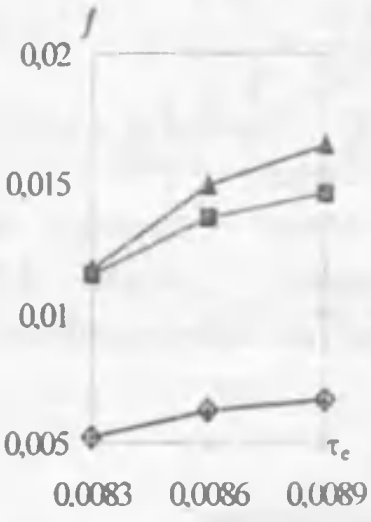
10-1 jadval

Issiqlik almashinish trubalari

Truba raqami	Trubalar	Issiqlik berishni hisoblash formulasi	Geometrik parametrlari
1	tekis	$Nu = 0{,}021\,\mathrm{Re}^{0,8} \cdot \mathrm{Pr}^{0,43} \cdot \left(\frac{\mathrm{Pr}_s}{\mathrm{Pr}_d}\right)^{0,25}$	$d_{ichki} = 0{,}020$ m
2	tashqarisi botiq ariqchali va ichki tomoni bo'rtiq diafragmali	$\frac{Nu}{Nu_{silliq}} = \left[100 \cdot \left(1 - \frac{d}{D}\right)\right]^{0,445}$	ariqchalarning nisbiy qadami $t/d = 0{,}5$, nisbiy diametri $d/D = 0{,}94$
3	plastina-spiral ·lentali	$\frac{Nu}{0{,}03\,\mathrm{Re}^{0,755}} = 2{,}2 + 2{,}33 \cdot \frac{2h}{d} - \frac{1{,}2 + 2{,}3 \cdot \frac{2h}{d}}{7{,}6 + 5 \cdot \frac{2h}{d}} \cdot \frac{H}{d}$	spirallentalar joylashish nisbiy qadami $H/d = 4$, nisbiy balandligi $2h/d = 0{,}4$
4	prujinali turbu-lizator	$\frac{Nu}{Nu_{silliq}} = 1{,}85 + 2{,}5\frac{2h}{d} - \frac{0{,}85 + 2{,}5(2h/d)}{2{,}8 + 12{,}6(2h/d)} \cdot \frac{t}{d}$	prujinali turbulizator nisbiy qadami $t/d = 3{,}1$ va balandligi $2h/d = 0{,}435$

10.19-rasmda f ni τ_e ga bog'liqlik funksiyasi orqali ko'rsatilgan. Eksperimental izlanishlar natijasidan ko'rinadiki, τ_e ni ortishi barcha issiqlik almashinish yuzalari uchun f ni ortishiga olib keladi. Demak, atrof-muhit temperaturasining pasayishi bilan birlik issiqlik almashinish yuzasidan o'tadigan eksergiya miqdori kamayadi, oqibatda qurilmaning unumdorligi pasayadi.

Bo'rtiq diafragmali va prujina turbulizatorli issiqlik almashinish yuzalarining nisbiy maydonlari teng va tadqiq qilingan trubalar ichida eksergetik eng unumdoridir. Termodinamik jihatdan eng past ko'rsatkichga – plastina-spiral lentali truba egadir. Ular uchun f, hatto, tekis trubalarnikiga qaraganda ham katta. Suvning kirish temperaturasi ortishi bilan plastina spiral lentali truba uchun f kriteriy qiymati kamayadi, tekis trubanikaga yaqinlashadi.



10.19-rasm. Nisbiy yuzaning eksergetik harorat funksiyasiga bog'liqligi.
– truba №1; × – truba №2; ◆ – truba №3
◊ – truba №4 trubalarning raqamlari
10-1 jadvaldagi trubalar raqamlariga mos

Samarador trubalarning gidravlik qarshiligi tekis yuzali trubalarnikiga qaraganda yuqoriroq. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, gidravlik qarshiliklar tufayli eksergetik yo'qotishlar ulushi umumiy yo'qotishlarning juda kichik qismini tashkil etadi, qaytmas issiqlik almashinish tufayli eksergiya yo'qotuvlari ulushiga nisbatan oz miqdorni tashkil etadi.

Ma'lumki, issiqlik almashinish qurilmalarini loyihalashda issiqlik berish koeffitsiyentini hisoblash formulasini aniqlash yetarli.

Unumdorlik kriteriysi eksergiya tushunchasiga asoslanadi va issiqlik almashinish qurilmalarining unumdorligini aniqlash va termodinamik unumdor qurilmalarni loyihalashda qo'llash maqsadga muvofiq.

Hajm, uzunlik va boshqa parametrlarni optimallashtirishda yuqorida taklif etilganga o'xshash kriteriylarni olish mumkin.

Bug'-gaz kondensatsiyalash jarayonida issiqlik almashinishni intensivlash

Bir va ko'p komponentli bug'-gaz va qattiq fazali (mayda dispers) aralashmalarni kondensatsiyalash jarayonida issiqlik almashinishni intensivlash prof. Zokirov S.G. rahbarligidagi ilmiy guruh tomonidan o'rganilgan. Issiqlik almashinishni intensivlash uchun § 4.13 bayon qilingan konstruksiyadagi trubalar o'rganilgan va tavsiya etilgan. Bu turdagi trubani qo'llash bir komponentli bug'larni kondensatsiyalash jarayonida issiqlik almashinishni tekis trubaga nisbatan issiqlik almashinishni 1,7 – 2,0 marotabaga oshiradi, chunonchi, atseton bug'lari uchun 1,4 – 1,7; ekstraksion benzin bug'lari uchun 1,9 ni tashkil etadi. Eksperimental tadqiqotlar asosida samarador truba turbulizatorlarining joylashish qadami *t/D* ning kamayishi bilan issiqlik berish koeffitsiyenti ortib boradi. Xuddi shunday, *d/D* kattalikning kamayishi bilan issiqlik berish koeffitsiyenti α ham ortadi. Bunga sabab, mayda dispers qattiq mikrozarrachalar nisbatan sovuq devorga yopishishi, qo'shimcha kondensatsiyalanish markazlari vazifasini bajaradi va oqibatda jarayon intensivlashadi. Qattiq zarralarning konsentratsiyasi s = 3...3,5% gacha kondensatsiya ortib boradi. Lekin qattiq faza konsentratsiyasi bu ko'rsatkichdan ortganida uning ta'siri sekinlashadi va o'sishi to'xtaydi. Issiqlik almashinish yuzasining optimal o'lchamlari deb *t/D = 0,25* qadam va **d/D** = *0,88...0,91* halqasimon ariqchalar nisbiy diametri topildi.

Ko'p komponentli qattiq fazali bug'-gaz aralashmasining samarador trubada yupqa qatlamda kondensatsiyalanish jarayoni uchun quyidagi kriterial formula keltirib chiqarilgan:

$$Nu = 0{,}0216 \cdot \mathrm{Re}^{0.8} \cdot \mathrm{Pr}^{0.43} \left[\left(m \frac{t}{D} - n \right) \frac{d}{D} - b \right] \qquad (10.21)$$

bu yerda, koeffitsiyent $m = -1{,}895 \cdot c - 63{,}683$; $n = 0{,}434 \cdot c - 13{,}51$; $b = z \cdot (t/D) - \theta$; $z = -1{,}32 \cdot c - 56{,}324$; $\theta = 0{,}657 \cdot c - 9{,}24$.

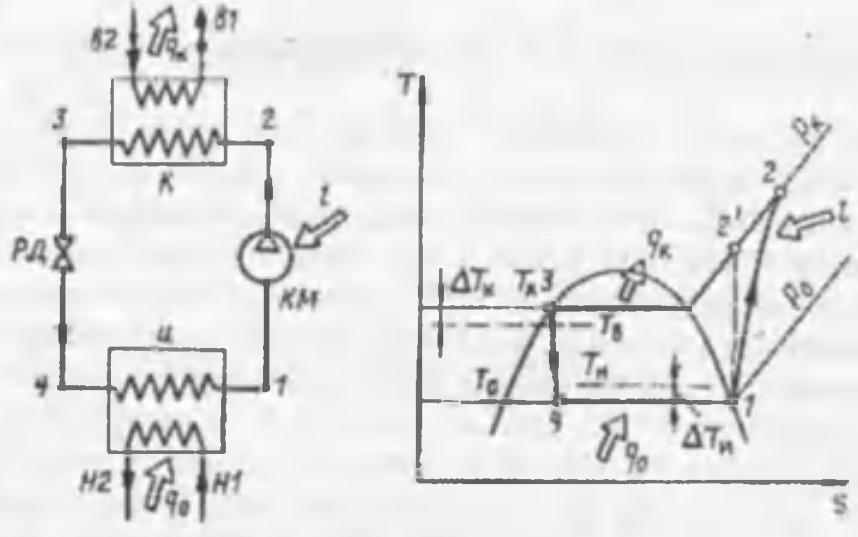
Ushbu formula quyidagi rejimlar uchun o'rinli: Reynolds soni $\mathrm{Re} = (1{,}2 \cdots 15) \cdot 10^3$; halqasimon ariqchalar nisbiy diametri $d/D = 0{,}88 \cdots 0{,}96$; ariqchalarning joylashish qadami $t/D = 0{,}25 \cdots 0{,}5$; bug'-gaz aralashmasida qattiq faza konsentratsiyasi $c = 0 \cdots 5{,}0\%$.

(10,21) formulaning xatoligi ±12,8%.

10.20. Sovitish jarayoni va mashinalarini hisoblash

10.1-misol. Quyidagi shartlar uchun bir bosqichli ammiak kompressor sovitish qurilmasining sxemasi hisoblansin: sovitish unumdorligi Q_0=17,45 kVt; sovuqlik eltkichining bug'latkichga kirish va chiqishdagi temperaturalari t_{n1}= -15°C, t_{n2}= -22°C;

Sovutuvchi suvning kondensatorga kirish va chiqishdagi temperaturasi t_{v2}=+20°C, t_{v1}=25°C. Qurilma oraliq sovutkichsiz ishlaydi. Qurilma sxemasi 10.18-rasmda berilgan.



10.20-rasm. Bug' va suyuqlik kompressor sovitish qurilmasining sxemasi va jarayonning T-S diagrammadagi tasviri.

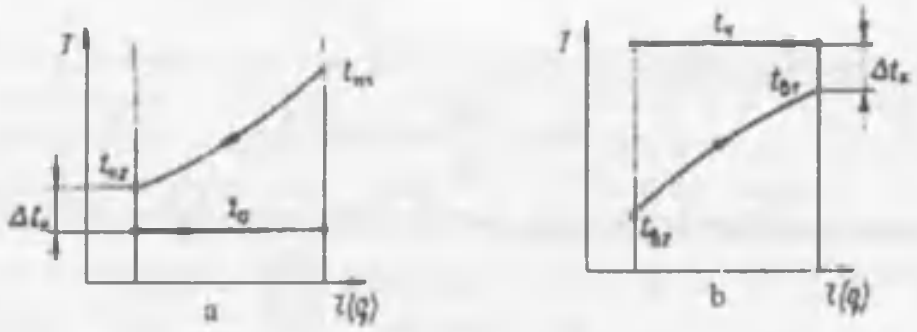
Hisoblash ishlaridan sxemaning xarakterli nuqtalarining parametrlari, qurilmalarning issiqlik yuklamalari, kompressor quvvati, qurilmaning sovitish koeffitsiyenti va eksergetik foydali ish koeffitsiyenti aniqlanishi lozim.

Bug'latkichdagi temperaturalar minimal farqini $\Delta t_u = t_{n2} - t_0$=3°C deb qabul qilib, hisobiy qaynash temperaturasini aniqlaymiz (10.9-rasm).

Kondensatordagi temperaturalar minimal farqini $\Delta t_k = t_k - t_{v1}$=5°C deb qabul qilib, hisobiy kondensatsiya temperaturasini aniqlaymiz:

$$t_k = t_{v1} + \Delta t_k = 25 + 5 = 30^oC$$

Ammiakning ***T-S*** – diagrammasi yoki termodinamik jadvallardan ishchi eltkichning quyidagi xarakterli nuqtalardagi parametrlarini topamiz:



10.21-rasm. Oqimlar temperaturasining o'zgarish grafiklari
a) bug'latkichdagi; b) kondensatordagi.

$$t_0 = t_{n2} - \Delta t_u = -22 - 3 = -25^oC$$

1-nuqta	$t_1 = t_0 = 25^0C;$	$p_1 = 0{,}5MPa;$	$i_1 = 1652\ J/kg;$	$V = 0{,}78\ m^3/kg;$
2-nuqta	$t'_2 = 126^0C;$	$p_2 = 1{,}2MPa;$	$i'_2 = 1960\ J/kg;$	
3-nuqta	$t_3 = 30^0C;$	$p_3 = 1{,}2MPa;$	$i_3 = 562\ J/kg;$	
4-nuqta	$t_4 = -25^0C;$	$p_4 = 0{,}15MPa;$	$i_4 = 562\ J/kg;$	

Bug'latkichning nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$q_0 = i_1 - i_4 = 1652 - 562 = 1090\ \text{kJ/kg}$$

Ammiakning massaviy sarfi:

$$G = 17{,}45/1090 = 0{,}016\ \text{kg/s}(57{,}7\ \text{kg/soat})$$

Kompressorning elektromexanik va ichki foydali ish koeffitsiyentlarini mos ravishda $\eta_{em} = 0{,}9$ va $\eta_i = 0{,}8$ deb qabul qilib, sovutuvchi eltkichning kompressordan chiqishdagi entalpiyasini aniqlaymiz:

$$i_2 = i_1 + \frac{l_a}{\eta_i} = i_1 + \frac{(i'_2 - i_1)}{\eta_i} = 1652 + \frac{1960 - 1952}{0{,}8} = 2040\frac{kJ}{kg}$$

Kompressorning nisbiy ichki ishi:

$$l_B = i_2 - i_1 = 2040 - 1652 = 388\ kJ/kg$$

Kondensatorning nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$q_k = i_2 - i_3 = 2040 - 562 = 1478\ kJ/kg$$

Qurilma balansini tekshiramiz:

$$Q_k = l_b + q_0 = 388 + 1090 = 1478\ kJ/kg$$

Kompressorning hajmiy unumdorligi:

$$V_0 = G \cdot v_1 = 57{,}7 \cdot 0{,}78 = 45 m^3/soat = 0{,}0125 m^3/s$$

Kondensatorning issiqlik yuklamasi:

$$Q_k = 0{,}016 \cdot 1478 = 23{,}7\ kJ/s$$

Kompressorning nisbiy ishi:

$$l_k = \frac{l_B}{\eta_{эм}} = \frac{388}{0,9} = 432 kJ/kg$$

Olingan sovuqlik birligiga to'g'ri keluvchi elektr energiyaning nisbiy sarfi:

$$Э_x = \frac{l_к}{q_0} = \frac{l_a}{\eta_i \eta_{эм} q_0} = \frac{432}{1090} = 0,3955$$

Kompressorning elektrik quvvati:

$$N_э = l_к G = 432 \cdot 0,016 = 6,92 kVt \approx 7\ k\text{Vt}$$

Sovitish koeffitsiyenti: $\varepsilon = \frac{q_0}{l_к} = \frac{1}{Э_x} = \frac{1090}{432} = 2,53$

Sovuqlikning ishga yaroqlilik koeffitsiyentini aniqlash uchun sovuqlik eltkichining o'rtacha temperaturasini aniqlaymiz:

$$T_{н.o'r.} = \frac{T_{н1} - T_{н2}}{\ln \frac{T_{н1}}{T_{н2}}} = \frac{258 - 251}{2,3 \lg \frac{258}{251}} = \frac{7}{2,3 \cdot \lg 1,027} = \frac{7}{2,3 \cdot 0,0118} = 254 K$$

Sovuqlikning ishga yaroqlilik koeffitsiyenti:

$$(\tau_q)_н = 1 - \frac{T_{o.c.}}{T_{н.o'r.}} = 1 - \frac{293}{254} = -0,153$$

$Э_н = (\tau_q)_н$ bo'lgani uchun, ideal sikldagi elektr energiyasining nisbiy sarfi 0,153 ga teng bo'ladi.

Sovitish qurilmasi bug'latkichidagi energiya yo'qotilishlari (sovuqlik eltkichi bo'yicha) ni nazarda tutgan foydali ish koeffitsiyenti:

$$\eta_e' = \frac{q_0 (\tau_q)_н}{l_к} = \frac{Q_0 (\tau_q)_н}{N_э} = \frac{1090 \cdot 0,153}{432} = 0,387 (\approx 39\%)$$

Sovitish qurilmasi bug'latkichidagi energiya yo'qotilishlari (sovuqlik eltkich bo'yicha) nazarda tutgan foydali ish koeffitsiyenti:

$$\eta_a^* = \frac{\overline{q}_0 (\tau_0)_0}{l_e} = \frac{1090 \cdot 0,182}{432} = 0,46 (\approx 46\%)$$

bu yerda

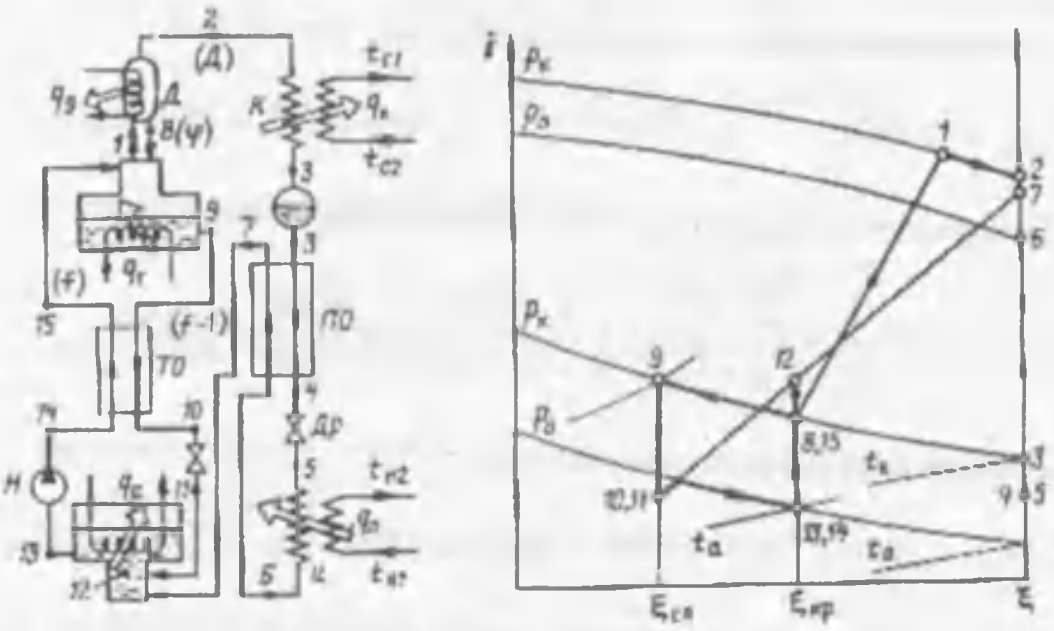
$$(\tau_q)_0 = 1 - \frac{T_{o.c.}}{T_0} = 1 - \frac{293}{248} = -0,182$$

10.2-misol. Bir bosqichli absorbsion sovitish qurilmasining sovitish unumdorligi Q_0=1000 kVt. Namokobning bug'latkichga kirish temperaturasi t_{n1}=-

20^0C va chiqish temperaturasi t_{n2}=-30°C; sovutuvchi suvning qurilmaga kirish va chiqish temperaturalari t_{V2}=-20°C, t_{V1}=-25°C. Isituvchi suv bug'ining bosimi p=0,275 MPa (t_s=130°C). Ishchi eltkich - ammiak; absorbent - suv. Bug'latkich va kondensatordagi temperaturalar farqi mos ravishda Δt_u=3°C, Δt_k=5°C; temperaturalar farqi: absorberda-Δt_a=5°C; generatorda-Δt_r=6°C; sovutkichda-Δt_{3-7}=10°C; aralashma issiqlik almashinish qurilmasida Δt_{14-10}=10°C; deflegmatorda Δt_D=15°C (10.22-rasm).

Jarayonning xarakterli nuqtalaridagi parametrlarni aniqlaymiz va jarayonni i-ξ diagrammada quramiz. Qurilmalarning issiqlik yuklamalari, energiyaning nisbiy sarfi, qurilmaning sovitish va eksergetik foydali ish koeffitsiyentlarini topamiz. Sovutuvchi eltkichning qaynash temperaturasi:

$$t_0 = t_{n2} - \Delta t_u = -30 - 3 = -33^0 C$$



10.22-rasm. Suv - ammiak sovitish qurilmasining sxemasi va i - ξ- diagrammada jarayon tasviri.

Bu temperaturaga mos keluvchi bosim p_o=0,1 MPa. Kondensatordagi bosim p_k=1,2 MPa. Kondensatsiyalanish temperaturasi:

$$t_k = t_{B1} + \Delta t_k = 25 + 5 = 30^o C$$

Past konsentratsiyali eritmaning generatordan chiqish temperaturasi:

$$t_9 = t_s - \Delta tr = 130 - 6 = 124^o C$$

Past konsentratsiyali eritmaning parametrlari:

$$\xi_{qat} = 0{,}0225; \qquad i_9 = 462\,kJ/kg$$

Yuqori konsentratsiyali eritmaning absorberdan chiqish temperaturasi:

$$t_{13} = t_{B2} + \Delta t_a = 20 + 5 = 25^o C$$

Yuqori konsentratsiyali eritmaning parametrlari:

$$\xi_{13} = 0{,}315; \qquad i_{13} = 0\,kJ/kg$$

Eritmaning sirkulatsiya karraligi:

$$f = \frac{G_{kp}}{D} = \frac{G_{15}}{G_2} = \frac{\xi_2 - \xi_{qat}}{\xi_{kp} - \xi_{qat}} = 1 - \frac{0{,}225}{0{,}315 - 0{,}225} = \frac{0{,}775}{0{,}09} = 8{,}62$$

Deflegmatordan chiqishdagi bug'ning parametrlari:

$$t_2 = t_{B1} + \Delta t_D = 25 + 15 = 40^o C; \qquad \xi_2 = 1; \quad i_2 = 1660\,kJ/kg$$

Generatordan chiqishda muvozanat holdagi bug' parametrlari:

$$p_1 = 1{,}2\,МПа; \qquad t_1 = 105^o C; \qquad \xi_1 = 0{,}925; \quad i_1 = 1890\,kJ/kg$$

Deflegmatordan flegmaning nisbiy chiqishi (flegma nisbati):

$$\varphi = \frac{G_8}{G_2} = \frac{\xi_2 - \xi_1}{\xi_1 - \xi_8} = \frac{1 - 0{,}925}{0{,}925 - 0{,}315} = \frac{0{,}075}{0{,}61} = 0{,}123$$

Deflegmatorni nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$q_D = (i_1 - i_2) + \varphi(i_1 - i_8) = (1890 - 1660) + 0{,}123(1890 - 377) = 416\ kJ/kg$$

Past konsentratsiyali eritmaning issiqlik almashinish qurilmasidan keyingi parametrlari:

$$t_{10} = t_{14} + \Delta t_{mo} = t_{14} + \Delta t_{14-10} = 25 + 10 = 35^o C; \quad i_{10} = 62\ kJ/kg$$

Yuqori konsentratsiyali eritmaning generatorga kirishidagi entalpiyasi:

$$i_{15} = i_{14} + \frac{f-1}{f}(i_9 - i_{10}) = 0 + \frac{8{,}62 - 1}{8{,}62}(462 - 62) = 352\,kJ/kg$$

Flegmaning ξ_8=0,315 dagi entalpiyasi:

$$i_8 = 377\,kJ/kg$$

$i_8 > i_{15}$ bo'lgani uchun topilgan i_{10} qiymat keyingi hisoblashlar uchun ishlatiladi.

Issiqlik almashinish qurilmasining nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$q_к = i_1 - i_2 = 1660 - 500 = 1160\,kJ/kg$$

Sovuqlik eltkichi bug'larining sovutkichdan keyingi temperaturasi:

$$t_7 = t_3 - \Delta t_{n.o} = t_к - \Delta t_{3-7} = 30 - 10 = 20^0 C$$

Ammiakning ***T-S*** diagrammasidan i_7=1760 kJ/kg ekanini aniqlaymiz. ***T-S*** va *I-ξ* diagrammalaridagi entalpiya qiymatlari o'rtasidagi farqning tuzatish kattaligini Δi=285-210=75 kJ/kg e'tiborga olib i_7=1760-75=1685 kJ/kg ni topamiz.

Sovutkichning nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$q_{n.o} = i_7 - i_6 = 1685 - 1574 = 111 \ kJ/kg$$

Suyuq ammiakning drosseldan oldingi entalpiyasi:

$$i_4 = i_3 - q_{n.o} = 500 - 111 = 389 \ kJ/kg$$

Qurilmaning nisbiy sovitish unumdorligi:

$$q_o = 1574 - 389 = 1185 \ kJ/kg$$

Absorbsiya jarayonida ajrab chiqayotgan nisbiy issiqlik miqdori:

$$q_a = (i_7 - i_{10}) + f(i_{10} - i_{13}) = (1685 - 62{,}8) + 8.62 = (62{,}8 - 0) \approx 2160 \ kJ/kg$$

yoki

$$q_a = f(i_{12} - i_{13}) = 8{,}62(2{,}51 - 0) \approx 2160 \ kJ/kg$$

Generatorning nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$q_г = (i_1 - i_9) + f(i_9 - i_{15}) + \varphi(i_1 - i_9) =$$
$$= (1890 - 462) + 8{,}62 = (462 - 352) + 0{,}123(1890 - 377) = 25560 \text{ kJ/kg}$$

Qurilmaning issiqlik balansi:

$$q_{uzat} = q_{ajr}$$

$$q_{uzat} = q_г + q_0 = 2550 + 1185 = 3735 \ kJ/kg$$

$$q_{uzat} = q_a + q_к + q_D = 2160 + 1160 + 416 = 3736 \ kJ/kg$$

Ishchi eltkich (ammiak) sarfi:

$$G = 1000/1175 = 0{,}85 \ kg/s$$

Qurilmalarning issiqlik yuklamalari:

a) generatorniki: $Q_г = Gq_г = 0{,}85 \cdot 2550 = 2170 \ kVt$;

b) absorberniki: $Q_a = 0{,}85 \cdot 2160 = 1835 \ kVt$;

d) sovutkichniki: $Q_{n.o} = 0{,}85 \cdot 111 = 94{,}5 \ kVt$;

e) kondensatorniki: $Q_к = 0{,}85 \cdot 1160 = 985 \ kVt$;

f) deflegmatorniki: $Q_D = 0{,}85 \cdot 416 = 354 \ kVt$.

Issiqlikning nisbiy sarfi:

$$Э = \frac{q_г}{q_0} = \frac{Q_г}{Q_0} = \frac{2170}{1000} = 2{,}17$$

Sovitish koeffitsiyenti:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{q_z} = \frac{1000}{2170} = 0{,}463$$

Qurilmaning sovuq eltkich bo'yicha eksergetik foydali ish koeffitsiyenti:

$$\eta_e = \frac{q_0(\tau_q)_0}{q_z(\tau_q)_B} = \varepsilon\frac{(\tau_q)_0}{(\tau_q)_B} = 0{,}463\frac{0{,}22}{0{,}273} = 0{,}373$$

bu yerda

$$(\tau_q)_0 = \frac{T_0 - T_{o.c.}}{T_0} = \frac{240 - 293}{240} = -0{,}22$$

$$(\tau_q)_B = \frac{T_B - T_{o.c.}}{T_B} = \frac{403 - 293}{430} = 0{,}273$$

yoki

$$\eta_2 = \frac{e_k^a}{e_x^a} = \frac{0{,}22}{0{,}592} = 0{,}373; \qquad e_x^a = \frac{q_1(\tau_q)_B}{q_0} = Э(\tau_q)_B = 2{,}17 \cdot 0{,}273 = 0.592;$$

$$e_k^a = \frac{T_{o'} - T_0}{T_0} = \frac{293 - 240}{240} = 0{,}22.$$

Qurilmaning sovuq eltkich bo'yicha foydali ish koeffitsiyenti:

$$\eta_e = \varepsilon\frac{(\tau_q)_O}{(\tau_q)_B} = 0{,}463\frac{0{,}181}{0{,}273} = 0{,}306 \approx 31\%$$

bu yerda

$$(\tau_q)_O = 1 - \frac{T_{o.c.}}{T_n^{o'r}} = 1 - \frac{293}{248} = -0{,}181, \qquad T_n^{o'r} = \frac{253 + 243}{2} = 248K$$

10-bob. Sovitish jarayonlari bo'yicha

Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Sovitish jarayonlar qaysi temperaturalar oralig'ida mavjud?
2. Shartli ravishda sovitish jarayonlari klassifikatsiyasini izohlab bering.
3. Sovuqlik olishning termodinamik asoslari.
4. Sun'iy sovitish usullari.
5. Gazlarni drossellash nima?
6. Inversion temperatura nima?
7. Past temperaturalar olish usullari.
8. Uyurmaviy effekt nima va uyurmaviy quvur konstruksiyasi qanday bo'ladi?
9. Magnit-kalorik va termoelektrik effektlarni taqqoslang.
11. Ideal va haqiqiy mashina sikllari.
12. Haqiqiy mashina siklining sovitish koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?
13. Sovuqlik eltkichlar turlari.
14. Kaskadli sikl mashinalari qachon qo'llaniladi?
15. Sovitish qurilmasi tarkibiga qaysi jihozlar kiradi?

16. Absorbsion sovitish mashinalarining sxemasi, afzallik va kamchiliklari.
17. Suv bug'-injektor sovitish mashinalarining sxemasi, ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari.
18. O'ta past temperaturalar olish usullari.
19. Bir karra drossellanishli yuqori bosim siklini sxematik tasvirlang va mohiyatini tushuntiring.
20. Ikki karra drossellanishli va gazning bosim ostidagi aylanishli siklini sxematik tasvirlang va mohiyatini tushuntiring.
21. Kapitsa sikli va uning mohiyati.
22. Sovitish mashinalarini hisoblash usullari.

lozimki, ko'pincha termodinamik jihatdan unumli bo'lgan EKTS iqtisodiy jihatdan unumli bo'lmaydi.

EKTSni termodinamik tahlilining eng oddiy usuli termodinamikaning birinchi qonuniga asoslangan **energetik** *usulidir*. Bu usul EKTS va uning elementlaridagi energiya yo'qotilishlarini, hamda jarayonlarning eng katta yo'qotilishlari bilan kechuvchi EKTS elementlarini aniqlaydi. Energetik usulning asosiy kamchiligi turli ko'rinishdagi energiyaning qimmati, ya'ni energiyaning amaliy yaroqliligi e'tiborga olinmaydi. Bu esa termodinamikaning ikkinchi qonuniga ziddir.

Haqiqiy jarayonlarda qaytmas energiya yo'qotilishlari sodir bo'ladi. Shuning uchun hozirgi vaqtda sistemalarni termodinamik tahlil qilishda jarayonlarni qaytmasligini inobatga oluvchi ikkita usuli qo'llaniladi: **entropiya** (sikllar usuli) va **eksergiya** *usullari*. Ikkala usulga ham R.K.Klauzius, D.V. Gibbs va A. Stodola ilmiy ishlarida asos solingan. Undan tashqari, bu usullarning rivojiga A.I. Andryushenko, V.M.Brodyanskiy, D.P. Goxshteyn va boshqalar o'z hissalarini qo'shganlar. Ikkala usul ham termodinamikaning ikkinchi qonuniga asoslangan bo'lib, bir maqsad uchun, ya'ni haqiqiy jarayonlardagi energiya yo'qotilishlarini aniqlash uchun ishlatiladi.

Entropiya usuli. Sistemalarni termodinamik tahlil qilishning qonunlari asosida tashqi energetik oqimlar (issiqlik miqdori va ish) va sistema parametrlari, hamda ayrim ichki parametrlar orasidagi bog'liqlikni aniqlash imkonini beradi. Termodinamik jarayonlar borayotgan sistemaning issiqlik balansini tahlil qilish bilan sistemani xarakterlovchi koeffitsiyentlarni hisoblash va ularni ideal termodinamik jarayonlarning o'xshash koeffitsiyentlari bilan taqqoslash mumkin. Bu jarayonlar qaytmasligi tufayli berilgan sistemadagi olinayotgan va sarflanayotgan ishlarning yo'qotilishlarini aniqlash imkonini beradi. Agar bu ma'lumotlar sistemaning muhandislik tahlili uchun yetarli bo'lmasa, u holda sikllar tahlili sistemaning alohida qismlaridagi entropiya ortishi hisobi bilan to'ldiriladi.

Sistemaning unumdorligini termodinamik baholash uchun quyidagi 4 savolga javob topish zarur:

1) qurilma teskari siklining foydali ish koeffitsiyenti nechaga teng, u qaysi omillarga bog'liq va uni oshirish uchun nima qilish zarur?
2) haqiqiy qurilmada jarayonlarning qaytmasligi tufayli sodir bo'luvchi yo'qotilishlar qancha?
3) bu yo'qotilishlar qurilmaning elementlari bo'yicha qanday taqsimlangan?
4) qaytmaslik darajasini kamaytirish, xususan sikl foydali ish koeffitsiyentini oshirish maqsadida qurilmaning qaysi qismiga e'tibor berish zarur?

Ana shu vazifalarga binoan qurilmaning termodinamik tahlili ikki bosqichda amalga oshiriladi: avvaliga qaytar sikl tahlil qilinib, so'ngra yo'qotilishlarning asosiy manbalari e'tiborga olingan holda, qaytmas sikl tahlil qilinadi. Qaytar siklning foydali ish koeffitsiyenti ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\eta_t = \frac{q_{is}}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{l_{is}}{q_1} \qquad (11.1)$$

va u termik foydali ish koeffitsiyenti deb nomlanadi. Haqiqiy siklniki esa:

$$\eta_i = \frac{l_{is}^h}{q_1} \qquad (11.2)$$

ichki foydali ish koeffitsiyenti deyiladi. Ichki foydali ish koeffitsiyenti ishchi jism

amalga oshirayotgan jarayonlarning mukammallik darajasini xarakterlaydi.

Berilgan siklning mukammallik darajasi uning termik foydali ish koeffitsiyentini Karno sikli termik foydali ish koeffitsiyenti bilan solishtirish orqali xarakterlanadi. Solishtirish bir xil temperaturalar oralig'ida amalga oshiriladi va nisbiy termik foydali ish koeffitsiyenti, deb ataladi:

$$\eta_{ot} = \frac{\eta_t}{\eta_k} \tag{11.3}$$

Berilgan haqiqiy (qaytmas) sikl nazariy (qaytar) siklga nisbatan qanchalik mukammal emasligini baholash uchun nisbiy ichki foydali ish koeffitsiyenti tushunchasi kiritilgan:

$$\eta_{oi} = \frac{\eta_i}{\eta_t} = \frac{l_{ts}^h}{l_{ts}} \tag{11.4}$$

Lekin qurilmaning haqiqiy sharoitlarda ishlashida η_{oi} bilan ifodalanuvchi qaytmas yo'qotilishlardan tashqari (ishchi jism hosil etuvchi jarayonlardagi yo'qotilishlar) issiqlik, mexanik, kimyoviy va elektrik jarayonlarning qaytmasligi tufayli paydo bo'luvchi yo'qotilishlar ham sodir bo'ladi. Shuning uchun, haqiqiy qurilmaning unumdorligi tashqi iste'molchiga berilgan energiya miqdorining (issiqlik yoki ish shaklidagi) qurilmaga uzatilgan energiya miqdori (issiqlik yoki ish shaklidagi) nisbatiga teng bo'lgan **effektiv foydali ish koeffitsiyenti** η bilan xarakterlanadi. Sistema unumdorligi undagi eksergiya bilan ham ifodalanishi mumkin: har bir elementdagi eksergetik yo'qotilishlarni hisoblab, butun sistemadagi eksergetik yo'qotilishlarni topish mumkin.

Sistemaning asosiy elementi bo'lib, tashqi ish hisobiga siqish jarayonlarini amalga oshiruvchi qurilmalar (kompressorlar, turbokompressorlar, nasoslar va h.) va kengayish hisobiga ish bajaruvchi qurilmalar (bug' va gaz turbinalari, turbodetanderlar) hisoblanadi. Haqiqiy siqish va kengayish jarayonlari qaytmas bo'lib, sistemaning har bir *j* elementining nisbiy ichki foydali ish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:
kengaytiruvchi qurilmalar uchun

$$\eta_{oi,j}^P = \frac{l_{P,j}^h}{l_{P,j}} \tag{11.5}$$

bu yerda, $l_{P,j}^{Д}$ ва $l_{p,j}$ – sistema *j* – elementining haqiqiy va nazariy kengayish ishlari;
siquvchi qurilmalar uchun

$$\eta_{oi,j}^c = \frac{l_{c,j}}{l_{c,j}^h} \tag{11.6}$$

bu yerda, $l_{c,j}$ ва $l_{c,j}^h$ – sistema *j* – elementining tashqi energiya hisobiga bajargan nazariy va haqiqiy ishlari; bunda haqiqiy siqish ishida nazariy jarayondagiga nisbatan ko'proq energiya $\left(l_{c,j}^h\right)$ sarflashga to'g'ri keladi.

Demak, qurilmadagi siklning qaytar ishi:

$$l_{ts} = \sum_{j=1}^{j=n} l_{P,j} - \sum_{j=1}^{j=n} l_{c,j} \tag{11.7}$$

qaytmas ishi esa:

$$l_{ts}^{h} = \sum_{j=1}^{j=n} l_{P.j}^{h} - \sum_{j=1}^{j=n} l_{c.j}^{h} \qquad (11.8)$$

yoki (11.5) va (11.6) formulalarni e'tiborga olsak:

$$l_{ts}^{h} = \sum_{j=1}^{j=n} l_{P.j}\, \eta_{oi.j}^{P} - \sum_{j=1}^{j=n} \left(l_{c.j} / \eta_{oi.j}^{c} \right) \qquad (11.9)$$

u holda (11.4) formulani nazarga tutgan holda:

$$\eta_{oi} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} l_{P.j}\, \eta_{oi.j}^{P} - \sum_{j=1}^{j=n} \left(l_{c.j} / \eta_{oi.j}^{c} \right)}{\sum_{j=1}^{j=n} l_{P.j} - \sum_{j=1}^{j=n} l_{c.j}} \qquad (11.10)$$

siklning ichki foydali ish koeffitsiyenti η_i (11.1), (11.7) va (11.10) formulalarni e'tiborga olgan holda:

$$\eta_t = \eta_{oi}\, \eta_i = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} l_{P.j}\, \eta_{oi.j}^{P} - \sum_{j=1}^{j=n} \left(l_{c.j} / \eta_{oi.j}^{c} \right)}{l_{ts}} \cdot \frac{l_u}{q_1} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} l_{P.j}\, \eta_{oi.j}^{P} - \sum_{j=1}^{j=n} \left(l_{c.j} / \eta_{oi.j}^{c} \right)}{q_1} \qquad (11.11)$$

Sistemani har bir elementidagi yo'qotilishlar, shu elementlar effektiv foydali ish koeffitsiyenti η_{ej} bilan ham ifodalanadi. Sistema elementlarining barcha effektiv foydali ish koeffitsiyentini siklning absolyut ichki foydali ish koeffitsiyentlariga ko'paytirib, butun sistemaning effektiv foydali ish koeffitsiyentini hosil qilamiz:

$$\eta_e = \eta_{oi}\, \eta_i \prod_{j=1}^{j=n} \eta_{e.j} \qquad (11.12)$$

bu yerda, $\prod_{j=1}^{j=n}$ – sistemaning barcha n elementlaridagi qaytmas yo'qotilishlarni xarakterlovchi effektiv foydali ish koeffitsiyenti ko'paytmasi.

η_e foydali ish koeffitsiyenti sistemadan ajralgan issiqlikning qancha qismi tashqi iste'molchiga berilgan va unda foydali ishga aylanganini ko'rsatadi:

$$l_{to'l} = \eta_e\, q_1 \qquad (11.13)$$

Ma'lumki,

$$\Delta q = (1 - \eta_e) \cdot q_1 \qquad (11.14)$$

kattalik ishga aylanmagan q_1 issiqlikning bir qismidir va bu qism sovuqlik manbaiga berilayotgan q_2 issiqlikdan hamda ishqalanish, temperaturalar farqi tufayli qurilma elementlarida ro'y beruvchi qaytmas jarayonlar issiqlik yo'qotilish Δq_{Π}, atrof-muhitga va boshqa yo'qotilishlardan tashkil topgan.

Ma'lumki,

$$\Delta q_{\Pi} = l_{ts} - l_{to'l} \qquad (11.15)$$

bu yerda, l_{ts} – qaytar jarayonda olingan ish.

(11.1) va (11.13) formulalarni nazarda tutib quyidagini olish mumkin:

$$\Delta q_{\Pi} = \eta_t q_1 - \eta_e q_1 = (\eta_t - \eta_e) q_1 \qquad (11.16)$$

Maksimal qaytar sikl ishi faqat Karno siklida olinishi mumkinligi uchun sistemadagi eksergetik maksimal yo'qotilishlar Δl_{Π} (Δq_{Π} ning maksimal qiymatiga teng bo'lgan) quyidagiga teng:

$$\Delta l_{\Pi} = q_1(\eta_{\kappa} - \eta_e) \qquad (11.17)$$

EKTS larda energetik qurilmalardan farqli, mashinalar bilan bir qatorda hech qanday ish bajarmaydigan texnologik qurilmalar mavjud. Lekin temperaturalar farqi, kimyoviy reaksiya va boshqalar omillar tufayli bu qurilmalarda katta yo'qotilishlar bo'ladi. Ular entropiya termodinamik usulida qurilmaning effektiv foydali ish koeffitsiyenti η_e aniqlanayotganda e'tiborga olinadi. Ammo bu yo'qotilishlarni aniqlash juda qiyin, shuning uchun bu usuldan foydalanilganda EKTSning barcha elementlari – mashina va texnologik qurilmalar unumdorligini baholash o'ta muhimdir.

EKTS dagi energiya yo'qotilishlar quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta l_{\text{yo'q}}^{EKTS} = T_0 \Delta S^{EKTS} \qquad (11.18)$$

Sistema entropiyasining o'zgarishi, uning alohida elementlaridagi entropiya o'zgarishlari yig'indisiga teng, ya'ni:

$$\Delta S^{EKTS} = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta S_i \qquad (11.19)$$

Atrof-muhit temperaturasi T_o ga ko'paytirib quyidagi ko'rinishni olamiz:

$$\Delta l^{EKTS} = T_0 \Delta S^{EKTS} = \sum_{i=1}^{i=n} T_0 \Delta S_i = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta l_i \qquad (11.20)$$

ya'ni butun sistemaning energiya yo'qotilishi, uning alohida elementlaridagi energiya yo'qotilishlar yig'indisiga teng. Δl_i ning topilgan qiymatlari EKTSni qaysi elementlaridagi qaytmas jarayonlari Δl^{EKTS} ga ko'proq ta'sir etishini ko'rsatadi. Demak, bu elementlardagi qaysi jarayonlar birinchi navbatda mukammalashtirilishi zarurligini ko'rsatadi.

Eksergetik usul. EKTSlarini termodinamik tahlil qilishning eksergetik usuli eksergiyadan foydalanishga asoslangan. Modda eksergiyasi bu – issiqlik manbai hisoblangan atrof-muhit bilan sodir bo'luvchi qaytar jarayonda modda bajargan maksimal ishdir. Bu jarayon nihoyasida moddaning barcha turlari atrof-muhitning hamma komponentlari bilan termodinamik muvozanat holatiga o'tishi zarur.

Eksergetik usul energiyaning EKTS da turlicha o'zgarishi jarayonlarini termodinamik tahlil qilishning universal yo'lidir. Barcha haqiqiy jarayonlar qaytmasdir va bu jarayonlar mukammalligini pasaytiruvchi omildir. Qaytmaslik energiya yo'qotilishi tufayli emas, balki uning sifati pasayishi tufaylidir, chunki qaytmas jarayonlarda energiya yo'qolmaydi. Masalan, ishchi jismning drossellanishi uning

energiyasini o'zgartirmaydi (i_1-i_2), balki uning ish bajarish yaroqliligini yoki issiqlik almashinish qurilmalarida ishlatish imkonini pasaytiradi. Shunday qilib, har bir qaytmas jarayon – energiya yo'qotilishidir. EKTSni termodinamik tahlil qilishning eksergiya usulini universalligi shundaki, tahlil qilinayotgan sistemaning xarakteri (masalan, yopiq yoki ochiq) prinsipial ahamiyatga ega emas: masalani yechishga yondashish va uni yechish usuli o'zgarmaydi. EKTS ni termodinamik tahlil qilishning eksergetik usulida sistemaning barcha elementlari alohida mustaqil sistema deb qaraladi. EKTS har bir elementining unumdorligini baholash, bu elementga kirishdagi eksergiyani, undagi qaytmas jarayonlar tufayli sodir bo'luvchi eksergiya yo'qotilishi bilan solishtirish orqali bajariladi. Shunday qilib, tadqiqot qilinayotgan EKTSning har bir elementdagi eksergiya yo'qotilishlarini aniqlashda undagi jarayonlar mukammal emaslik sabablari aniqlanadi va miqdoran baholanadi. Bu esa, o'z navbatida, barcha elementlar mukammalligini oshirish imkoni haqida ma'lumot beradi va natijada eng mukammal EKTS yaratiladi.

Eksergetik usulning amaliy qo'llanilishiga oid perspektiv izlanishlar ToshdTU ni «Sovitish va kriogen texnikasi» kafedrasida prof. Zokirov S.G. va shogirdlari tomonidan olib borilmoqda.

11.3. Eksergiya turlari

Eksergiya asosan quyidagi ikki turga bo'linadi:

≷ Entropiya bilan ifodalanmaydigan, energiyaning o'zidan iborat eksergiya, ya'ni $e=E$ (mexanik, elektrik va boshqa energiyalar) va entropiya bilan ifodalanuvchi eksergiya, ya'ni $e \gtrless E$ (ichki energiya, nurlanish energiyasi, termomexanik, kimyoviy eksergiyalar). Ikkinchi tur eksergiya, o'z navbatida, yopiq hajmdagi modda eksergiyasi, modda oqimi eksergiyasi va energiya oqimi eksergiyasiga bo'linadi. Yopiq hajmdagi modda eksergiyasi termomexanik (fizik), kimyoviy va nurlanish eksergiyalaridan iborat. Modda oqimi eksergiyasi termomexanik va kimyoviy (nol) eksergiyadan iborat. Energiya oqimi eksergiyasi issiqlik oqimi va nurlanish eksergiyasidan iborat.

Yopiq hajmdagi modda eksergiyasi – e_v. Bu eksergiya yopiq sistemalar uchun ko'riladi. Yopiq hajmdagi modda termomexanik eksergiyasini, ya'ni boshlang'ich parametrlari p, υ, T, u, i, s bo'lgan moddaning atrof-muhit bilan muvozanatga qaytar jarayonda o'tishidagi maksimal ishni aniqlaymiz. Muvozanat holatida atrof-muhit parametrlari p_0, υ_0, t_0, u_0, i_0, s_0 ga erishadi. Modda atrof-muhit bilan muvozanat holatiga o'tishi uchun uning ichki energiyasi issiqlik olish (yoki berish) yoki tashqi ish bajarish hisobiga o'zgartirilishi zarur, chunki termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra $du=\delta_q-\delta_l$.

Qaytar jarayonda moddaga issiqlik berish yoki undan issiqlikning atrof-muhitga tarqalishi – muhit temperaturasiga teng bo'lgan, ya'ni $\delta q=T_0 dS$ o'zgarmas temperaturada amalga oshadi. Bunda yopiq hajmdagi modda eksergiyasi de_u ish δl va moddaning atrof-muhit bosimini yengishga sarflagan ishi $p_0 d\upsilon$ ayirmasiga teng, ya'ni

$$de_v = \delta l - p_0 dv = \delta q - du - p_0 dv = T_0 dS - du - p_0 dv \qquad (11.21)$$

yoki integrallashdan so'ng

$$e_v = T_0(S_0 - S) - (u_0 - u) - p_0(v_0 - v) = (u - u_0) - T_0(S - S_0) + p_0(v - v_0) \qquad (11.22)$$

Moddani o'rab turgan ushbu muhit uchun p_o, υ_o, T_o, u_o va s_o kattaliklar o'zgarmas bo'lgani uchun (11.22) tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$e_v = u - T_0 S + p_0 v + c \qquad (11.23)$$

bu yerda, $c=-u_o+T_oS_o-p_o\upsilon_o=const$ va demak, e_v kattalik modda va muhit holatining parametri – **eksergetik funksiya** ekan.

Modda oqimi termomexanik eksergiyasi. Bu eksergiyani aniqlash uchun moddaning p, υ, T, u, i, S parametrli holatidan p_o, υ_o, T_o, u_o, i_o, S_o parametrli atrof-muhit bilan muvozanat holatiga qaytar jarayonda o'tish maksimal ishini hisoblash zarur. Tabiiyki, modda oqimining eksergiyasi e yopiq hajmdagi modda eksergiyasidan e_υ oqimni harakatlantirishiga sarflangan ish miqdoriga farq qiladi. Holatni to'liq o'zgartirish uchun bu ish $p\upsilon$ ishi bilan muhit qarshiligini yengish ishi $p_o\upsilon$ ayirmasiga teng:

$$pv - p_0 v = v \cdot (p - p_0) \qquad (11.24)$$

Demak, modda oqimi eksergiyasi

$$e = e_v + v \cdot (p - p_0) \qquad (11.25)$$

(11.25) formuladagi e_υ o'rniga uning (11.24) dagi qiymatini qo'ysak, quyidagini olamiz:

$$e = i - T_0 S + C \qquad (11.26)$$

bu yerda, e ham e_υ kabi eksergetik funksiyadir, chunki uning qiymati modda va muhit parametrlari bilan ifodalanadi.

Odatda, hisoblashlarda Δe_υ va Δe kattaliklar ayirmasi sistemaning ikki holatida aniqlanadi. Bu holda Δe_υ va Δe lar mos ravishda quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta e_v = \Delta u - T_0 \Delta S + p_0 \Delta v \qquad (11.27)$$

$$\Delta e = \Delta i - T_0 \Delta S \qquad (11.28)$$

Shuni nazarda tutish lozimki, yopiq hajmdagi modda eksergiyasi atrof-muhitga temperatura va bosim orqali bog'liq; atrof-muhit tarkibi esa ahamiyatga ega emas.

Kimyoviy eksergiya – e_o. Bu eksergiya modda va atrof-muhitning tegishli komponentlari o'rtasidagi kimyoviy potensiallar muvozanati bilan bog'liq bo'lib, p_o va T_o da muvozanat o'rnatilish qaytar jarayondagi olinishi mumkin bo'lgan ish miqdori bilan o'lchanadi. Shuni yodda tutish lozimki, moddaning atrof-muhit bilan massa almashinish jarayonlari doimo ham kimyoviy reaksiyalar vositasida bo'lavermaydi; bunga misol ajratish, aralashish va erish jarayonlaridir. Kimyoviy reaktorlarda kimyoviy eksergiya asosiy jarayon bo'lib hisoblanadi. e_o ni aniqlash uchun atrof-muhit tarkibini bilish zarur. Lekin atrof-muhit tarkibi ko'p jinsliligi uchun e_o ning absolyut qiymatini hisoblash aniqligi e va e_υ larnikidek emas. Amaliyotda e_o ni hisoblashda ma'lum soddalashtirishlar qilinishi zarur.

Kimyoviy o'zgarishlardagi kimyoviy (nol) eksergiyani hisoblaylik. Kimyoviy reaktorda quyidagi reaksiya borayotgan bo'lsin:

$$V_1 A_1 + V_2 A_2 + \ldots \rightleftarrows V_1' A_1' + V_2' A_2' + \ldots, \qquad (11.29)$$

bu yerda. V_1, V_2... va V_1';V_2';... dastlabki A_1, A_2... moddalar va olinuvchi A_1';A_2';... moddalarning stexiometrik koeffitsiyentlari.

Muhandislik amaliyotida kimyoviy reaktorlarda borayotgan kimyoviy o'zgarishlar uchun nol eksergiya modda oqimi eksergiyasi e ni aniqlash formulasi (11.26) asosida hisoblanadi.

Agar reaksiya T=298K temperaturada kechsa, u holda eksergiya E_{xp} (kJ/mol) quyidagicha aniqlanadi:

$$E_{xp} = \Delta Z^0_{298} - \sum_j E_{0,j} \qquad (11.30)$$

bu yerda

$$\Delta Z^0_{298} - \sum_i V_i \left(\Delta Z^0_{298}\right)_i - \sum_i V_i' \left(\Delta Z^0_{298}\right)_i' = \sum_i V_i \left(\Delta i^0_{298}\right)_i - \sum_i V_i' \left(\Delta i^0_{298}\right)_i' - T_0 \left[\sum_i V_i \left(S^0_{298}\right)_i - \sum_i V_i' \left(S^0_{298}\right)_i'\right]$$

bu yerda, $\Delta Z^0_{298} - T = 298K$ – standart izobar–izotermik potensial, kJ/mol; $(\Delta H^0_{298})'$ va (ΔH^0_{298})– reaksiyani boshlanish va oxiridagi tashkil etuvchilar entalpiyalarining standart qiymatlari, kJ/mol; $(S^0_{298})'$ va (S^0_{298}) – reaksiyani boshlanish va oxiridagi entalpiyalarning standart absolyut qiymatlari, kJ/mol; $\sum_j E_{0,j}$ –

p_0 va T_0 da olingan reaksiyada ishtirok etuvchi qo'shimcha moddalar [(11.29) tenglamaning chap qismi] kimyoviy (nol) eksergiyasining yig'indisi (masalan, $CaCO_3$ ni olish reaksiyasida $Ca + 0.5O_2 + CO_2 = CaCO_3$ tenglama bo'yicha qo'shimcha modda bo'lib O_2 va CO_2 lar hisoblanadi).

Qo'shimcha moddalar kimyoviy (nol) eksergiyasini aniqlash uslubi va ularning eng ko'p tarqalgan noorganik birikmasining elementlari uchun qiymatlari maxsus adabiyotda berilgan.

Issiqlik oqimi q eksergiyasi – e_q. Bu eksergiya quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$e_q = \sum_{i=1}^{i=n} \delta q_i \frac{T_i - T_0}{T_i} = \sum_{i=1}^{i=n} \delta q \tau e_i \qquad (11.31)$$

bu yerda, $\tau_e = 1 - (T_0/T)$ – eksergetik temperatura funksiyasi deb ataluvchi kattalik.

Xususiy $T=idem$, $\tau_e = 1 - (T_0/T) = idem$ holda (11.31) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$e_q = q \cdot \tau_e \qquad (11.32)$$

ma'lumki τ_e funksiya universal ahamiyatga ega: u yopiq va ochiq termodinamik jarayonlarning maksimal eksergiyasini aniqlash uchun yaroqli.

Oqim termomexanik eksergiyasining o'zgarmas bosimdagi entalpiya bo'yicha xususiy hosilasi τ_e ga teng:

$$\left(\frac{\partial e}{\partial i}\right)_p = \tau_e \qquad (11.33)$$

$(di)_p = \delta q_p$ yoki $(\Delta i)_p = q_p$ bo'lgan uchun (11.31) va (11.32) tenglamalardan

$$(\Delta e)_p = (\Delta i)_p \tau_e = q_p \tau_e = (e_q)_p \qquad (11.34)$$

ekani ma'lum bo'ladi, ya'ni izobar jarayondagi ishchi jism oqimi eksergiyasining o'zgarishi shu jarayon bilan bog'liq issiqlik oqimi eksergiyasiga teng. Demak, o'zgarmas bosimda sodir bo'layotgan issiqlik almashinish jarayonlarida issiqlik oqimi eksergiyasini modda oqimi eksergiyasi ayirmasi Δe dan aniqlash mumkin. Bu hisob ishlarini ancha osonlashtiradi, chunki bevosita e_q ni hisoblash, masalan o'zgaruvchan temperaturada juda murakkabdir.

Nurlanish eksergiyasi – e_ε. Bu eksergiya nurlanish atrof-muhit bilan muvozanat holatiga kelish (T_0) da qaytar jarayondagi maksimal ish bilan ifodalanadi. Uni quyidagi tenglamadan hisoblab topish mumkin:

$$e_\varepsilon = \varepsilon C_0 \left\{ \left(\frac{T}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_0}{100}\right)^4 - \frac{4}{3} T_0 \left[\left(\frac{T}{100}\right)^3 - \left(\frac{T_0}{100}\right)^3 \right] \right\} \qquad 11.35)$$

bu yerda, ε – yuzaning qoralik darajasi; C_0 – absolyut qora jismning nurlanish koeffitsiyenti.

11.4. Eksergetik holat diagrammalari

Energotexnologik sistemalarni termodinamik tahlil qilishda eksergetik diagrammalar keng qo'llanadi: ulardan turli modda va aralashmalarning e, e_q kattaliklari va bu ularning tashkil etuvchilari, berilgan T va T_0 larda τ_e ning qiymatlari aniqlanadi, hamda hisoblash ishlari ko'rgazmali va sodda bajariladi. Eksergetik diagrammalardan ***e=idem*** chiziqli ***i-S*** va ***T-S*** – diagrammalar, hamda ***e-i*** – diagramma keng tarqalgan. T_n^* harfi orqali normal qaynash temperaturasini belgilaymiz.

11.1-rasmda ***e=idem*** chiziqli ***i-S*** – diagrammalar keltirilgan: Sanoq boshi nuqtasi (nol holat) faqatgina T_0 parametr bilan, ayrim hollardagina p_0 bilan belgilanadi. Bu diagrammadan ko'rinib turibdiki, berilgan termodinamik holat uchun modda eksergiyasi ***e=idem*** to'g'ri chiziqlar to'ri yordamida aniqlanadi. ***e=0*** chizig'idan yuqorida musbat ishorali eksergiya sohasi (***e>0***), pastda – manfiy qiymatlar (***e<0***) joylashgan.

11.2-rasmda havoning ***e=idem*** chiziqli ***e-i*** – diagrammasi tasvirlangan; undagi e chiziqlari 11.1-rasmdagidan farqli noekvidistant chiziqlardir (nam bug' sohasi bundan mustasno).

11.2-rasmda $T_0 > T_N^*$ uchun ***e-i*** – diagramma tasvirlangan. Nol nuqta p_0 izobara chizig'i bilan o'ta qizigan bug'-gaz sohasidagi T_0 izoterma chizig'ining kesishgan nuqtasi orqali belgilanadi. Agar izoterma va izobaraning kesishgan ixtiyoriy nuqtasiga urinma o'tkazilsa, u holda urinma burchagi tangensining α qiymati eksergetik temperatura funksiyasi τ_e ga teng bo'ladi, chunki (11.33) formulaga ko'ra:

$$\tau_y = \left(\frac{\partial e}{\partial i}\right)_p = tg\,\alpha_p \qquad (11.36)$$

bunda 3 ta hol bo'lishi mumkin: agar $T>T_0$, u holda $tg\alpha_p>0$ va demak, $\tau_e>0$; agar $T<T_0$, u holda $tg\alpha_p<0$ va $\tau_e<0$; agar $T=T_0$, u holda $tg\alpha_p=0$ va $\tau_e=0$.

$$(\Delta e)_p = (\Delta i)_p \tau_e = q_p \tau_e = (e_q)_p \qquad (11.34)$$

ekani ma'lum bo'ladi, ya'ni izobar jarayondagi ishchi jism oqimi eksergiyasining o'zgarishi shu jarayon bilan bog'liq issiqlik oqimi eksergiyasiga teng. Demak, o'zgarmas bosimda sodir bo'layotgan issiqlik almashinish jarayonlarida issiqlik oqimi eksergiyasini modda oqimi eksergiyasi ayirmasi Δe dan aniqlash mumkin. Bu hisob ishlarini ancha osonlashtiradi, chunki bevosita e_q ni hisoblash, masalan o'zgaruvchan temperaturada juda murakkabdir.

Nurlanish eksergiyasi – e_ε. Bu eksergiya nurlanish atrof-muhit bilan muvozanat holatiga kelish (T_0) da qaytar jarayondagi maksimal ish bilan ifodalanadi. Uni quyidagi tenglamadan hisoblab topish mumkin:

$$e_\varepsilon = \varepsilon C_0 \left\{ \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \frac{4}{3} T_0 \left[\left(\frac{T}{100} \right)^3 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^3 \right] \right] \right\} \qquad (11.35)$$

bu yerda, ε – yuzaning qoralik darajasi; C_0 – absolyut qora jismning nurlanish koeffitsiyenti.

11.4. Eksergetik holat diagrammalari

Energotexnologik sistemalarni termodinamik tahlil qilishda eksergetik diagrammalar keng qo'llanadi: ulardan turli modda va aralashmalarning e, e_q kattaliklari va bu ularning tashkil etuvchilari, berilgan T va T_0 larda τ_e ning qiymatlari aniqlanadi, hamda hisoblash ishlari ko'rgazmali va sodda bajariladi. Eksergetik diagrammalardan $e=idem$ chiziqli i-S va T-S – diagrammalar, hamda e-i – diagramma keng tarqalgan. T_n^* harfi orqali normal qaynash temperaturasini belgilaymiz.

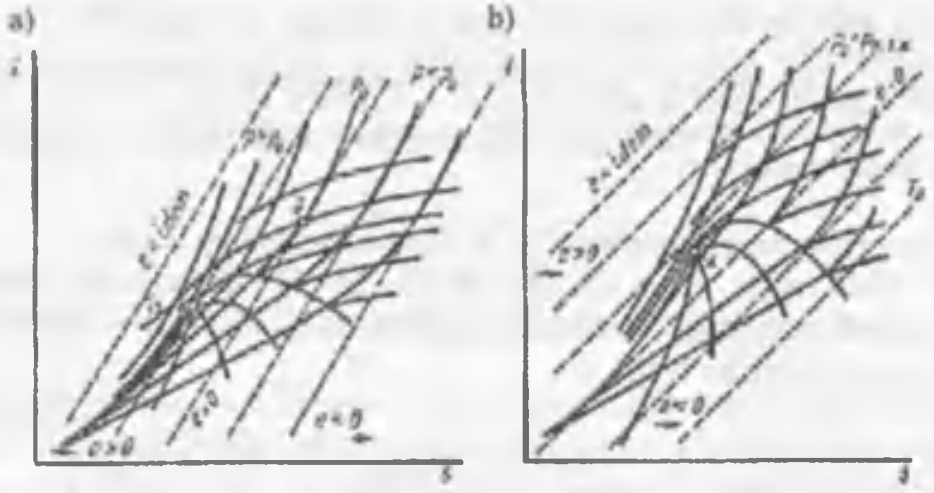
11.1-rasmda $e=idem$ chiziqli i-S – diagrammalar keltirilgan: Sanoq boshi nuqtasi (nol holat) faqatgina T_0 parametr bilan, ayrim hollardagina p_0 bilan belgilanadi. Bu diagrammadan ko'rinib turibdiki, berilgan termodinamik holat uchun modda eksergiyasi $e=idem$ to'g'ri chiziqlar to'ri yordamida aniqlanadi. $e=0$ chizig'idan yuqorida musbat ishorali eksergiya sohasi ($e>0$), pastda – manfiy qiymatlar ($e<0$) joylashgan.

11.2-rasmda havoning $e=idem$ chiziqli e-i – diagrammasi tasvirlangan; undagi e chiziqlari 11.1-rasmdagidan farqli noekvidistant chiziqlardir (nam bug' sohasi bundan mustasno).

11.2-rasmda $T_0>T_N^*$ uchun e-i – diagramma tasvirlangan. Nol nuqta p_0 izobara chizig'i bilan o'ta qizigan bug'-gaz sohasidagi T_0 izoterma chizig'ining kesishgan nuqtasi orqali belgilanadi. Agar izoterma va izobaraning kesishgan ixtiyoriy nuqtasiga urinma o'tkazilsa, u holda urinma burchagi tangensining α qiymati eksergetik temperatura funksiyasi τ_e ga teng bo'ladi, chunki (11.33) formulaga ko'ra:

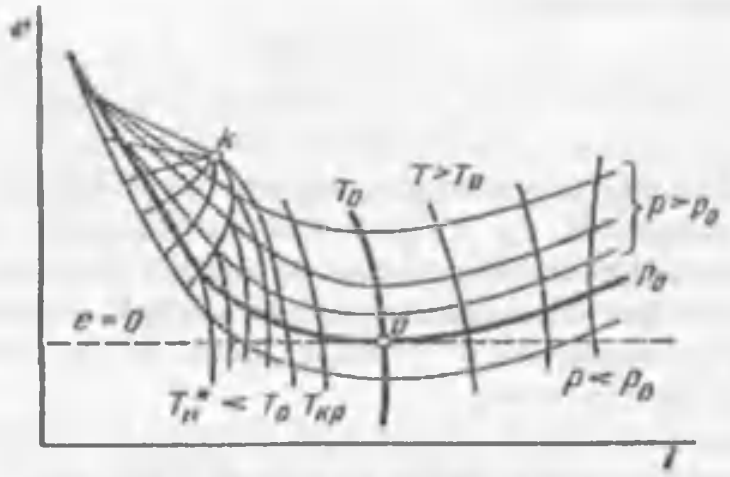
$$\tau_y = \left(\frac{\partial e}{\partial i} \right)_p = tg\,\alpha_p \qquad (11.36)$$

bunda 3 ta hol bo'lishi mumkin: agar $T>T_0$, u holda $tg\alpha_p>0$ va demak, $\tau_e>0$; agar $T<T_0$, u holda $tg\alpha_p<0$ va $\tau_e<0$; agar $T=T_0$, u holda $tg\alpha_p=0$ va $\tau_e=0$.



11.1- rasm. Bug'ning e=idem chiziqlari tortilgan i-S – diagrammasi.
a) $T_0 > T_H^*$; b) $T_0 = T_H^*$

e-i – diagramma yordamida bajarilgan ishni, ochiq sikl va jarayonlarning boshqa xarakteristikalarini topish mumkin.



11.2-rasm. Havoning e=idem chiziqlari tortilgan e-i – diagrammasi.

11.5. Eksergetik yo'qotilish turlari

Entropiya bilan ifodalanmaydigan eksergiyaning yo'qotilishlarini aniqlash qiyin bo'lmaganligi uchun, bu paragrafda entropiya bilan ifodalanuvchi eksergiya yo'qotilishlari ko'rib chiqiladi.

Issiqlik almashinish qurilmasi eksergiya yo'qotilishlari – D_{ia}

Bu yo'qotilishlar asosan 4 xil bo'ladi: temperaturalar farqi tufayli yo'qotilishlar D_T; gidravlik qarshilik tufayli yo'qotilishlar; atrof-muhit bilan issiqlik almashinish tufayli yo'qotilishlar; EKTS issiqlik almashinish qurilmalarida yo'qotilishlar. Oxirgi tur yo'qotilishlar EKTS issiqlik almashinish qurilmalarida odatda yo'qotilishlar juda kichik bo'lgani uchun ularni e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Demak:

$$D_{ia} = D_T + D_p + D_a \qquad (11.37)$$

Issiqlik almashinish qurilmasidagi temperaturalar farqi tufayli ro'y beruvchi yo'qotilishlar quyidagiga teng:

$$D_T = E_q^B - E_q^A = m_B e_{qb} - m_A e_{qA} = \sum \delta q \Delta \tau_e = Q \Delta \overline{\tau_e} \qquad (11.38)$$

bu yerda, E_q^B va E_q^A – mos ravishda *V* va *A* issiqlik eltkichlarning issiqlik oqimlari eksergiyalari; m_B va m_A – mos ravishda *B* va *A* issiqlik eltkichlarning massalari; e_{qB} va e_{qA} mos ravishda *B* va *A* issiqlik eltkichlarning nisbiy issiqlik oqimlari eksergiyalari.

O'zgaruvchan temperaturalarda D_T ni hisoblash qiyinligi uchun (11.34) formula xulosasidan foydalanish zarur, chunki EKTS issiqlik almashinish qurilmalarida jarayonlar deyarli o'zgarmas bosimlarda kechadi. Demak, (11.39) formula o'rniga quyidagini yozsak o'rinli bo'ladi:

$$D_t = E_q^B - E_q^A = m_B e_{qB} - m_A e_{qA} = m_B \Delta e_B - m_A \Delta e_A \qquad (11.39)$$

bu yerda, Δe_B va Δe_A – mos ravishda *B* va *A* issiqlik eltkichlar eksergiya oqimlarining o'zgarishi.

Issiqlik almashinish jarayoni fazaning agregat holati o'zgarishlari bilan borsa, ya'ni o'zgarmas T_B va T_A temperaturalarda, jarayonlar sodir bo'ladigan issiqlik almashinish qurilmalaridagi, masalan, bug'latkich-kondensatordagi yo'qotilishlar D_T quyidagicha aniqlanishini mumkin:

$$D_T = E_q^B - E_q^A = Q\tau_{eB} - Q\tau_{eA} = Q(\tau_e^B - \tau_e^A) = Q\left[\left(1 - \frac{T_0}{T_B}\right) - \left(1 - \frac{T_0}{T_A}\right)\right] = QT_0\left(\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_B}\right) \qquad (11.40)$$

(11.40) formuladagi o'zgaruvchan temperaturalarni issiqlik eltkichlarning o'rtacha integral temperatura T_B, T_A larga almashtirilsa, undan barcha issiqlik almashinish qurilmalarini hisoblashda foydalansa bo'ladi.

Yuqorida keltirilgan formulalardan ma'lum bo'ldiki, issiqlik almashinish qurilmalaridagi temperaturalar farqi qanchalik kichik bo'lsa, undagi eksergiya yo'qotilishlari shunchalik kam bo'ladi.

Gidravlik qarshiliklar tufayli ro'y beradigan eksergiya yo'qotilishlari D_P issiqlik almashinish qurilmalarida issiqlik eltkichlar harakati sabablidir. Agar issiqlik tashuvchi eltkichlar harakatiga ishqalanish kuchlari qarshilik ko'rsatmaganda edi, u holda D_P=0. Issiqlik almashinish qurilmalarida issiqlik eltkichlarni harakatlantirishga sarflanuvchi ish purkash yoki haydash qurilmalarining (kompressor va nasoslar) ishiga teng bo'lgani uchun:

$$D_p = L_A + L_B \qquad (11.41)$$

bu yerda, L_A va L_B – mos ravishda *A* va *V* issiqlik eltkichlarni haydovchi qurilmaning ishi.

Atrof-muhit bilan issiqlik almashinish tufayli ro'y beruvchi eksergiya yo'qotilishi D_0 mashina va qurilmalar issiqlik qoplamasi bilan atrof-muhit issiqlik almashganda o'rinlidir. Demak, issiqlik qoplamasining mukammalmasligi tufayli ro'y beruvchi eksergiya yo'qotilishlari D_a quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$D_a = m_A e_q^A + m_B e_q^B = m_A q_A \overline{\tau}_{eA} + m_B q_B \overline{\tau}_{eB} = m_A q_A \left(1 - \frac{T_0}{T_{mzA}}\right) + m_H q_H \left(1 - \frac{T_0}{T_{mzB}}\right) \qquad (11.42)$$

bu yerda, q_A va q_B – *A* va *B* issiqlik eltkichlardan issiqlik qoplamasi orqali atrof-muhit yoki teskari yo'nalishda (issiqlik eltkichlar temperaturalari atrof-muhit temperaturasi T_0 dan kichik bo'lganda) tarqalayotgan issiqlik oqimining zichliklari; T_{mzA} va T_{mzB} – mos ravishda *A* va *B* issiqlik eltkichlarni tashqi issiqlik qoplamasining o'rtacha integral temperaturalari. (11.42) formuladan ko'rinib turibdiki $T_{mz} \to T_0$ bo'lganda, $D_a \to 0$.

Reaktorda kimyoviy reaksiya tufayli ro'y beruvchi eksergiya yo'qotilishlari – D_{XP}. O'zgarmas temperatura va bosimda sodir bo'luvchi ekzotermik reaksiyani ko'raylik. Reaksiya issiqligi bironta-bir jismga (o'sha temperaturadagi) uzatilayotgan bo'lsin. U holda kimyoviy reaktordagi entropiya o'zgarishi:

$$\Delta S_{xp} = \Delta S + \Delta S_T \tag{11.43}$$

bu yerda, ΔS va ΔS – mos ravishda reaksiya borayotgan sistema va boshqa jismdagi entropiya o'zgarishi.

Agar o'zgarmas bosimda hajmi o'zgaruvchi sistemadagi ish faqat reaksiya tufayligina bajarilsa, u holda boshqa jismga berilayotgan issiqlik shu sistema entalpiyasining kamayishiga teng, ya'ni ($-\Delta i$) va yuqoridagi tenglama quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\Delta S_{xp} = -\Delta S + \frac{\Delta i}{T} = \frac{-T\Delta S + \Delta i}{T} = \frac{\Delta Z}{T} \tag{11.44}$$

va qaytmas yo'qotilishlar, ya'ni eksergetik yo'qotilishlar

$$D_{xp} = T_0 \Delta S_{xp} = \frac{T_0 \Delta Z}{T} \tag{11.45}$$

Demak, o'zgarmas temperatura va bosimda boruvchi, kimyoviy reaksiya natijasida hosil bo'luvchi entropiya, izobar-izotermik potensial o'zgarishining reaksiya temperaturasi nisbatiga teng; bu jarayonning eksergetik yo'qotilishi esa, entropiyani atrof-muhit temperaturasi ko'paytmasiga teng.

Issiqlik mashinasi, kompressor va nasoslardagi eksergiya yo'qotilishlar bevosita shu mashinalar uchun tuzilgan eksergetik balansdan topiladi. Bu masala §11.10 da batafsil ko'riladi.

11.6. EKTS va elementlarining eksergetik balansi va foydali ish koeffitsiyenti

EKTS lar tahlil qilinayotganda birinchi navbatda moddiy va issiqlik balanslari, so'ngra eksergetik balans tuziladi.

Issiqlik balansi EKTS ni idealga yaqinligini, uning termodinamik mukammalligini ko'rsatmaydi. Issiqlik balansidan farqli ravishda eksergetik balans EKTS dagi qaytmaslik tufayli sodir bo'ladigan yo'qotilishlarni e'tiborga oladi va shu tariqa sistemaning ideal sistemaga yaqinlik darajasini ko'rsatadi; ideal sistemaning eksergetik f.i.k. birga teng.

Balanslar tuzilishdan avval tahlil etiluvchi sistema boshqa obyektlardan xayolan nazorat yuza orqali ajratiladi, undan o'tuvchi barcha modda va energiya oqimlari eksergetik balansga kiritiladi.

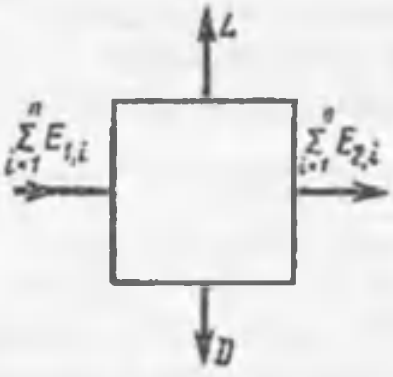
m kg modda uchun vaqt birligi yoki ma'lum davr ichida EKTS eksergetik balansi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + \sum_{i=1}^{i=n} L_i + \sum D_i \tag{11.46}$$

yoki

$$\sum_{i=1}^{i=n} D_i = \sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - \left(\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + \sum_{i=1}^{i=n} L_i \right) \qquad (11.47)$$

bu yerda, $\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}$ va $\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i}$ – EKTS ga kiruvchi va chiquvchi eksergiya yig'indilari; $\sum_{i=1}^{i=n} L_i$ – EKTS larda bajariluvchi ishlar yig'indisi; $\sum_{i=1}^{i=n} D_i$ – EKTS dagi eksergetik yo'qotilishlar yig'indisi.



11.3-rasm. Mashinaning eksergetik balansini aniqlashga oid.

Ochiq sistemalarda eksergiya $E_o = 0$. Sistema chegaralari orqali massa almashinish bo'lmagan yopiq sistemalarda modda oqimi eksergiyasi va kimyoviy eksergiya qiymatlari nolga teng. Lekin davriy kimyo reaktorlarida kimyoviy eksergiya asosiy hisoblanadi.

Eksergetik balans asosida EKTS va uning ayrim qismlarining nisbiy yoki absolyut xarakteristikalari aniqlanadi.

EKTS elementlarining eksergetik balanslarini ko'raylik. Har qanday EKTS mashina va qurilmalardan tashkil topadi.

Har qanday mashinaning eksergetik balansi 11.3-rasmda tasvirlangan sxema asosida tuziladi:

m kg modda uchun

$$\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + L + D \qquad (11.48)$$

D=0 da

$$L = \sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} \qquad (11.49)$$

ya'ni qaytar jarayonda mashina bajargan ish yoki harakatlantirishga sarflangan ish, unga kirish va chiqishdagi eksergiya o'zgarishiga teng.

1 kg modda uchun ham mashinaning eksergetik balansi shunga o'xshash yoziladi:

$$\sum_{i=1}^{i=n} e_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} e_{2,i} + l + d \qquad (11.50)$$

EKTS ning har qanday qurilmasi uchun eksergetik balans quyidagicha yoziladi:

m kg modda uchun

$$\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + D \qquad (11.51)$$

1 kg modda uchun

$$\sum_{i=1}^{i=n} e_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} e_{2,i} + d \qquad (11.52)$$

$D = 0$ bo'lganda, $\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i}$, ya'ni qurilmada qaytar jarayon borganda, undagi modda eksergiyasi o'zgarmaydi.

Tabiiyki, eksergiya yo'qotilishlari qanchalik kam bo'lsa, EKTS va elementlarining mukammallik darajasi shunchalik yuqoridir. Shuning uchun EKTS va uning elementlarini mukammallik darajasi, eksergetik balansdan aniqlanuvchi, eksergetik f.i.k. bilan ifodalanadi:

EKTS uchun

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + \sum_{i=1}^{i=m} L_i}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - \sum_{i=1}^{i=n} D_i}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} \tag{11.53}$$

mashinalar uchun

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + L}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - D}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} \tag{11.54}$$

qurilmalar uchun

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i}}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - D}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} \tag{11.55}$$

EKTS va uning elementlari uchun eksergetik f.i.k., eksergiya yo'qotilishlari bo'lmaganda, $\sum_{i=1}^{i=n} D_i = 1$ ga teng.

11.7. Eksergetik unumdorlik va quvvat

Eksergiya har qanday EKTS ning eksergetik balansiga kiruvchi energiyaning turli oqimlarini baholash imkonini bergani uchun sistemani xarakterlovchi umumlashgan kattaliklarni hosil qilish mumkin. Bunday umumlashgan kattalik bo'lib eksergetik unumdorlik va EKTS ning quvvati hisoblanadi. EKTS beruvchi unumdorlikni ifodalovchi barcha eksergiyalarning algebraik yig'indisi EKTS ning eksergetik unumdorligi $\sum E_{ef}$ deyiladi. $\sum E_{ef}$ kattalikni vaqt τ ga bo'lgan nisbati EKTS ning eksergetik unumdorligi deyiladi:

$$N_{ef} = \frac{\sum E_{ef}}{\tau} = \sum E_{ef} \tag{11.56}$$

Eksergetik quvvatning kimyo texnologiyasidagi energetik qurilmalar uchun aniq ifodalarini ko'raylik.

Ma'lumki, IEM (issiqlik elektr energiya markazlari) elektr energiya va issiqlikni bir vaqtda ishlab chiqarishga mo'ljallangan. Demak, IEM eksergetik quvvati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$N_{ex} = N_{el} + \sum (m_{ni} e_{qni} - m_{ki} e_{qki}) \qquad (11.57)$$

bu yerda, N_{el} – IEM elektr netto quvvati; m_{ni} va e_{qni} – mos ravishda issiqlik ta'minotiga uzatilayotgan bug' miqdori va eksergiyasi; m_{ki} va e_{qki} – IEM ga qaytarilayotgan kondensatning miqdori va eksergiyasi.

Kompressor gaz (bug') bosimini oshirishga mo'ljallangan, demak, uning unumdorligi siqish jarayonida gaz (bug') eksergiyasini ortishi bilan baholanishi kerak. Shuning uchun kompressorning eksergetik quvvati siqish issiqligidan foydalanilmaganda, quyidagicha aniqlanadi:

$$N_{ex} = \sum m_i \Delta e_i \qquad (11.58)$$

agar siqish jarayonida hosil bo'layotgan issiqlik texnologik maqsadlarda ishlatilsa:

$$N_{ex} = \sum m_i \Delta e_i + m_b \Delta e_b \qquad (11.59)$$

bu formulalarda: m_i – siqilayotgan gaz (bug') miqdori; Δe_b – sovutkichlardagi sovutuvchi muhit (bug', havo, gaz) eksergiyasining ortishi; m_b – sovutuvchi muhitning sarfi.

Issiqlik nasosi va sovitish mashinasidan iborat issiqlik va sovuqlik oluvchi kombinatsiyalashgan qurilmaning eksergetik quvvati:

$$N_{ex} = \sum \dot{E}_{qi} + \sum \dot{E}_{qxi} \qquad (11.60)$$

bu yerda, $\sum \dot{E}_{q}$ va $\sum \dot{E}_{qx}$ – issiq va sovuq oqimlar eksergetik quvvatlarining yig'indisi.

Odatda, issiqlik va sovuqlik oqimlari iste'molchiga o'zgarmas bosimda, issiqlik almashinish qurilmalaridagi issiqlik va sovitish eltkichlari orqali uzatilgani uchun, $\sum \dot{E}_{q}$ va $\sum \dot{E}_{qx}$ lar issiqlik va sovuqlik eltkichlar eksergiyalari o'zgarishi orqali ifodalanishi mumkin, ya'ni

$$N_{ex} = \sum m_i \Delta e_i + \sum m_{xi} \Delta e_{xi} \qquad (11.61)$$

bu yerda, Δe_i va m_i – mos ravishda issiqlik eltkich eksergiyasining o'zgarishi va uning sarfi.

Eksergetik quvvat EKTS eksergetik f.i.k.ni aniqlash imkonini beradi va sistemani optimallashtirish kriteriylari sifatida ishlatiladi.

11.8. Termodinamik sistemalar energetik va eksergetik xarakteristikalari o'rtasidagi bog'liqlik

Issiqlik almashinish qurilmasi. Bu qurilma energetik foydali ish koeffitsiyenti $\eta_t = L/Q_1$ va eksergetik foydali ish koeffitsiyenti $\eta_{ex} = E_{,\phi}/E_c = A_{,\phi}/A_c$ bilan xarakterlanishi mumkin. Issiqlik kuchlanish qurilmasining unumdorligi elektr yoki mexanik ish L bilan

ifodalanishi mumkin, ya'ni $A_{ef} = L$. Sarflar esa issiqlik eksergiyasi bilan ifodalanadi $A_c = E_c = E_q = Q_1 \cdot \tau_e$. Demak:

$$\eta_{ex} = \frac{L}{Q_1 \tau_e} \tag{11.62}$$

(11.62) formula yordamida energetik foydali ish koeffitsiyentini quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\eta_t = L/Q_1 = \eta_{ex} Q_1 \tau_e / Q_1 = \eta_{ex} \tau_e \tag{11.63}$$

Sovitish qurilmasi. Bu qurilma sovitish koeffitsiyenti $\varepsilon = Q_2/L$ va eksergetik foydali ish koeffitsiyenti $\eta_{ex} = A_{ef}/A_c$ bilan xarakterlanishi mumkin. Bu qurilmada A_{ef} kattalik sovuq oqimlar eksergiyasini, ya'ni $A_{ef} = E_{qx}$ sarf esa, $A_c = L$ demak:

$$\eta_{ex} = \frac{E_{q,x}}{L} = \frac{Q_x \tau_{ex}}{L} \tag{11.64}$$

(11.64) formulada $Q_x/L = \varepsilon$ bo'lgani uchun

$$\varepsilon = \frac{\eta_{ex}}{\tau_{ex}} \tag{11.65}$$

Agar sovitish qurilmasi Q_1 issiqlik oqimi hisobiga ishlasa, u holda $A_c = E_{q1} = Q_1 \cdot \tau_e$, demak,

$$\eta_{ex} = A_{ef} / A_{sarf} = Q_x \bar{\tau}_{ex} / (Q_1 \tau_e) \tag{11.66}$$

Issiqlik nasosi. Bu qurilma issiqlik koeffitsiyenti $\varphi = Q_2/L$ va eksergetik foydali ish koeffitsiyenti $\eta_{ex} = A_{ef}/A_c$ bilan xarakterlanadi. Issiqlik nasosida A_{ef} kattalik qurilmadan iste'molchiga berilayotgan issiqlik Q_2 oqimining energiyasidir, ya'ni $A_{ef} = Q_2 \cdot \tau_{e2}$. T_0 temperaturadagi atrof-muhitdan olinayotgan issiqlik eksergiyasi nolga teng bo'lgani uchun $A_c = L$ va unda, qurilmaning eksergetik foydali ish koeffitsiyenti quyidagicha ko'rinishni oladi:

$$\eta_{ex} = \frac{A_{ef}}{A_{sarf}} = \frac{Q_2 \tau_{e2}}{L} \tag{11.67}$$

Agar issiqlik nasosi Q_1 issiqlik oqimi hisobiga ishlasa, u holda $A_c = E_{q1} = Q_1 \cdot \tau_{e1}$, demak,

$$\eta_{ex} = \frac{Q_2 \bar{\tau}_{e2}}{Q_1 \bar{\tau}_{e1}} \tag{11.68}$$

(11.67) formulada $Q_2/L = \varphi$, demak $\eta_{ex} = \varphi \cdot \tau_{e2}$ yoki

$$\varphi = \frac{\eta_{ex}}{\tau_{e2}} \tag{11.69}$$

Issiqlik yuritkichi bo'lgan holda issiqlik nasosining issiqlik koeffitsiyenti $\varphi = Q_2/Q_1$. Bu holda (11.68) formula quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\eta_{ex} = \varphi' \frac{\bar{\tau}_{e2}}{\bar{\tau}_{e1}}$$

yoki

$$\varphi' = \eta \frac{\bar{\tau}_{e1}}{\bar{\tau}_{e2}} \qquad (11.70)$$

11.9. EKTS umumiy ko'rsatkich va elementlarning xarakteristikalari orasidagi bog'liqlik

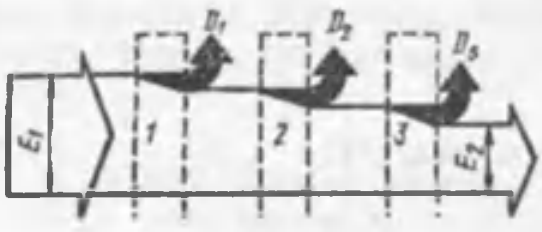
Elementlar xarakteristikalari orasidagi bog'liqlik EKTSlarni termodinamik tahlil qilishda muhim ahamiyatga ega. Agar x_e – EKTS unumdorligi bilan (D, η_{ex} E) bog'liq eksergetik xarakteristika bo'lsa, x_{ei} sistemaning i – elementi uchun xuddi shunday xarakteristika bo'lsa, u holda quyidagi kattalik:

$$Z_i = \left(\frac{\partial x_e}{\partial x_{ei}} \right)_{y=idem} \qquad (11.71)$$

i – elementdagi xarakteristika o'zgarishining EKTS xarakteristikasiga ta'sirini ko'rsatadi; bu yerda u – EKTSning boshqa elementlarining parametrlari. $y=idem - x_{ei}$ ta'siri vaqtida x_{ei} bilan bog'liq bo'lmagan boshqa kattaliklar o'zgarmasligini bildiradi. Z_i kattalik qanchalik katta bo'lsa, i – element xarakteristikasining o'zgarishi EKTS ko'rsatkichiga shunchalik ko'p ta'sir etishini bildiradi. Demak, EKTSni optimallashtirish vaqtida asosiy e'tibor katta qiymatli Z_i elementlarga qaratilishi zarur. Shunday qilib, Z_i koeffitsiyent sistemaning ichki bog'liqligini xarakterlaydi va u sistema tuzilishiga bog'liq. Agar EKTS ketma-ket joylashgan elementlardan iborat bo'lib, ulardagi jarayonlar tashqaridan eksergiya olmasdan va bermasdan borsa, u holda η_{ex}^{EKTS} va η'_{ex} orasidagi bog'liqlik juda sodda bo'ladi: bu holda - i – elementdan chiqishdagi eksergiya E_i'' ($1+i$) elementga kirishdagi eksergiyaga doimo teng. Shuning uchun EKTSning eksergetik foydali ish koeffitsiyenti uning barcha elementlari foydali ish koeffitsiyenti ko'paytmasiga teng bo'ladi, ya'ni

$$\eta_{ex}^{EKTS} = \prod_{i=1}^{i=n} \eta_{ex,i} \qquad (11.72)$$

Bu sistema misolida EKTS turli elementlaridagi eksergiya yo'qotilishlarining o'ziga xos tomonlarini yaqqol ko'rsatish mumkin. Uchta elementdan iborat sistemada (11.4-rasm) $D_1=D_2=D_3=D$ bo'lsin. Birinchi elementdan uchinchi element yo'nalishida eksergiya kamayib boradi.



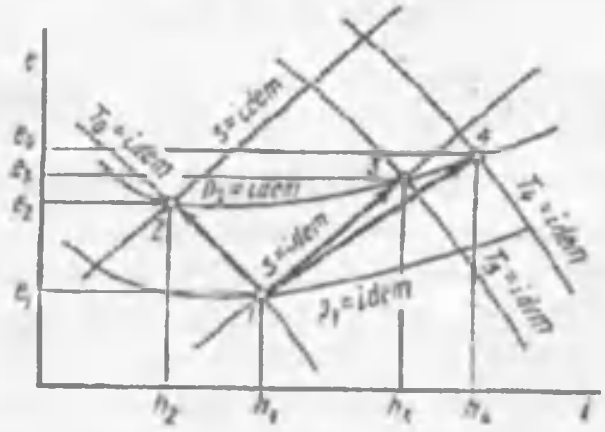
11.4-rasm. Eksergiya yo'qotilishining EKTS dagi o'ziga xos tomoni.

$\eta_{ex,i}=(E_i - D)/E_i$ bo'lgani uchun $\eta_{ex,i}$ ham kamayib boradi. Demak, yo'qotilishlarni kamaytirish, texnologik jarayonning oxirgi bosqichlarida ayniqsa katta ahamiyatga ega. Buni EKTS larni optimallash va takomillashtirishda nazarda tutish kerak.

11.10. Kimyoviy texnologiya jarayonlarining eksergetik tahlili

Gaz va suyuqliklarni siqish. Haqiqiy siqish jarayonlarining eksergetik balans tenglamasi quyidagicha:

$$l_{mex}^{Д} = \Delta e + e_q + \sum d = \Delta e + q\bar{\tau}_1 + \sum d \qquad (11.73)$$



11.5-rasm. e-i koordinatalarda siqish jarayonining tasviri.

11.5-rasmda siqish jarayoni ***e-i*** diagrammada tasvirlangan, jarayon $T \geq T_o$ uchun o'rinli, ya'ni $t_1 > 0$. 1-2 kesmada jarayon – $T_o = const$ chiziq bo'yicha boruvchi izotermik siqishni xarakterlaydi. Demak, $l_q = q(1-T_o/T) = 0$, ya'ni gazdan atrof-muhitga tarqalayotgan issiqlik oqimining eksergiyasi nolga teng. Bu holda qaytmas jarayon uchun (11.73) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$l_{mex.no'}^{Д} = \Delta e_{2-1} + \sum d \qquad (11.74)$$

qaytar jarayon uchun:

$$l_{mex.из} = \Delta e_{2-1} \qquad (11.75)$$

Sovutiluvchi (izotermik) kompressorning haqiqiy ishi $e_{mex\ из}^{Д}$ tajriba yoki hisob natijalaridan ma'lum bo'lganda uning η_{ex} ga teng bo'lgan izotermik foydali ish koeffitsiyentini hisoblash mumkin:

$$\eta_{из} = \eta_{ex} = \frac{\Delta e_{2-1}}{e_{mex.из}^{Д}} \qquad (11.76)$$

eksergetik yo'qotilishlar esa:

$$\sum d = e_{mex\ из}^{Д} - \Delta e_{2-1} \qquad (11.77)$$

Kesma 1-3 jarayon ($S = const$) chizig'i bo'yicha kechadigan adiabatik siqish jarayonidir. (11.73) tenglamaga ko'ra sovutilmaydigan kompressorning haqiqiy texnik ishi quyidagi ko'rinishga ega:

$$l_{mex.ad}^{Д} = \Delta e_{3-1} + \sum d = \Delta i_{3-1} + \sum d \qquad (11.78)$$

($q\tau_c = 0$ bo'lgani uchun) va nazariy ish:

$$l_{mex\ ad} = \Delta l_{3-1} = \Delta i_{3-1} \qquad (11.79)$$

e-i diagrammadan ko'rinib turibdiki, $\Delta l_{3-1} > \Delta l_{2-1}$: adiabatik kompressorning nazariy texnik ishi izotermik kompressorning texnik ishidan Δl_{2-1} ga kattadir. Haqiqiy

adiabatik siqish jarayonida kompressor ishining bir qismi ishqalanishni yengishga sarflanadi. Shuning uchun gaz eksergiyasi jarayon oxirida ortadi (nuqta 4): haqiqiy siqish jarayoni 1-4 chiziq bo'yicha boradi. Sovutilmaydigan (adiabatik) kompressorning haqiqiy ishi $l^{\Pi}_{mex\,us} = \Delta l_{4-1}$ Δl_{4-1} parametrdan katta, chunki siqish jarayonining qaytmasligi ishqalanishdagi issiqlik hisobiga entalpiyani qo'shimcha ortishiga olib keladi. Bunda $d = l^{\Pi}_{mex.us} - \Delta e_{4-1}$ va sovutilmaydigan kompressor eksergetik foydali ish koeffitsiyenti:

$$\eta_{ex} = \frac{\Delta e_{4-1}}{l^{\Pi}_{mex.us}} = \frac{\Delta l_{4-1}}{\Delta i_{4-1}} \qquad (11.80)$$

Ko'p bosqichli sovutilmaydigan kompressorning umumiy eksergetik foydali ish koeffitsiyenti quyidagicha:

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_i \Delta l_i}{\sum_i l^{\Pi}_{mex.us}} = \frac{\sum_i \Delta l_i}{\sum_i \Delta i_i} \qquad (11.81)$$

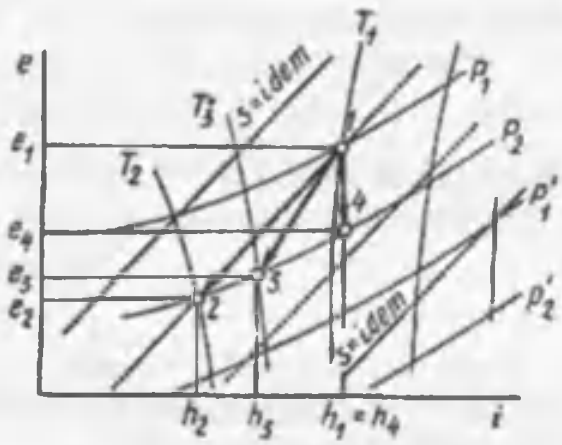
sovutiladigan kompressorniki esa:

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_i \Delta l_i}{\sum_i l^{\Pi}_{mex.us}} \qquad (11.82)$$

bu yerda, i – 1,2,3,..., – bosqichlar soni.

Yuqorida aytilgan gazning siqilish qonuniyatlari suyuqliklarni siqishga ham tegishlidir.

Gaz va suyuqliklarni kengayishi *e-i* diagrammada (11.6-rasm) ishchi jismning turlicha kengayishlari ko'rsatilgan. 1-2 jarayon – texnik ishi $l_{mex\ 1-2} = i_1 - i_2 = e_1 - e_2$ bo'lgan ideal issiqlik mashinasida boruvchi qaytar adiabatik jarayon. 1-3 – texnik ishi $l_{mex\ 1-3} = i_1 - i_3 < l_{mex\ 1-3}$ bo'lgan haqiqiy issiqlik mashinasida boruvchi qaytmas adiabatik jarayon. 1-4 jarayon - $\Delta i_{1-4} = 0$, demak, $l_{mex\ 1-4} = 0$ bo'lgan drossellanish jarayoni. Bu uchta jarayondagi eksergetik yo'qotilishlar birinchisidan uchunchisiga qarab oshib boradi:



11.6-rasm. e-i koordinatalarda kengayish jarayonining tasviri.

$$d_{1-2} = (e_1 - e_2) - (i_1 - i_2) = 0 < d_{1-3} = (e_1 - e_3) - (i_1 - i_3) < d_{1-4} = (e_1 - e_4) - (i_1 - i_4) = T_0 \Delta S$$

Bu jarayonlarning eksergetik foydali ish koeffitsiyenti ham shu tartibda kamayadi:

$$\eta_{ex}^{1-2} = \frac{l_{mex1-2}}{e_1 - e_2} = \frac{i_1 - i_2}{e_1 - e_2} = 1 > \eta_{ex}^{1-3} = \frac{l_{mex1-3}}{e_1 - e_3} > \eta_{ex}^{1-4} = \frac{l_{mex1-4}}{e_1 - e_4} = 0$$

Issiqlik mashinasidagi haqiqiy jarayon unumdorligini hisoblash usullarini adiabatik kengayishi jarayonning eksergetik va termik foydali ish koeffitsiyenti yordamida solishtiramiz. Adiabatik termik foydali ish koeffitsiyenti entalpiya haqiqiy farqining nazariy (qaytar) farqi nisbatiga teng, ya'ni

$$\eta_{ad} = \Delta i_{1-3} / \Delta i_{1-2} = l^{\Pi}_{mex1-3} / l^{\Pi}_{mex1-2} = l^{\Pi}_{mex1-3} / (e_1 - e_2),$$

eksergetik foydali ish koeffitsiyenti esa

$$\eta_{ex} = l^{\Pi}_{mex1-3} / (e_1 - e_3).$$

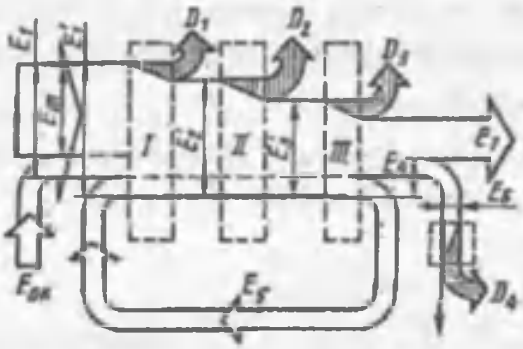
Quyidagi shart o'rinli bo'lgani uchun $(e_1 - e_2) < (e_1 - e_3)$ ushbu munosabat to'g'ridir $\eta_{ex} > \eta_{ad}$.

Issiqlik almashinish. Oldingi paragraflarda aytib o'tilganidek, issiqlik almashinish qurilmalarida uch xil yo'qotilishlarni aniqlash lozim: D_m, D_p va D_{ox}. Loyihalanayotgan qurilmaning turli variantlari uchun yo'qotilishlarni tashkil etuvchilari alohida-alohida hisoblanib, bu yo'qotilishlarning minimum va umumiy yo'qotilishdagi D ulushini aniqlash mumkin. Agar $D_p >> D_m$ va $D_{ox} << D_m$ bo'lsa, issiqlik almashinish qurilmasining η_{ex} foydali ish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta_{ex} = \frac{E^A_q}{E^B_q} = \left|\frac{Q\bar{\tau}^A_e}{Q\bar{\tau}^B_e}\right| = \left|\frac{\bar{\tau}^A_e}{\bar{\tau}^B_e}\right| = \frac{\Delta E_A}{\Delta E_B} \qquad (11.83)$$

Bunday foydali ish koeffitsiyenti qurilma unumdorligini ifodalovchi asosiy ko'rsatkich bo'lib, ya'ni B oqimdan A oqimga eksergiya o'tishini sifat jihatdan xarakterlaydi.

Yoqilg'ining yonish jarayoni. 11.7-rasmda yoqilg'ini yonish jarayonida energiya o'zgarishi sxemasi va yonishdan hosil bo'lgan mahsulotlardan foydalanish eksergiya oqimlari diagrammasi ko'rinishida tasvirlangan. Odatda, kirishdagi umumiy eksergiya E_1 yoqilg'i va oksidlovchi modda eksergiyalari yig'indisiga teng. Yoqilg'i va oksidlovchi modda yonish oldidan isitkich 1 da yonish mahsulotlari eksergiyaning bir qismi E_5 hisobiga qizdirilganda, ular eksergiyasi $E'_1 > E_1$ kattalikkacha ortadi. Isitgich I da qizdirish jarayoni D_1 eksergiya yo'qotilishlari bilan boradi. So'ngra $E'_2 > E''_1$ eksergiyali qizdirilgan yoqilg'i va oksidlovchi modda II yonish kamerasiga yuboriladi. U yerda yoqilg'i va oksidlovchi modda eksergiyalari E'_2 yuqori temperaturali yonish mahsulotlariga aylanadi. Yoqilg'ining yonish kamerasi II da yonish jarayoni D_2 eksergiya yo'qotilishlari bilan boradi. $E'_3 = E''_2$ eksergiyali yonish mahsulotlari EKTS ning III elementini tashkil etuvchi bug' yoki issiqlik generatori yoki gaz turbinasiga boradi. III elementda yonish mahsulotlari eksergiyasidan foydalanish jarayoni tabiati III element turiga bog'liq eksergetik yo'qotilishlar bilan boradi. Masalan, bug' va issiqlik generatorlarida D_2 yo'qotilish yonish mahsulotlari va issiqlik eltkichlar orasidagi katta temperaturalar farqida boruvchi issiqlik uzatish sababli paydo bo'ladi. E_4 qoldiq eksergiya qisman yoqilg'ini va oksidlovchi moddani isitkichda qizdirishda (E_5) yoki issiqlikda ishlovchi boshqa qurilmalarda ishlatilishi mumkin. Yonish mahsulotlarining atmosferaga chiqarib yuboruvchi eksergiyasi $E_6 = D_4$ (isitkich o'rnatilmaganida, ishlatilmaganida) termomexanik va nol eksergiyalardan tashkil topadi. Eksergiyaning boshqa qismi E_7 element III dan so'ng keyingi jarayonlarda ishlatish uchun foydalaniladi.



11.7-rasm. Yoqilg'i yonish jarayoni uchun Grossman – Shargut diagrammasi.

Yoqilg'ini yonishi – kimyoviy, oksidlanish reaksiyasidir. EKTS ni eksergetik tahlil qilishda, odatda nisbiy eksergiya qiymatlari jadvallardan olinadi.

Yoqilg'i va oksidlovchi modda eksergiyasini e_1 hamda yonish mahsulotlari eksergiyasini yonish mahsuloti eksergiyasini e_{nc} aniqlab, yoqilg'ining kimyoviy eksergiyasini yonish mahsuloti eksergiyasiga o'tishi bilan bog'liq eksergetik yo'qotilishlarni topamiz $d_1=e_1- e_{nc}$. Yonish mahsulotlari eksergiyasi e quyidagicha aniqlanadi:

$$e_{n.c} = c_{pn.c}(T_{naz} - T_0) - T_0\left[c_{pn.c}\ln\left(\frac{T_{naz}}{T_0}\right) - R_{n.c}\ln\left(\frac{p_{n.c}}{p_0}\right) - \sum R_i \ln\left(\frac{1}{r_i}\right)\right] =$$

$$= I_{naz} - T_0\left[c_{pn.c}\ln\left(\frac{T_{naz}}{T_0}\right) - R_{n.c}\ln\left(\frac{p_{n.c}}{p_0}\right) - \sum R_i \ln\left(\frac{1}{r_i}\right)\right]$$

bu yerda, I_{naz} – yonish mahsulotlarining nazariy entalpiyasi, kJ/kg; T_{naz} – nazariy yonish temperaturasi, K; c_{pnc} – yonish mahsulotlarining o'rtacha issiqlik sig'imi; R_{nc} – yonish mahsulotlarining gaz doimiysi; R_i va r_i – yonish mahsulotlar komponentlarining mos ravishda gaz doimiysi va hajmiy ulushi.

Yonish jarayonining eksergetik foydali ish koeffitsiyenti quyidagicha:

$$\eta_{ex}^{\Gamma} = \frac{e_{n.c}}{e_1} = \frac{e_1 - d_1}{e_1} \qquad (11.84)$$

atmosfera bosimida η_{ex}^{Γ} ning qiymati 0,45 dan (sanoat qozonlari va o'txonalari uchun) 0,7 gacha (zamonaviy bug' generatorlar uchun) o'zgaradi. Yonish jarayonining bosimi ortganda η_{ex}^{Γ} kattalik ham ortadi, masalan, gaz turbinalari uchun $\eta_{ex}^{\Gamma} = 0{,}55 \ldots 0{,}6$.

Yoqilg'i o'txona va issiqlik, bug' generatorlarida yonganda issiqlik oqimi yonish mahsulotlaridan isitilayotgan jismga o'tadi. Bu jarayonning unumdorligi nafaqat yonish mahsulotlari eksergiyasi kamayishiga ΔE_{nc}, balki isitilayotgan jism eksergiyasining ΔE_{nc} ortishiga ham bog'liq. Shuning uchun bu jarayonning eksergetik foydali ish koeffitsiyenti quyidagicha:

$$\eta_{ex}^{TП} = \frac{\Delta E_{n.m}}{\Delta E_{n.c}} = \frac{E_{qn.m}}{E_{qn.c}} = \frac{E_{qn.c} - D}{E_{qn.c}} \qquad (11.85)$$

va

$$\eta_{ex}^{TП} = \frac{e_{qn.c} - d}{e_{qn.c}} \qquad (11.86)$$

uning qiymati temperatura o'sishi bilan ortib, zamonaviy bug' generatorlari uchun 0,8...0,85 ga yetadi.

1 kg yoqilg'i yonishida olingan yonish mahsuloti issiqlik oqimining eksergiyasi:

$$e_{qn.c} = I_T\left(\frac{1-T_0'}{T_T}\right) \qquad (11.87)$$

bu yerda, $I_T = Q_n^p\eta_t + Q_B + Q_T$ – nazariy entalpiya, kJ/kg; $T_T = \left[I_T/\left(\sum v_i c_{PTi}\right)\right] + 273$ - yonishning nazariy temperaturasi, K; η_t – yonish kamerasining foydali ish koeffitsiyenti; Q_B va Q_T – yonish kamerasiga havo va yoqilg'i bilan kirayotgan issiqlik, kJ/kg.

Bu formulalardan ko'rinib turibdiki, havo ko'proq qizishi bilan (Q_B) e_{qnc} ortadi, chunki I_T va T_T ham ko'payadi.

Havoni kislorod bilan to'yintirish yonish mahsulotlari miqdorini kamaytiradi (undagi azot miqdori kamayadi) va demak, T_T ortadi. Yoqilg'i yonishidagi α havo ortiqchalik koeffitsiyentining kamayishi T_T ni ortishiga olib keladi, chunki bunda yonish mahsulotlarining miqdori kamayadi. (11.87) formulaga binoan, bu ikkita tadbir e_{qnc} ni ortishiga olib keladi va demak, issiqlikni yonish mahsulotlaridan qizdirilayotgan jismga uzatilishida eksergetik yo'qotilishlar d ni kamaytiradi. Lekin havoni kislorod bilan to'yintirish qo'shimcha energiya sarfini talab etadi, bu esa EKTSni eksergetik tahlilida e'tiborga olinmaydi. Havoni dastlabki qizdirish va uni kislorod bilan to'yintirish afzalligi texnik-iqtisodiy hisoblardan ma'lum bo'ladi.

11.11. EKTS tahlili va termodinamik optimallash

EKTS ni eksergetik tahlilini suyuq fosfat olish siklon qurilmasi misolida ko'raylik [61]. 11.8-rasmda ftorsiz suyuq fosfat va energetik bug' olish siklonli energotexnologik qurilmasining sxemasi, 11.9-rasmda esa shu qurilmaning eksergetik balans oqimlari diagrammasi berilgan. Qurilmaning asosiy mahsulot bo'yicha (1723K temperaturali ftorsiz fosfat) unumdorligi – 10 t/soat; yordamchi mahsulot bo'yicha (10,6 MPa bosimli va 783K temperaturali qizigan suv bug'i) unumdorligi 15 t/soat.

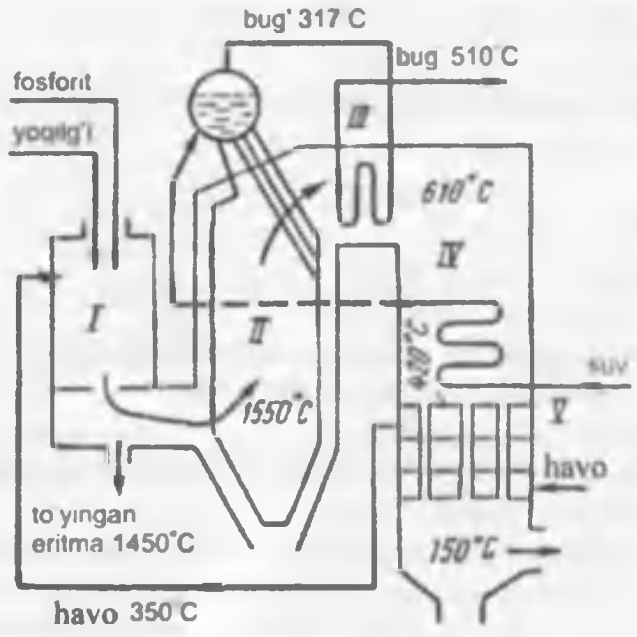
Uzatiluvchi suv temperaturasi 488K, yoqilg'i – tabiiy gaz $Q_n^p = 35{,}8\ MJ/m^3$; havoni isitish temperaturasi 623K; ishlatib bo'lingan gaz temperaturasi 323K.

Eksergetik balans hisobi yonish mahsulotlarining nol eksergiyasini e'tiborga olmasdan bajarildi, natijada olingan qiymatlar aniqligi 97% ni tashkil etdi.

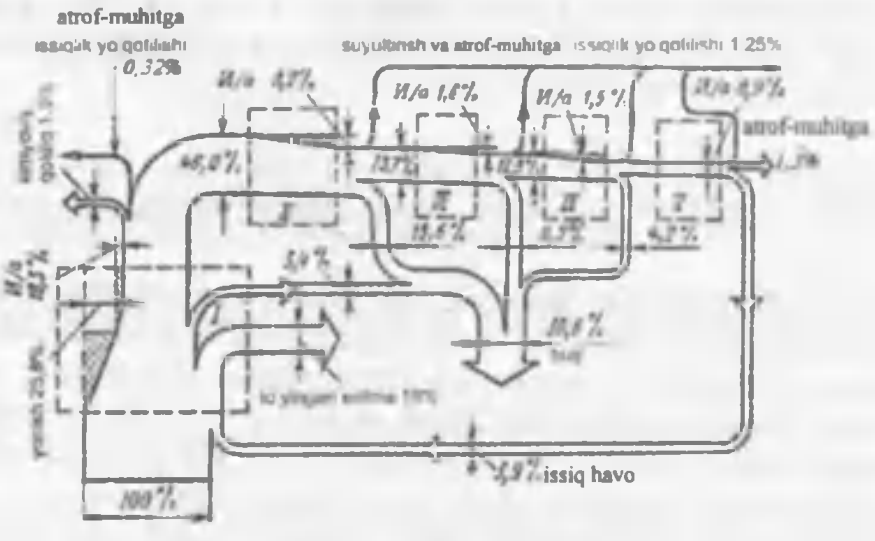
11.9-rasmdan, butun qurilma uchun o'sha parametrli fosfat va bug' alohida-alohida ishlab chiqarilganida qurilmaning umumiy foydali ish koeffitsiyenti 36% bo'ladi. Foydali ish koeffitsiyenti kamayishiga sabab, ko'rsatilgan mahsulotlar birgalikda ishlab chiqarilganida asosiy eksergetik yo'qotilishlar (issiqlik almashinishdagi qaytmaslik tufayli) anchagina kamayadi. Chunki texnologik zanjirning boshida yuqori temperaturali texnologik jarayon – siklonda fosfat olish joylashadi; bunga siklonning boshqa elementlarga nisbatan eng kichik eksergetik foydali ish koeffitsiyentiga (37,8%) egaligi ta'sir etmaydi; siklonda termodinamik jihatdan eng mukammal bo'lmagan jarayon – yoqilg'i yonishi amalga oshadi.

Energetik balans bo'yicha qurilmaning foydali ish koeffitsiyenti

$$\eta_t^y = 27{,}4 + 63{,}5 = 90{,}9\%.$$



11.8-rasm. Ftorsiz fosfat olish EKTS sxemasi
I-siklon; II-radiatsion kamera; III-bug' isitkich;
IV-ekonomayzer; V-havo isitkich.



11.9-rasm. Ftorsiz fosfat olish EKTS eksergetik balans oqimlarining diagrammasi.

$$\eta_{ex}^{p} = 16,6 + 30,6 = 47,2\%$$

energetik balans bo'yicha yuqori unumdorli qurilma haqida tasavvur hosil bo'ladi, bu esa haqiqatan yiroq. Eksergetik va energetik balanslardan olingan natijalarni taqqoslashdan ma'lum bo'ldiki, energetik balans EKTS dagi energiya o'zgarish sabablarini yoritmaydi va qurilma hamda uning elementlarini to'g'ri baholash imkonini bermaydi.

11.12. Jarayon va qurilmalar eksergiyasini hisoblash

11.1-misol. Ikki bosqichli kompressorda freon – 12 tipidagi sovuqlik eltkich r_1=0,15MPa bosimgacha siqilyapti. Birinchi bosqichdan so'ng, freon oraliq sovutkichga

yuborilmoqda; ajratilib olinadigan issiqlikdan foydalanilmaydi. Kompressorning ikkala bosqichining adiabatik foydali ish koeffitsiyenti η_{ad}=0,8. Birinchi bosqichga kirishdan avvalgi freonning parametrlari:

$$r'_1=0{,}15 \text{ MPa}, T'_1=263\text{K}, i_1=569{,}4 \text{ kJ/kg}, e'_1=-23 \text{ kJ/kg}.$$

Birinchi bosqichdan so'ng p''_1=0,7MPa, T''_1=331K, h''_1=506,0 kJ/kg, i''_1=6,62 kJ/kg, e'_1=-23 kJ/kg. Ikkinchi bosqichga kirishdagi parametrlari esa: p'_2=0,6MPa, T'_2=298K, i'_2=586,1 kJ/kg, e'_2=2,3 kJ/kg. Ikkinchi bosqichdan keyingi parametrlar quyidagicha: p''_2=1,2MPa, T''_2=343K, i_2=608,1kJ/kg, e''_2=16,1 kJ/kg.

1 kg sovuq eltkichni siqishga sarflangan ish:

$$l=(i''_1-i'_1)+(i''_2-i'_2)=(606-569{,}4)+(608{,}1-586{,}1)=58{,}6 \text{ kJ/kg}.$$

Eksergetik balans tenglamasi:

$$e''_2-e'_1+d=l$$

yuqoridagi tenglamadan to'liq eksergetik yo'qotilishlarni aniqlaymiz:

$$d=l-\Delta e=58{,}6-(16{,}1+23)=19{,}5 \text{ kJ/kg}$$

Bu yo'qotilish ichki va tashqi yo'qotilishlardan iborat. Tashqi yo'qotilishlarga oraliq sovutkichda issiqlik tarqalish bilan bog'liq eksergetik yo'qotilishlar kiradi, ya'ni $d_e=e''_2-e'_2$=6,62-2,3=4,32 kJ/kg .

Ichki yo'qotilishlar $d_i=d-d_e$= 19,5-4,32=15,18 kJ/kg ga teng ayirma bilan aniqlanadi.

Ichki yo'qotilishlarni tahlil qilish va texnik d_T hamda shaxsiy d_c yo'qotilishlarni aniqlash uchun siqish jarayoni $S=const$ chiziq bo'yicha amalga oshadigan va oraliq sovutkichda bosim yo'qotilishi bo'lmagan, ikki bosqichli kompressor qurilmasini ko'rib chiqamiz. Bunday sharoitda freon–12 ning birinchi bosqichdan keyingi parametrlari: p''_1=0,7MPa, i''_1=598,3 kJ/kg, e''_1=5,9 kJ/kg; ikkinchi bosqichga kirishda p''_2=0,7 MPa, T''_2=303K, i'_2=588,2 kJ/kg, e'_2=5,2 kJ/kg va ikkinchi bosqichdan so'ng p''_2=1,2 MPa, i''_2=597,6 kJ/kg, e'_2=14,6 kJ/kg.

Siqishga sarflangan ish:

$$l_{id}=i''_2-i'_1+l''_2-i'_2=598{,}3-569{,}4+597{,}6-588{,}2=38{,}3 \text{ kJ/kg}$$

Eksergiyani qurilmada ortishi:

$$\Delta i=14{,}6-(-23)=37{,}6 \text{ kJ/kg}$$

Eksergiya yo'qotilishi:

$$d=l_{iz}-\Delta i=0{,}7 \text{ kJ/kg}$$

Oraliq sovutkichdan olinayotgan eksergiya:

$$\Delta e_{oma} = e'_2 - e'_2 = 5{,}9 - 5{,}2 = 0{,}7\ kJ/kg$$

Shunday qilib, tashqi eksergiya yo'qotilishi d_e=0,7 kJ/kg. Ideal qurilma tahlil qilinayotgani uchun, texnik eksergiya yo'qotilishlari yo'q. Shuning uchun $d_e = d_c$ haqiqiy qurilmaning ichki yo'qotilishlarini d_i ideal qurilmaning shaxsiy yo'qotilishlari d_c bilan solishtirib, bir me'yorda siqmaslik va gidravlik qarshiliklar tufayli paydo bo'layotgan umumiy texnik yo'qotilishlarni aniqlash mumkin:

$$d_T = d_i - d_c = 15{,}18 - 0{,}7 = 14{,}48\ kJ/kg\ .$$

11.2-misol. Freon – 13 da ishlovchi sovitish qurilmasining detanderida ishchi eltkich $p_1 = 0{,}098\ MPa$ bosimdan $p_2 = 0{,}0331\ MPa$ bosimgacha kengaymoqda. Bunda temperatura $T_1 = 0$ dan $T_2 = -20^0C$ gacha o'zgarmoqda. Freon – 13 ning *e-i* diagrammasidan [55] $i_1 = 530{,}9\ kJ/kg$, $l_1 = 71{,}17\ kJ/kg$, $i_2 = 519{,}2\ kJ/kg$, $l_2 = 97{,}1\ kJ/kg$.

Detanderda bajarilgan ish $l = 530{,}9 - 519{,}2 = 11{,}7\ kJ/kg$.

Sovuqlik eltkichi eksergiyasining ortishi

$$\Delta l = l_1 - l_2 = 71{,}17 + 97{,}1 - 11{,}7 = 14{,}23\ kJ/kg$$

teng.

Detanderdagi jarayon ideal bo'lganda ($S = const$ da kengayish) freon-13 entalpiyasi va eksergiyasi chiqishda mos holda $i_{2a\partial} = 504{,}5\ kJ/kg$, $l_{2a\partial} = 100{,}5\ kJ/kg$. U holda detanderning eksergetik quvvati:

$$N_{e a\partial} = 530{,}9 - 504{,}5 + 100{,}5 - 71{,}17 = 55{,}73\ kJ/kg$$

Eksergiya yo'qotilishi

$$d = -71{,}17 + 100{,}5 - 26{,}4 = 2{,}93\ kJ/kg.$$

Bu yerda eksergetik yo'qotilishlar ichki yo'qotilishlardan iborat va haqiqiy detander ishlaganda texnik d_m=14,23+2,93=11,3 kJ/kg va shaxsiy d_c=2,93 kJ/kg yo'qotilishlarga bo'linishi mumkin. *Freon–13* ning xususiyatlari bilan bog'liq minimal eksergiya yo'qotilishi shaxsiy yo'qotilishlardan d_c kam bo'lishi mumkin emas.

11.3-misol. Sovitish qurilmasining bug'latkichiga atrof-muhit temperaturasidan ancha past temperaturali sovitish eltkichi kirmoqda. Atrof-muhitdan issiqlik kelishi hisobiga u bug'lanadi. Sovitish kamerasida atrof-muhit temperaturasidan ancha past miqdordagi temperatura saqlanadi. Bu kameraning eksergetik balansi:

$$E' - E'' = Q_0 \bar{\tau}_e + \sum D$$

bu yerda, E' va E'' – kameraga kirish va undan chiqishdagi sovutuvchi eltkichning eksergiyalari; Q_e – uzatilayotgan issiqlik; $\bar{\tau}_e$ – eksergetik temperatura funksiyasi.

Faraz qilaylik, sovitish uchun freon–12 ishlatilayotgan bo'lsin. Bug'latkichga kirishdagi uning parametrlari:

$$T_{0.s} = 293K,\ i' = 529{,}08\ kJ/kg,\ s = 1{,}245 kJ/(kg \cdot K),\ e' = 199{,}58\ kJ/kg.$$

Freonning qaynash temperaturasi 243K, sovitish kamerasida 248K temperatura hosil qilinmoqda.

Bug'latkichdan chiqishdagi freonning parametrlari

$p''=0,1013MPa$, $T''=243K$, $i''=541,81\ kJ/kg$, $c''=1,5882\ kJ/(kg\cdot K)$, $e''=176,47kJ/kg$.

1 kg freon – 12 dan olinayotgan issiqlik miqdori $Q_0=112,73\ kJ$.

To'liq eksergiya yo'qotilishi:

$$\sum D=(199,58-176,47)-112,73\cdot\left(\frac{293}{248}-1\right)=2,65\ kJ/kg$$

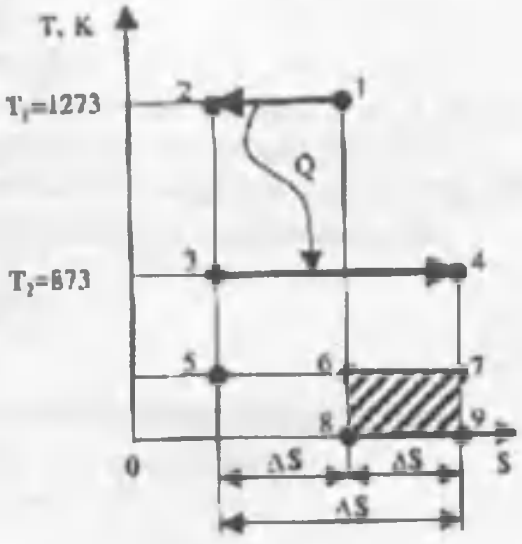
Bu yo'qotilish qaynayotgan freon va sovitish kamerasidagi temperaturalar farqi tufayli paydo bo'layotgan *shaxsiy eksergetik** yo'qotilishdan iborat.

11.4-misol. Temperatura t_1=1000°C bo'lganda Q=750 kJ issiqlikning eksergiyasi va temperaturasi t_2=600°C li jarayonidagi eksergetik yo'qotilishlarini aniqlang. Atrof-muhit temperaturasi t_0=17°C.

Eksergiya miqdori va uning yo'qotilishlari ***T-S*** diagrammada sxematik ravishda 11.10-rasmda tasvirlang.

Yechish: Issiqlik eksergiyasi

$$E_{iss}=Q\cdot\left(1-\frac{T_0}{T_1}\right)=750\cdot\left(1-\frac{290}{1273}\right)=518\ kJ$$



11.10-rasm. Eksergiya miqdori va uning yo'qotilishlarini T–S diagrammadagi tasviri.

Issiqlikning yuqori temperaturali jismdan temperaturasi past jismga qaytmas o'tishi natijasida eksergetik yo'qotilishlar quyidagicha topiladi:

$$\Pi=T_0\Delta S_c=T_0(\Delta S_1+\Delta S_2)=T_0\cdot\left(-\frac{Q}{T_1}+\frac{Q}{T_2}\right)=$$

$$=290\cdot\left(-\frac{750}{1273}+\frac{750}{873}\right)=58,8\ kJ$$

T-S diagrammadagi 1-2-5-6-1 yuza t_1=1000°C (1273K) dagi issiqlikning eksergiyasini ifodalaydi.

6-7-9-8-6 yuza esa temperaturasi t_2=600°C bo'lgan jismga issiqlikning o'tishi bilan bog'liq eksergetik yo'qotilishlar.

11.5-misol. Massaviy sarfi M=24 kg/s bo'lgan sanoat isitkichida temperaturasi t_1=45°C li suv t_2=72°C gacha absolyut bosimi p=0,07 MPa li isituvchi bug' yordamida

* shaxsiy eksergetik yo'qotishlar d_c – faqat haqiqiy qurilma va mashinalarda ro'y beradi.

qizdirilmoqda. Lekin korxonada ushbu bosimli bug' bo'lmagani uchun yuqori bosimli, ya'ni p'=0,3 MPa bug' ishlatilmoqda. Isitkichning loyiha va haqiqiy bug' bosimlari uchun termodinamik xarakteristikalarini aniqlang. Atrof-muhitga issiqlikning yo'qotilishi inobatga olinmasin.

Yechish: Isitkichning energetik balansi ikkala rejim uchun issiqlik yuklamani xarakterlaydi:

$$Q = \Delta H = mc_p(t_2 - t_1) = 24 \cdot 4{,}19 \cdot (72 - 45) = 2700 \text{ kVt}$$

Isituvchi bug'ning sekundli sarfi

$$D = \frac{Q}{h_п - h_к}$$

bu yerda, $h_п$ va $h_к$ – isituvchi bug' va kondensatlarning solishtirma entalpiyalari.

Isituvchi bug'ni quruq, to'yingan va kondensatni to'yinish temperaturasidan 2^0C ga ko'proq sovutilgan deb hisoblab, quyidagilarni topamiz:

loyihalanayotgan rejimda (p=0,07 MPa)

$$D = \frac{2700}{2666 - 376} = 1{,}18 \text{ kg/s}$$

haqiqiy rejimda (p'=0,3 MPa)

$$D' = \frac{2700}{2726 - 562} = 1{,}25 \text{ kg/s}$$

Isitkichning eksergetik balansini tashkil etuvchilar.

isitilayotgan suv eksergiyasining o'sishi

$$\Delta Ex_b = \Delta H_b - T_0 \Delta S_b = 24 \cdot (113 - 288 \cdot 0{,}343) = 340 \text{ kVt}$$

loyiha rejimida isituvchi bug' eksergiyasining kamayishi

$$\Delta Ex_п = 1{,}18 \cdot (2290 - 288 \cdot 6{,}3) = 560 \text{ kVt}$$

haqiqiy rejimda

$$\Delta Ex'_п = 1{,}25 \cdot (2180 - 288 \cdot 5{,}3) = 800 \text{ kVt}$$

tegishli eksergetik yo'qotilishlar

$$П = 560 - 340 = 220 \text{ kVt}; \quad П' = 800 - 340 = 460 \text{ kVt}$$

Isitkich f.i.k.

$$\eta = \frac{340}{560} = 0{,}61; \quad \eta' = \frac{340}{800} = 0{,}43$$

ya'ni loyiha rejimidan chetga chiqilsa, isitkichning eksergetik f.i.k. taxminan 30% ga kamayadi.

Loyiha rejimidan chetga chiqilganda eksergetik yo'qotilishlar o'sishi quyidagiga teng:

$$\Delta П = П' - П = 460 - 220 = 240\ \text{kVt}$$

Yoqilg'ining ortiqcha sarfi

$$\Delta B = \frac{\Delta П}{Q_H^P}$$

bu yerda, $Q_H^P = 29300$ kJ – shartli yoqilg'ining yonish issiqligi.

Shartli yoqilg'ining bir sutkadagi ortiqcha sarfi:

$$\Delta B = \frac{240 \cdot 3600 \cdot 24}{29300} \approx 700\ \text{kg}$$

11-bob. Kimyo sanoatining energotexnologiya asoslari bo'yicha Mustaqil tayyorlanish va qaytarish uchun savollar

1. Energotexnologiya nima?
2. Entropiya usulining mohiyati nimada?
3. Eksergiya usulining mohiyati nimada?
4. Effektiv foydali ish koeffitsiyenti nimani ifodalaydi?
5. Eksergiyaning qanday turlari mavjud?
6. Eksergetik foydali ish koeffitsiyenti qanday topiladi?
7. Kimyoviy eksergiya ta'rifini bering.
8. Issiqlik oqimi eksergiyasini ta'riflang.
9. Nurlanish eksergiyasining ta'rifini bering
10. Eksergetik yo'qotilishlar nima va uni aniqlash formulasini yozing?
11. Yoqilg'i yonish jarayoni uchun Grossman-Shargut diagrammasini chizing va izohlab bering.
12. Jarayon va qurilmalar eksergiyalarini hisoblash ketma-ketligi.

I L O V A L A R

I1. Fizik kattaliklar o'lchov birliklar sistemasi

Butun dunyoda XX asrning o'rtasigacha bir nechta o'lchov sistemasi mavjud edi: MKGSS – metr, kilogramm – kuch va sekundaga asoslangan texnik sistema; SGS – santimetr, gramm va sekundaga asoslangan metrik sistema; MTS – metr, tonna, sekunda hamda turli sistemasiz birliklarga asoslangan sistema.

O'lchov birlik sistemalarining ko'pligi juda katta noqulayliklar, fan, texnika va ishlab chiqarishning turli sohalarida xalqaro munosabatlarni qiyinlashtirgan.

1960-yili o'lchov va tarozilar XI bosh konferensiyasida Xalqaro birlik sistemasi (SI) qabul qilindi. Ushbu sistemaga o'tish mexanik, elektrik, issiqlik va boshqa fizik kattaliklarni o'lchashning bir xilligini ta'minlaydi, ularning aniqligini oshiradi va hisoblash formulalarini soddalashtiradi.

Xalqaro sistemasi (SI)da, asosiy o'lchov birliklari quyidagilar:

Uzunlik	metr (m)
Massa	kilogramm (kg)
Vaqt	sekunda (s)
Elektr toki kuchi	Amper (A)
Temperatura	Kelvin (K)
Yorug'lik kuchi	Kandela (kd)
Modda miqdori	mol

Undan tashqari, standartda yana ikkita qo'shimcha birliklar nazarda tutilgan:

Yassi burchak	radian (rad)
Fazoviy burchak	teradian (sr)

Kattaliklar orasidagi bog'liqlikni ifodalovchi hosilaviy birliklar o'lchamlari fizika tenglamalari yordamida aniqlanadi. Quyida keltirilgan I-1 jadvalda Xalqaro birliklar sistemasining asosiy, qo'shimcha va ko'p ishlatiladigan hosilaviy hamda boshqa sistemadagi birliklarning SI birliklariga o'tkazish koeffitsiyentlari keltirilgan.

Yuqorida keltirilgan nisbatlardan tashqari quyidagi birliklar tez-tez uchrab turadi: uzunlik – 1 mkm=10^{-6} m; Angstrem $\overset{o}{A}$ =10^{-10}m=10^{-8}sm=0,1 Nm; massa – 1 t =1000 kg, 1 sentner = 100 kg; temperatura – Farengeyt gradusi 1°F=[5/9(t-32)+273,15]K; t°C=(t+273,15)K; chastota 1 Gs = 1 s^{-1}; 1 ayl/s = 1 Gs.

Undan tashqari quyidagi birliklar ham qo'llanadi: 1 milya (qadimgi rus) = = 7,468 km; 1 milya (dengiz) = 1,852 km; 1 milya (quruqlik) = 1,609 km; 1 dyuym = =2,54 sm; 1 sarjin = 3 arshin = 7 fut = 2,1336 m; 1 arshin = 71,12 sm; 1 fut = 12 dyuym = 0,3048 m; 1 funt = 0,4536 kg; 1 funt-kuch = 4,448 Nyuton.

I-1 jadval

T/r	Kattalik	Birliklar sistemasi	Birlik nomi	SI sistemasiga o'tkazish koeffitsiyenti
1.	Uzunlik	SI, MKGSS SGS	Metr (m) Santimetr (sm)	- 10^{-2}
2.	Massa	SI MKGSS	Kilogramm (kg) Massaning texnik birligi (kgk·s^2/m)	- 9,81

		SGS Sistemadan tashqari birlik	Gramm (g) Sentner (s) Tonna (t) Karat (kar) Funt	10^{-3} 100 10^{3} $2 \cdot 10^{-4}$ 0,454
3.	Kuch	SI MKGSS SGS	Nyuton (N) Kilogramm-kuch (kgk) Dina (din)	- 9,81 10^{-5}
4.	Bosim	SI MKGSS SGS Sistemadan tashqari birlik	Paskal (Pa) Nyuton kvadrat metrga (N/m^2) Kilogramm kuch kvadrat metrga (kgk/m^2) Dina kvadrat santimetrga (din/sm^2) Bar (bar) Texnik atmosfera (atm.) Millimetr suv ustuni (mm.suv.ust.) Millimetr simob ustuni (mm.sim.ust)	- - 9.81 10^{-1} 10^{5} $9,81 \cdot 10^{4}$ 9.81 133,3
5.	Dinamik qovushoqlik	SI MKGSS SGS	Paskal – sekund (Pa·s) Nyuton – sekund kvadrat metrga ($N \cdot s/m^2$) Kilogramm-kuch-sekund kvadrat metrga ($kgk \cdot s/m^2$) Dina-sekund kvadrat metrga ($dina \cdot s/m^2$) Puaz (P) Santipuaz (sP)	- - 9,81 10^{-1} 10^{-1} 10^{-3}
6.	Kinematik qovushqoqlik	SI MKGSS SGS	Kvadrat metr sekundga (m^2/s) Kvadrat metr soatga ($m^2/soat$) Stoks (St) Santistoks (sSt)	- $2,78 \cdot 10^{-4}$ 10^{-4} 10^{-6}
7.	Sirtiy taranglik	SI SGS 	Nyuton metrga (N/m) Joul kvadrat metrga (J/m^2) Dina santimetrga (din/sm) Erg santimetrga (erg/sm)	- - 10^{-3} 10^{-3}
8.	Issiqlik sig'im	SI Sistemadan tashqari birlik	Joul kilogramm-gradusga (J/kg·K) Kilokaloriya kilogramm-gradusga [kkal/(kg·K)]	- 4190

9.	Issiqlik o'tkazuvchanlik	SI Sistemadan tashqari birlik	Joul-metr-soat-gradusga [J/(m·soat·grad)] Vatt metr-gradusga [Vt/(m·K)] Kilokaloriya metr-soat-gradusga [kkal/(m·soat·grad)]	- - 1,163
10.	Ish energiyasi	SI MKGSS SGS Sistemadan tashqari birlik	Joul (J) Kilogramm-kuch-metr (kgk·m) Erg (erg) Kilovatt-soat (kVt·soat) ot kuch·soat(o.k.·soat)	- 9,81 10^{-7} $3,6 \cdot 10^6$ $2,65 \cdot 10^6$
11.	Quvvat	SI MKGSS SGS	Vatt (Vt) Kilogramm-kuch-metr sekundga (kgk·m/s) Erg sekundga (erg/s) Ot kuchi (o.k.) Kilokaloriya soatga (kkal/soat)	- 9,81 10^{-7} 736 1,16
12.	Issiqlik miqdori	SI Sistemadan tashqari birlik	Joul (J) Kilokaloriya (kkal)	- 4190
13.	Issiqlik berish, o'tkazish	SI Sistemadan tashqari birlik	Vatt metr kvadrat-gradusga [Vt/(m^2 K)] Kilokaloriya kvadrat metr-soat-gradusga [kkal/(m^2·soat·K)]	- 1,163
14.	Vaqt	SI Sistemadan tashqari birlik	Sekunda (s) Soat Sutka Yil	- 3600 86400 $3,16 \cdot 10^6$
15.	Tezlik	SI Sistemadan tashqari birlik	Metr sekundga (m/s) Kilometr soatga (km/soat)	- 0,278
16.	Aylanish chastotasi	SI Sistemadan tashqari birlik	Aylanish sekundaga (1/s) Aylanish minutga (ayl/min)	- 1/60

I2. Asosiy konstruksion materiallar va ularni tanlash

Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarining qurilmalarini loyihalash jarayonida paydo bo'ladigan qurilmani tarkibiy qismlari uchun loyiq va mos materiallarni tanlash eng asosiy va o'ta mas'uliyatli masalalardan biridir [28,131].

Materiallarni tanlashda ularning quyidagi asosiy xususiyatlari hisobga olinishi kerak [132]:

– mustahkamligi;

– zichligi - ρ = 6600...7700 kg/m^3;
– erish temperaturasi - t_{er} = 1050...1573 K;
– issiqlik o'tkazuvchanligi - λ = 25...59 Vt/m·K;
– solishtirma issiqlik sig'imi - c_p = 0,5...4,5 kJ/kg·K;
– chiziqli kengayish koeffitsiyenti - χ = (16,7...17,6)·10^{-6} 1/K.

Cho'yanlar narxi past va o'rtacha mexanik xossalarga ega bo'lgani uchun texnikaning turli sohalarida keng qo'llanishiga olib keldi.

PO'LAT. Bu materialsiz texnika hozirgi kundagi yuqori mavqeiga erishmagan bo'lardi. Bunga sabab, po'latning mustahkamligi, dinamik yuklamalarga bardoshligi, quyilish, bolg'alanish, shtamplash va payvandlanish qobiliyatiga egaligi, stanoklarda qayta ishlanishga moyilligi, arzonligi va mo'lligidir

Po'latlarda uglerod miqdori 1,5% gacha bo'lsa, konstruksion po'latlarda esa 0,7% dan ortmaydi.

Po'latlarning fizik xossalari quyidagi ko'rsatkichlar bilan xarakterlanadi:
– zichligi - ρ = 7790...7900 kg/m^3;
– erish temperaturasi - t_{er} = 1400...1500 K;
– issiqlik o'tkazuvchanligi - λ = 46,5...58,2 Vt/m·K;
– solishtirma issiqlik sig'imi - c_p = 0,454 kJ/kg·K;
– chiziqli kengayish koeffitsiyenti - χ = (11,7...12,3)·10^{-6}1/K.

Legirlovchi qo'shimchalar ta'siri. Muhim legirlovchi elementlarga quyidagilar kiradi: xrom, nikel, molibden, marganes, kremniy, titan, niobiy, volfram, vanadiy. Ayrim hollarda aluminiy va mislar ham qo'shimcha sifatida po'latlarga qo'shiladi.

Kimyoviy tarkibiga ko'ra, po'latlar uglerodli va legirlangan turlarga bo'linadi. Bu elementlar po'lat sifatini yaxshilaydi va maxsus xossali qiladi.

Legirlangan po'latning kimyoviy tarkibi uchun yagona shartli belgilar (harf va raqamlar) qabul qilingan.

Dastlabki ikki raqam uglerodning o'rtacha miqdorini (konstruksion po'lat uchun foizning yuzdan bir ulushi miqdorida, asbobsozlik va zanglamaydigan po'latlar uchun foizning o'ndan bir ulushi miqdorida); harflar legirlovchi elementlarni (jadvalga qarang); harflarning o'ng tomonidagi raqamlar esa elementlarning o'rtacha miqdorini ko'rsatadi.

I-3 jadval

Po'lat komponentlarining shartli belgilari

Nomi	Shartli belgilari	Nomi	Shartli belgilari
Aluminiy	Ю	Mis	Д
Bor	Р	Molibden	М
Vanadiy	Ф	Nikel	Н
Voltram Kobalt	В	Niobiy	Б
Kremniy	К	Titan	Т
Marganes	С	Uglerod	У*
	Г	Xrom	Х

U* - uglerodli asbobsozlik po'latlar markalarida.

Masalan, X18H12M2T markali po'latda 18% xrom, 12% nikel, 2% molibden va 1% ga yaqin titan borligini ko'rsatadi.

YUQORI LEGIRLANGAN PO'LAT. Tarkibida 18-20% xrom va 8-10% nikel bo'lgan po'latlar yuqori legirlangan po'latlar deb yuritiladi. Ular korroziya va issiqlikka bardoshligi, mustahkamliligi uchun turli sanoatlarda keng qo'llanilmoqda.

Hozirgi kunda mamlakatimiz korxonalarida qurilmalarni yasashda quyidagi legirlangan po'latlar ishlatiladi: 1X18H9T, 1X18H11Б, X16H25M6, XH35BT, X22H26, 1X18H12M2T, 1X18H12M3T, X18H9T va boshqalar.

Yuqorida qayd etilgan po'latlarning fizik xossalari:

– zichligi - ρ = 7900 kg/m^3;
– erish temperaturasi - t_{er} = 1400°C;
– issiqlik o'tkazuvchanligi - λ = 14...18 Vt/m·K;
– issiqlik sig'imi - c_p = 0,475...0,650 kJ/kg·K;
– chiziqli kengayish koeffitsiyenti - χ = 17,3·10^{-6} 1/K.

RANGLI METALLAR. Kimyo sanoatida rangli metallardan aluminiy, mis, nikel, qo'rg'oshin, titan, tantallar qurilmalar yasashda qo'llaniladi. Rangli metallardan yasalgan qurilma devorlarining temperaturasi quyidagidan oshmasligi kerak:

Aluminiy uchun - 200°C
Mis va uning qotishmalari uchun - 250°C
Nikel uchun - 500°C
Qo'rg'oshin uchun - 140°C
Tantal uchun - 1200°C

ALUMINIY – kumushsimon, oq, yengil va bolg'alanuvchan, korroziyaga bardoshli metaldir. Kimyoviy qurilmalarni yasashda AOO(99,7%), AO(99,7%), A1(99,5%), A2(99,0%) hamda uning AD1, AD2 qotishmalari ishlatiladi.

Aluminiyning turli markalari quyidagi fizik xossalarga ega:

– zichligi - ρ = 2700 kg/m^3;
– erish temperaturasi - t_{er} = 675...950°C;
– issiqlik o'tkazuvchanligi - λ = 206...218 Vt/m·K;
– solishtirma issiqlik sig'imi - c_p = 0,913 kJ/kg·K;
– chiziqli kengayish koeffitsiyenti - χ = 2,4·10^{-6} 1/K.

Agressiv muhitlar ta'siriga aluminiy juda chidamli, shu jumladan konsentrlangan azot, fosfor va sirka kislotalar, quruq xlor va vodorod xloridlar, oltingugurt bug'lariga ham uzoq muddat davomida bardosh bera oladi.

MIS – pushti-qizil rangli metall. Eng qimmat, konstruksion materiallardan biri bo'lib, texnik toza holda 5 xil markada ishlab chiqariladi. Kimyoviy qurilmalarda, asosan M2 (99,7%) va M3 (99,5%) markalari keng miqyosda ishlatiladi.

Misning xossalari quyidagi ma'lumotlar bilan xarakterlanadi:

– zichligi - ρ = 8980 kg/m^3;
– erish temperaturasi - t_{er} = 1083°C;
– issiqlik o'tkazuvchanligi - λ = 1596...2233 Vt/(m·K);
– solishtirma issiqlik sig'imi - c_p = 0,44...0,62 kJ/(kg·K);
– chiziqli kengayish koeffitsiyenti - χ = 16,7...22,3?10^{-6} 1/K.

Mis aluminiyga o'xshab himoya qiluvchi oksid qoplama hosil qilmaydi. Shuning uchun, kislota va tuzlarga nisbatan korrozion chidamlikka ega emas. Lekin past va kriogen temperaturalarda mustahkamligi ortib boradi. Masalan, -196°C da misning mustahkamlik chegarasi 20 dan 38 kg/mm^2 gacha ortadi.

O'ta past temperaturalarda ishlaydigan qurilmalar uchun mis kabi konstruksion materialni hech qanday material o'rnini bosa olmaydi.

QO'RG'OSHIN – ko'kimtir, kulrang, bolg'alanuvchan metall. Bir paytlar, bu material qurilmalar qurishda katta va muhim ahamiyatga ega bo'lgan. Bunga sabab, unda tuz va sulfat kislotaga nisbatan chidamli himoya qoplamasining hosil bo'lishidir. Lekin uning juda yumshoqligi, oson va past temperaturada erishi, katta zichligi va qimmatligi borgan sari kamroq qo'llanishiga sabab bo'lmoqda.

Hozirgi kunda uning o'rniga zamonaviy temir qotishmalar ishlatilmoqda. Sanoatda qo'rg'oshinning 6 xili CB, C_O, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 markalari keng qo'llaniladi. Ular tarkibidagi qo'rg'oshin miqdori 99, 90...99, 95%. qo'rg'oshin quyidagi fizik xossalarga ega:

– zichligi - ρ = 10130...11350 kg/m^3;
– erish temperaturasi - t_{er} = 327°C;
– issiqlik o'tkazuvchanligi - λ = 14,9...34,9 Vt/(m·K);
– solishtirma issiqlik sig'imi - c_p = 0,13 kJ/(kg·K);
– chiziqli kengayish koeffitsiyenti - $\chi = (12,3...14,9)\cdot10^{-6}$ 1/K.

Qo'rg'oshinni sanoatda qo'llashda shuni nazarda tutish kerakki, uning mustahkamligi juda pastdir.

NIKEL – kumushsimon, oq metall, qiyin eriydi va havoda o'zgarmaydi. Kimyo sanoatining qurilmalari uchun (N0 markali 99,99%) nikel ishlatiladi. U juda mustahkam, issiqlik va korroziyaga chidamli va yaxshi texnologik xossali bo'lgani sababli mashinasozlikda ko'p ishlatiladi. Nikelning fizik xossalari quyidagicha:

– zichligi - ρ = 8830...8850 kg/m^3;
– erish temperaturasi - t_{er} = 1452°C;
– issiqlik o'tkazuvchanligi - λ = 55,0...56,0 Vt/(m·K);
– solishtirma issiqlik sig'imi - c_p = 0,575...0,586 kJ/(kg·K);
– chiziqli kengayish koeffitsiyenti - $\chi = (18,2...18,3)\cdot10^{-6}$ 1/K.

TITAN – kumush rang, yengil, qiyin eruvchan metall. Zichligi po'latnikidan 2 marta kam bo'lishiga qaramasdan, uning mustahkamligi po'latnikiga tengdir. Titan azot, fosfor, xrom va sirka kislotalariga, nitrit, nitrat, xlorid va sulfidlarga nisbatan kimyoviy chidamli. 200°C temperaturada gazlarni yutish qobiliyatiga ega. Titan 40%-li H_2SO_4 kislotasida qattiq korroziyaga uchraydi. Lekin shuni unutmaslik kerakki, titandan yasalgan qurilma, po'latdan yasalganga nisbatan 8...10 barobar qimmatdir. Titan quyidagi fizik xossalarga ega:

– zichligi - ρ = 4320...4500 kg/m^3;
– erish temperaturasi - t_{er} = 1710...1750°C;
– issiqlik o'tkazuvchanligi - λ = 15,1...19,4 Vt/(m·K);
– solishtirma issiqlik sig'imi - c_p = 0,543...0,635 kJ/(kg·K);
– chiziqli kengayish koeffitsiyenti - $\chi = (8,0...8,4)\cdot10^{-6}$ 1/K.

TANTAL – kulrang - oq metall. O'ta mustahkamligi va qiyin suyuluvchanligi bilan boshqa metallardan ajralib turadi. Undan tashqari, yuqori temperaturalarda, titanga nisbatan ko'proq gazlarni yutish qobiliyatiga ega. Tantal yaxshi bolg'alanuvchan, shtamplashga moyil, ichki ishqalanish koeffitsiyenti juda katta bo'lgan metalldir. U sulfat, azot, fosfor, vodorod xlorid kislotalariga hamda nitratlarga chidamli metalldir. Ammo natriy va kaliy ishqorlari ta'siriga yaxshi bardosh berolmaydi.

Tantal juda ham qimmat metall va u taxminan xrom-nikelli po'latdan 100 marta qimmatdir. Albatta, uni faqat o'ta agressiv muhitli qurilmalarda, ya'ni boshqa metallar kimyoviy bardosh berolmagan hollarda qo'llash maqsadga muvofiqdir. Tantal quyidagi fizik xossalarga ega:

– zichligi - ρ = 16440...16600 kg/m^3;
– erish temperaturasi - t_{er} = 3000°C;
– issiqlik o'tkazuvchanligi - λ = 48,0...100 Vt/(m·K);
– solishtirma issiqlik sig'imi - c_p = 0,136...0,2 kJ/(kg·K);
– chiziqli kengayish koeffitsiyenti - χ = (5...99)·10^{-6} 1/K.

LATUN – mis va ruxdan iborat qotishma. Ko'p komponentli latun tarkibiga mis va ruxdan tashqari, aluminiy, kremniy, qo'rg'oshin, nikel, temir, marganes va qalaylar kirishi mumkin.

Latun bosim ostida yaxshi ishlov beriladigan, ancha mustahkam, qayishqoqligi (plastikligi) yuqori va korroziyaga chidamli qotishma. Undan tashqari, latunning elektr o'tkazuvchanligi juda yuqori. Temperatura pasayishi bilan latunning xossalari yaxshi tomonga o'zgaradi. Kimyo sanoatida, qurilmalar yasashda L60, L62 va L68 markali latunlar keng qo'llaniladi.

Latunlar quyidagi fizik xossalarga ega:
– zichligi - ρ = 8500 kg/m^3;
– erish temperaturasi - t_{er} = 940°C;
– issiqlik o'tkazuvchanligi - λ = 105...116,3 Vt/(m·K);
– solishtirma issiqlik sig'imi - c_p = 0,385 kJ/(kg·K);
– chiziqli kengayish koeffitsiyenti - χ = 20·10^{-6} 1/K.

BRONZA – mis va qalaylardan iborat qotishma. Ushbu kimyoviy elementlardan tashqari, uning tarkibiga kremniy, aluminiy, berilliylar ham kirishi mumkin.

Bronza mustahkamligi, qayishqoqligi, korroziyaga bardoshligi, antifriksion xossalari bilan ajralib turadi.

Bu material ushbu fizik xossalari bilan xarakterlanadi:
– zichligi - ρ = 935...1140 kg/m^3;
– erish temperaturasi - t_{er} = 935...1140°C;
– issiqlik o'tkazuvchanligi - λ = 32,0...105 Vt/(m·K);
– solishtirma issiqlik sig'imi - c_p = 0,385 kJ/(kg·K);
– chiziqli kengayish koeffitsiyenti - χ = (1,5...1,95)·10^{-6} 1/K.

PLASTMASSALAR – yuqori korrozion bardoshlikka va mustahkamlikka ega yangi konstruksion materialdir. Plastmassalarni ishlab chiqarish jarayonida mustahkamligini, qayishqoqligini, rangini, yumshash temperaturasini, issiqlik o'tkazuvchanligini yaxshilash va arzonlashtirish maqsadida unga plastifikator, to'ldiruvchi, rang beruvchi moddalar qo'shiladi.

hamma plastmassalar 2 guruhga bo'linadi: 1) termoplastlar; 2) reaktoplastlar.

Termoplastlar isitilganda yumshash, sovitilganda qotish xossasiga ega va bu jarayonni bir necha marta qaytarsa bo'ladi. Reaktoplastlar esa, isitilganda eriydi va ma'lum bir temperaturagacha qizdirilsa, qotib qoladi va qayta yumshamaydi, erimaydi.

SHISHA PLASTIKLAR – poliefir smolalar va shisha tolalaridan tashkil qilingan sun'iy material. Undan yirik, o'lchamlari katta distillatsion kolonnalar, skrubberlar, omborlar, diametri 4,5 m va balandligi 6 m li idishlar yasash mumkin. Shisha plastiklar 20°C yoki undan ozgina yuqori temperaturada qizdirilsa, polimerizatsiya bo'ladi.

FTOROPLAST-4. Qayishqoqligi yuqori, elektr tokni o'tkazmaydigan, issiqlikka chidamli, – 200...+500°C temperaturada ishlatilishi mumkin. Kimyoviy muhitlarga o'ta chidamliligi, uning yaxshi xossalaridan biridir. Bu ko'rsatkich bo'yicha plastmassalar, ***Au, Pt***, emal, maxsus qotishma va boshqa materiallardan ustundir.

Ftoroplast-4 dan har xil qalinlikdagi listlar, trubalar, yupqa devorli silindrik idishlar, membranalar, silfonlar va boshqa turli mahsulotlar tayyorlash mumkin. Qurilmalar uchun qistirma sifatida foydalanishda unga teng keladigan material yo'qdir.

To'ldiruvchisiz plastmassalarning chidamliligi quyidagi xossalar bilan xarakterlanadi:

1. Penoplastlar kislota, ishqor va organik eritmalarga nisbatan chidamli. Ammo H_2SO_4, oleum, HNO_3 va konsentrlangan ishqorlarga bardosh bera olmaydi;

2. Shisha plastiklar benzin, metanol, butanol, etilatsetat, 10% li azot, fosfor va vodorod xlorid kislotalarga nisbatan chidamli;

3. Ftoroplastlar hamma kislota va ishqorlarga nisbatan past va yuqori temperaturalarga chidamli. Oksidlovchi kislota va «sarskaya vodka» lar qaynash jarayonida ham ftoroplast o'z xossalarini yo'qotmaydi. Shu kungacha uning erituvchisi topilmagan.

Ammo natriy yoki kaliy, ftor va uchlamchi ftor xloridlar ta'sirida yemiriladi.

Plastmassalarni metallar bilan taqqoslash shuni ko'rsatadiki, plastmassalar bir necha afzalliklarga ega: a) solishtirma og'irligi kichik; b) solishtirma mustahkamligi yuqori; d) texnologik xossalari yaxshi; e) korrozion bardoshligi yuqori.

I-4 jadval

Past, o'rta va yuqori bosimli kimyoviy qurilmalar uchun tavsiya etiladigan po'latlar

Po'lat guruhi	Marka	Ruxsat etiladigan ishchi parametrlar		Taxminiy qo'llanish sohasi
		Bosim MN/m^2	Devorning temperaturasi, °C	
1	2	3	4	5
Oddiy sifatli uglerodli po'lat	St.3	5	-30...+400	Obechayka, qopqoq, flanets va boshqa detallar uchun
			- 40...+425	Flanets, truba to'r pardasi va boshqa detallar uchun
				Qurilma, idish, isitkich obechaykalari, patrubkalari va boshqa detallari uchun
Oddiy sifatli uglerodli po'lat	St.5	5	- 30...+ 425	Flanets, truba to'r pardasi va boshqa detallar uchun
				Bolt, shpilka va payvandlanmaydigan detallar uchun
	0,8 kp	1,6	- 10...+ 350	Emallanishi kerak bo'lgan obechay-ka, qopqoq va boshqa detallar uchun
	10		- 40...+ 450	
	20	20	- 40...+ 475	Obechayka, qopqoq, flanets, mufta va boshqa detallar uchun
Konstruks. uglerodli po'lat	25; 30; 35; 40; 45;	10...20	- 30...+ 450	Gayka, bolt va shpilkalar uchun
Kam legirlangan po'lat	16 ГС	25	- 70...+ 475	Neytral va agressivligi past muhitlarda ishlatiladigan qurilmalarning obechayka, qopqoq, flanets kabi detallar uchun
	09 Г2С			

Legirlangan po'lat	12 MX	25	- 40...+ 540	Agressivligi past va o'rta muhitlarda hamda devoridagi kuchlanish yuqori bo'lgan muhitlarda payvandlangan sanoati qurilmalarining obechayka, qopqoq, flanets va boshqa detallar uchun
Yuqori legirlangan po'lat	OX13		- 40...+ 540	Oltingugurt bor, issiq muhitli, payvandlangan, rektifikatsion kolonnaning tarelkalari va kam kuchlanishli detallari uchun
	1X13			Oltingugurt bor va boshqa agressiv, issiq muhitli, qurilmalarining obechayka, qopqoq, flanets, bolt, gayka va boshqalar u-n
	2X13			1X13 material qo'llaniladigan soha, payvandlanmaydigan o'q, bolt, gayka va boshqa detallar uchun
	1X13Л 2X13Л	1,6		1X13 material qo'llaniladigan soha uchun quyma, qurilmalarining qobig'i, qopqoqi, flanets va boshqa detallari uchun
Korroziya, issiqlikka bardosh va chidamli yuqori legirlangan po'lat	X17			Oziq-ovqat, neftni qayta ishlash, azot kislotasini ishlab chiqarish sohasida uzlukli, yuklama ta'siri yo'q, mas'uliyati kam qurilmalarni obechayka, tub, truba o'rami, zmeveik va boshqa detallar uchun. Ushbu material X18H10T po'latning o'rnini bosuvchi material
	X25TЛ		- 20...+ 700	X25T po'lat qo'llaniladigan sohadagi quyma qurilmalarning qobig'i, qopqoqi, flanets va boshqa detallari uchun
	X28		- 20...+ 600	Suyuq va gazli o'rtacha agressiv muhitda yuqori temperaturada, o'z-garmas va o'zgaruvchan yuklamada ishlovchi kimyoviy qurilmalar u-n
	X28AH		- 20...+ 400	O'rtacha agressiv muhitda ishlatiladigan, payvandlangan qurilmalarning obechayka, tub va boshqa detallari uchun
	X28H4		- 20...+ 700	Gazli korroziya sharoitida o'rtacha agressiv muhitlarda ishlaydigan, mas'uliyati kam kimyoviy qurilmalarning obechayka, dnishche va boshqa detallari uchun
	1X17H2		- 20...+ 600	Past va o'rtacha agressiv muhitlarda ishlaydigan kimyoviy qurilmalarning obechayka, tub va boshqa detallari uchun
	1X21H5T OX21H5T	6,4	-100...+ 600	O'rtacha agressiv muhitlarda ishlaydigan, payvandlangan kimyoviy qurilmalardagi X18H10T po'latning o'rniga qo'llash uchun
	0X21H6M2T			Yuqori agressiv muhitlarda ishlaydigan payvandlangan, kimyoviy qurilmalardagi X17H13M2T o'rniga qo'llash uchun

	ОХ17Н5Г9АБ	1,6	-196...+600	Yuqori agressiv muhitlarda ishlaydigan, OX17T bardosh berolmaydigan, payvandlangan qurilmalarda X18H10T o'rniga qo'llash uchun tavsiya etiladi.
				Chuqur sovitish usulida gazlarni ajratish va oziq-ovqat sanoatlardagi payvandlangan idish va qurilmalar obechayka, tub va boshqa detallari uchun
	X14Г14Н3Т	4	-196...+500	Chuqur sovitish usulida gazlarni ajratish va oziq-ovqat, go'sht-sut, spirt va boshqa sanoatlarda payvandlangan qurilmalardagi X18H10T po'latning o'rniga qo'llash uchun tavsiya etiladi
	X18H10T	Cheklan-magan	-254...+600	Yuqori va o'rtacha agressiv muhitlarda, mas'uliyatli payvandlangan kimyoviy qurilmalar obechayka, tub, flanets, truba to'r pardasi, bolt, gayka, shpilka, shtuser patrubkasi va boshqalar uchun
	X18H9TЛ		-	Yuqori va o'rtacha agressiv muhitlarda ishlaydigan, kimyoviy quyma qurilmalarning qobig'i, qopqoqi, flanets va b. detallari u-n
	X17H13M2T	Cheklan-magan	-196...+700	Yuqori va o'ta agressiv muhitlarda ishlaydigan X18H10T, OX18H10T va OX18H12Б po'latlar chidamsiz bo'lganda, payvandlangan kimyoviy qurilmalarning obechayka, tub, truba to'r parda va o'rami va boshqa detallari uchun
	OX23H28M2T	0,07	-	Ftorli birikmalar bor issiq fosfor kislotasi va past konsentratsiyali 60°C li yuqori agressiv muhitda ishlaydigan payvand-langan kimyoviy qurilmalarning obechayka, tub kabi detallari uchun
	OX23H28M3D3T			Sulfat kislota, tarkibida ftorli birikmalar bor, +80°C dan kam bo'lgan temperaturali fosfor kislotali (32...50% P_2O_5) va temperaturasi +70°C dan past 25% li kremniy-ftor-vodorodli kislota muhitlarda payvandlangan kimyoviy qurilmalar obechayka, tub va b. detallari uchun
Qo'sh qatlamli (bimetall) po'latlar	St.3+OX13	5	-40...+425	Tarkibida oltingugurt bor issiq muhitlarda ishlaydigan payvandlangan, neft kimyosi qurilmalaridagi obechayka, tub, patrubka va boshqa detallari uchun
	20K+OX13	Cheklan-magan	-40 ..+475	
	12MX+OX13		-40...+540	
	St.3+X18H10T	5	-30...+400	O'rtacha va o'ta agressiv muhitlarda ishlaydigan, payvandlangan kimyoviy qurilmalarning obechayka, dnishche, patrubka va boshqa detallari uchun
	20K+X18H10T	Cheklan-magan	-40...+400	
	20K+X17H13M2T			

I-5 jadval

Qurilmalar va truba quvurlarining qo'zg'almas, yig'ma birikmalarini zichlash uchun tavsiya etiladigan metallmas qistirma materiallar

Qistirma materialining nomi	Zichligi ρ, kg/m^3	Sortament, mm	
		Qalinligi	List o'lchamlari
Karton, suv o'tkazmaydigan	900...1000	1; 1,5; 2; 2,5; 3	750x1500; 950x1500; 1000x1000; 1000x1500
Karton, A markali	800...850	0,5; 0,8; 1; 1,5	750x1500; 950x1500; 1000x1000; 1000x1500
Karton, asbestli	1,0...1,3	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6	900x900; 900x1000; 1000x1000
Paronit	1500...2000	1; 1,5; 2; 3; 4	500x500; 600x600; 700x1200; 1000x1200; 1000x1500; 1200x1500; 1200x1700
Paronit UV-10	-	0.4...2.5	550x550
Rezina, kislota-ishqorbardosh rezina, moy-benzinbardosh	-	0,5...10	eni 200÷1750 uzunligi 500÷10000
Plastifikat polixlorvinilli	1300...1500	1...5	eni ≥ 600 uzunligi ≥ 1000
Ftoroplast-4	2100...2300	1,5; 2; 3; 4; 5	195x195; 240x240
Tekstolit MA Fibra FT	1300...1600 1100	0,5...3,5 0,6...2,5	250x250 eni 550x700; 1100...1400 uzunligi 850x1500; 1700...2300
Charm texnik	1100...1500	2,5...5	-

Undan tashqari, quyidagi materiallar ham qistirma sifatida ishlatiladi: mis (kuydirilgan), aluminiy (yumshoq), zanglamaydigan po'lat, nikel, monel, qo'rg'oshin.

GLOSSARIY

A dan Ya gacha

atama	mazmuni
abraziv	abrasif (frans.), abrasio (lot.) – qirish, mexanik ishlov berishda ishlatiladigan qattiq tog' jinslari va minerallari, masalan, olmos, korund, granit, kvarts va hokazo.
absolyut	absolutes (lot.) – so'zsiz, abadiy, eng katta, doimiy.
absolyut bosim	rezervuar, ballon, qozon va boshqa idishlardagi bosim va tashqi (atmosfera) bosimining yig'indisi
absolyut temperatura	absolyut noldan hisoblanadigan temperatura (-273,16°S).
absorbent	absorbens (absorbents) lot.- yutuvchi modda.
absorber	absorbere (lot.) – suyuq absorbent yordamida gaz yoki bug'lar tarkibidagi biror komponentni yutib ajratish jarayonini amalga oshiruvchi qurilma.
absorbsiya	(lot. absorptio, absorbeo – yutaman) - 1) gazlar aralashmasidagi moddalarning suyuqlikka yutilishi (sorbsiyalanishi).
agregat	agregat, qo'shma qurilma, yirik qism
adgeziya	(lot. adhaesio-yopishish) yuzalari tegib turuvchi turli jinsdagi qattiq yoki suyuq jismlar (faza)ning o'zaro yopishib qolishi.
additivnost	murakkab modda xossasi bo'lib, uning son miqdori komponentlar xarakteristikalari son qiymatlarini nisbiy miqdori ko'paytmasining yig'indisiga teng.
adiabata	(yunon. – adiabatos – o'tib bo'lmas) – istalgan termodinamik diagrammada qaytar adiabat jarayonni ifodalovchi chiziq.
adiabatik jarayon	adiabatik jarayon – jarayonni amalga oshiradigan sistema bilan atrof-muhit orasida issiqlik almashinuvi bo'lmaydigan termodinamik jarayon.
adsorbentlar	(lot.ad – ustida, yonida va sorbens – yutuvchi) – yuqori darajada rivojlangan sirtida adsorbsiya o'tadigan sintetik va tabiiy jismlar.
adsorber	adsorbsiya o'tadigan qurilmaning asosiy apparati.
adsorbsiya	(lot.ad – ustida, yonida va sorbeo – yutaman) – eritmadagi moddalar yoki gazlarning qattiq jism yoki suyuqlik sirtiga yutilishi (sorbsiya). Adsorbsiyalanadigan modda adsorbat, adsorbsiya o'tadigan jism – adsorbent deyiladi.
aylanish chastotasi	jismning aylanishlar sonining aylanishga ketgan vaqtga nisbatiga teng kattalik. A.ch. birligi – s^{-1}(SI da).
aylanma pech	materiallarga fizik-kimyoviy ishlov berish maqsadida ularni qizdirish uchun mo'ljallangan, bo'ylama o'q atrofida aylanib turadigan silindrsimon sanoat pechi.

aksial–porshenli nasos	rotori aylanma va porshenlari (odatda 7–9 ta) ilgarilama-qaytma harakat qiladigan rotorli nasos; suyuqlikni haydash bosimi 30 MPa gacha.
ammiak	NH_3 – normal sharoitda o'ziga xos hidli, rangsiz gaz.
anizotrop	anisos-tengmas + tropos-xossa, burilish (grekch.) turli yo'nalish boyicha xossalari bir xil bo'lmagan material
antifriksion	anti + frictio – ishqalanish (lot.), ishqalanishni kamaytiruvchi material
apparat	apparatus (lotincha) – qurilma
armatura	(lot. armature – qurollanish, jihozlash) – asosiy jihozlarga kirmaydigan, lekin ularning normal ishlashi uchun zarur bo'lgan yordamchi, odatda, standart qurilma va detallar.
armatura	truba va quvur, qurilma va idishda o'rnatiladigan va ishchi muhit oqimlarini boshqarishni ta'minlaydigan moslama
baypas	haydash yo'lidagi ortiqcha bosim yoki sarfni uzatish uchun asosiy quvurga ulangan parallel quvuri shahobchasi
balansirovka	balancer (frans.) – kuch ta'sir etib muvozanatlash, barobarlash
balka	balk (goll.) – to'sin, asosan egilishga ishlaydigan konstruksiyalarda qo'llaniladi
bandaj	bandage (frans.) – mashina, mexanizm va qurilmalarning aylanuvchan g'ildirakka kiygiziladigan silindrik halqasimon detal
bar	(yunon.baros – og'irlik) – sistemaga kirmagan bosim birligi. 1 bar=10^5Pa.
barbotyor	havo, gaz yoki bug' pufakchalarini suyuqlik qatlami orqali o'tkazish uchun moslama
barometr	(yunon.baros – og'irlik va metreo – o'lchayman) – atm.bosimini o'lchaydigan asbob.
bashmak	boshmoq, tozalash boshmog'i va hokazo.
belting	belting (ingl.)– kamarli uzatma yoki belting mato – og'ir, zichligi juda katta va mustahkam texnik mato
biyeniye	tepish, mashinalarning aylanuvchi silindrik detallari sirtlarining o'zaro to'g'ri joylashishdan og'ishi
bimetall	*bi...* va metall – ikki jinsli metall yoki qotishmalarning mustahkam birikkan qatlamlaridan iborat material
bobishka	bo'rtma, kimyo sanoati qurilmalarida qoldiq va tozalash suyuqliklarini chiqarish teshigi
bolt	(nem.bolt) – mahkamlash detali. Odatda, olti qirrali yoki kvadrat kallakli silindrik sterjendan iborat bo'ladi; tanasining rezbali qismiga gayka buraladi.
bosim	jism sirtining biror qismiga perpendikular yo'nalishda ta'sir etuvchi kuchlar intensivligini ifodalaydigan kattalik. Bosim birligi (SI da) – Paskal (Pa).

gazgolder	gasholder (ingl. gas – gaz va holder-tutkich) – gazni saqlash va uni taqsimlash uchun xizmat qiladigan statsionar qurilma yoki inshoot
gayka	rezbali birikma yoki vintli uzatmaning rezbali teshigi bo'lgan detal
galvanicheskoye pokritiye	buyumlar yuzasiga elektrolitik cho'ktirish usulida qoplanadigan mikrometrning ulushlaridan millimetrning o'nlab ulushlarigacha qalinlikdagi metall yupqa qatlami
germetik	suyuqlik va gaz qurilma va mashinalari, idishlari va inshootlarining devor va birikmalaridan suyuqlik va gaz sizib o'tmasligini ta'minlovchi yoki zichlovchi modda
gidravlika	(yunon. hydor - suv aulos – naycha) mexanikaning suyuqliklar harakati va muvozanat qonunlarini hamda bu qonunlarni muhandislik amaliyoti masalalarini yechishga tatbiq etish usullarini o'rganadigan bo'limi.
gidravlik press	energiya eltkichi 20-100 MPa bosimli suyuqlikdan iborat bo'lgan statik haraklanadigan mashina.
gidromotor	gidravlicheskiy dvigatel, privodimiy vo vrasheniye podavayemoy k nemu pod davleniyem kapelnoy jidkosty.
gilza	hulse (nem.) –porshenli issiqlik yuritkichlarning bloklariga o'rnatiladigan, almashtiriladigan silindrik quyma
gisterezis	(yunon. hysteresis – kechikish) – fizik jismning ba'zi tashqi ta'sirlarga (u shu ta'sirlarga oldin uchragan yoki uchramaganligiga qarab) turlicha reaksiyasi.
gitara	metall kesish dastgohining surish tezligini o'zgartiradigan qismi.
gofrirovanniy	gaufrer (frans.) – gofrirlangan list, yupqa metall, asbofaner yoki faner listlarga mustahkamligini oshirish uchun to'lqinsimon shakl berilgan.
granula	granulum (lot.) – donacha, sochiluvchan yoki kukunsimon materiallarga fizik-mexanik va fizik-kimyoviy ta'sir etib olingan sharsimon zarracha
groxot	qattiq yoqilg'i, ma'dan, shag'al, don va boshqa sochiluvchan materiallarni teshiklari turli shakl va o'lchamli elaksimon yoki kolosnikli panjaralardan o'tkazib o'lchamlari bo'yicha fraksiyalarga ajratish mashinasi.
gummirovaniye	gumming, ot gum – yelim, kley (ingl.), pochta markasining orqa tomoniga yelim qatlamini surkash jarayoni
dvigatel dvoynogo deystviya	porshenning ikkila tomonida ishchi jarayon bajariladigan porshenli yuritkich.
deaerator	(de... va yunon.aer – havo) – suvda erigan (jihozlarni korroziyaga olib keladigan) kislorod va karbonat angidridni chiqarib yuboradigan qurilma.

bronza	(ital. bronzo) – mis asosidagi qotishma; asosiy qo‘shimchalari rux(q. latun) va nikeldan (q.mis–nikel qotishmalari) tashqari qalay, aluminiy, berilliy, kremniy, qo‘rg‘oshin, xrom yoki boshqa elementlardan iborat.
bunker	(ing.bunker) – sochiluvchan va bo‘lakli materiallar o‘z oqimi bilan bo‘shatilishi uchun pastki qismi qiya devorli(to‘ntarilgan kesik piramida yoki konussimon shaklli) qilib yasalgan, to‘kiladigan materiallar miqdorini rostlash uchun esa tortqi va ta’minlagichlar bilan jihozlangan.
bug‘	suyuqlik(yoki qattiq jism)ning gazsimon holati; moddaning gaz holatdagi fazasi shu moddaning suyuq (qattiq) holatdagi fazasi bilan muvozanatda bo‘ladi.
bug‘ bosimi	bug‘-kuch qurilmalari va texnologik agregatlardagi bug‘ bosimi bo‘lib, ularni hisoblash va loyihalashda asos qilib qabul qilingan.
bug‘latish (ispareniye)	moddaning suyuq agregat holatdan gazsimon agregat holatga o‘tish jarayoni.
bug‘latkich	suyuqliklar (suv, sovitish agenti va b.) ning bug‘lanish jarayonini amalga oshiradigan issiqlik almashinish qurilmasi.
bug‘ qozoni	yoqilg‘i yoqqanda o‘choqda ajraladigan issiqlik hisobiga bosimi atmosfera bosimidan yuqori bug‘ olinadigan qurilma.
burchak tezlik	qattiq jism aylanish tezligini xarakterlaydigan vektor kattalik ω. B.t. birligi – rad/s (SI da.)
buster	(ing.booster, boost – ko‘tarmoq, bosimni oshirmoq) – yuklama ancha ortib ketgan vaqtda asosiy mexanizm yoki mashinaning ta’sir kuchi va tezligini oshiradigan yordamchi qurilma.
vanti	want (goll.) – machtalar yoki tepa konstruksiyalarni ushlab turuvchi po‘lat troslarga vertikal, turg‘un holatini ta’minlovchi machta va asos orasidagi kanat tortkich.
vakuum	vakuum (lot.) – bo‘shliq, idishga to‘ldirilgan gazning siyraklashgan holati.
ventil	ventil (nem.) – klapan, truba quvurida bug‘, gaz yoki suyuqlik harakatini rostlash hamda quvurni yopish yoki ochish uchun qo‘llaniladigan yopuvchi moslama.
vibratsiya	vibro (loti.) – tebranish, titrash, dirillash
vkladish	vkladish, sirpanma podshipnikning almashinuvchi detali, ich quyma, suqma varaq, xat-cho‘p, pona
vodilo	planetar mexanizmdagi satellit o‘qiga mahkamlangan harakatchan detal yoki zveno
voylok	namat yok kigiz, yungdan yasalgan zichligi yuqori, to‘qilmagan material
vtulka	mashina va qurilmalarning o‘q yo‘nalishidagi teshikli silindrik yoki konus shaklidagi detal

dezintegrator	dez... va integer – butun (lotincha) – kam abraziv, mo'rt materiallarni yanchish (dag'al maydalash) mashinasi
demontaj	qurilma va mashinani qism va detallarga ajratish
dempfer	dampfer (nem.) – so'ndirgich, mexanik tebranishlarni tinchlantiruvchi moslama – (tebranish so'ndirgich).
depressiya	depressio (lat.) – pasaytirish, bostirish.
detal	detail – aynan, mufassallik (frans.) – yig'ish jarayonlarsiz, bir jinsli materialdan tayyorlangan buyum
deflegmator	rektifikatsion kolonnaning bir bo'limi bo'lib, unda kolonnaga qaytariladigan bir qism distillyat (flegma) kondensatsiya qilinadi.
deformatsiya	deformation – o'zgarish (lot.) – jism zarrachalarining nisbiy holati siljishiga olib keluvchi tashqi kuchlar – isitish, sovitish, namlik va b. omillar ta'sirida jism shakli yoki o'lchamlarining o'zgarishi
detsibel	[db] – deb belgilanadigan, texnika va akustikada tovush kuchi va quvvatini o'lchash uchun ishlatiladigan o'lchov birligi.
deemulsatsiya	neftni suvsizlantirish, ya'ni neftni yer osti suvlaridan ajratish.
diabaz	diabase (frans.) – to'liq kristallik, mayda donali, vulqon tog' jinsining eski nomi bo'lib, kimyoviy va mineral tarkibi bo'yicha bazaltning bir turi
diagramma	(yunon.diagramma – rasm, chizma) – taqqoslanayotgan kattaliklar orasidagi bog'lanishni yaqqol ko'rsatuvchi grafik tasvir.
dializ	dialysis (grekch.) – ajratish, kolloid eritmalarni tuz va boshqa moddalardan tozalash usuli
diametr	(yunon.diametros – ko'ndalang) aylana diametri – aylana markazidan o'tib, uning ikki nuqtasini birlashtiruvchi to'g'ri chiziq.
diafragma (o'lchovchi)	diaphragma (grekch.) – to'siq, teshikli disk bo'lib, truba quvuridan o'tayotgan suyuqlik, gaz va bug' sarfini o'lchashda foydalaniladi, standart toraytiruvchi qurilma sifatida ishlatiladi.
distillatsiya	distillatio (lot.) – tomchi bo'lib oqish, ikki va undan ortiq komponentlardan tarkib topgan suyuq aralashmani har xil qaynash temperaturasiga asoslangan fizik-kimyoviy ajratish jarayoni
distiller	haydash jarayonini amalga oshiradigan qurilma, masalan, kalsinatsiyalangan soda ishlab chiqarish texnologiyasida ammoniylashagn namokobdan ammiakni ajratish kolonnasi.
disbalans	noturg'unlik darajasi, disbalans
diffuziya	diffusion (lot.) – tarqalish, erigan bir faza molekulalarining ikkinchi fazada bir tekisda tarqalishini ta'minlovchi jarayon

diffuzor	kanal yoki quvurning gaz (suyuqlik) oqimi tormozlanadigan va bosimi oshadigan qismi.
dnishche	dnishe, tag qismi, tub, ya'ni qurilma silindrik qismining ikki chekkasini yopuvchi detal
dopusk	biror parametrning ruxsat etiladigan eng katta va eng kichik qiymatlari orasidagi farq.
Dyuara sosud	kumush bilan qoplangan qo'shaloq devorli, ichidan havo so'rib olingan shisha idish.
Joul	MTS o'lchov birliklar sistemasida ish va energiya birligi bo'lib, 10^7 erg. teng.
jarayon	processus (lotincha) – harakat.
zaglushka	tiqin, konstruksiyalarning ichki bo'shlig'ini germetik berkitadigan detal
zagotovka	keyinchalik ishlov berib tayyor buyum olinadigan yarim mahsulot (material, xomashyo va b.), zagotovka, tanovar
zadvijka	zadvijka, zulfin - bug', suv magistrallarini berkitadigan qurilma
zaslonka	to'siq, g'ov
zatvor	qulf, zanjir, tamba, yopish moslamasi, odatda harakatchan shchit - metall konstruksiya ko'rinishida, bo'lib gidrotexnik inshootlar teshiklarini yopish yoki qisman yopish uchun, suyuqlik sarfini rostlash va suv oqimi yoki qatlamidan tushayotgan yuklamaga bardosh beradigan moslama.
zolotnik	bug' mashina va turbinalari, pnevmatik mexanizm, gidroavtomatika sistemasi va b.larda issiqlik yoki mexanik jarayonlarni boshqarish sistemasining qo'zg'aluvchan elementi
izobarik jarayon	o'zgarmas bosimda o'tadigan termodinamik jarayon.
izotermik jarayon	o'zgarmas temperaturada o'tadigan termodinamik jarayon.
izotermlar	(izo... va yunon. therme - issiqlik) – holat diagrammasida muvozanatdagi izotermik jarayonni ifodalovchi chiziqlar.
izoxorik jarayon	sistemaning o'zgarmas solishtirma hajmida o'tadigan termodinamik jarayon.
izoxora	termodinamik diagrammada moddalarning holat chizig'i bo'lib, ko'rilayotgan modda hajmining qiymatlari o'zgarmasdir.
ikki rotorli nasos	korpusida ikki shakldor rotor bir-biriga va kamera devoriga tegmay, qarama-qarshi yo'nalishda sinxron aylanadigan vakuum nasos.
inkonel	nikelning xrom (15-17%), temir (19% gacha), aluminiy (35 gacha) va titan (3% gacha) elementlari bo'lgan qotishmasi
impeller	impeller (ingl.) – reaktiv yuritkich, markazdan qochma, kompressor, gidrotransformator, ventilator va boshqa mashinalarda kurakchali ishchi g'ildirak.

impuls	impulsusr (ingl.) – turtki, intilish, uyg'otish, ya'ni turli signallari uzluksiz emas, balki vaqti-vaqti bilan sodir bo'ladigan hodisa, jism mexanik harakatining mezoni, fizikaviy vektor kattalik
ingibitor	imhibere (lot.) – ushlab turish, sekinlashtirish, to'xtatish, ya'ni korroziya yoki reaksiyani sekinlashtiradigan modda
injektor	imjecteur (frans.) – ichkariga otish, uloqtirish, ya'ni suyuqlikni uzatuvchi oqimchali nasos
ionizatsiya	gaz molekulalari yoki atomlaridan elektronlarning ajralib chiqishi oqibatida gazda ion va erkin elektronlar hosil bo'lish hodisasi
issiqlik	issiqlik almashinuvida sistemaning tashqi parametrlari: hajmi va b.o'zgarmaganda sistema oladigan yoki beradigan energiya miqdori.
ish	fizik jarayonda sodir bo'ladigan energiyaning bir turdan ikkinchi turga aylanishini ifodalovchi kattalik.
kavitatsiya	cavity (angl) – bo'shliq, kovak - qattiq jism yuzasida suyuqlikning katta tezlikda harakatlanishi tufayli va suyuqlikdagi bosimning bug' hosil bo'lish bosimigacha pasayishi oqibatida mahalliy bug' hosil bo'lish hodisasi
kalorifer	(lot.calor – issiqlik va fero – eltaman) havo bilan isitish, shamollatish va quritish sistemalarida havoni qizdirib beradigan qurilma.
kanifol	colophonia resina – kolofon smolasi (lot.) – och sariqdan to'q qizilgacha rangli shishasimon mo'rt modda, zichligi 1007-1085 kg/m^3
kapron	poli–ε-kaproamid, neylon-6, poliamid 6 – sintetik poliamid tola bo'lib, kaprolaktam polimerizatsiyasi mahsuloti poli–ε-kaproamiddan olinadi
karetka	carretta – aravacha (italyan.) yo'naltirgich bo'ylab harakatlanadigan qism yoki aravacha
Karno sikli	ikki izotermik jarayon va ikki adiabatik jarayondan iborat qaytar aylanma jarayon.
karter	carter (ingl.) – qutiga joylangan mashina va mexanizm (yuritkich, reduktor, nasos va b.) larning qo'zg'almas qismi
kvars	SiO_2-mineral, kremniy ikki oksidi yoki kremnezem.
Kelvin	SI sistemasidagi termodinamik temperatura birligi (K). 1K – suvning uchlama nuqtasi termodinamik temperaturasining 1/273,16 qismiga teng.
kilo...	(yunon. shilioi-ming) – o'nlik karrani bildiruvchi old qo'shimcha 10^3ni anglatadi.
kilogramm	SI sistemasidagi massa birligi (kg).
kilogramm–kuch	MKGSS birliklar sistemasida kuch birligi (kgk). 1kgk = 9,806 N.
kilovatt–soat	(kilo... va vatt) – ish va energiyaning SI birliklari bilan bir qatorda qo'llanishga ruxsat etilgan sistemaga kirmagan birligi.

kinetik energiya	harakatdagi jism energiyasi, ya'ni harakatlanuvchi jismning ish bajarish qobiliyati.
klapan	klappe (nem.) – qopqoq, to'siq, qurilma va trubalarda gaz, bug' yoki suyuqlik sarfini boshqaradigan detal yoki moslama
klassifikatsiya	classis - sinf + facere- qilmoq (ingl.) – turli shakl va zichlikdagi qattiq zarrachalarni suv va havoda cho'kish tezliklari turlicha bo'lishiga asoslangan, foydali qazilmalarni va barcha sochiluvchan materiallarni saralash jarayoni.
klassifikatori	klassifikatsiya jarayonini amalga oshirish qurilmalari.
koagulatsiya	coagulatio (lot.) – qotish, o'rab olish, ya'ni zarrachalarni yiriklashishi va og'irlashishi tufayli disperslik darajasi va dispers sistema sonini kamaytirish.
koks	ko'mirni havosiz kamerada qizdirib olingan modda
koks gazi	toshko'mirni kokslashda ajralib chiqadigan yonuvchi gaz (55–60% vodorod, 20–30% metan, 5–7%uglerod oksidi).
kolichestvenniy analiz	birikma tarkibiy qismlarining nisbiy massaviy miqdorlarini aniqlash.
kolosnik	metall, ko'proq cho'yandan tayyorlangan elementlar bo'lib, ulardan xilma-xil shakldagi teshikli panjara.
kompensatsiya	compensatio – o'rnini to'ldiraman, muvozanatlayman (lot.) – temperatura, bosim, vaziyat, uzunlik, qovushqoqlik va b.larni muvozanatlash yoki rostlash
kompensator	Compensatio – o'rnini to'ldiraman, muvozanatlayman – inshootlar, sistemalar, mashinalar, asboblarning holati va ishlashiga turli omillar (temperatura, bosim, vaziyat va b.) ta'sirini yo'qotadigan yoki muvozanatlaydigan, yoxud u yoki bu omilni o'lchash yoki rostlash maqsadida ularni aniqlaydigan qurilma yoki to'ldirgich.
kompressor	compressio (lot.) – siqaman, havo yoki gazni 0,015 MPa dan kichik bo'lmagan ortiqcha bosimgacha siqadigan mashina.
konveksiya	convectio (lot.) – olib kelish, tarqalish, makroskopik hajmdagi suyuqliklarning harakati tufayli issiqlik tarqalish jarayoni.
konversiya	conversio (lot.) – o'zgartirish, yuqori temperaturada ayrim gazlarni qayta ishlash jarayoni.
kondensat	condensatum (lot.) – zichlangan, quyuqlashtirilgan, bug'-gaz aralashmasini sovitish natijasida hosil bo'lgan suyuqlik.
kondensator	(lot.sondenso – zichlayman, quyuqlashtiraman) – moddalarni gaz (bug') holatdan suyuq yoki kristall holatga o'tkazadigan issiqlik almashinish qurilmasi.
konsentratsiya	con+centrum (lot.) – markaz, to'planish, qattiq, suyuq yoki gaz fazalarda moddalar nisbatinining miqdoriy ifodasi.

konsentrik	konsentrik, yakka yoki bitta markazli
konsol	console (frans.) – bir uchi qo'zg'almas, ikkinchi uchi erkin mahkamlangan ferma yoki konstruksiyaning tayanchidan chiqib turuvchi qismi, yuk ko'tarish moslamasi
kontrgayka	asosiy gayka o'z-o'zidan buralib ketmasligi uchun bolt yoki shpilkaga buraladigan qo'shimcha gayka
konfiguratsiya	configuratio (lot.) – tashqi ko'rinish, shakl
korund	α-oksid aluminiy oksidi (Al_2O_3), juda qattiq, kristallik mineral
korpus	corpus – tana, yaxlit narsa (lotincha) – mashina yoki qurilmaning barcha mexanizm va detallarini ko'taradigan asos yoki negiz
korroziya	corrodo – kemiraman (lotincha) – metallaming tashqi muhit bilan kimyoviy yoki elektr kimyoviy ta'sirida yemirilish
kosinka	uchburchak shaklli metall plastinka, durracha
koeffitsiyent izbitka vozduxa	yonuvchi aralashma tarkibini xarakterlovchi koeffitsiyent.
kran	kran (nem.) – kran, jo'mrak
kran-ukosina	eng sodda ko'tarish krani bo'lib, uning uchburchakli kronshteyn-ukosinasi bloklari bilan qurilma qobig'iga mahkamlanadi
kreyskopf	kreuzkopf (nem.) – polzun, krivoship-polzunli mexanizm detali
kreking	cracking (ingl.) – neft va uning fraksiyalariga yuqori temperaturali ishlov berish natijasida past molekular massali yoki yengil fraksiyali mahsulotlar olish jarayoni
krivoship	krivoship mexanizmining qo'zg'almas o'q atrofida to'liq (360°) aylanadigan detali
kriogen	kryos-sovuq, muz+genos (grekch)–hosil bo'lish, tug'ilish, ya'ni past temperaturalarga oid yoki tegishli
kristallogidrati	o'z tarkibida kristallizatsion suv ushlagan kristall moddalar.
kriteriy	criterion-grekch., mezon, ajratib turuvchi belgi, xossa
kriticheskaya skorost	suyuqlik oqimining laminar harakat rejimidan turbulent rejimga va teskarsi, ya'ni turbulentdan laminar rejimga o'tish tezligiga to'g'ri keladigan oqimning o'rtacha tezligi.
kriticheskiye tochki	suyuqlikning bug' (gaz) va muz (qattiq) agregat holatlariga yoki teskarisi, ya'ni muzdan suyuqlikka va suyuq agregat holatidan bug' holatga o'tish temperaturalariga tegishli nuqtalar.
kronshteyn	kragstein (nem.) – mashina, qurilma va mexanizmlarni vertikal devorga yoki kolonnaga mahkamlash uchun xizmat qiladigan konsolli tayanch detal yoki konstruksiya

kurakli nasos	dinamik nasos; suyuqlikni aylanuvchi ish g'ildiragi kuraklari kuchi hisobiga haydaydi.
laminar oqim	(lot. lamina – list, plastinka, yo'l–yo'l) – real suyuqlikning tartibli oqimi; suyuqlik qo'shni qatlamlarning o'zaro aralashib ketmasligi bilan xarakterlanadi.
latun	latun – jez (nem.), mis va rux (50%) dan iborat qotishma
latun	(nem.latun), jez – mis bilan rux (50% gacha) dan iborat qotishma. Ko'pincha, aluminiy, temir, marganes, nikel, qo'rg'oshin va b. elementlar (umumiy yig'indisi 10% gacha) ham qo'shiladi.
legirlangan po'lat	odatdagi aralashmalar (S, Si, Mn, S, P) dan tashqari legirlovchi elementlar (Si, Mn) odatdagidan ko'proq miqdorda qo'shiladigan po'lat
linza	linse (nem.), lens (lotin.)– ikkita aylanish yuzalari bilan chegaralangan bir jinsli optik shaffof detal
lokalniy	localis (lot.) – mahalliy, shu joyga taalluqli
lyuk	luik – tuynuk (goll.) – qurilma ichiga kirib chiqadigan tuynuk
lyuft	luft (nem.) – havo, detallari yoki birlashtirilgan qism yuzalari orasidagi tirqish, lyuft, liqillash
maydalash	qattiq material bo'laklarini maydalash jarayoni.
maydalagich	qattiq jismlar (asosan, mineral xomashyosi)ni maydalaydigan mashina.
manometr	(yunon. manos – siyrak va ...metr) – suyuqlik va gaz bosimini o'lchaydigan asbob. Noldan (to'la vakuumdan) hisoblanadigan absolyut bosimni o'lchaydigan M; ortiqcha bosimni, ya'ni abs.bosim va atm. bosimlari orasidagi farqni o'lchaydigan M.; har biri atm. bosimidan farqlanuvchi ikki bosim orasidagi farqni o'lchaydigan difmanometrlar bo'ladi.
markazdan qochma nasos	suyuqlik aylanuvchi ish g'ildiragi markazidan uning chetlariga tomon harakatlanadigan kurakli nasos.
masshtab	masstab (nem.) – chizma, plan yoki kartadagi chiziq uzunligining aslidagi tegishli chiziqqa nisbati.
maxovik	yaxlit, massiv g'ildirak
machta	baland ustun, minora, machta
mashina	macshine (nem.) – inshoot, mashina, ya'ni energiya, materiallar va axborotni o'zgartirishda harakat bajaruvchi mexanik qurilma.
myortviye tochki	porshenli mashinalar porshenining ikkita chetki (qarama-qarshi) holatlari bo'lib, unda krivoship va shatun bitta to'g'ri chiziqda yotadi.
membrana	(lot. membrana – po'st, parda) – perimetr bo'ylab mahkamlangan yupqa yumshoq plastinka; turli bosimli ikki bo'shliqni bir–biridan ajratish yoki berk (tutash) kovakni umumiy hajmdan ajratish hamda bosim

	o‘zgarishlarini chiziqli siljishlarga va aksincha aylantirishga mo‘ljallangan.
metan	SN_4 – botqoq gazi, uglevodorod, rangsiz gaz, suyuq metan qaynash temperaturasi – 161,4^{0}C.
metanol	metil yoki yog‘och spirti (SN_3ON) – rangsiz suyuqlik, qaynash temperaturasi 65^{0}C.
metr	(frans. metreo, yunon. metron – o‘lchov) SI sistemasidagi uzunlik birligi. (m.)
mikrometr	chiziqli o‘lchamlarni kontakt usulida o‘lchaydigan aniq mikrometrik vintli universal o‘lchash asbobi
millimikron	mikronning mingdan bir ulushi (*mmk*). 1 *mmk*=10^{-6}*mm*.
modelirovaniye	laboratoriya modellarida qurilma, mashina, inshoot va boshqa moslamalarda borayotgan fizik va boshqa jarayonlarni o‘rganish.
modifitsirovanniy	material yoki moddaga biror komponent qo‘shib qaysidir bir xossasini yaxshilash
monel	AQSH sanoatchisi A.Monel nomi bilan atalgan va mis (27-29%), temir (2-3%), marganes (1,2-1,8%) lar qotishmasi.
montaj	montage (frans.)– ko‘tarish, o‘rnatish, yig‘ish, ko‘tarish, yig‘ish, o‘rnatish (frans.) – inshoot, konstruksiya, texnologik jihoz, agregat, mashina, asbob va ularning qismlarini tayyor detallardan yig‘ish va o‘rnatish
montejyu	monte-jus (frans.) monter-ko‘tarish+jus –sharbat, suv- siqilgan havo yordamida suyuqliklarni uzatish uchun xizmat qiladigan germetik idishlar.
mufta	muffe (nem.) – val, tortqi, truba, kanat, kabel va b.larni birlashtiradigan moslama
nasos-forsunka	yoqilg‘i nasosi va purkagichni o‘ziga mujassam qilgan agregat.
nivelir	niveler – barobarlagich (frans.), geometrik nivelirlash hamda gorizontal yo‘nalish berish uchun ishlatiladigan geodezik asbob
nippel	nipple (ingl.) – birlashtiruvchi rezbali kalta metall truba
obechayka	obechayka, silindrik qobiq
operatsiya	operatio (lot.) – harakat - bu texnologik jarayonning qismi bo‘lib, bir ish joyning o‘zida bir xil jihoz, mashina va asboblar ishlatib detallarga ishlov berish yoki yig‘ishga aytiladi
opressovka	zichlikka sinash
osmos	osmos (grekch.) – turtki, bosim - toza erituvchini yarim o‘tkazuvchan to‘siq orqali eritmaga o‘tib tarqalish jarayoni
paz	paz, ariqcha
payka	kavsharlash, po‘lat, choyan, shisha, grafit, sopol va b.larni eritilgan kavshar bilan ajralmaydigan qilib biriktirish

paronit	asbest, kauchuk va kukunsimon ingridiyentlardan tarkib topgan massalarni presslab tayyorlangan listli qistirma material
patoka	kraxmalni chala-yarim kislotali gidroliz qilishning mahsuloti.
patron	patron - patron (frans.) – metall kesish dastgohlarida zagotovka mahkamlanadigan moslama
patrubok	asosiy truba, qurilma yoki rezervuardan gaz, bug‘ yoki suyuqlik oladigan qisqa truba
periferiya	biror jism cheti, atrofi
piroliz	(grekch.) pyt-olov,o‘t+lysis – tug‘ilish, hosil bo‘lish, parchalanish -havosiz muhitda (ko‘pincha katalizator ishtirokida) murakkab moddalarni soddaroq moddalarga yuqori temperatura ta’sirida pirogenetik parchalash .
plastichnost	plastikos – haykalga yaroqli, yumshoq (yunoncha) - plastiklik, mexanik yuklama ostida qattiq jismlarning qaytmas deformatsiyalanish xossasi
plunjer	plunger – sho‘ng‘imoq, botmoq (ingl.) – uzunligi diametridan ancha katta bo‘lgan porshen
podshipnik	valdan radial, o‘q va radial-o‘q yo‘nalishida tushadigan yuklamalarni qabul qilib, erkin aylanishni ta’minlaydigan qism
podpyatnik	o‘q bo‘ylab ta’sir etuvchi yuklamani qabul qiladigan tayanch podshipnikning detali
polzuchest	creep – krip, siljuvchanlik (ingl.) – qoldiq deformatsiyani vujudga keltiruvchi kuchdan kichik kuch bilan ta’sir etganda material plastik deformatsiyasining vaqt boyicha asta-sekin ortib borishi
poli	poly-grekch., ko‘p turli yoki ko‘p xillik
polimorfizm	polymorphos-grekch., ko‘p turli, kimyoviy moddaning fizik xossalari farqlanadigan bir necha turdagi modifikatsiyalarda bo‘lish qobiliyati
polietilen	etilenning termoplastik polimeri
polipropilen	propilenning termoplastik polimeri
potensial energiya	sistema zarrachalarining o‘zaro joylashishi va tashqi kuch maydonidagi o‘rniga bog‘liq bo‘lgan mexanik energiyaning bir qismi.
poplavok	qalqovich, po‘kak – zichligi juda kichik material
probkoviy	tiqinli
prokladka	qistirma – bosim ostida ishlaydigan qurilma va mashinaning ajraluvchan qismlarini zichlab berkitish uchun ishlatiladigan detal
protsess	processus (lot.) – o‘tish, harakat, ya’ni bir butun uzluksiz ko‘rinishdagi holatlarning ketma-ket almashinishi, kechish, rivojlanish bosqichlarining birin-ketin kelish qonuniyatlarining uzviy bog‘liqligi.
pulpa	pulpa (lot.)-quyqa - tarkibida yer jinslari bor suspenziya

ratsional	rationalis (lot.) – isbotlangan, maqsadga muvofiq - maqbul
reaktor	kimyoviy jarayonlar kechadigan qurilma yoki agregat
reduktor	reductor – orqaga qaytaradigan (lotincha) – qobiq ichiga olingan tishli yoki gidravlik uzatma; suyuqlik yoki gazni redutsirlash qurilmasi
rezba	aylanish jism sirtlariga vint chiziq boylab ketma-ket joylashgan ariqcha va bo'rtmalar
rezervuar	reservoir (lot.) – saqlash, omonatlash-suyuqlik va gazlar saqlanadigan ballon, idish.
rezina	resina – qatron, smola (lotincha), rezina aralashmasini vulkanizatsiyalab olinadigan mahsulot
reysmus	reiβmaβ, reiβen – chizmoq va maβ – o'lchov (nem.) reysmas – masshtabli chizg'ichdan o'lchab olinga o'lchamlarni belgi qo'yiladigan zagotovkaga o'tkazish maqsadida zagotovkalardagi chiziqlarga parallel qilib rej chiziqlari tushiradigan asbob
rektifikatsiya	rectificatio (lot.) – to'g'rilash- suyuqlik aralashmalarini tashkil etuvchi komponentlarga bir necha marta qisman bug'latish va bug'larni kondensatsiyalash natijasida ajratish jarayoni.
relaksatsiya	relaxatio (lot.) – kamayish, bo'shash – sistemani muvozanatdan chiqargan kuch ta'siri to'xtaganda, uning asta-sekin muvozanat holatiga qaytishi.
rels	ragula – to'g'ri tayoq, planka (lotincha) - shakldor profilli po'lat balka
remont	remonter (frans.) – tuzatish-to'g'rilash, to'ldirish, qayta yig'ish (frans.) – texnika qurilmalarining yaroqliligini tiklash uchun o'tkaziladigan tashkiliy va texnik tadbirlar majmuasi
repernaya tochka -	repere (frans.) – tayanch yoki tekshiruv nuqtasi
resiver	receiver (ingl.) – oluvchi - oraliq rezervuar.
rolgang	rolle- g'altak va gang- yurish (nem.) – rolikli konveyer – og'ir donali va idishli yuklarni roliklarda tashiydigan qurilma
rotor	roto – aylanaman (lotincha) – mashinalar statori ichiga joylashgan aylanuvchi qism
salnik	mashinalarning qo'zg'aluvchan va qo'zg'almas detallari orasidagi tirqishni zich yopib turadigan detal
sarf o'lchagich	gaz, suyuqlik va sochiluvchan materiallarning sarfini o'lchaydigan asbob.
separatsiya	separatio (lot.) – ajaratish – suyuq yoki qattiq zarrachalarni gazlardan, qattiq zarrachalarni esa suyuqliklardan ajratish; qattiq yoki suyuq aralashmalarni tarkibiy qismlarga ajratish.
silikagel	silex, silicis (lot.) – qattiq tosh+gel- suvsizlantirilgan va termik ishlov berilgan kremniy kislota geli ($SiO_2 \cdot nH_2O$).

silfon	sulphon (ingl.) – zanglaydigan po'lat, jez, fosforli yoki berilliyli bronzadan yasalgan yupqa devorli, sirti buklama (gofrirlangan) truba
siqish darajasi	ichki yonuv dvigateli silindri to'la hajmining siqish kamerasi hajmiga nisbati.
sovitish agenti	sovuq eltkich – sovitish mashinasining ish moddasi.
solishtirma issiqlik sig'imi	modda massa birligining temperaturasini 1^0C ga ko'tarish uchun unga uzatiladigan issiqlik miqdori.
solishtirma og'irlik	jism og'irligining hajmiga nisbati.
soplo	ichida gaz yoki suyuqlik tezligi oshadigan o'zgaruvchan kesimli kanal (qisqa truba).
sorbent	sorbens, sorbentis (lot.) – yutuvchi – gaz, bug' va erigan moddalarni yutadigan qattiq yoki suyuq moddalar.
sorbsiya	yutish, ya'ni gazni suyuqlik bilan, suyuqlik yoki gazni g'ovaksimon qattiq jism bilan ajratish jarayoni
standart	standart-norma, namuna (ingl.) – boshqa mahsulotlarni taqqoslash uchun dastlabki obyekt deb qabul qilingan o'ziga o'xshash namuna, etalon, model
sterjen	tortqi, cho'zilishga ishlaydigan gorizontal chiviq.
takelaj	takelage (nem.) – yukni ko'tarish va tashish-ortish ishi
kolloid tegirmon	germetik yopiq, juda tez aylanuvchan zarbali tegirmon.
tegirmon	turli materiallarni 5mm dan kichik zarrachalarga maydalaydigan mashina.
temperatura	temperatura (lot.) – zarur siljish, o'lchamdorlik, normal holat) – sistemaning issiqlik holatini xarakterlaydigan asosiy holat parametrlaridan biri.
termodinamikaning 1 - qonuni	termodinamikaning asosiy qonunlaridan biri; termodinamik sistema uchun energiyaning saqlanish qonunini ifodalaydi, ya'ni sistemaga berilgan issiqlik sistemasining Q ichki energiyasini o'zgartirishga va sistemaning tashqi kuchni yengib A ish bajarishga sarflanadi: $Q=\Delta U+A$.
termodinamikaning 2 - qonuni	termodinamikaning asosiy qonunlaridan biri; bunga binoan 2–tur abadiy dvigatel (issiqlikni butunlicha ishga aylantirib, davriy ishlaydi deb faraz qilinadigan) yaratib bo'lmaydi.
termodinamik jarayon	termodinamik sistemada sodir bo'ladigan va uning holat parametrlaridan loaqal bittasi o'zgarishi bilan bog'liq har qanday o'zgarish.
termometr	therme-issiqlik+metreo-o'lchayman (ingl.) - temperatura o'lchaydigan asbob.
texnika	(yunon. techne – san'at, mahorat) – inson faoliyati vositalari majmui.
texnologiya	techne-san'at, kasb+logos-tushuncha, ilm (grekch.) – bu xomashyodan avvaldan belgilangan xossalarga ega mahsulot olish maqsadida o'tkaziladigan bir qator usullardir.

tindirgich	suyuqliklardan, ulardagi muallaq aralashmalarni kichik oqim tezligida o‘z og‘irlik kuchlari ta’sirida cho‘ktirib ajaratiladigan rezervuar yoki hovuz.
tiqin	konstruksiyalarning ichki bo‘shlig‘ini germetik berkitadigan detal.
tozalash	(rafinatsiyalash) (frans.raffiner – tozalamoq), metallarda – metall va qotishmalar sifatini oshirish va ulardagi zarur elementlari olish maqsadida ulardan zararli aralashmalarni chiqarib yuborish.
tonna	(lot. tunna – bochka) – massaning metrik birligi – SI birliklaridagi kilogramm (kg) bilan barobar qo‘llashga ruxsat etilgan sistemaga kiritilmagan birlik.
transportirovka	yuklarni kerakli joyiga uzatish jarayoni, yetkazish
tros	(gol.tros) – tabiiy va sun’iy tolali materiallar, shuningdek, po‘lat simlardan tayyorlanadigan kanat–arqon buyumlarining umumiy nomi.
tros	tros (goll.) – po‘lat simlardan tayyorlanadigan kanat-arqon
trubalar	ichi kavak, asosan, halqasimon kesimli va nisbatan ancha uzun mahsulotlar.
tunnel	tunnel (ingl.) –yer (yoki suv) osti inshooti;
uzatma	odatda tezlik va shunga mos holda burovchi momentni o‘zgartirib, harakat uzatishga mo‘ljallangan mexanizm.
uzluksizlik tenglamasi	trubaning har xil bo‘lgan ko‘ndalang kesimlarida massaviy sarflar tengligini ifodalovchi tenglama.
uprugost	tashqi kuch ta’siri to‘xtatilganda jismlarning o‘z shakli va hajmi (qattiq jism) ni yoki faqat hajmi (gaz yoki suyuq jismlar) ni qayta tiklash qobiliyati
urchuq	patron, shpul, g‘altak va b. kiydiriladigan aylanuvchi sterjen; piltani, kalava ip va iplarni pishitish hamda ma’lum o‘lcham va shaklda o‘ramlar hosil qilishga mo‘ljallangan pilta, yigirish–pishitish, pishitish va o‘rash mashinalarining asosiy ish organi.
ustalost	toliqish, materiallarda – buzulishni tezlashtiruvchi ko‘p marta yuklanish natijasida material holatining o‘zgarishi
utilizator-qozon	utilis (lot.) –foydali, ya’ni suv isitish yoki bug‘ qozoni bo‘lib, issiqlik mashina va jihozlar (jumladan, ichki yonish dvigateli) ning ishlatib bo‘lingan gazi issiqligini ishlatadigan qurilma.
utfel	saxaroza va kristallararo suyuqlik (patokaniki) aralashmasi
faolit	suyuq rezol smolani asbest bilan aralashtirib olingan plastmassa.
Farengeyt shkalasi	muzning erish temperaturasi 32^0F va atmosfera bosimida suvning qaynash temperaturasi 212^0F ni tashkil etadigan temperatura shkalasi.

ferma	ferme (frans.) - mustahkam – muhandislik inshootlarining yuk ko‘taruvchi geometrik o‘zgarmas sterjenli konstruksiyasi.
fibra	fibra (lot.) - tola – yelimlangan lattasimon qog‘ozni konsetrlangan rux xlorid eritmasiga shimdirib, keyin presslab tayyorlanadigan material
filtr	filtre (frans.), filtrum (lot.) – aynan – kigiz) – qattiq va suyuq fazali har xil jinsli sistemani g‘ovak to‘siqlar (filtrlash to‘siqlaridan)dan o‘tkazib tarkibiy qismlarga ajratadigan, quyultiradigan qurilma .
filtrat	g‘ovaksimon filtr to‘siq yordamida suspenziyani bosimli farqi yoki og‘irlik kuchi ta’sirida ajratish natijasida olingan suyuqlik
fiting	fittihg, fit (ingl .) – montaj qilmoq, yig‘moq (ingl.) – truba quvurlarning burilishlar, o‘tish va tarmoqlanish joylariga o‘rnatiladigan hamda quvurlarning to‘g‘ri chiziqli zvenolari ulanadigan biriktirish detali
flanets	flansch (nem.) – truba, armatura, rezervuar, vallar va b.ning birlashtiruvchi qismi; odatda, boltlar yoki shpilkalar o‘tkazish uchun bir tekisda joylashgan teshiklari bo‘lgan yassi halqa yoki diskdan iborat.
flatter	flutter (ingl.) - vibratsiya – uchish qurilmasining ma’lum tezligida qismlarining o‘z-o‘zidan tebranishi, uni buzilishga ham olib kelishi mumkin.
flyus	fluβ (nem.) – aynan-oqim– shlak hosil qilish va tarkibini rostlash
folga	folga (polyak.)–list, zar qog‘oz–turli metall va metall qotishma yupqa listlari yoki lentalari (2...100 mkm).
foydali ish koeffitsiyenti	biror texnik qurilmaning unda energiya uzatish jarayonlarini amalga oshirishning yoki energiyani bir turdan boshqa turga aylanishining takkomillashganlik darajasini xarakterlaydigan o‘lchamsiz kattalik (η).
forsunka	force (ingl.) – dam bermoq –yonilg‘ini mayda zarrachalarga aylantiradigan bir yoki bir necha teshikli moslama.
frezerlash	ko‘p lezviyali asbob yordamida yassi va aylanuvchi jismlar yuzalarini kesib turli shakldagi detallar olish usuli
ftoroplast	politetraftoretilenning texnik nomi, g‘ovakli, oq rangli, tolasimon, normal sharoitda oson presslanadigan kukun
fugat	suspenziyani markazdan qochma kuch ta’sirida ajratish natijasida olingan suyuqlik
futerovka	futter (nem.) – astar - issiqlik agregatlari, pech, o‘choq, truba, idishlarning g‘isht plita va boshqalardan iborat ichki himoya qoplama
xlopun	metall yuzasidagi pachoq, ishib qolish yoki boshqa bir nuqson
xomut	xomut, qisqich, birlashtiruvchi element, elastik va qattiq

	truba quvurlarini shlang va patrubkalar bilan mahkamlash va zichlash uchun ishlatiladigan moslama
sapfa	zapfen (nem.) – o‘q yoki valning podshipnikka tiralib turadigan qismi
Selsiy gradus	[shved astronomi va fizigi A.Selsiy(1701-1744)] - SI sistemasidagi temperatura birligi (^{0}C). Xalqaro amaliy temperatura shkalasi bo‘yicha suvning uchlama nuqta temperaturasi 0,01^{0}C ga, uning normal atmosfera bosimidagi qaynash temperaturasi 100^{0}C ga teng.
sentrifuga	centrum (lot.) – markaz va fugo - yugurish) sentrifugalash qurilmasi.
sentrifugalash	bir jinsli bo‘lmagan sistemalarni markazdan qochma kuch yordamida ajratish.
siklon	kyklon (yunon.) – aylanadigan – havo (gaz) ni muallaq qattiq zarrachalardan tozalaydigan qurilma; pastki qismi silindrik rezervuardan iborat.
silindr	kylindros, kylindro (yunon.) – yumalatib, aylantirib-to‘g‘ri to‘rt burchakning bir tomoni atrofida aylanishidan hosil bo‘lgan geometrik jism.
sisterna	cicterna (lot.) – suyuqlik saqlagich – suyuqlik va boshqalarni saqlash, tashishda ishlatiladigan idish.
shablon	schablone (nem.), eshantillon (frans.) - andoza
shabrovka	schaber (nem.) – qirish – yoysimon tig‘li kesuvchi asbob bilan yupqa qatlamli qirindi olib pardozlash yoki ishlov berish
shayba	scheibe (nem.) – gayka yoki bolt kallagi ostiga qoyiladigan tekis halqasimon detal
sharnir	scharnier (nem.), sharniere (frans.) – ikki bo‘lakdan iborat harakatchan birikma – faqat umumiy o‘q yoki nuqta atrofida aylana oladigan detallarning qo‘zg‘a-luvchan birikmasi.
shatun	mashina porsheni yoki polzunining ilgarilama harakatini tirsakli val krivoshipining aylanma harakatiga aylantiruvchi krivoship polzunli mexanizmining detali
shveller	schweller (nem.) – P-simon ko‘ndalang kesimli metall mahsulot
shevr	A-simon shaklli trubalardan payvandlab yasalgan rama. Kerakli holatda bitta yoki ikkita tros yoki tortkich bilan ushlab turadigan uchburchakli konstruksiya
shesternya	tishli sistemasiga ega bo‘lgan va boshqa zvenoning uzluksiz harakatini ta’minlovchi tishli mexanizm zvenosi
shiber	schieber (nem.) – havo yoki gaz yo‘lidagi quvurga o‘rnatiladigan to‘g‘ri to‘rtburchak yoki shakldor plastina ko‘rinishidagi to‘siq.
shkala	skala (lot.)– zinapoya, o‘lchash vositasining shkalasi – sanoq qurilmasining qismi; belgilar majmui, ba’zilariga

	kattalikning qator ketma-ket qiymatlariga mos sanoq sonlar yoki boshqa belgilar qo‘yilgan bo‘ladi.
shkiv	schijf (goll.) – tasmali uzatma yoki kanatli uzatma detali, ya’ni keng gardishli g‘ildirak
shlam	schlamm (nem.) - loy, moddalarni boyitishda yoki filtrashda hosil bo‘ladigan balchiqsimon cho‘kindi
shpilka	ikkala uchi rezba ochilgan mahkamlash detali, sterjen.
shplint	splint (nem.) – mashina detali, deyarli o‘rtasidan yarim doira qilib egilgan sim sterjen
shponka	szponka (polyak.), spon (nem.) - pona – shponkali birikma detali; shkiv, tishli g‘ildirak va boshqalarning gupchagidagi pazlarga va o‘q tanasiga qo‘yiladi.
shtampovka	issiq yoki sovuq usulda mexanik presslab, qirindi olmasdan metall buyumlar va detallar olish usuli
shtir	stier (nem.) - qo‘zg‘almas – konussimon uchli silliq silindrik sterjen; ajratiladigan qismlarini bir-biriga yo‘naltirish va markazlash uchun ishlatiladi.
shtift	stift (nem.) – mashinaning ikki detali qo‘zg‘almas qilib biriktiriladigan yoki detallar yig‘ishda mahkamlanadigan silindrik yoki konussimon sterjen
shtok	stock (nem.) – silindrik sterjen
shtuser	stutzen (nem.) – uchlariga rezba ochilgan yoki teshik qilingan biriktirish patrubkasi
shlam	schlamm (nem.) – aynan, loy yoki turli jarayonlarda hosil bo‘ladigan balchiqsimon cho‘kindi.
eksergiya	ergon - ish, kuch, yex (grekch.) – ichidan.
ekspluatatsiya	exploitation (frans.) – ishlatish, foydalanish
ekstraksiya	extrastum (lot.) – ajratib olaman - qattiq yoki suyuq aralashmani ajratish usuli.
ekstruder	extrudo (lot.)–itarib chiqaraman – polimer materiallarni yumshatish (eritish, plastikatsiyalash) va ularga kerakli shakllarni berishga mo‘ljallangan mashina.
ekssentrik	yex (lot.)– tashqarida va centrum - markaz - aylanish o‘qi geometrik o‘qqa nisbatan ma’lum masofaga siljigan silindr yoki diskka ekssentrisitet deyiladi.
emallash	yemail (lot.)– metall, keramika va shisha buyumlarni korroziya, tirnalish, yuqori temperatura va boshqalardan himoya qilish, shuningdek, chiroy berish uchun ularga emal (past temperaturada eruvchan qo‘rg‘oshinli shisha) qoplashning elektr kimyoviy jarayoni.
emulsiya	emulsion (frans.), emulgeo (lot.)– sog‘ish – ikkita bir-birida erimaydigan suyuqlikdan iborat dispers sistema.
energiya	energeia (yunon.)–harakat–harakat va turli xil materiyaning o‘zaro ta’sirini umumiy miqdoriy o‘lchami.
entalpiya	enthalpo (yunon.) - isitaman – termodinamik sistemaning holat funksiyasi *N*; sistemaning ichki energiyasi *U* bilan

	sistema bosimi ming hajmi V ga ko‘paytmasi yig‘indisiga teng: $N=U\pm pV$.
entropiya	entropia (yunon.) – burilish, o‘zgarish – termodinamik sistemaning holat funksiyasi S; sistema bilan tashqi muhit orasidagi issiqlik almashinish jarayonining borishi yo‘nalishini, shuningdek, yopiq sistemada o‘z-o‘zidan sodir bo‘ladigan jarayonlarning borish yo‘nalishini xarakterlaydi.
eroziya	erodere (yunon.) – yemirilish - mexanik omillar ta’sirida metall sirtining buzilishi
o‘tkir bug‘	bevosita bug‘ qozinidan olinib, bug‘ yuritkichi yoki texnologik jarayonda qo‘llash uchun ishlatiladigan bug‘.
o‘ta qizdirilgan suv	mexanik aralashma va erigan gazlardan tozalangan suv qaynash va undan ortiq temperaturalarda ham bug‘ga aylanmaydi.
quritkich	qattiq va pastasimon materiallar namligini bug‘lantirib, suvsizlantiradigan qurilma.

TEXNIK ATAMALAR VA IBORALAR

A

Absolyut
- oq jism 261
- temperatura 17, 102, 261
- shaffof 261
- qora jism 261

Absorbent 404

Absorberlar 410-436
- barbotajli 429
- Venturi 431
- ko'pikli 435
- nasadkali 413
- oqimchali 423
- purkovchi 430
- sirtiy 411
- tarelkali 420
- yupqa qatlamli 412
- qalpoqchali tarelka 421
- halqasimon nasadkali 433
- hisobi 440-461

Absorbtiv 404

Absorbsiya jarayoni 376, 404,409

Additivlik tenglamasi 393

Adiabata 104
- ko'rsatkichi 23

Adsorbtiv 529

Adsorbent 376, 529
- tabiiy, tuproqsimon 531
- to'yinishi 529-530
- tuproqlar 531

Adsorberlar 537-544
- mavhum qaynash qatlamli 538, 539
- reaktor tipidagi 539
- trubali 524
- qo'zg'almas qatlamli 537,541
- halqasimon qatlamli 538
- harakatchan qatlamli 539
- hisobi 544-555

Adsorbsiya 529-560
- jarayoni 376
- izotermasi 532
- issiqligi 529
- kimyoviy 529
- kinetikasi 533-536
- moddiy balans 406-409
- statikasi 533-536
- fizik 529

Azeotrop aralashma 466

Aksial-kurakchali uyurmalantirgich 100

Aylanish darajasi 699
- soni 214
- chastotasi 217, 648

Aylanma tezlik 208, 210

Aluminiy 800

Ammiak 741

Anionit 555-560

Aralashtirgich turlari 204 - 211
- barabanli 207
- vintsimon 203
- diskli 211
- diffuzorli 203
- zarbali 207
- ikki, uch parrakli 204, 211
- lentali 204
- parrakli 204, 211
- propellerli 204, 211
- romli 211, 215
- turbinali 205
- shnekli 204, 206
- yakorli 211, 214

Aralashtirish 201-217
- barboter yordamida 202
- intensivligi 202
- mexanik 204
- plastmassalarni 205-206
- pnevmatik 201
- jadalligi 213
- siqilgan havo yordamida 202
- sochiluvchan materiallarni 206-208
- statik 203
- suyuqliklarni 201
- sirkulatsiyali 202
- energiya sarfi 208- 217
- eritmalarni 201 - 205

Artish mashinasi 647

Asbest 806

Ajratish jarayoni 119-182
- aralashmalarni 118
- koeffitsiyenti 126
- moddiy balans 119-120
- turli jinsli sistemalarni 119-124. 126-182
- faktori 125

Arralash 638

Aralashma
- azeotrop 466
- binar 463
- ideal 463-464
- polidispers 183

Adiabatik jarayon 103

Adsorbsion

- haydash patrubkasi 113
Gess qonuni 705
Gidravlika 38-77
Gidrodinamika 43-117
Gidrodinamik rejimlar
- ko'pikli 421
- osilib turish 418
- oqimchali 421
- pufakchali 421
- uchib chiqish 419
- emulgatsion 418
- yupqa qatlamli 418
Gidrostatika 38-42
Gidromexanika 14, 118
Gidromexanik jarayonlar
- harakatga keltiruvchi kuch 14-15
Gidravlik radius 44
Gidravlik press 42,667
Gidravlik qarshilik
- ishqalanish 61-62
- koeffitsiyenti 63,359
- mahalliy 61, 64-65
Gisterezis halqasi 567
Geylandt sikli 751
Granula 665
Granullash 665-693, 670
- moyillik 678- 679
Granulator
- barabanli 672
- barabanli quritkich 674
- mavhum qaynash qatlamli 674
- purkovchi 675
- tarelkali 673
- turboparrakli 677
- favvorasimon qatlamli 674
- hisobi 680-693
Goryachkin formulasi 640
Gofrirlangan 313
Grebenyuk formulasi 666
Grossman-Shargut diagrammasi 786
Go'sht maydalagich 650

D

Dalton qonuni 405,562
Daraja
- gazlarni siqish 103-106
- gazlarni tozalash 161
- maydalash 635
- reaksiya 699
- qorishtirish 201
Darsi-Veysbax tenglamasi 442,716
Dezintegrator 644, 641
Depressiya 332-334
- gidravlik 333
- gidrostatik 333
- temperatura 332, 333
Desorbsiya 404, 529, 536
Detander 733, 749, 751
Deflegmator 468
Diagramma
- Grossman-Shargut 786
- indikator 108
- Ramzin 563,564-566, 519
- uchburchak 495-497
- faza muvozanati 377-378
- fazaviy 377
- p – i 737
- T – S 734,736,737, 740
Dializ 224
Diametr
44,53,58,77,122,413,414,554,635,637
Dilatant 65
Dismembrator 644
Distillyat 464,469
Dispers, dispersion 118,636
- tarkib 636
- faza 118
Differensial drossel effekti 733
Diffuzion jarayonlar 376-619
- qarshilik 378
- qatlam 393
Diffuziya
- konvektiv 389
- koeffitsiyenti 381
- molekular 380,381-384
- tezligi 381
- turbulent 381
Donador-tolali
- gidravlik qarshiligi 194-196
- material 194
- tukliligi 194
Donador qatlam 183-200
- gidravlik qarshiligi 185,189
- mavhum qaynashi 187-200
- qo'zg'almas qatlam 183-187
- g'ovakliligi 184-185,195,198
Drajje 678
Dreyser G.A, Dzyubenko B.V
- intensivlash usuli 326
Drossel effekti
- differensial 733
- izotermik 733
- integral 733
Dubinin M.M. nazariyasi 533
Ditnerskiy Y.I. modeli 221
Dyuring qoidasi 333

Ye

Yeyilish 638
Yengil uchuvchan 463
Yengli filtr 164-165

- bog'langan namlik 567
- sovitish mashinalari 743-748
Aerozol 119
Aeromiks 432

B

Babo qoidasi 333
Baypas 93
Baktofuga 131
Balans
- issiqlik 35, 250, 336, 340,341, 576-581, 596-600, 618, 705
- moddiy 354, 119, 230, 336, 379 576, 597, 617, 704
- eksergetik 777-779
- energiya260-261
Ballastli tarelka 423
Barabanli
- g'alvir 652
- vakuum-filtr 147
- granulator-quritkich 674, 682
Barbotaj 168, 420
- mexanizmi 420-422
- rejimlari 420-
Baromembran jarayon 220-222
Barometrik kondensator 315, 316-317
- truba 335
Binar aralashma 463
Bir pog'onali ekstraksiya 498
Bernulli tenglamasi 48-50, 52, 61
Blazius tenglamasi 63
Boyitish koeffitsiyenti 399
Bolg'ali maydalagich 643-644
Bronza 802
Bug'
- kuchsiz 286
- organik suyuqlik 285
- to'yingan 286
- ekstra 332
- o'tkir 286
Bug'lanish 223, 331
Bug'latish 284, 331
- issiqlik balans 336-337
- moddiy balans 336
- usullari 334
- yuzasi 337
- qurilmasi 342-350
Bug'latkich 336-350
- bir korpusli 349
- barbotajli 349-350
- injektor issiqlik nasosli 340
- ichki isituvchi kamera va markaziy sirkulatsion trubali 342-343
- ko'p korpusli 338
- majburiy sirkulatsiyali 345
- osma erkin sirkulatsiyali 343
- rotor, yupqa qatlamli 348
- turbokompressorli 340
- eritma erkin sirkulatsiyali 344
Burama truba 326, 327
Burchak
- tabiiy qiyalik 637
- fazoviy 262-263
Bernulli tenglamasi 48-50, 52, 61
Boyitish koeffitsiyenti 325
Bolg'ali maydalagich 643-644
Bond tenglamasi 640
Bosim
- yo'qotilishi 80
- ortiqcha 41-42
Bingam suyuqlik 66
Biokimyoviy jarayon 620-634
Bio kriteriysi 386
Biomassa 622
Briketlash 665-666

V

Vakuum-nasos 115,116
- oqimchali 115-116
- porshenli 115
- suv halqali 115
Vakuum-filtr 147,148
Vant-Goff izobar tenglamasi 697
Ventilator 112, 114
Venturi trubasi 53
- skrubberi 168
Vintsimon nasos 96

G

Gazlar
- barbotaji 168, 418-420
- drossellash 746-749
- isitish 284-288
- issiqlik sig'imi 24
- issiqlik o'tkazuvchanligi 25-27,
- kengaytirish 749
- sarfi 176
- siqish va siyraklash 102-106, 736-739
- sovitish 296-299, 731-764
- solishtirma og'irlik 19
- tozalash 160-175
- tutun 287
Gaz doimiysi (o'zgarmas) 103
- o'tkazuvchanlik 252
Gazlift 78,99
Gazoduvka 113
- rotor 114
- so'rish patrubkasi 113
- qobiq 113

Yo

Yonish 785
Yorish 638
Yoqilg'i 785-787

J

Joul-Tomson effekti 732
Jarayon ishchi chizig'i 379
Jarayonlar
- adiabatik 103-104
- baromembran 220-222
- biokimyoviy 15-16,620-634
- gidromexanik 14, 118-247
- diffuzion-membranali 222-224
- izotermik 103-104
- issiqlik almashinish 15,248-375
- kimyoviy 694-728
- massa almashinish 15,376-626
- mexanik 15, 635-693
- politrop 104
- sovitish 729-758
- hisobi 34-36

Jag'li maydalagich 641, 642
Juvali tegirmon 645-646

Z

«Zararli» bo'shliq 108-110
Zarba
- siqiq 638
- erkin 638

Zarracha
- shakli 76,77
- o'lchami 75-77

Zichlik
- aralashmalar 17, 637
- gazlar 18-19
- nisbiy 17
- suyuqliklar 17, 27
- «to'kma» zarrachalar qatlami 19, 637
- qattiq jismlar 19, 27, 798-802

I

Ideal suyuqlik 38
- izobara 736-740

Izoterma 566
- kimyoviy reaksiya 694-700

Izotermik drossel effekti 733
Injektor 341
Injeksiya koeffitsiyenti 341
Indikator diagramma 91
Inversion temperatura 733
Integral drossel effekti 733
Ion almashinish 555-560
- anionit 555
- ionit 555-556
- kinetikasi 557
- mexanizmi 555

Ionizatsiya 170
Isitish
- issiq suv b-n 285
- tutun gazlari b-n 287
- to'yingan suv bug' b-n 286
- elektr toki b-n 287
- yuzasi 337

Issiqlik
- almashinish 248,263-276
- balans 250,336
- berish 264-276
- nurlanishi 248, 260
- miqdori 253
- sig'imi 23, 250-251
- eltkichlar 249,280, 284,
- o'tkazish 276-282
- o'tkazuvchanlik 248-260

Issiqlik almashinish 248, 263-276
- intensivligi 321-329
- konvektiv 263
- eltkichlar orasida 325, 326
- harakatga keltiruvchi kuch 15, 279-282

Issiqlik almashinish trubalari
- burama 327
- burama lentali 327
- diafragma turbulizatorli 327
- disk turbulizatorli 327
- konfuzor-diffuzor 327
- ko'ndalang «nakatka»li 327
- spiral «nakatka»li 327
- spiral turbulizatorli 327
- shnekli, lentali 327
- shneksimon uyurmalantirgich-li 325

Issiqlik almashinish qurilmalari 284, 299-321, 327
- bir yo'lli 299
- blok-grafitli 312-313
- burilish kamerasi 308
- zmeyevikli 309
- ikki yo'lli 304-305
- linza-kompensatorli 305
- plastinali 311, 312
- spiralsimon 310
- "truba ichida truba" 307, 308
- shnekli 314
- yuvilib turuvchi 309
- qirrali 312
- qo'shaloq trubali 306
- qobiq trubali 299, 300-304
- g'ilofli 312
- U-simon trubali 306
- havo b-n sovutiladigan 365

Issiqlik almashinish qurilma tarkibi

- isituvchi truba 305-306
- segment to'siq 303-304
- taqsimlash kamerasi 308
- tayanch 299-329
- teshikli panjara 299-329
- flanets299-329
- shtuser 299-329
- qistirma 299-329
- qobiq 299-329, 313
- qopkoq 299-329
- harakatchan qalpoqchali 306

Issiqlik berish
- dispers sistemalarda 441
- konvektiv 263, 269-276
- koeffitsiyenti 264,265 274-276

Issiqlik eltkichlar 249
- azot, kislorod, havo 249
- ammiak, oltingugurt uglerod dioksidi 249
- gazlardan elektr razryadi o'tkazilganda hosil bulgan gazlar 249
- geliy 249
- qalay va surmaning qo'rg'oshinli qotishmalari 249
- metan 249
- organik suyuqliklar 249
- silikonlar 249
- suv 249
- suv bug'i 249
- tutun gazlari 249
- shamot, alund va h. 249
- etan, etilen, freonlar 249
- etilenglikol 249

Issiqlik eltkich harakati
- aralash 279-280
- kesishib o'tgan 279
- parallel 279
- qarama-qarshi 279

Issiqlik o'tkazish
- intensivlash usullari 321
- konvektiv 267,276
- koeffitsiyenti 15, 276-279
- tekis, silindrik, sferik devorlardan 276-278

Issiqlik o'tkazuvchanlik
- gaz va suyuqliklar 25-27, 252
- differensial tenglamasi 252-254
- koeffitsiyenti 25-27, 251
- murakkab jismlar 258-260
- tekis devor 254-256
- silindrik 256-257
- sharsimon 257-258
- effektiv 27
- qattiq jismlar 25-26, 251

Ionizatsiya 170
Ionit 555-560
Ishqalanish qarshiligi 62-63
Ishqorlanish 518
Issiqlik nasosi 350

K

Kadi va Vilyams formulasi 384
Kalorifer hisobi 605
Karton 806
Kapitsa sikli 751
Karno sikli 730
Kasatkin formulasi 419
Kimyoviy jarayon 694-728
- issiqlik balans 705
- moddiy balans 704
- tezligi 798-799
- harakatga keltiruvchi kuch 700

Kinetik tenglama 15
- energiya 50

Kireyev qoidasi 333
Klassifikatsiyalash 650
Klod sikli 749
Kolloid tegirmon 649
Konveksiya
- kondensat 288, 332
- majburiy 270
- erkin 269

Kondensatsiyalash 288-293
Konstruksion materiallar 797-802
Kompressorlar 102-117
- vintli 113
- plastinali 111
- rotatsion 110-111
- suv halqali 111
- unumdorlik 108

Korrozion chidamlilik 798
Korroziya tezligi 798
Kristallizator 612-616
- barabanli 614
- lenta aralashtirgichli 614
- mavhum qaynash qatlamli 616
- osma, vakuum 616
- uzluksiz 613
- hisobi 617-619

Kristallanish 608-619
- jarayoni 377
- izogidrik 612
- izotermik 611
- issiqlik balansi 618-619
- kinetikasi 609
- moddiy balansi 617-619
- statikasi 608
- tezligi 611

Kristallogidrat 608
Kristall 608
Kriterial tenglama 31
Kriteriylar
- Arximed 32
- Bio 386, 535

- Veber 33, 32
- Galiley 32, 272
- gomoxronlik 32, 60
- Grasgoff 268
- Guxman 31, 387, 574
- Nusselt 268-270, 390
- Nyuton 31
- Pekle 268, 390
- Prandtl 268, 390
- Reynolds 32, 54, 59, 186
- Stanton 268, 390
- Struxal 32
- tez yurarlik95
- Frud 32, 59
- Furye 267, 268
- Eyler 32, 59

Ko'ndalang to'siqlar 304
Ko'piklar 118
Ko'p komponentli aralashma 118
Kriogen texnika 729
Kriogidrat nuqta 741
Kulrang jism 261
Kutter 650
Kik-Kirpichev nazariyasi 640
Kub qoldig'i 463
Kontaktli quritish 561
Konvektiv quritish 561
- kĩnetikasi 569

Konusli maydalagich 643
Kapillar bog'langan namlik 567
Kimyoviy
- bog'langan namlik 567
- reaksiya tezligi 798
- reaksiya tezligi konstantasi 798
- eksergiya 767

Kuch
- gidrodinamik bosim 185
- inersiya 59
- ishqalanish 121
- ko'taruvchi 120
- markazdan qochma 162
- og'irlik 161
- elektr maydoni 170

Ko'ndalang to'siqlar
- diskli 304
- ikki tomonlama segmentli 304
- segmentli 304

L

Laminar rejim 54, 57, 65
Linzali kompensator 305
Lengmyur izotermalari 532
Le-Shatelye prinsipi 533
Linde sikli 746-747
Latun 802
Levenson formulasi 646
Lambert qonuni 262-263
Levich tenglamasi 58

M

Manfiy effekt 732
Mavhum 67, 68, 187
- plastik 67
- qaynash 187

Massa 19, 376
- miqdori 378-384
- o'tkazuvchanlik 384

Massa saqlanish qonuni 46
Massaviy ulush 17
Monodispers qatlam 183
Massalar ta'sir qonuni 694
Maydalash
- darajasi 635, 636
- ishi 639-640
- yirik 636
- nazariyasi 639
- o'rta 636

Maydalash usullari
- arralash 638
- yeyilish 638
- yorish 638
- siqiq zarba 638
- ezish 638
- qirqish 638

Maydalagich
- bolg'ali 643-644
- diskli 644, 645
- jag'li 641-642
- juvali 646
- ish unumdorligi 643-644, 647
- konusli 643

Mayer formulasi 23
Massa almashinish
- kriteriylari 389-390
- mexanizmi 391
- moddiy balanslari 379
- modellari 393-395
- qattiq jism ishtirokida 384
- qurilmasi 410-435, 502-507
- harakatga keltiruvchi kuch 15, 395-399

Mahalliy qarshilik 61-65
Musbat effekt 732
Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi 563
Mexanik jarayonlar 635-664
Molekular diffuziya 380-384
Moddiy balans 34, 119, 230, 336,379, 576-577, 617
Modellar
- Dankverts 395
- Ditnerskiy 221
- Diffuzion chegaraviy qatlamli 394

- Kishinevskiy 395
- Lyuis va Uitmen 393
Mo'rtlik 638
Membrana 219
- yuzani hisoblash 231
Massa berish 377, 378, 379-388, 446
Massa o'tkazish 15, 377, 391
- asosiy tenglamasi 378
- jarayonlar klassifikatsiyasi 14-16
- kinetikasi 377, 378
- koeffitsiyenti 378, 383
- moddiy balansi 34, 379
- o'rtacha harakatga keltiruvchi Kuch 395-398
- qattiq faza ishtirokida 384-388
Membranali jarayon
- Ishchi yuza 231
- massa o'tkazish koeffitsiyenti 232
- moddiy balans 230
Membranalarni tozalash usullari
- gidrodinamik 224
- kimyoviy 225
- mexanik 224
- fizik 225
Membranali qurilmalar
- ichi bo'sh, bir dasta tolali 229
- ichi bo'sh. tolali 228
- ichi bo'sh. U-simon tolali 229-230
- silindrik filtr elementli 226
- silindrik yuza elementli 226
- yassya yuza elementli 225-226
- o'ramli filtr elementli 227
- hisobi 230-232
Massaviy sarf 43
Mahalliy qarshilik 61,62
Massa o'tkazuvchanlik 384
Mikrokovaklar hajmi 141, 529
Mikrofiltrlash 222
Mis 800
Muvozanat 377
Muvozanat konstantasi 695
Muvozanat diagrammasi 378
Modellashtirish 12
Modifikatsiyalangan kriteriylar
- Reynolds 209, 210
- Eyler 210, 211
Mavhum qaynash 187
- oqimchali 196-198
- soni 189
Mavhum qaynash qatlami
- balandligi 188
- birinchi kritik tezlik 188
- gidravlik qarshilik 189-190
- ikkinchi kritik tezlik 188
Majburiy konveksiya 270
Mononasos 111
- rotor 111
- stator 111
Monodispers 183
Moslama 113, 325
Moor shkalasi 638

N

«Nakatka» li truba 323
Nanofiltrlash 222
Nam saqlash
- materialning 562
- havoning 562
Namlik
- absolyut 562
- adsorbsion bog'langan 567
- gigroskopik 568
- kapillar bog'langan 567
- kimyoviy bog'langan 567
- material 562
- muvozanat 566
- nisbiy 562
- osmotik bog'langan 567
- fizik-mexanik bog'langan 567
- fizik-kimeviy bog'langan 567
- havoning 562
Nam havo
- I-x diagramma 564
Nasadkalar
- Berl egari 415
- Blokli 415
- Gudloye 417
- Intalloks 417
- ichki 71
- kengayuvchi 71
- konoidal 71
- Rashig 414-415
- Pal 416
- Sprevpak 416
- tashqi 71
- Teller 416
- torayuvchi 71
- turi 71-72
- fasonli 417
- vatarli 415-416
- o'lchami 414
Nasoslar
- ketma-ket ulash 85
- vintsimon 96, 100
- markazdan qochma 82, 95, 100
- montejyu 97, 101
- napori 79
- oqimchali 97, 100
- parallel ulash 86
- plunjerli 88

- Kishinevskiy 395
- Lyuis va Uitmen 393
Mo'rtlik 638
Membrana 219
- yuzani hisoblash 231
Massa berish 377, 378, 379-388, 446
Massa o'tkazish 15, 377, 391
- asosiy tenglamasi 378
- jarayonlar klassifikatsiyasi 14-16
- kinetikasi 377, 378
- koeffitsiyenti 378, 383
- moddiy balansi 34, 379
- o'rtacha harakatga keltiruvchi Kuch 395-398
- qattiq faza ishtirokida 384-388
Membranali jarayon
- Ishchi yuza 231
- massa o'tkazish koeffitsiyenti 232
- moddiy balans 230
Membranalarni tozalash usullari
- gidrodinamik 224
- kimyoviy 225
- mexanik 224
- fizik 225
Membranali qurilmalar
- ichi bo'sh, bir dasta tolali 229
- ichi bo'sh. tolali 228
- ichi bo'sh. U-simon tolali 229-230
- silindrik filtr elementli 226
- silindrik yuza elementli 226
- yassya yuza elementli 225-226
- o'ramli filtr elementli 227
- hisobi 230-232
Massaviy sarf 43
Mahalliy qarshilik 61,62
Massa o'tkazuvchanlik 384
Mikrokovaklar hajmi 141, 529
Mikrofiltrlash 222
Mis 800
Muvozanat 377
Muvozanat konstantasi 695
Muvozanat diagrammasi 378
Modellashtirish 12
Modifikatsiyalangan kriteriylar
- Reynolds 209, 210
- Eyler 210, 211
Mavhum qaynash 187
- oqimchali 196-198
- soni 189
Mavhum qaynash qatlami
- balandligi 188
- birinchi kritik tezlik 188
- gidravlik qarshilik 189-190
- ikkinchi kritik tezlik 188
Majburiy konveksiya 270
Mononasos 111
- rotor 111
- stator 111
Monodispers 183
Moslama 113, 325
Moor shkalasi 638

N

«Nakatka» li truba 323
Nanofiltrlash 222
Nam saqlash
- materialning 562
- havoning 562
Namlik
- absolyut 562
- adsorbsion bog'langan 567
- gigroskopik 568
- kapillar bog'langan 567
- kimyoviy bog'langan 567
- material 562
- muvozanat 566
- nisbiy 562
- osmotik bog'langan 567
- fizik-mexanik bog'langan 567
- fizik-kimeviy bog'langan 567
- havoning 562
Nam havo
- I-x diagramma 564
Nasadkalar
- Berl egari 415
- Blokli 415
- Gudloye 417
- Intalloks 417
- ichki 71
- kengayuvchi 71
- konoidal 71
- Rashig 414-415
- Pal 416
- Spreypak 416
- tashqi 71
- Teller 416
- torayuvchi 71
- turi 71-72
- fasonli 417
- vatarli 415-416
- o'lchami 414
Nasoslar
- ketma-ket ulash 85
- vintsimon 96, 100
- markazdan qochma 82, 95, 100
- montejyu 97, 101
- napori 79
- oqimchali 97, 100
- parallel ulash 86
- plunjerli 88

- porshenli 88,99
- rostlash 87
- tarmoqdagi ish 85-86
- tripleks 89
- unumdorligi 79
- universal xarakteristika 85
- shesternyali 94,100
- erlift 97
- o'qidagi quvvat 79

Nikel 801
Nisbiy
- zichlik 17
- g'adir-budurlik 58

Nutch-filtr 145
Nuqta
- inversiya 733
- kriogidrat 741
- uchib chiqish 188,189,191
- shudring 565

Napor
- geometrik 49,50
- gidrodinamik 49,50
- gidrostatik 49,50
- dinamik 52,50
- yo'qotilishi 65
- nasos 79

Nonyuton suyuqlik 65
Nurlanish energiyasi 260-263
Nurlanish turi
- infraqizil to'lqin 260
- kosmik 260
- γ-nurlanish 260
- radio to'lqin 260
- rentgen 260
- ultrabinafsha 260

Nyuton qonuni 55
- suyuqlik 65-67

O

Oltingugurt angidridi 218,741
Osmos 218,221
- teskari 220

Osmotik bosim
Oraliq
- issiqlik eltkich 284
- sovuqlik eltkich 284, 740-741

Oqim
- issiqlik 249-282
- noturg'un 44-45
- turg'un 44-45

Oquvchanlik chegarasi 66
Oqim turbulentligi 54; 57-59
Oqimchali nasos 97,100

P

Paskal qonuni 40
Parsial bosim 464,562,565
Paronit 806,818
Paxta chigiti 24-27
Peltye effekti 736
Permeat 218,222
Perkolyator 522
Piroliz 818
Pirogaz 719, 722-728
Pnevmometrik truba 52
Planovskiy A.N. nazariyasi 700
Plastik harakat 66-69
Plastinali compressor 111
Plastmassa 802
Plastifikat xlorvinilli 806
Proporsionallik qonuni 87
Polidispers qatlam 183-185
Politropik jarayon 104
Politropa ko'rsatkichi 104, 105
Porshenli nasos 88, 93, 99
- zichlovchi halqa 88
- krivoship-shatun mexanizmi 88,106
- porshen 88,106
- so'rish klapani 88,106
- silindr 88,106
- haydash patrubkasi88,106

Potensial energiya 49-51
Polimorfizm 609
Potensial energiya 49-50
Pog'onalar soni 113
Plunjerli nasos
- plunjer 88
- so'rish klapani 88
- silindr 88
- haydash patrubkasi 88

Propan 715-718
Press
- bir shnekli 668
- vertikal shnekli 668
- diskli 669
- ikki shnekli 670
- rotatsion 668
- qiya shnekli 667

Puazeyl tenglamasi 57
Purkab granullash 675-676
Purkash 675
Purkagichlar
- vibratsion 169
- markazdan qochma 169
- mexanik 676
- pnevmomexanik 689
- pnevmatik 676
- soplo 256

Po'lat 799

R

Radiatsion quritish 561
Radiant 716-728
Rafinat 495
Reaktorlar 707-728, 819
- aralashish 709, 713
- davriy 707
- siqib chiqarish 708, 714
- uzluksiz 707
- yarim uzlukli 707-708
- hisobi 711- 715

Reaksiya darajasi 699
Reaksiya kamerasi 715-719

Reaksiya tezligi
- konstantasi 798

Rebinder tenglamasi 568
Regenerativ issiqlik almashinish 314
Rezina 806
Reynolds kriteriysi 32, 54,59, 186
Rektifikatsiya 470-493
- jarayoni 376
- issiqlik balans 472-473
- moddiy balans 471
- flegma soni 472, 475

Rektifikatsion kolonna
- kolonna 475
- deflegmator 475
  isitkich 475
- sovutkich 475
- uzluksiz ishlaydigan 477
- hisobi 478-493

Reologiya 66
Retant 218, 222
Rittinger tenglamasi 639
Richag qoidasi 496
221
Romli kesgich 649
Rotorli kompressor 110-111

S

Samarador truba 321, 323, 327-328, 352-354
Sarf koeffitsiyenti 72
Selektiv o'tkazuvchanlik
Separator
- markazdan qochma 129-132
- tarelkali 130

Silikagel 531
Simpleks 30
Sirtiy kondensatsiya 288
Sirtiy taranglik 23
Siqish jarayoni 102-106
- ishi 104
- iste'mol quvvati 105
- temperaturasi 105

Skrubberlar
- Venturi 168
- ichi bo'sh 167
- nasadkali 167
- ko'pikli 168

Sovitish 295-299,729-758
- koeffitsiyenti 731
- muz bilan 296,729
- suv bilan 296,729
- havo bilan 297,729

Sovitish mashinalari
- absorbsion743
- injektorli 744
- suv-ammiakli 743

Sovitish usullari
- gazlarni kengaytirib 733
- suyuqliklarni bug'latib 732

Sovuqlik ish unumdorligi 297,298
Sovuqlik eltkichlar 284
- ammiak 741
- oltingugurt angidrid 741
- uglerod dioksidi 741
- freonlar 735,741
- xlorli metil 741

Solishtirma og'irlik 19
- issiqlik sig'im 23-25

Sorbsiya 404, 529
- Izotermalari 532

Stefan-Bolsman qonuni 261
Stoks qonuni 123
Suv bug'i
- birlamchi 332
- ikkilamchi 332
- isituvchi 331
- Suvsizlantirish 665-666

Suspenziya 132
Suyuqlik
- zichligi 17
- ideal 38
- issiqlik sig'imi 23-25
- issiqlik o'tkazuvchanligi 25-27, 251-260
- nasadkadan oqib chiqishi 17
- og'irligi va hajmi 17-19
- purkagich 675-676
- sarfi 43
- sirtiy tarangligi 23
- siqish 102-115
- sovitish va isitish 284-321
- tezligi 43, 52-53
- uzluksizligi 45-47
- uzatish 78-99
- qaynashi 336-337
- qovushoqligi 19-23
- haqiqiy 38

Suyuqlik bilan yuvib eritish 518-521
So'rish balandligi 80-81

T
Tantal 801
Tarelka
- ballastli 423
- kapsulali qalpoqcha 422
- klapanli 423
- oqimchali 425
- panjarali 426
- soni 401-402
- tunnelli 424
- teshikli 426
- to'lqinsimon 429
- elaksimon 421-422
- qalpoqchali 422
- elaksimon-qalpoqchali 429
- haqiqiy soni 401
- S-simon elementli 425-426
Tarqalish koeffitsiyenti 378
Tebranma tegirmon 648
Tebranma elak 651
Teller rozetkasi 416
Tegirmon
- juvali 645
- kolloid 649
- tebranma 648
- sharli 647
- yuguruvchi 647
Tegirmonlar 640-650
Tezkor granulyator 677
Tezlik 43, 52-65, 126, 188-190, 646
Tekstolit 806
Temperatura
- aniqlovchi 269-270
- gradiyenti 250-251
- depressiyasi 332-334
- maydoni 250
- napori 15, 355-359
- farqi 276,321,332,354-355
- o'rtacha 276, 320, 355
- qaynash 333
- quruq termometr 566
- ho'l termometr 565
Temperaturaviy koeffitsiyent 704
Tenglama
- Bernulli 48-50, 52-55
- Bertlo-Nernst 495
- Blazius 63
- Bond 640
- Bouman 282
- kriterial 31, 267-271
- massa berish 377
- massa o'tkazish 378-379
- Nurmuhamedov 25, 194-195, 198
Tishenko 332-333
- gidrodinamika differensial 47-48
- gidrostatika asosiy 40-42
- Darsi-Veysbax 441
- Dubinin 533
- issiqlik o'tkazish 276-282
- issiqlik o'tkazuvchanlik 25-27, 252-254
- Kasatkin A.G. 419
- konvektiv issiqlik almashinish 237-271
- Lengmyur 556
- Mayer 23
- massa o'tkazish 377-378
- Mendeleyev-Klapeyron 563
- Navye-Stoks 52
- oqimning uzluksizligi 45
- Plank 261
- Planovskiy 572, 444
- Planovskiy va Rudobashta 573
- Puazeyl 57
- Rebinder 568
- Salamaxa 445
- sarfning o'zgarmasligi 46
- Todes 190-191
- filtrlash 140-144
- Furye 573
- Furye-Kirxgof 266
- Shukarev 520-521
- Eyler 82
Teorema
- Bekingem, Federman va Afanasyeva-Erenfest 31
- Kirpichev va Guxman 31
Termik qarshilik 277
Termomembran jarayon 224
Teskari osmos 220-222
Texnologiya 14
Tindirgich
- ko'p qavatli 128
- emulsiya ajratgich 128-129
- eshkak aralashtirgichli 128
Titan 801
Tishenko formulasi 332-333
Tozalash darajasi 161
- gazlarni 161
- suyuqliklarni 161
- turli jinsli sistemalarni 118-183, 161
Tomchi ushlagich 343
Tripleks-nasos 89
Tuman 119
Turbogazoduvka 113
Turbodetander 751-752
Turbokompressor 751-752
Turboqorishtirgich 208
- deflektor 208
- rotor 208
- segment 208
- filtr 208
- elektr yuritkich 208
- qopqoq 208

Turbulent harakat 54, 57-59
- diffuziya 380-381
Turbulizator 323
Turli jinsli sistema 118-132
Turg'un va noturg'un oqimlar 44,45
Tutashgan idishlar 41-42
Tutun 118
Truba va gaz quvurlari
- burama 327
- diametrini hisoblash 69-71
- silliq 58
- spiralsimon turbulatorli 427
- uzunligi 302
- g'adir-budur 58
«Truba ichida truba» 307-308
Trubalar bo'shlig'i 304
Trubalararo bo'shliq 303-304
Trubalarni joylashtirish usullari
- kvadrat tomon va cho'qqilarida 301-302
- konsentrik aylanalar bo'ylab 301-302
- to'g'ri oltiburchak qirra va cho'qqilarida 301-302
Trubali va plastinali elektr filtr
- elektrod 170-172
- silkituvchi moslama 172
- teshikli panjara 172
- «toj» hosil qiluvchi elektrod 172
- trubali elektrod-anod 171
- chang yig'gich 171
Trubalarni teshikli panjaraga zichlash
- yelimlash 300
- kavsharlash 300
- razvalsovka 300
- payvandlash 300
- «portlatib» zichlash 300
- salnik bilan zichlash 300
«To'kma» zichlik 19, 637

U

Uglerod dioksidi 249, 741
Uzluksizlik tenglamasi 45-47
Ultra past temperatura texnikasi 729
Ultrafiltrlash 221
Unumdorlik 84, 89, 95, 109, 127, 130
Uskuna 9, 14
Usullar
- entropiya 767
- eksergiya 767, 770-771
Uch bosqichli nasos 91
Uchburchak diagramma 495
Uyurmaviy
- effekt 735
- quvur 735

F

Favvorasimon qatlamli
- granulator 674
Faza
- bir fazali oqim 40-41, 43
- dispers 118
- dispersion 118,376-399
- ikki fazali oqim 187, 193
- qoidasi 377
Fazaviy muvozanat 377
Fazalar qoidasi 377
Faollangan ko'mirlar 530
Ferment 622
Fermentator 626-628
Fermentatsiya 623-626
Flegma 472-473
Flegma soni 475
Fibra 822
Fizik-kimyoviy bog'langan namlik 567
Fikning 1, 2-qonunlari 380, 382
Filtr to'siq 140, 141-150
- gazlama 140, 160
- yengli 164
- karton 140
- kvars qum 166
- keramika, g'ovakli 140
- koks 166
- metallokeramika 140
- plastmassa, g'ovakli 140
- press 146
- sochiluvchan material 140
- to'r parda 140
- shag'al 140
- shlak 140
- qum 140
- g'ovakli polimer 140
Filtrat 140-141
Filtrlar 144-150
- barabanli 147
- vakuumli 147
- diskli 148
- yengli 164
- lentali 149
- nutch-filtr 145
- patronli 166
- uzluksiz 149-150
- filtr-press 145-147
- sentrifuga 149,150
- qumli 144
- hisobi 151-152
Filtrlash 140-159
- vaqti 142-143
- intensivlash 150-151
- kinetik tenglama 142
- konstantasi 144
Filtrlash turlari
- kovakni to'ldirish 141

- oraliq 141
- cho'kma hosil qilib 141
Foydali ish koeffitsiyenti 79,89, 163, 734
- adiabatik 104, 106
- gidravlik 79, 84
- izotermik 104
- mexanik 79, 88
- nasos 79
- uzatish 79, 88
- eksergetik 754, 758, 764
Foydali 79-80
Fosfogips 679
Fraksiyali haydash 468
Freydlix izotermalari 532
Freonlar 735, 741
Ftoroplast 802
Ftoroplast trubali issiqlik almashinish qurilmasi 353-354
Fugat 129
Furye qonuni 251, 386

X

Xemosorbsiya 404
Xlorli metil 741
Xomashyo 17-27

S

Sentrifuga 129
- gorizontal 129, 130
- filtrlovchi 129
- cho'ktiruvchi 129
- o'ta samarali 131,132
Sentrifugalash 119
- unumdorligi 130
Seolitlar 531
Sikllar
- Geylandt 751
- ideal mashina736-737
- Kapitsa 751-752
- Karno 730
- Kaskadli 742
- Klod 749
- Linde 746-747
- haqiqiy mashina 737
Siklonlar 162-164, 176
- batareyali 163, 178
- NIIOGaz 162-163
Sirkulatsion truba 344-345

Ch

Chang 118
Charm 806
Chegaraviy qatlam 54, 58-59
- nazariyasi 520
Chigit tukliligi 194
Cho'kish
- siqiq 123
- tezligi 122
Cho'kma 125, 126-132
Cho'ktirish 120-126
- qattiq zarrachalarni 120
- turli jinsli sistemalarni 118, 120
Cho'ktirgich
- ish unumdorligi 127
- ko'p qavatli 128
- uzlukli 127
- uzluksiz ishlaydigan 129
- yarim uzlukli ishlaydigan 127
Cho'ktirish kamerasi 177-178
Chuqur sovitish texnikasi 729, 752-753
Cho'yan 798

Sh

Shakl koeffitsiyenti 121,185,194
Shakllantirish 666
Sharli tegirmon 647, 661

Sharsimon devor 257
Shartlar
- boshlang'ich 27
- chegaraviy 28
Shaffof jism 261
Shervud-Likov usuli 575
Shesternyali nasos 94, 100
Shilov I.A. modeli 534
Shisha plastiklar 802
Shtamm 620-634
Shudring nuqtasi 565
Shukarev formulasi 520-521

E

Ezish 638
Eyler differensial tenglamasi 39-41, 47
Ekvivalent diametr 44
Eksergetik
- yo'qotilishlar turlari 775-777
- quvvat 779
- tahlil 783-785
- unumdorlik 779-780
Eksergiya 36, 767-793
- kimyoviy 772
- nurlanish 774
- f.i.k. 362, 780, 783-787
- termomexanik 772
Ekstra-bug' 332
Ekstragent 494
Ekstrakt 494
Ekstraktorlar 502-507, 521-525
- aralashtirgichli 505
- vibratsiya tarelkali 506

- kolonnali 504
- aralashtirib-tindiruvchi 502
- pulsatsiyali 506
- purkovchi 504
- perkolyator 522
- ikki shnekli 522
- rotor-diskli 504
- tarelkali 503
- trubali 504,524
- hisobi 508-516

Ekstraksiyalash 376
- bir pog'onali 498-499
- jarayon hisobi 508-516
- jarayon mohiyati 497
- ko'p pog'onali 499
- «suyuqlik-suyuqlik» sistemasida 495-516
- «qattiq jism-suyuqlik» sistemasida 518

Ekstruziya 666
Ekstrudat 667
Ekstruder 670
Elaklar 651-654
Elakli tahlil 651-652
Elash 651-653
Elektr maydon potensiali 172-173
Elektr filtrlar
- plastinali 172-173,179
- trubali 172
- elektr yuritkich quvvati 209
- hisobi 179-182

Elektrod 170-173
Elektrodializ 218
Elektrolit 221, 555-556
Elektrod
- plastinali 171,173
- trubali 171-172
- "tojli" 170

Elektromagnit barabanli g'alvir 653
Emulsiya 118
Energetik balans 49
Energiya 49-50, 766-767
Energotexnologiya 766
Entalpiya 289, 562, 578-583, 732
Entropiya 767
Eritma
- issiqlik sig'imi 334
- konsentrlangan 331-371
- to'yingan 608
- o'ta to'yingan 608

Eritish 5198, 608
Eritish issiqligi 334
- jarayoni 518-521

Eritkich
- ikki kolonnali 524
- lentali 524
- mavhum qaynash qatlamli 524
- trubali 524
- hisobi 525-528

Erituvchi 518
Erkin
- Zarba 638
- konveksiya 269

Eruvchanlik 518
Effekt
- magnit kalorik 736
- manfiy 732
- musbat 732
- Peltye 736
- termoelektrik 736
- uyurmaviy 735

Effuziya 592

Yu

Yugiruvchi tegirmon 647
Yuza
- issiqlik almashinish 248,258,259,264,320,363,366,370
- samarador truba 317, 327-329
- solishtirma 530, 536
- filtrlash 1442

Yuza nazariyasi 639
Yumalatib granullash 671-672
Yupqa qatlam qalinligi 412
Yuqori legirlangan po'lat 800
Yuqori chastotali quritkich 594-595

Ya

Yanchish 635, 645, 647
- mayda 635, 636
- mayin 635, 636

O'

O'lchov
- birliklar 33-34
- diafragmasi 53
- soplosi 53

O'rtacha
- diametr 635-636
- konsentratsiya15,396
- parsial bosim 565
- tezlik 43, 56, 70, 210
- temperatura 15,248-375

O'ta to'yingan eritma 608-609
- qizdirilgan suv 285

O'tish rejimi 54
O'tkazish birligining soni 395, 398
O'tkazish birligining balandligi 398
O'tkazuvchanlik
- issiqlik 25-27, 251-252
- massa 384

- selektiv 221
- temperatura 267-268
O'xshash 28
O'xshashlik 27-33
- birxillik shartlari 27-28
- vaqt 29
- geometric 29
- gidromexanik 31
- invariant 29-30
- kriteriylari 30-33
- nazariyasi 28
- teoremalari 31
- fizik 29
O'qdagi quvvat 79, 105-106, 113
O'qli nasos. kompressor 114

Q

Qaynash 293
Qarshilik
- gidravlik 60, 63 186-187
- ishqalanish 61, 186
- mahalliy 61, 62, 190
Qatlam
- mavhum qaynash 187-196
- qo'zg'almas 183-187
- g'ovak 184, 190-191, 384
- harakatchan 187-196
Qattiq jism
- yirik kovakli 384
- ultra-mikrokovakli 384
- o'rtacha 384
Qattiqlik 637
Qiyin uchuvchan 331
Qirrali issiqlik almashinish yuzalari
- bo'ylama qirrali 313
- gofrirlangan qirrali 313
- ko'ndalang qirrali 313
- spiralsimon qirrali 313
- trapetsidal shaklli qirra 313
- to'g'ri to'rtburchak shaklli 313
- uchburchak shaklli 313
Qirrali truba 313
Qirqish 638
Qobiq-trubali isitkich 299-302
Qovushoqlik
- gaz 22
- dinamik 21
- kinematik 21
- nonyuton suyuqliklar 21
- Nyuton suyuqliklar 20
- suyuqlik 21-22
Qoida
- Babo 333
- Vrevskiy 466-467
- *Dyuring 333*
- Kireyev 333
- richag 496
- fazalar 377
Qonunlar
- Arximed 76
- Vrevskiy 466-467
- Genri 404-405
- Kirxgof 262
- Konovalov 465, 466
- Lambert 262
- Nyuton 31, 55, 76, 264
- Nyuton-Petrov 121
- Paskal 40
- proporsionalnik 87
- Raul 466
- saqlanish (energiya, massa) 46
- Stefan-Bolsman 261
- Stoks 123
- Fik 380-382
- Furye 251, 386, 389
Quvvat 79-80, 95
Quvvatning zaxira koeffitsiyenti 79
Qurilma
- biokimyoviy 626-628
- diametri 400
- gidravlik 43-44
- issiqlik almashinish 299-319
- kimyoviy 706-711
- massa almashinish,428-4352, 477-478, 502-507, 521-525, 537-544, 583-595, 612-616
- mexanik 640-651
- sovitish 731-735
Quritish 377, 561-595
- davomiyligi 573, 574 ,575
- dielektrik 561
- jarayoni 377, 561
- jarayon ishchi chizig'i 578
- issiqlik balansi 577
- kinetikasi 569-576
- konvektiv 561
- kontaktli 561
- moddiy balans 576
- potensiali 566
- radiatsion 561
- statikasi 566
- sublimatsiyali 561
- tezligi 570
Quritish sohasi 568
Quritish tezligining egri chizig'i 570
Quritish egri chizig'i 570
Quritkich nasadkalari turi
- ag'daruvchi, yopiq yacheykali 588,
- ag'daruvchi, sektorli 588
- ko'taruvchi-parrakli 588
- parrakli 588
- taqsimlovchi 588
Quritkichlar
- barabanli 587
- juvali 591

- kamerali 584
- lentali 584
- mavhum qaynash qatlamli 591
- purkovchi 592
- sirtmoqli 586
- sublimatsiyali 592
- tebranma. mavhum qaynash 586-588
- termoradiatsion 593
- tunnelli 584
- shaxtali 585
- yuqori chastotali 594
- hisobi 595-606

Qurituvchi eltkichlar
- tutun gazlari 287
- o'ta qizigan bug' 285-287
- havo 561

Quyuqlashgan eritma 334
Qo'rg'oshin 801
Qo'shaloq-trubali 306

G'

G'adir-budur 58
G'alvir
- barabanli 653
- elektromagnit barabanli 653

G'ilofli isitkich 312-313
G'ovaklilik 20,184.190-191
- jism 20, 384-386
- qatlam 20, 184, 195

G'ovaksimon jism tuzilishi 385

H

Havo
- ajratish 118-119, 160-176
- sarfi 160, 600

Havoli kondensator 315-316, 745
Hajmiy
- sarf 43
- nazariyasi 639

Haydash 463-470
- deflegmatsiya bilan 468
- jarayoni 376
- moddiy balans 468
- molekular 469
- oddiy 467
- suv bug'i bilan 468
- fraksiyali 468

Harakat
- laminar 54
- turbulent 54, 57-60
- o'tish 54

Harakat yo'nalishlari
- aralash 279-280
- kesishib o'tgan 279-280
- parallel 279-280
- qarama-qarshi 279-280

Harakatga keltiruvchi kuch 34
- gidromexanik jarayonlar 14, 118-247
- issiqlik almashinish jarayonlar 14, 249-375
- kimyoviy jarayonlar 15, 694-728
- massa almashinish jarayonlar 15, 376-619
- mexanik jarayonlar 15

Haqiqiy suyuqlik 38, 48-50
Haqiqiy flegma soni 475
Himoyalovchi ta'sir vaqti 534
Hisob
- gidravlik 359-362
- bolg'ali 659
- jag'li maydalagich 655
- issiqlik 354-359
- mexanik 363-365
- reaktor 711
- eksergetik 362-363

Ho'l termometr temperaturasi 565
Ho'llangan perimetr 44, 184

ADABIYOTLAR

1. Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Ҳ.С., Закиров С.Г. Кимёвий технология асосий жараён ва курилмалар. – Т.: Шарк, 2003, 644 б.

2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973, 752 с.

3. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – М.: Химия, 1987. – 496 с.

4. Гельперин Н.И. Основные процессыq аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1995, т. 1-2, 768 с.

5. Юсупбеков Н.Р, Нурмухамедов Ҳ.С., Зокиров С.Г., бошкалар. Кимё ва озиқ-овкат саноатларининг асосий жараён ва курилмаларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш. – Т.: Жахон. 2000, 231 б.

6. Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С. Кимё ва озиқ-овкат саноатларнинг жараён ва курилмалари фанидан ҳисоблар ва мисоллар. – Тошкент: Nisim, 1999, 351 с.

7. Ризаев Н.У., Юсупбеков Н.Р., Юсипов М.М. Основы оптимизации экстракционной и ионообменной технологии. – Т., «Ўкитувчи». 1975, 247 с.

8. Левш И.П., Убайдуллаев А.К. Гарелчатые абсорберы и скрубберы с псевдоожиженным слоем орошаемой насадки. – Т., Узбекистан, 1981, 236 с.

9. Хванг С.Т., Каммермеер К. Мембранные процессы разделения. – М.:Химия, 1981, 464 с.

10. Бродянский В.М., Фратшер В.Ф., Михалек К. Эксергетический метод и его применение. – М.: Энергоатомиздат, 1988, 288 с.

11. Шаргут Я., Петела Р. Эксергия. – М.: Энергия. 1968, 279 с.

12. Соколов Р.С. Химическая технология, т. 1-2, М.: Владос,– 2000, 814 с.

13. Нурмухамедов Х.С. Научные основы создания процессов и аппаратов для сушки и гранулирования зернисто-волокнистых материалов. Дисс.... докт. тех. наук, – Ташкент: ТашХТИ, 1993, 440 с.

14. Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов В.А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. – М.: Недра, 2000, 677 с.

15. Бродянский В. М. , Фратшер В.Ф., Михалек К. Эксергетический метод и его приложения. – М.: Энергоатомиздат, 1988, 288 с.

16. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии, т. 1-2. – М.: Химия, 1995,- 768 с.

17. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М., Курочкина М. И. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии. – С-Пб.: Химия, 1993, 496 с.

18. Абросимов А.А. Экологические аспекты производства и применения нефтепродуктов. – М.: Барс, 1999, 732 с.

19. Машины и аппараты химических производств: Учеб. пособие для вузов / Доманский И.В., Исаков В.П., Островский Г.М. и др.; Под общ. ред. В.Н. Соколова - 2-е изд., перераб. и доп. – С.-Пб.: Политехника, 1992, 327с.

20. Николаев В.В., Бусыгина Н.В., Бусыгин И.Г. Основные процессы физической и физико-химической переработки газа. – М.: ОАО «Недра». 1998, 184 с.

21. Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 1999, 551 с.

22. Владимиров А.И., Щелкунов В.А., Круглов С.А. Основные процессы и аппараты нефтегазопереработки (краткий справочник). – М.: Нефть и газ, 1996, 155 с.

23. Поникаров И.И., Перелыгин О.А., Доронин В.Н., Гайнуллин М.Г. Машины и аппараты химических производств: – М.: Машиностроение, 1989, 368 с.

24. Идельчик И.Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1983, 351 с.

25. Варгафтик Н.Б. Теплофизические свойства веществ. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956, 368 с.

26. Гухман А.А. Введение в теории подобия. – М.: Высшая школа, 1973, 295 с.

27. Гинзбург А.С., Громов М.А. Теплофизические свойства картофеля, овощей и плодов. – М.: Агропромиздат, 1987, 272 с.

28. Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – Л.: Машиностроение, 1970, 752 с.

29. Соколов В.Н., Доманский И.В. Газожидкостные реакторы. – Л.: Машиностроение, 1976. – 214 с.

30. Буевич Ю.А., Минаев Г.А. Струйное псевдоожижение. -М.:Химия. 1984. -136 с.

31. Баскаков А.П., Фролов В.Ф., Сажин Б.С. и др. Расчеты аппаратов кипящего слоя. Справочник. – М.: Химия, 1986, 352 с.

32. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии – М.: Химия, 1971, 496 с.

33. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процесов. – М.: Химия, 1982, 288 с.

34. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1978, 736 с.

35. Жужиков В.А. Фильтрование. – М.: Химия, 1984, 336 с.

36. Псевдоожижение /под редакцией Айнштейна А.Г., Баскакова А.П. – М.: Химия, 1991, 400 с.

37. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.

38. Роев Г.А. Очистные сооружения. Охрана окружающей среды: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1993, 281 с.

39. Фильтры для жидкостей. Каталог НПО «НИИхиммаш». Фильтры периодического действия, ч.2, кн.1, – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992? – 44 с.

40. Электрогидраторы. Трехфазные сепараторы. Электроразделители. Каталог ВНИИнефтемаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992, 7 с.

41. Лейтес И.Л., Сосна М.Х., Семенов В.П. Теория и практика химической энерготехнологии. – М.: Химия, 1988, 280 с.

42. Страус В. Промышленная очистка газов: Пер. с англ. – М.:Химия, 1981, 616 с.

43. Центробежные горизонтальные и вертикальные химические насосы с проточной частью из металла: Каталог. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1981, 92 с.

44. Островский Г.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов в химической промышленности. – Л.: Химия, 1984, 116 с.

45. Маликов З.М., Нуритдинов А.А., Ризаев А.А. Методика расчета эффективности центробежных пылеуловителей // Доклади АН РУз, 2012, №2, 32-34 с.

46. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1979, 416 с.

47. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. – М.: Машиностроение, 1981, 205 с.

48. Дзюбенко Б.В., Дрейцер Г.А., Ашмантас Л.-В.А. Нестационарный теплообмен в пучках витых труб. – М.: Машиностроение, 1988, 240 с.

49. Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. – М.: Машиностроение, 1982, 200 с.

50. Юдаев Б.Н. Теплопередача. – М.: Высшая школа, 1981. – 319 с.

51. Кошкин В.К., Калинин Э.К. Теплообменные аппараты и теплоносители. – М.: Машиностроение, 1971, 200 с.

52. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика.– М.: Высшая школа, 2000, 261 с.

53. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. – М.: Машиностроение, 1989, 366 с.

54. Таубман Е.И. Выпаривание. – М.: Химия, 1982, 328 с.

55. Эксергетические расчеты технических систем: Справочное пособие // Бродянский В.М., Верхивкер Г.П. и другие: – Киев: Наукова Думка, 1991, 360 с.

56. Чечеткин А.В. Высокотемпературные теплоносители. –М.:Энергия, 1971, 496 с.

57. Зокиров С.Г., Каримов К.Ф. Интенсификация теплообмена в каналах при течении вязких жидкостей // ЎзР ФА маърузалари, 1997, №7, 32-35 с.

58. Зокиров С.Г., Каримов К.Ф., Саттаров Т. Применение двухмерной шероховатости для увеличения теплоотдачи вязкой жидкости // Труды II Российской Национальной конференции по теплообмену. Интенсификация теплообмена, т.8. – М.: МЭИ, 1998, 114-117 с.

59. Dreytser G.A., Gomon V.L., Krayev V.M., Zakirov S.G. Studies of fouling channels with turbulence promoters // Proceeding of the 3rd European Thermal Sciences Conference, Heidelberg, Germany, 10-13 September, 2000.

60. Каримов К.Ф., Умаров У.Э., Алиев Б.А. Выбор оптимального тепло-обменного аппарата по эксергетическому к.п.д. // Техникавнй, иқтисодий ва фундаментал фанлар соҳасининг муҳим масалалари. - №3 – Ташкент, 2000, 91-93 б

61. Чечеткин А.В., Занемовец Н.А. Теплотехника. – М.:Высшая школа, 1986, 344 с.

62. Владимиров А.И., и др. Гидравлический расчет теплообменных аппаратов. – М.: Изд. ГАНГ им. И.М. Губкина, 1997, 58 с.

63. Головачев В.Л., Марголин Г.А., Пугач В.В. Справочник-каталог. Промышленная кожухотрубчатая теплообменная аппаратура. – М.: Изд. ИНТЭК ЛТД, 1992, 265 с.

64. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего и специального назначения. Каталог ВНИИнефтемаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991, 106 с.

65. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник / А.Н. Бессонный, Г.А. Дрейцер, В.Б. Кнтыщ и др.; Под общ. ред. В.Б. Кнтыща. – СПб.: Недра, 1996, 512 с.

66. Пластинчатые теплообменные аппараты. Каталог УкрНИИхиммаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1990, 51 с.

67. Стальные спиральные теплообменники. Каталог УкрНИИхиммаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1976, 22 с.

68. Теплообменные аппараты «труба в трубе». Каталог ВНИИнефтемаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992, 23 с.

69. Трубчатые печи. Каталог АООТ «ВНИИнефтемаш». – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1998, 27 с.

70. Зайчик Ц.Р. Сборник задач по расчетам оборудования винодельческого производства. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983, 200 с.

71. Обливин А.Н., Прокофьев Н.С., Воскресенский А.К. и др. Процессы и аппараты производства плит и пластиков.- М.: Экология, 1991, 456 с.

72. Выпарные аппараты вертикальные, трубчатые общего назначения: Каталог УкрНИИхиммаша. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1979, 38 с.

73. Плановский А.Н., Муштаев В.И., Ульянов В.М. Сушка дисперсных материалов в химической промышленности – М.: Химия, 1979, 287 с.

74. Бесков В.С., Сафронов В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии. – М.: Химия, 1999, 470 с.

75. Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование. Система «твердое тело – жидкость». – Л.: Химия 1974, 254 с.

76. Аксельруд Г.А., Молчанов А.Д. Растворение твердых веществ.– М.: Химия, 1977, 272 с.

77. Пономаренко М.Г., Ткаченко К.П., Курлянд Ю.А. Кристаллизация в псевдоожиженном слое – Киев : Техника, 1972, 132 с.

78. Гельперин Н.И., Носов Д.А. Основы техники фракционной кристаллизации. – М.: Химия, 1986, 304 с.

79. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет.– М.: Химия 1986, 272 с.

80. Кафаров В.В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа, 1979, 439 с.

81. Петлюк Ф.Б., Серафимов Л.А. Многокомпонентная ректификация. – М.: Химия 1983, 304 с.

82. Шервуд Т., Пигфорд Р.Л., Уилки Ч. Массопередача.– М.: Химия 1982, 696 с.

83. Колонные аппараты. Каталог ВНИИнефтемаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992, 26 с.

84. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы техники сушки. – М.: Наука, 1997,– 448 с.

85. Сушильные аппараты и установки. Каталог НИИхиммаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992, 80 с.

86. Александров И.А. Массопередача при ректификации и абсорбции многокомпонентных смесей. – Л.: Химия, 1975, 320 с.

87. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной технологии. – М.: Химия, 1984, 591 с.

88. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976, 656 с.

89. Трейбал Р. Жидкостная экстракция. – М.: Химия, 1966, 742 с.

90. Туменов С.Н., Корбатов А.Б., Косой В.Д. Обработка мясных продуктов давлением. – М.: Агропромиздат, 1991, 271 с.

91. Рогов И.А., Забашта А.Г., Ибрагимов Р.М., Забашта Л.А. Производство мясных полуфабрикатов и быстрозамороженных блюд.– М.: Колос, 1998, 335 с.

92. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. – М.: Колос, 1999, 495 с.

93. Тихомиров В.Г. Технология пива и безалкогольных производств. – М.: Колос, 1998, 448 с.

94. Бутковский В.А., Птушкин Г.Е. Технологическое оборудование мукомольных производств. – М.: Хлебопродукты, 1999, 202 с.

95. Никулинко Т.Т., Лавриненко Ю.И. и др. Проектирование предприятий общественного питания. – М.: Колос, 2000, 212 с.

96. Шольц Е.П., Понаморев В.Ф. Технология переработки винограда. – М.: Агропромиздат, 1990, 447 с.

97. Медведев Г.М. Технология макаронного производства. - М.: Колос, 1998, 272 с.

98. Бредихин С.А., Бредихина О.В., Космодемьянская Ю.В., Никифоров Л.Л. Технологическое оборудование мясокомбинатов. - М.: Колос, 1997, 392с.

99. Арутюнян Н.С., Янова Л.И., Аришева Е.А. и др. Технология переработки жиров. – Л.– М.: Агропромиздат, 1985, 368 с.

100. Рудобашта С.П. Массоперенос в системе с твердой фазой. – М.: Химия, 1980, 248 с.

101. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. – М.: Химия, 1976, 432 с.

102. Муштаев В.И. и др. Сушка в условиях пневмотранспорта. – М.: Химия, 1984, 230 с.

103. Классен П.В., Гришаев И.Г. Основы техники гранулирования. – М.: Химия 1982, 272 с.

104. Классен П.В., Гришаев И.Г. Основные процессы технологии минеральных удобрений. – М.: Химия 1990, 304 с.

105. Генералов М.Б., Классен П.В., Степанова А.Р., Шомин П.В. Расчет оборудования для гранулирования минеральных удобрений. – М.: Машиностроение, 1984, 192 с.

106. Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. Гранулирование. – М.: Химия, 1991, 240 с.

107. Казаков А.И., Классен П.В. // Химическая промышленность, 1986, №6, 357 с.

108. Гузь М.А. Разработка метода расчета высокоскоростного гранулятора окатывания для мелкодисперсных материалов; Дисс... канд.тех.наук. – М.: МИХМ, 1982, 206 с.

109. Казаков А.И., Классен П.В., Канн С.В. // Химическая промышленность, 1989, №2, 220-224 с.

110. А.с. № 1724349, МКИ[4] F26B 1/04. Устройство для грануляции, изготовления гранул из вязкого материала. // Нурмухамедов Х.С., Агзамов Х.К., Классен П.В.–4 с.–ил. 3.

111. А.с. №1782514, МКИ[4] B02B 3/21. Способ приготовления корма из маслосодержащего хлопкового шрота // Нурмухамедов Х.С., Агзамов Х.К., Казаков А.И. – 5 с.

112. Патент РУз №1966. МКИ[5] B02B 3/01. Способ шелушения хлопковых семян //Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Нигмаджонов С.К., Зокиров С.Г., Туйчиев И.С., Зуфаров Р.Н. – 4 с.

113. Патент РУз №2062. МКИ[5] F26B 3/084. Способ сушки хлопковых семян в циркуляционном псевдоожиженном слое // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Нигмаджанов С.К., Зокиров С.Г., Сагитов А.М., Хайридинов Х.А., Классен П.В. – 5 с.

114. Патент РУз №2466. МКИ[5] A01C 1/00. Классификатор хлопковой рушанки // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Нигмаджанов С.К., Зокиров С.Г., Зуфаров Р.Н., Хайридинов Х.А. – 5 с. - ил 2.

115. Патент РУз №2493. МКИ[5] A23L 1/00. Способ приготовления мяса // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Сагитов А.М. – 3 с.

116. Патент РУз №2539. МКИ[5] B07B 4/00. Способ классификации хлопковой рушанки // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Нигмаджанов С.К., Т´йчиев И.С., Закирова Н.С. – 4 с.

117. Патент РУз №2593. МКИ[5] C11B 1/04. Способ подготовки хлопковой мятки к прессованию // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Абдуллаева В.Т., Сагитов А.М., Хаккулова Н.К. – 3 с.

118. Патент РУз №2905. МКИ[5] A23N 15/00. Аппарат «взрывного» действия для очистки овощей и маслосодержащих материалов // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Нигмаджанов С.К., Туйчиев И.С., Абдуллаев А.Ш., Алиева К.К. и др. - 4 с. – ил. 3.

119. Патент РУз №3472. МКИ[5] A23L 1/064. Способ получения овощного и фруктового пюре // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Тўйчиев И.С., Абдуллаева В.Т., Зуфаров Р.Н., Абдуллаев А.Ш. – 3 с.

120. Каталымов А.В., Любартович В.А. Дозирование сыпучих и вязких материалов. – Л.: Химия, 1990, 240 с.

121. Объемные питатели и бункера. Каталог УкрНИИхиммаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991, 40 с.

122. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. – М.: Химия, 1977, 368 с.

123. Орехов И.И., Обрезков В.Д. Холод в химической технологии. – М.: ЛГУ, 1980, 256.

124. Григорьев В.А., Павлов Ю.М., Аметистов Е.В. Кипение криогенных жидкостей. - М.: Энергия, 1977, 288 с.

125. Тонг Л. Теплопередача при кипении и двухфазное течение. – М.: Мир. 1969, 344 с.

126. Фастовский В.Г., Петровский Ю.В., Ровинский А.Е. Криогенная техника. – М.: Энергия, 1974, 495 с.

127. Курсовое проектирование по процессам и аппаратам химической технологии / Под ред. Г.С.Тарасовой. –Т.: ТашПИ, 1986, 38 с.

128. Дипломное и курсовое проектирование по процессам и аппаратам химической технологии // Под ред. Ю.И.Дытнерского. - М.: Химия, 1983, 272 с.

129. Справочник химика, – т.3. М.-Л.: Химия, 1966, 544 с.

130. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по процессам и аппаратам химической технологии. – М.: Химия, 1981, 576 с.

131. Пинчук Л.С., Струк В.А., Мышкин Н.К., Свириденок А.И. Материаловедение и конструкционные материалы. - Минск, Вышсшая школа, 1989, 461 с.

132. Чиркин В.С. Теплопроводность промышленных материалов. – М.: Машиностроение, 1987, 515 с.

133. Юсупбеков Н.Р., Бабаянц А.В., Лубенцов В.Ф. Управление процессами ферментации. - Ташкент: Фан, 1986, 164 с.

134. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. Под ред. В.Г.Айнштейна. т.1-2 –М.: Логос, 2000, 1784 с.

135. Нурмухамедов Х.С., Нигмаджонов С,К., Абдуллаев А.Ш., Аскарова А.Б., Рамбергенов А.К., Каримов К.Г. Нефт ва кимё саноатлари машина ва қурилмаларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш. - Тошкент: Фан ва технологиялар, 2008, 356 с.

136. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. / И.В.Доманский, В.П.Исаков, Г.М.Островский и др. Под ред. В.Н.Соколова – Л.:Машиностроение, 1982, 384 с.

YUSUPBEKOV NODIRBEK RUSTAMBEKOVICH,
NURMUHAMEDOV HABIBULLA SA'DULLAYEVICH,
ZOKIROV SANAT GAPUROVICH

KIMYOVIY TEXNOLOGIYA ASOSIY JARAYON VA QURILMALARI

(Darslik)

Toshkent – «Fan va texnologiya» – 2015

Muharrir:	M.Hayitova
Texn. muharrir:	M. Xolmuhamedov
Musavvir:	D.Azizov
Musahhih:	N.Hasanova
Kompyuterda sahifalovchi:	Sh.Mirqosimova

**Terishga berildi 23.02.2015. Nashr.lits. AI№149, 14.08.09.
Bosishga ruxsat etildi 05.08.2015. Bichimi 60x84 $^{1}/_{8}$. «Timez Uz» garniturasi.
Ofset bosma usulida bosildi. Shartli bosma tabog'i 105,75.
Nashriyot bosma tabog'i 106,0. Tiraji 500. Buyurtma №107.**

**«Fan va texnologiyalar Markazining
bosmaxonasi» da chop etildi.
100066, Toshkent sh., Olmazor ko'chasi, 171-uy.**

ISBN 978-9943-991-02-6

137. Заминян А.А., Рамм В.М. Абсорберы с псевдоожиженной насадкой. – М.: Химия, 1980, 184 с.

138. Евгращенко В.В. и др. Промышленная и санитарная очистка газов, №2 – М.: ЦИНТхимнефтемаш, 1982, 5-6 с.

139. Тарат Э.А., Мухленов И.П., Туболкин А.Ф. Пенный режим и пенные аппараты. – М.-Л.:Химия, 1977, 303 с.

140. Ковалев О.С. И др. Абсорбция и пылеулавливание в производстве минеральных удобрений. – М.: Химия, 1987, 208 с.

141. Кафаров В.В., Ветохин В.Н. Основы построения операционных систем в химической технологии. – М.: Наука, 1980, 429 с.

142. Мавлонов Э.Т., Закиров С.Г., Худойбергенов Ш., Нурмухамедов Х.С. Интенсивность теплообмена при обтекании спирально-накатанных труб аммониз. рассолом // Москва, Химическая промышленность, 2012. – №9. –53-58 с.

143. Закиров С.Г., Мавлонов Э.Т., Сагдуллаев У.Х., Нурмухамедов Х.С., Худойбергенов Ш., Нуриллаева А.А. Карбонизационная колонна / Заявка на патент №IAP 20110539. - 15 с. – ил.5.

144. Закиров С.Г., Мавлонов Э.Т., Сагдуллаев У.Х., Нурмухамедов Х.С. Обобщение опытных данных по гидравлическому сопротивлению при течении жидкостей в каналах с плавно-очерченными спиральными турбулизаторами // Санкт-Петербург, Химическая промышленность, , – 2012. т.89. - №9. 86-90 с.