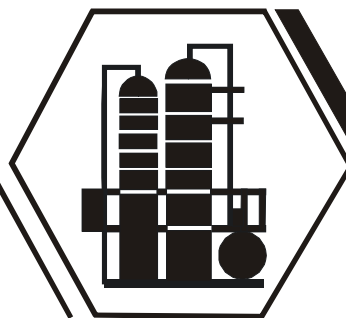




*Oliy o'quv
yurtlari
uchun*

**O'zbekiston Respublikasi
Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan oliy o'quv yurtlari uchun
darslik sifatida ruxsat etilgan**

Kimyoviy texnologiyaning asosiy jarayon va qurilmalari

O'zRFA akad. Yusupbekov N.R. tahririyati ostida

Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov H.S., Zokirov S.G.

Toshkent – 2020

MUNDARIJA

KIRISH.	9
1. Jarayon va qurilmalar» fanining mazmuni va mohiyati.	10
2. «Jarayon va qurilmalar» fanini kelib chiqishi va rivojlanishi.	11
3. Asosiy texnologik jarayonlar klassifikastiyasi.	12

1-bob. UMUMIY QISM

1.1. Xom-ashyo, material va mahsulotlarning asosiy xossalari.	14
1.2. O`xshashlik nazariyasi asoslari.	21
1.3. Jarayon va qurilmalarni hisoblash va tahlilining asosiy prinsiplari.	26

2-bob. GIDRAVLIKA ASOSLARI

GIDROSTATIKA

2.1. Umumiy tushunchalar	29
2.2. Eylarning muvozanat differentsial tenglamasi.	29
2.3. Gidrostatikaning asosiy tenglamasi	30
2.4. Gidrostatikaning asosiy tenglamasini amaliyotda qo`llash.	31

GIDRODINAMIKA

2.5. Suyuqlik harakatining asosiy xarakteristikalar.	33
2.6. Oqimning uzluksizlik tenglamasi.	34
2.7. Suyuqlik harakatining Eyler - differentsial tenglamasi.	36
2.8. Xaqiqiy suyuqlik oqimi uchun Bernulli tenglamasi.	37
2.9. Suyuqlik harakatining Nave-Stoks differentsial tenglamasi.	39
2.10. Bernulli tenglamasining amaliy qo`llanishi.	40
2.11. Suyuqlik harakati rejimlari	41
2.12. Laminar harakat qonunlari	42
2.13. Turbulent harakat rejimi	44
2.14. Qovushoq suyuqlik harakatining kriterial tenglamalari.	46
2.15. Truba quvurlaridagi gidravlik qarshilik	47
2.16. Truba quvurlari diametrini hisoblash	51
2.17. Nasadka va teshiklar orqali suyuqlik oqib chiqishi.	51
2.18. Qattiq jismlarning suyuqlikda harakati.	55

NASOSLAR

2.19. Umumiy tushunchalar.	58
2.20. Nasoslar klassifikastiyasi.	58
2.21. Nasoslarning asosiy parametrlari.	58
2.22. Markazdan qochma nasoslar	60
2.23. Porshenli nasoslar	65
2.24. Nasoslarning maxsus turlari	68
2.25. Nasoslarni taqqoslash	71

KOMPRESSORLAR

2.26. Asosiy tushunchalar	72
2.27. Gazlarni siqish jarayonining termodinamika soslari.	72
2.28. Porshenli kompressorlar.	75
2.29. Rotorli kompressorlar.	79
2.30. Markazdan qochma tipdagi kompressorlar.	80
2.31. O`qli va vintli kompressorlar.	81
2.32. Vakuu-nasoslar.	82
2.33. Kompressorlarni taqqoslash va tanlash	83

3-bob.GIDROMEXANIK JARAYONLAR

3.1.	Turli jinsli sistemalar klassifikastiyasi.	85
3.2.	Ajratish usullari	86
3.3.	Ajratish jarayonining moddiy balansi.	86

TINDIRISH VA CHO`KTIRISH

3.4.	Og`irlik kuchi ta'sirida cho`ktirish.	87
3.5.	Siqiq cho`kish tezligi	89
3.6.	Suspenziya konstantastiyasi va zarrachalar shaklining cho`kish tezligiga ta'siri.	90
3.7.	Markazdan qochma kuch ta'sirida cho`ktirish.	91
3.8.	Tindirish va cho`ktirish qurilmalari	92

FILTRLASH

3.9.	Umumiy tushunchalar	97
3.10.	Filtrlash turlari	97
3.11.	Filtrlash jarayonining nazariy asoslari	98
3.12.	Filtrlar	100
3.13.	Filtrlash jarayonini intensivlash	105
3.14.	Filtrlarni hisoblash	105

GAZLARNI TOZALASH

3.15.	Umumiy tushunchalar	107
3.16.	Og`irlik kuchi ta'sirida gazlarni tozalash.	108
3.17.	Inertsion va markazdan qochma kuchlar ta'sirida gazlarni tozalash.	109
3.18.	Gazlarni g`ovakli to'siqlarda tozalash.	111
3.19.	Gazlarni suyuqlik bilan yuvib tozalash.	112
3.20.	Elektrmaydon ta'sirida gazlarni tozalash.	114
3.21.	Gazlarni tozalash jarayonini intensivlash.	117

QO`ZG`ALMAS VA MAVHUM QAYNASH QATLAMLARI GIDRODINAMIKASI

3.22.	Umumiy tushunchalar.	119
3.23.	Qo`zg`almas donador va g`ovak qatlamlar orqali suyuqlik harakati.	119
3.24.	Mavhum qaynash jarayoni asoslari va gidrodinamikasi..	122
3.25.	Oqimchali mavhum qaynash.	128
3.26.	Mavhum qaynash qatlamli qurilmalar.	130

ARALASHTIRISH

3.27.	Umumiy tushunchalar	132
3.28.	Suyuqlikni aralashtirish usullari	132
3.29.	Plastmassalarni aralashtirish	136
3.30.	Sochiluvchan materiallarni aralashtirish	136
3.31.	Aralashtirish moslamalarini hisoblash	138

TESKARI OSMOS VA ULTRA FILTRLASH

3.32.	Umumiy tushunchalar	144
3.33.	Teskari osmos va ultra filtrlash jarayonlarning fizik-kimyoviy asoslari.	145
3.34.	Diffuzion-membranalı jarayonlar	147
3.35.	Membranalarni tozalash usullari	149
3.36.	Membranali qurilmalar tuzilishi va ishlash printsiplari	149
3.37.	Membranali jarayon va qurilmalarni hisoblash	154

4-bob. ISSIQLIKAL MASHINISH JARAYONLARI

ISSIQLIK O`TKAZISH

4.1.	Umumiy tushunchalar	156
4.1.1	Issiqlik balansi	157
4.1.2	Temperatura maydoni va gradienti	157
4.2.	Issiqlik o`tkazuvchanlik	158
4.2.1	Issiqlik o`tkazuvchanlikning differentsial tenglamasi	159
4.2.2	Tekisdevorning issiqlik o`tkazuvchanligi	160
4.2.3	Silindrik devorning issiqlik o`tkazuvchanligi	162
4.2.4	Sharsimon devorning issiqlik o`tkazuvchanligi	163
4.2.5	Murakkab shaklli jismlar issiqlik o`tkazuvchanligi	164
4.3.	Issiqlik nurlanishi	165
4.4.	Konvektiv issiqlik almashinish	167
4.4.1	Nyuton qonuni	168
4.4.2	Konvektiv issiqlik almashinishning differentsial Tenglamasi (Fure-Kirxgof tenglamasi) . . .	169
4.4.3	Konvektiv issiqlik almashinishning o`xshashlik Kriteriy va tenglamalari.	170
4.4.4	Erkin konvekstiya davrida issiqlik berish	171
4.4.5	Majburiy konvekstiya davrida issiqlik berish	172
4.4.6	Issiqlik eltikichning agregat holati o`zgarishida issiqlik berish	173
4.5.	Issiqlik o`tkazish	176
4.6.	Issiqlik almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuch	178

ISITISH, BUG`LANISH, SOVITISH VA KONDENSATSIYALASH

4.7.	Umumiy tushunchalar	182
4.7.1	Bug` bilan isitish	182
4.7.2	Issiqlik suvi bilan isitish	182
4.7.3	Yuqori temperaturali organik suyuqlik va ularning bug`lari bilan isitish	183
4.7.4	To`yingan suv bug` bilan isitish	183
4.7.5	Tutun gazlari bilan isitish	184
4.7.6	Elektr toki bilan isitish	184
4.8.	Kondensatsiyalash	185
4.9.	Atrof-muhit temperaturasigacha sovitish	185
4.10.	Atrof-muhit temperaturasidan past temperaturagacha sovitish.	186
4.11.	Issiqlik almashinish qurilmalari	187
4.11.1	Sirtiqlik almashinish qurilmalari	188
4.11.2	Regenerativ issiqlik almashinish qurilmalari	202
4.11.3	Aralashtiruvchi issiqlik almashinish qurilmalari	203
4.12.	Issiqlik almashinish qurilmalarini tanlash	205
4.13.	Issiqlik almashinish jarayonlarini intensivlash	206

BUG`LATISH

4.14.	Umumiy tushunchalar	214
4.15.	Bug`latishning nazariy asoslari	215
4.16.	Bug`latish usullari	216
4.16.1	Oddiy bug`latishning moddiy balansi	218
4.16.2.	Oddiy bug`latishning issiqlik balansi	218
4.16.3.	Isitish yuzasi.	219
4.17.	Bug`latgichlar tuzilishi va ishlash printsipi	222
4.18.	Perspektiv issiqlik almashinish qurilmalari	229
4.19.	Qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmalarini hisoblash.	231

5-bob. MASSA ALMASHINISH JARAYONLARI

MASSA ALMASHINISH ASOSLARI

5.1.	Umumiy tushunchalar	240
5.2.	Massa o'tkazish kinetikasi	241
5.3.	Massa almashinish jarayonining moddiy balansi	242
5.4.	Massa o'tkazishning asosiy qonunlari	243
5.5.	Qattiq jism ishtirokida massa almashinish	246
5.6.	Konvektiv diffuziyaning differentsial tenglamasi	249
5.6.1.	Massa almashinish jarayoni mexanizmi	251
5.6.2.	Massa o'tkazish va berish koeffitsientlari o'rtasidagi bog'liqlik ..	251
5.6.3.	Massa almashinish jarayonlarining modellari	252
5.6.4.	Massa almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuch	254
5.7.	Massa almashinish qurilmalarining asosiy o'lchamlarini hisoblash	257

ABSORBTSIYA

5.8.	Umumiy tushunchalar	261
5.9.	Absorbtsiya jarayonining fizik asoslari	261
5.10.	Absorbtsiyaning moddiy balansi va kinetic qonuniyatlari	262
5.11.	Absorbtsiya jarayonini olib borish usullari	264
5.12.	Absorberlar konstruktsiyalari	265
5.13.	Absorberlarni hisoblash	273

HAYDASH VA REKTIKATSIYA

5.14.	Umumiy tushunchalar	278
5.15.	Haydash va rektifikatsiya jarayonlarining nazariy asoslari	278
5.16.	Oddiy haydash	281
5.17.	Rektifikatsiya	284
5.17.1.	Rektifikatsiya jarayonining moddiy va issiqlik balanslari	284
5.17.2.	Uzluksiz ishlaydigan rektifikatsion kolonnaning issiqlik balansi	286
5.17.3.	Haqiqiy flegma soni	287
5.17.4.	Rektifikatsion kolonna ishchi balandligi va tarelkalar sonini hisoblash	288
5.18.	Rektifikatsiya jarayonini tashkil etish usullari	289
5.19.	Rektifikatsion kolonnalarni hisoblash	290

«SUYUQLIK–SUYUQLIK» SISTEMASIDA EKSTRAKSIYALASH

5.20.	Umumiy tushunchalar	294
5.21.	«Suyuqlik - suyuqlik» sistemasining muvozanati	294
5.22.	Ekstraksiya jarayonida massa o'tkazish	297
5.23.	Ekstraksiya jarayonini tashkil etish usullari	298
5.24.	Ekstraktorlar konstruktsiyalari	301
5.25.	Ekstraktorlarni hisoblash	306

«QATTIQ JISM – SUYUQLIK» SISTEMASIDA EKSTRAKSIYALASH

5.26.	Umumiy tushunchalar	314
5.27.	Eritish jarayoni statikasi va kinetikasi	314
5.28.	Ishqorlab ajratish ekstraktorlarining konstruktsiyalari	316
5.29.	Eritkichlarni hisoblash	319

ADSORBTSIYA

5.30.	Umumiy tushunchalar	322
5.31.	Adsorbentlar turlari va xarakteristikalarini	322
5.32.	Adsorbtsiya jarayoni muvozanati	324

5.33.	Adsorbtsiya statikasi va kinetikasi	325
5.34.	Adsorbtsiya jarayonini tashkil etish usullari	327
5.35.	Desorbtsiya	328
5.36.	Adsorberlar konstruktsiyalari	328
5.37.	Adsorberlarni hisoblash	334
5.38.	Ion almashinish jarayon va qurilmalari	335

QURITISH

5.39.	Umumiy tushunchalar	341
5.40.	Ramzinning nam havo - X diagrammasi	341
5.41.	Quritish jarayoni statikasi	345
5.42.	Material bilan namlikning bog`lanish usullari	346
5.43.	Quritish jarayoni kinetikasi	348
5.44.	Quritkichning moddiy va issiqlik balanslari	354
5.45.	Quritish jarayonini tashkil etish usullari	358
5.46.	Quritkichlar konstruktsiyalari	360
5.47.	Quritkichlarni hisoblash	369

KRISTALLANISH

5.48.	Umumiy tushunchalar	379
5.49.	Kristallanish statikasi va kinetikasi	379
5.50.	Kristallanish usullari	381
5.51.	Kristallizatorlar konstruktsiyalari	382
5.52.	Kristallizatorlarni hisoblash	386

6-bob. BOKIMYOVIY JARAYONLAR

6.1.	Umumiy tushunchalar	388
6.2.	Fermentatsiya jarayoni kinetikasi	389
6.3.	Fermentatsiya jarayonida massa almashinish	391
6.4.	Fermentatorlarkonstruktsiyalari	392
6.5.	Mikrobiologik sintez asosida mahsulot ishlab chiqarish umumlashgan texnologik sxemasi . . .	393
6.6.	Fermentatsiyajarayonitavsiflarivatexnologik sxemalari	394

7-bob. MEXANIK JARAYONLAR

QATTIQ MATERIALLARNI MAYDALASH VA KLASSIFIKATSIYALASH

7.1.	Umumiy tushunchalar	399
7.2.	Sochiluvchan materiallar mexanikasining asoslari	400
7.3.	Maydalash usullari	401
7.4.	Maydalagichlar konstruktsiyalari	403
7.5.	Donador, sochiluvchan materiallarni klassifikatsiyalash	410
7.6.	Qattiq materiallarni maydalashning maxsus usullari	413

8-bob. GRANULLASH VA PRESSLASH

8.1.	Umumiy tushunchalar	415
8.2.	Suvsizlantirish va briketlash	415
8.3.	Shakllantirish	416
8.4.	Mahsulotlarni presslash uskunalari	416
8.5.	Granullash usullari va granulyator konstruktsiyalari	419
8.6.	Sochiluvchan materiallarni granullashga moyilligini baholash	425
8.7.	Granulyatorlarni hisoblash	426

9-bob. KIMYOVIY JARAYONLAR

9.1.	Umumiy tushunchalar	428
9.2.	Kimyoviy aylanishlar davridagi muvozanat	428
9.3.	Kimyoviy jarayonlar kinetikasi	431
9.4.	Kimyoviy jarayonlar moddiy va issiqlik balanslari	435
9.5.	Kimyoviy jarayonlar printsipl sxemalari	437
9.6.	Reaktorlar konstruktivlari	437
9.7.	Reaktorlarning aralashtirish va issiqlik almashinish moslamalari .	439
9.8.	Reaktorlarni hisoblash	442

10-bob. SOVITISH JARAYONLARI

10.1.	Umumiy tushunchalar	445
10.2.	Sovuqlik olishning termodinamik asoslari	445
10.3.	Sun'iy sovitish usullari	447
10.4.	Past temperaturalar olish usullari	449
10.5.	Kompressor bug` sovitish mashinalari	450
10.6.	Ikki va uch bosqichli sovitish mashinalari.	452
10.7.	Sovuqlik eltkichlar	454
10.8.	Kaskadli stikl	454
10.9.	Kompressor qurilmalarining jihozlari	455
10.10.	Absorbstion sovitish mashinalari	456
10.11.	Suv-bug` injektor sovitish mashinalari	458
10.12.	O`ta past temperaturali sovuqlik olish	458
10.13.	Gazni drossellash stikllari	459
10.14.	Bir karra drossellanishli va ammiakli sun'iy sovutish stikli.	460
10.15.	Ikki karra drossellanishli va gazning bosim ostidagi aylanishli sikli	460
10.16.	Drossellanish va gazni detanderda kengayishiga asoslangan sikllar	461
10.17.	Past bosim stikli (Kapitsa stikli)	463
10.18.	Chuqur sovitish stikllarini solishtirish	464
10.19.	Sovutish jarayoni va mashinalarini hisoblash.	465

11-bob. KIMYO SANOATINING ENERGO TEXNOLOGIYA ASOSLARI

11.1.	Umumiy tushunchalar	472
11.2.	Energokimyo-texnologik sistemalarni (EKTS) termodinamik tahlil qilish usullari	472
11.3.	Eksergiya turlari	476
11.4.	Eksergetik holat diagrammalari	478
11.5.	Eksergetik yo`qotilish turlari	479
11.6.	EKTS va elementlarining eksergetik balansi va foydali ish koeffitsienti	480
11.7.	Eksergetik unumdorlik va quvvat	482
11.8.	Termodinamik sistemalar energetik va eksergetik xarakteristikallari o`rtasidagi bog`liqlik ...	483
11.9.	EKTS umumiy ko`rsatkich va elementlarning xarakteristikallari orasidagi bog`liqlik ..	484
11.10.	Kimyoviy texnologiya jarayonlarining eksergetik tahlili	485
11.11.	EKTS tahlili va termodinamik optimallashtirish	488
11.12.	Jarayon va qurilmalar eksergiyasini hisoblash.	489

I L O V A L A R

11.	Fizik kattaliklar o`lcham birliklari sistemasi	493
12.	Asosiy konstruktsion materiallar va ularni tanlash	
	TAYANCH SO`Z va IBORALAR KO`RSATKICHI	

1-bob. UMUMIY QISM

Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarida turli xil xom-ashyolar qayta ishlanadi va natijada qattiq, suyuq, bug' va gaz agregat xolatlaridagi turli-tuman tayyor mahsulotlar olinadi. Ma'lumki, har bir jarayon va qurilmalarni hi-soblash uchun xom-ashyo va mahsulotlarning xossalari bilish zarur.

1.1. Xom-ashyo, material va mahsulotlarning asosiy xossalari

Xom-ashyoni 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, so-lishtirma og'irlik, qovushoqlik, 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:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

bu erda ρ - zichlik, kg/m³; m - massa, kg; V – hajm, m³.

Zichlik kattaligiga teskari bo'lgan kattalik solishtirma hajm ν deb yuritiladi:

$$\nu = \frac{V}{m} \quad (2)$$

bu erda V - solishtirma hajm, m³/kg.

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

$$\Delta = \frac{\rho}{\rho_c} \quad (3)$$

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

$$\rho = f(QM, T) \quad (4)$$

bu erda QM - quruq modda konsentratsiyasi, %; T - eritma temperaturasi, K.

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

$$\frac{I}{\rho_{ap}} = \frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} + K \quad (5)$$

bu erda $x_1, x_2, \dots$ - komponentlarning massaviy ulushlari; $\rho_{ar}, \rho_1, \rho_2, \dots$ - aralashma va komponentlarning zichliklari, kg/m³.

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

$$\frac{I}{\rho_{cyc}} = \frac{x}{\rho_k} + \frac{I-x}{\rho_c} \quad \text{yoki} \quad \rho_{sus} = \rho_k \cdot x + \rho \cdot (1-x) \quad (6)$$

bu erda x - suspenziya tarkibidagi qattiq fazaning massaviy ulushi; ρ_k va ρ_s - qattiq va suyuq fazalarning zichliklari, kg/m³.

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

$$\rho_{20} = 10 \cdot [1,42 \cdot x + (100 - x)] \rho \quad (7)$$

bu erda x - quruq moddalar konsentratsiyasi, %.

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

$$\rho_t = \rho_{20} - 0,5(t - 20) \quad (8)$$

bu erda t - mahsulot temperaturasi, °C.

Tomat mahsulotlarining zichligi esa, ushbu formulada hisoblanadi:

$$\rho = 1016,76 + 4,4 \cdot x - 0,53 \cdot t \quad (9)$$

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

$$\rho = \left(\frac{m_a}{\rho_a} + \frac{m_b}{\rho_b} \right)^{-1} \quad (10)$$

formuladan aniqlanadi. Bu erda 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/m³.

Agarda, binar, turli jinsli sistema ρ_k bo'lgan qattiq zarrachalar va ρ_s bo'lgan suyuq, moddalardan tarkib topgan bo'lsa, uning zichligi quyidagi formuladan topiladi:

$$\rho = \left(\frac{m_k}{\rho_k} + \frac{1 - m_k}{\rho_s} \right)^{-1} \quad (11)$$

bu erda m_k - aralashmadagi zarrachalarning massaviy ulushi.

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

$$\rho = \rho_o \cdot \frac{T_o \cdot p}{T \cdot p_o} = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{273 \cdot p}{T \cdot p_o} \quad (12)$$

bu erda $\rho_o = M/22,4$ - normal sharoitda (0°S va 760 mm.sim.ust.) gazning zichligi, kg/m³; M - molyar massa, kg; T - temperatura, K.

Gaz aralashmasining zichligi esa quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\rho_{ap} = y_1 \cdot \rho_1 + y_2 \cdot \rho_2 + K \quad (13)$$

bu erda $y_1, y_2, \dots$ - aralashma komponentlarining hajmiy ulushlari; $\rho_1, \rho_2, \dots$ - komponentlarning tegishli zichliklari, kg/m³.

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

$$\rho_t = (1 - \varepsilon) \cdot \rho_k \quad (14)$$

bu erda ρ - sochiluvchan materialning "to'kma" zichligi, kg/m³; ρ_k - qattiq zarrachalarning haqiqiy zichligi, kg/m³; ε - qatlam zarrachalari orasidagi bo'shliq

$$\varepsilon = \frac{V - V_o}{V} \quad (15)$$

bu erda V - donasimon qatlam hajmi, m³; V_o - qatlamdagi zarrachalar egallagan hajm, m³.

Oddiy sochiluvchan materiallar "to'kma" qatlamining bo'sh hajmi odatda $\varepsilon = 0,38-0,42$ 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 xom-ashyolar uchun esa

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

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

$$\rho = 666,7 \cdot 0_H^{0,2} \quad (16)$$

Chigitning “keltirilgan” zichligi uning momiqligiga bogʻliq boʻlib, son jihatdan 650...1110 kg/m³ oralikda boʻladi [4,13].

Solishtirma ogʻirlik. Hajm V birligidagi suyuqlikning ogʻirligi G solishtirma ogʻirlik γ deyiladi:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (17)$$

bu erda G - suyuqlik ogʻirligi, N; V - hajm, m³; γ solishtirma ogʻirlik, N/m³.

Massa bilan ogʻirlik oʻzaro quyidagicha bogʻlangan:

$$m = \frac{G}{g} \quad (18)$$

bu erda $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ - erkin tushish tezlanishi.

Massa miqdorini solishtirma ogʻirlik formulasiga qoʻysak, zichlik bilan solishtirma ogʻirlikning oʻzaro bogʻlanish nisbati quyidagi koʻrinishga ega boʻladi:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (19)$$

Qovushoqlik. Dinamik qovushoqlik koeffitsienti μ ning suyuqlik zichligi ρ ga nisbati kinematik qovushoqlik ν deyiladi:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (20)$$

bu erda ν - kinematik qovushoqlik, m²/s; μ - dinamik qovushoqlik, Pa·s.

20°C temperaturada koʻpchilik organik suyuqliklarning dinamik qovushoqlik koeffitsienti quyidagi empirik formula yordamida hisoblansa boʻladi [5]:

$$\lg(\lg \mu) = \left(\sum A \cdot n + \sum P \right) \cdot \frac{\rho}{10^3 \cdot M} - 2,9 \quad (21)$$

bu erda h - atmosfera bosimi va 20°S da suyuqlikning dinamik qovushoqlik koeffitsienti, mPa·s; ρ - suyuqlik zichligi, kg/m³; M - mol massa, kg/kmol; A - organik birikma tarkibidagi bir xil atomlarning soni; n - atom molekulasini konstantasining son qiymatlari; P - atomlar orasidagi bogʻliqlik xarakteri va guruhlashga kiritiladigan tuzatma qiymati.

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

Normal (assotsiatsiyalanmagan) suyuqliklar aralashmasining dinamik qovushoqlik koeffitsienti μ_{ar} ni ushbu formula orqali hisoblab aniqlash mumkin:

$$\lg \mu_{ar} = x_1 \cdot \lg \mu_1 + x_2 \cdot \lg \mu_2 + K \quad (22)$$

bu erda $\mu_1, \mu_2, \dots$ - komponentlarning dinamik qovushoqlik koeffitsientlari; $x_1, x_2, \dots$ - aralashmadagi komponentlarning mol ulushi.

Suspenziyaning dinamik qovushoqlik koeffitsienti quyidagi formula yordamida topilishi mumkin:

qattiq faza konsentratsiyasi 10% (hajm.) dan kam boʻlganda

$$\mu_{sus} = \mu_s \cdot (1 + 2,5 \cdot \varphi) \quad (23)$$

qattiq faza konsentratsiyasi 10% (hajm.) dan koʻp boʻlganda

$$\mu_{sus} = \mu_s \cdot (1 + 4,5 \cdot \varphi) \quad (24)$$

qattiq faza konsentratsiyasi 30% (hajm.) gacha boʻlganda

$$\mu_{cyc} = \mu_c \cdot \frac{0,59}{(0,77 - \varphi)^2} \quad (25)$$

bu erda μ_s - toza suyuqlikning dinamik qovushoqlik koeffitsienti; φ - suspenziya tarkibidagi qattiq fazaning hajmiy ulushi. Koʻpchilik suyuqliklarning dinamik qovushoqlik koeffitsientlari adabiyotlarda berilgan [5,8,17,25,55].

Biror t temperaturada sharbatlar, qiyomlar, quyultirilgan va xom sutlarning dinamik qovushoqlik koeffitsienti ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\mu_t = \frac{12,9 \cdot \mu}{t^{0,85}} \quad (26)$$

bu erda μ - 20°C temperaturadagi dinamik qovushoqlik.

Xom sut uchun

$$\mu_t = 0,7 \cdot \exp(0,06 + 0,08 \cdot x) \quad (27)$$

bu erda x - quruq moddalar kontsentratsiyasi.

O`simlik yog`larining dinamik qovushoqlik koeffitsienti (mPa·s):

$$\mu_t = \frac{0,175}{10 \cdot \exp(0,31 + 0,026 \cdot t)} \quad (28)$$

tomat mahsulotlari uchun (Pa·s):

$$\mu_t = 0,0199 \cdot x^{2,94} \cdot t^{-1,17} \quad (29)$$

Har xil temperaturalarda gazlarning dinamik qovushoqlik koeffitsienti maxsus adabiyotlarda keltirilgan [25].

Gaz aralashmalarining dinamik qovushoqlik koeffitsienti quyidagi tahminiy formula yordamida hisoblash mumkin:

$$\frac{M_{\epsilon p}}{\mu_{\epsilon p}} = \frac{y_2 \cdot M_1}{\mu_1} + \frac{y_2 \cdot M_2}{\mu_2} + K \quad (30)$$

bu erda M_{ar} , M_1 , M_2 , ... - gaz aralashmasi va komponentlarning mol massasi; h_{ar} , h_1 , h_2 , ... - tegishli dinamik qovushoqlik koeffitsientlari; y_1 , y_2 , ... - aralashmadagi komponentlarning hajmiy ulushlari.

Atmosfera bosimida bir qator gazlarning (koks, generator gazlari va boshqalar) dinamik qovushoqlik koeffitsienti μ_{ar} ni hisoblash uchun quyidagi empirik formulani ham qo`llash mumkin:

$$\mu_{\epsilon p} = \frac{y_1 \cdot \mu_1 \cdot \sqrt{M_1 \cdot T_{hp1}} + y_2 \cdot \mu_2 \cdot \sqrt{M_2 \cdot T_{hp2}} + K}{y_1 \cdot \sqrt{M_1 \cdot T_{hp1}} + y_2 \cdot \sqrt{M_2 \cdot T_{hp2}} + K} \quad (31)$$

bu erda μ_{ar} - aralashmaning t temperaturadagi dinamik qovushoqlik koeffitsienti; μ_1 , μ_2 , ... - t temperaturada komponentlarning dinamik qovushoqlik koeffitsientlari; y_1 , y_2 , ... - komponentlarning xajmiy ulushlari; M_1 , M_2 , ... - komponentlarning mol massalari; T_{kr1} , T_{kr2} , ... - komponentlarning kritik temperaturalari, K .

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

Dinamik qovushoqlik koeffitsientining temperaturaga bog`liqligi ushbu formula bilan ifodalanadi:

$$\mu_t = \mu_o \cdot \frac{273 + C}{T + C} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{1,5} \quad (32)$$

bu erda h_o - 0°S temperaturadagi dinamik qovushoqlik koeffitsienti; T - temperatura, K; S - Saterlend konstantasi.

Sirti 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 sirti taranglik kuchi ta'sirida shar shaklini oladi.

Sirti taranglik temperaturaga bog`lik bo`ladi va temperatura ortishi bilan uning son qiymatlari kamayadi.

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

Suyuqliklarning sirtiy tarangligi

Suyuqlik	Temperatura, °C	Sirtiy taranglik, $\sigma \cdot 10^3$, N/m
Suv	0	75,6
	20	72,8
Olivka yog'i	20	32,0
Etil spirti	20	24,1
Metil spirti	20	22,6
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 bog'liqdir [24,61]:

$$c_p - c_v = R \quad (33)$$

bu erda R - universal gaz konstantasi, J/(mol·K) yoki J/(kg·K).

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

$$\frac{c_p}{c_v} = k \quad (34)$$

Ba'zi moddalarning solishtirma issiqlik sig'imi

T/r	Moddalar nomi	Solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K)
1.	Suyuqliklar	0,80 ... 4,19
2.	Gazlar	0,50 ... 2,2
3.	Qattiq moddalar	0,13 ... 1,8
4.	Hayvon mahsulotlarining quruq moddalari	1,38 ... 1,68
5.	O'simlik mahsulotlarining quruq moddalari	0,71 ... 1,36

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

$$c_p = c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2 + c_3 \cdot m_3 + K \quad (35)$$

bu erda $c_1, c_2, c_3, \dots$ - komponentlarning solishtirma issiqlik sig'imi; $m_1, m_2, m_3, \dots$ - aralashmadagi komponentlarning massaviy ulushlar.

Tomat mahsulotlarining solishtirma issiqlik sig'imi ushbu formulada hisoblanadi:

$$c = 4228,7 - 20,98x - 10,88 \cdot t \quad (36)$$

O'simlik xom-ashyolariniki esa

$$c = c_{aqm} \cdot (1 - 0,01 \cdot W) + 41,87W \quad (37)$$

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

Saxarozaning solishtirma issiqlik sig'imi

$$c = 4190 - 0,01 \cdot x \cdot 2510 - 7,54 \cdot t + 4,61 \cdot (100 - Db) \quad (38)$$

bu erda x - quruq moddalar konsentratsiyasi; Db - mahsulot sifati, %

hamirniki:

$$c = 1675 \cdot (1 + 0,015 \cdot W) \quad (39)$$

bug'doyniki:

$$c = 1550 + 26,4 \cdot W \quad (40)$$

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]:

$$c = c_{aKM} \cdot \left(1 - \frac{u}{100}\right) + \frac{c_c \cdot u}{100} \quad (41)$$

bu erda c_s - suvning solishtirma issiqlik sig'imi.

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

mag'iz uchun

$$c = 540 + (3,56 \cdot W^{0,8} + 0,73) \cdot (T - 110,5) \quad (42)$$

qobig' uchun

$$c = 60 + 4 \cdot (T - 50) \cdot \exp 0,028 \cdot W \quad (43)$$

kunjara uchun

$$c = (0,05 + 0,02 \cdot W) \cdot T^{1,25} \quad (44)$$

bu erda W - material namligi, %; T - absolyut temperatura, K.

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

$$c_{ef} = m_1 \cdot \left[c_{aqm} \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right) + \frac{c_c \cdot W}{100} \right] + m_2 \cdot [60 + 4 \cdot (T - 50) \cdot \exp 0,028 \cdot W] + m_3 \cdot [540 + (3,56 \cdot W^{0,8} + 0,73) \cdot (T - 110,5)] \quad (45)$$

bu erda $m_1, m_2, m_3, \dots$ - paxta tolasi, chigit mag'izi va qobig'ining massaviy ulushlari.

(45) formula yordamida hisoblab chiqilgan paxta chigitining effektiv solishtirma sig'implari 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	146 6	146 0	14 54	144 8	144 1	143 5	14 29	142 3
300	181 2	180 8	18 04	180 1	179 7	179 3	17 89	178 5
350	215 8	213 7	21 16	209 5	207 3	205 2	20 31	201 0
400	250 4	246 6	24 27	238 9	236 0	231 2	22 73	224 5
450	285 0	279 4	27 38	268 3	262 7	257 1	25 15	246 0

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

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

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

$$\lambda_{30} = A_I \cdot c \cdot \rho \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho}{M}} \quad (46)$$

bu erda A_I - suyuqlikning assostiastiyalanish darajasiga bog'liq koeffitsient; c - suyuqlikning solishtirma issiqlik sig'imi, J/(kg·K); ρ - suyuqlik zichligi, kg/m³; M - mol massa.

suv uchun $A_I = 3,58 \cdot 10^{-8}$

benzol uchun $A_I = 4,22 \cdot 10^{-8}$

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

$$\lambda_t = \lambda_{30} \cdot [1 - \varepsilon \cdot (t - 30)] \quad (47)$$

bu erda ε - temperatura koeffitsienti.

Metil spirti uchun $\varepsilon = 1,2 \cdot 10^3 \text{ S}^{-1}$;

Etil spirti uchun $\varepsilon = 1,2 \cdot 10^3 \text{ S}^{-1}$;

Meva, meva-rezavorlar sharbati, qiyomlar, shakarli sut uchun λ koeffitsienti ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\lambda_t = \lambda_{20} + 0,00068 \cdot (t - 20) \quad (48)$$

20°C da esa

$$\lambda_{20} = 0,593 - 0,025 \cdot x^{0,53} \quad (49)$$

bu erda x - absolyut quruq moddalar konsentratsiyasi.

Tomat mahsulotlarining λ koeffitsienti quyidagi formuladan topiladi:

$$\lambda = (528 - 4,04 \cdot x + 2,05 \cdot t) \cdot 10^{-3} \quad (50)$$

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

$$\lambda = (1 - 5,479 \cdot 10^{-3} \cdot x) \cdot (0,5686 + 1,514 \cdot 10^{-3} \cdot t - 2,2 \cdot 10^{-6} \cdot t^2) \quad (51)$$

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

$$\lambda_{ef} = f \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_5} \right) \cdot \left[\frac{1}{\lambda_1} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{1}{\lambda_2} \cdot \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} \right) + \frac{1}{\lambda_3} \cdot \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) + \frac{1}{\lambda_4} \cdot \left(\frac{1}{r_4} - \frac{1}{r_5} \right) \right]^{-1} \quad (52)$$

bu erda r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 - bo'shliq, yadro, havo qatlami, qobiq va momiqlik radiuslari, m; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ - yadro, havo, qobiq va paxta tolalarining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientlari, $\text{Wt/(m} \cdot \text{K)}$; f - shakl koeffitsienti.

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

$$f = 1,063 + 5,5 \cdot 10^{-2} \cdot O_p \quad (53)$$

bu erda O_p - paxta chigitining momiqligi bo'lib, odatda uning son qiymatlari $f = 0,89-0,93$ oralikda bo'ladi.

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

1-4 jadval

T, K	O_p , momig'likdagi λ , $\text{Wt/(m} \cdot \text{K)}$					
	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 farq sababchidir (1-5 jadval).

1-5 jadval

t/r	Xossalar	Birligi	Suv	Muz
1.	Solishtirma issiqlik sig`im	$c, \text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	4,190	2,10
2.	Issiqlik o`tkazuvchanlik	$\lambda, \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	0,554	2,21
3.	Temperatura o`tkazuvchanlik	$a \cdot 10^6, \text{m}^2/\text{s}$	0,130	0,17
4.	Zichlik	$\rho, \text{kg}/\text{m}^3$	999,50 0	916,2 0

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 differentsial) tuzish va ularni echishdan iboratdir.

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

Birxillik 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 differentsial tenglamalarni matematikada ma`lum usullar bilan echib bo`lmaydi.

Turbulent oqimlarda issiqlik vamassa almashinish jarayonlarini nazariy o`rganishda ham xuddi shunday qiyinchiliklar bor.

Undan tashqari, xattoki murakkab jarayonlarni ifodalovchi differentsial 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-qiyamatga ega va ularni muxandislik 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 teoremlari va shartlari

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

Mos tushadigan va ularni xarakterlovchi kattaliklarning nisbatlari o`zgarmas bo`lganda, bunday hodisalar o`xshash deb ataladi.

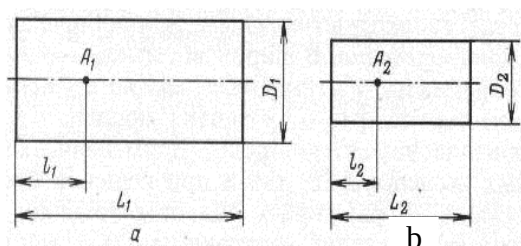
O`xshashlik shartlariga binoan o`xshash hodisa va voqealar quyidagi guruhlardan iborat: a) geometrik o`xshashlik; b) vaqt bo`yicha o`xshashlik; v) fizik o`xshashlik; g) boshlang`ich va chegaraviy shartlarning o`xshashligi.

**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 cilindr ichidagi gazning harakatini tekshiramiz (1.1-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:



1.1-rasm. Natura (a) va modelning (b) o`xshashlik shartlarini aniqlashga oid.

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{l_1}{l_2} = K = a_l = \text{const} \quad (1.1)$$

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 birxillik hosil bo`ladi. Bunga binoan, ikki geometrik jismdagi nuqtalar o`xshash traektoriya bo`ylab, vaqt birligida bir xil masofa bosib o`tadi.

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

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2} = K = a_\tau = \text{const} \quad (1.2)$$

bu erda $T_1, T_2, \dots$ – mos keladigan zarrachalar bilan butun qurilmadan o`tish vaqti;  $\tau_1, \tau_2, \dots$  – 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 xossalari nisbati vaqt birligida o`zgarmasdir. Masalan, agar zarracha naturada  $\tau_1$  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.

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = a_\mu; \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = a_\rho \quad \text{yoki} \quad \frac{u_1}{u_2} = a_u \quad (1.3)$$

bu erda 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,

kontsentratsiya 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:

$$\frac{L_1}{D_1} = \frac{L_2}{D_2} = K = inv^* = idem^{**} = i_1; \frac{T_1}{\tau_1} = \frac{T_2}{\tau_2} = K = i_r \quad (1.4)$$

i_1, i_r 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 xissa qo'shgan olimlarning 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,

$$\frac{w_1 d_1 \rho_1}{\mu_1} = \frac{w_2 d_2 \rho_2}{\mu_2} = idem = Re \quad (1.5)$$

Agar jarayonni tavsiflovchi, differentsial 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.

* invariantis (lotincha) – o'zgarmas

**idem (lotincha) – bir hil

***simplex (lotincha) - oddiy

****kreterion (грекча) – мезон

O`xshashlik kriteriyalari istalgan jarayon uchun keltirilib chiqarilishi mumkin. O`lchovsiz simpleksyokik kattaliklar kompleksi, xususan o`xshashlik kriteriyalari, **umumlashtiril-gano`zgaruvchi** deb nomlanadi.

O`xshashlik nazariyasi asosan 3 ta teorema ga tayanadi va asoslanadi.

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

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

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

$$\frac{fl}{mw^2} = Ne \quad (1.6)$$

bu erda f – kuch; m – zarracha massasi.

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

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

Birinchi teorema. O`xshashlik kriteriyalariga kiruvchi hamma kattaliklar tajriba davrida o`lchanishi kerakligini taqozo etadi.

Ikkinchi teorema. Bekingem, Federman va Afanaseva – Erenfest olimlar guruhi tomonidan kashf etilgan. Ushbu teorema ga binoan, tajriba natijalari kriteriyalar orasidagi bog`liqlik ko`rinishida ifodalash kerak.

O`xshashlik kriteriyalari o`rtasidagi funkstional 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 teorema ga binoan, kriterial tenglamalarni faqat o`xshash jarayonlarga qo`llash mumkin.

Agar hodisalarni aniqlovchi kriteriyalar son jihatdan teng bo`lsa, unda albatta o`xshash hodisalarda aniqlanayotgan kriteriyalar 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 differentsial tenglama tuziladi va bir xillik shartlari aniqlanadi, uni echimi o`zgartiriladi va o`xshashlik kriteriyalari topiladi.

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

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

- gidromexanik o`xshashlik kriteriyalari;
- issiqlik o`xshashlik kriteriyalari;
- diffuzion o`xshashlik kriteriyalari;

Gidromexanik o`xshashlik kriteriyalariga Reynolds (**Re**), Eyler (**Eu**), Frud (**Fr**), Galiley (**Ga**), gomoxronlik (**Ho**) va boshqa kriteriyalar kiradi.

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

$$Re = \frac{wl\rho}{\mu} = \frac{wl}{\nu} \quad (1.7)$$

bu erda w – suyuqlik oqimining tezligi, m/s; l – xarakterli o'lcham, m; ρ – suyuqlik zichligi, kg/m³; μ – suyuqlik dinamik qovushoqligi, Pa·s; ν – suyuqlik kinematik qovushoqligi, m²/s.

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

Eyler kriteriysi gidrostatik bosim farqining suyuqlik harakatiga ta'sirini ifodalaydigan o'lchamsiz kompleks bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho w^2} \quad (1.8)$$

Ushbu kriteriy o'xshash oqimlarda gidrostatik kuchlarning inerstiya kuchlariga nisbatini xarakterlaydi. Bu erda Δp – oqimning gidrostatik bosimining farqi.

Frud kriteriysi suyuqlik harakatiga og'irlik kuchlari ta'sirini ifodalovchi o'lchamsiz kompleks bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega:

$$Fr = \frac{w^2}{gl} \quad (1.9)$$

bu erda g - erkin tushish tezlanishi, m/s². Ushbu kriteriy o'xshash oqimlarda inerstiya kuchlarini og'irlik kuchlariga nisbatini xarakterlaydi.

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

$$Ho = \frac{w\tau}{l} \quad (1.10)$$

bu erda τ – vaqt, s.

Ushbu kriteriy o'xshash oqimlarda suyuqlik harakatining turg'unmas xarakterini hisobga oladi. Ayrim adabiyotlarda ushbu kriteriy Struxal **Sh**kriteriysi deb nomlanadi.

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

$$Ga = \frac{Re^2}{Fr} = \frac{gl^3}{\nu^2} \quad (1.11)$$

Ushbu kriteriy erkin oqish maydonlarini xarakterlaydi.

O'lchov birliklar tahlil usuli

Murakkab jarayonlarni o'rganish paytida, masalan, harakatdagi suyuqlikda issiqlik almashinish davrida har doim ham jarayonni to'liq ifodalovchi differentsial 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, qovushoqlik va suyuqlik tezligiga bog'liqligi aniqlanadi.

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

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

$$[\Delta p] = \left[\frac{H}{m^2} \right] = \left[\frac{K\mathcal{Z}}{m \cdot c^2} \right] = [FL^{-1}T^{-2}];$$

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

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

$$[\rho] = \left[\frac{K\mathcal{Z}}{m^3} \right] = [FL^{-3}];$$

$$[\mu] = \left[\frac{H \cdot c}{m^2} \right] = \left[\frac{K\mathcal{Z}}{m \cdot c} \right] = [FL^{-1}T^{-1}];$$

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

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

Umumiy funkstional bog'liqlikni darajali funkstiya ko'rinishida yozamiz:

$$\Delta p = A d^a l^e \rho^c \mu^e w^k \quad (1.12)$$

Ushbu kattaliklarni o'lchov birliklar formulalari bilan almashtiramiz:

$$[FL^{-1}T^{-2}] = L^a L^b [FL^{-3}]^c [FL^{-1}T^{-1}]^e [LT^{-1}]^k$$

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 5ta noma'lumli 3ta tenglama hosil qilamiz:

$$\left. \begin{aligned} a + b - 3c - e + k &= -1 \\ c + e &= 1 \\ -e - k &= -2 \end{aligned} \right\} (1.13)$$

(1.13)ning 2– tenglamasidan $s=1-e$, uchinchisidan- $k=2-e$ larni topamiz. Olingan c va k larning qiymatini (1.13) tenglamaga qo`ysak, $a = -v - e$ ekanligini aniqlaymiz.

Olingan a , s va k larni dastlabki (1.11) tenglamaga qo`yib, quyidagi ko`rinishga ega bo`lamiz:

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

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

$$\frac{\Delta p}{\rho w^2} = A \cdot \left(\frac{l}{d} \right)^b \left(\frac{\mu}{w d \rho} \right)^e \quad (1.14)$$

(1.14) tenglamadagi o`zgarma A , b va e 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:

$$\Sigma G_{bosh} = \Sigma G_{ox} \quad (1.15)$$

Moddiy balans asosida chiqayotgan mahsulot miqdori topiladi, ya`ni maksimal mahsulot chiqish imkoniyatiga nisbatan prostent hisobida chiqqan tayyor mahsulot miqdori. Odatda, olingan tayyor mahsulot miqdori sarflangan xom-ashyo birligiga hisoblanadi.

Lekin, sanoatda qurilmani ishlatish va jarayon borishi davrida qaytarib bo`lmaydigan moddiy

yo`qotilishlar albatta bo`ladi. Unda (1.15) tenglama quyidagi ko`rinishga ega bo`ladi:

$$\sum G_{bosh} = \sum G_{ox} + \sum G_{yo'q} \quad (1.16)$$

bu erda $G_{yo'q}$ - yo`qotilgan modda miqdori.

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

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

$$\sum G_{bosh} = \sum G_{ox} + \sum G_{yo'q} \quad (1.17)$$

Demak, chiqib ketadigan issiqlik miqdori, mahsulot va issiqlik eltkich 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 eltgichlar 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.

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

$$\frac{dV}{F d\tau} = \frac{\Delta}{R} = K\Delta \quad (1.18)$$

bu erda V – massa yoki energiya miqdori; F - massa yoki energiya o`tayotgan yuza; τ - jarayon davomiyligi; Δ - harakatga keltiruvchi kuch; R - qarshilik; K – tezlik koeffitsienti.

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

Jarayonlarnig tezlik koeffitsienti moddiy oqimlarning harakat rejimiga bog`liq. Oqimlar harakati esa, gidrodinamika qonunlari bilan aniqlanadi.

**Qurilma asosiy o`lchamlarini aniqlash.** 1.18 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 shu formuladan topiladi:

$$F = \frac{V}{w} \quad (1.19)$$

Qurilmaning asosiy o`lchamlaridan biri bo`lgan F (1.19) formuladan aniqlanadi. Cilindr shakldagi qurilmalar uchun uning diametri – D . Yana bir asosiy o`lchamlaridan biri qurilma ishchi balandligi (yoki uzunligi)  $N$ . (1.18) formuladan qurilma ishchi hajmi  $V$  yoki yuza  $F$  topilishi mumkin. Agar,  $F_{ma'lum}$  bo`lsa va $F = a \cdot V$ bog`liqlikdan (bu erda  $a$  – solishtirma yuza) qurilma ishchi hajmi aniqlanadi. So`ng, V kattalik bo`yicha $V = F \cdot N$ formuladan foydalanib qurilma balandligi N hisoblanadi.

Mashina va qurilmalarga qo'yiladigan talablar

Mashina va qurilmalarga quyidagi talablar qo'yiladi: qurilma yoki mashina yuqori samarali (yuqori ish unumdorli), ishonchli, kam energiya va metall sarflaydigan, havfsiz ish tashkil etish talablarini qondiradigan va ekspluatatsiya jarayonida xizmat ko'rsatish uchun qulay bo'lishi kerak.

Qurilmanig uzoq muddat mobaynida va beto'xtov ishlashining qat'iy shartlari bo'lib uning mexanik ishonchliligi va konstruktiv mukammalligi hisoblanadi. Qurilmaning mexanik ishonchliligi mustahkamlik, qattqlik, turg'unlik, germetiklik (zichlik) kabi xossalarni xarakterlaydi. Mustahkamlik esa qurilma konstruktsiyasining uzoq muddat mobaynida va havfsiz ish tashkil etish bilan uzviy bog'liqdir.

Konstruktsiya 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.

Konstruktsiyaning mukammallik darajasi texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar: qurilmaning ish unumdorligi, sarf koeffitsientlar, ekspluatatsion narx va sarflar, hamda tayyor mahsulot tannarxi bilan xarakterlanadi.

Odatda, texnologik tizimlarda standart qurilma va mashinalar ishlatilishi zarur.

Kimyo va oziq-ovqat sanoatlar 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 normallari, texnik shartlar, qo'llanma va normalar xizmat qiladi.

Mashina va qurilma konstruktsiyalari 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 kriteriyasini 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 kriteriyalaridan ham foydalaniladi. Bu kriteriy jarayonning energetik, mehnat va boshqa sarflarini xarakterlaydi. Undan tashqari, texnologik, statistik, termodinamik va boshqa optimallik kriteriyalarini ham qo'llash mumkin.

Lekin, oxirgi yillarda qurilma va jarayonlarni tahlil qilishda eksergetik* usulni (chuqur, har tomonlama) qo'llash keng miqyosda tarqalmoqda.

*eksergiya – grekcha “ergon”- ish, kuch va “ex”- ichidan

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 bir nom –suyuqlik deb yuritilishi qabul qilingan. Bunga sabab, suyuqlik va gazlarning harakat tezliklari tovush tezligidan kam bo`lganda, ularning xaraqat 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 qovushoqliklari 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 qovushoqlikka 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 qovushoqlikka 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 koeffitsientiga ega. Lekin, elastik suyuqliklarning hajmi, temperatura yoki bosim ta'sirida o`zgaradi.

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

Parallepipedning **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 funktsional bog`liqlik ko`rinishini aniqlaymiz. Buning uchun elementar parallelepipedga ta`sir etuvchi hamma kuchlarning x, y, z o`qlardagi proekstiyalar yig`indisini topamiz. x, y, z o`qlardagi massaviy kuchlarni massa birligiga nisbatlarini  $X, Y, Z$  deb belgilaymiz. Hajmiy kuchlarning  $x$  o`qidagi proekstiyasi $dQ=Xdm$ bo`ladi, bu erda  $dm=\rho dx dy dz$  yoki  $dQ = X\rho dx dy dz$ . Statikaning asosiy qonuniga binoan, tinch holatdagi suyuqlikka ta`sir etuvchi hamma kuchlar proekstiyalari yig`indisi nolga teng. Shuning uchun,  $x$  o`qidagi kuchlar proekstiyasi

$$pd_x d_z - \left(p - \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) d_y d_z + X p d_x d_y d_z = 0 \quad (2.1)$$

bu erda $p dx dz$ – chap tomonga ta`sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi;  $dp/dx$ -xo`qi biror nuqtasidagi gidrostatik bosimning o`zgarishi;  $(dp/dx)dx \cdot dx$  qirra bo`ylab gidrostatik bosimning o`zgarishi.

Karama-qarshi, o`ng tomonga ta`sir etuvchi gidrostatik bosim $p + (dp/dx)dx$ ga teng va uning x o`qiga proekstiyasi:

$$\left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dy dz$$

(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:

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

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

Olingan tenglamalarni sistemalashtirsak:

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

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:

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

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

$$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz) \quad (2.3)$$

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

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

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

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

Agar, $\rho = \text{const}$ bo'lsa,

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

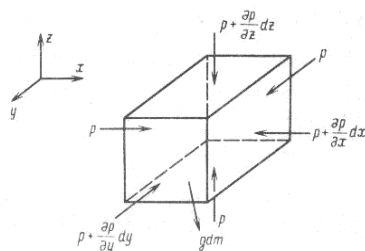
Oxirgi tenglamani integrallasak, unda

$$z + \frac{p}{\rho g} = \text{const}$$

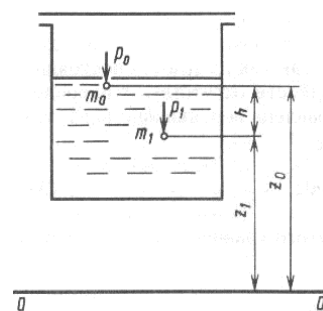
bu erda z -geometrik napor yoki istalgan gorizontaal yuzaga nisbatan olingan nuqtaning nivelir balandligi, m; $p/\rho g$ -statik napor yoki pezometrik bosim kuchi, m.

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



2.1-rasm Gidrostatika uchun Eylarning muvozanat differentsial tenglamasini keltirib chiqarishga oid.



2.2-rasm. Paskal qonunini keltirib chiqarishga oid.

tenglamani yozsak, u ushbu ko'rinishda bo'ladi (2.2-rasm):

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

yoki

$$p_1 = p_0 + \rho g(z_0 - z_1) = p_0 + \rho g h \quad (2.7)$$

(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 potentsial ener-giyasini xarakterlaydi. Nivelir balandlik z – solishtirish yuzasidan yuqorida joylashgan istalgan nuqta holatining solishtirma potentsial energiyasini ifodalaydi. Ikkala energiya yig'indisi suyuqlik og'irligiga to'g'ri keladigan potentsial energiyaga teng.

Shunday qilib, gidrostatikaning asosiy tenglamasi (2.5) energiya saqlanish qonunining xususiy holi bo'lib, tinch holatdagi suyuqlikning hamma nuqtalarida solishtirma potentsial 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:

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

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).

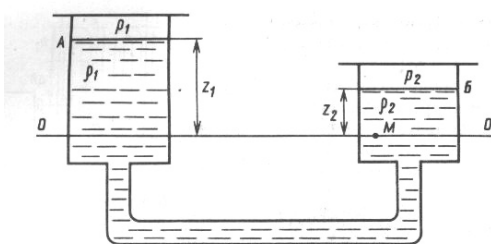
A idishdagi bosim p_1 , **B** dagi esa p_2 . Ixtiyoriy **O-O** tekisligini o'tkazamiz va unda **M** nuqta tanlab, uning uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz:

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

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

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'iy nazar, suyuqlik sathi bir xil bo'ladi.



2.3-rasm. Tutashgan idishlar.

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 hil 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 $z_0 - z = \text{const}$. Idish ichidagi suyuqlik balandligini N orqali ifodalasak, quyidagi formulani olamiz:

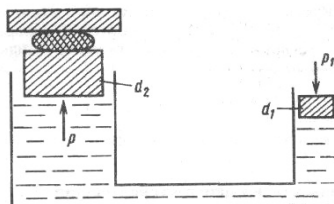
$$p = p_0 + \rho gH$$

Idish tubidagi bosim kuchi $R = rF$ ga teng, bu erda 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, 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 r_1 kuch ta'sir ettirilib p gidrostatik bosim hosil qilinsa, Paskal qonuniga ko'ra, d_2 o'lchamli katta porshenga ham r kattalikda bosim ta'sir etadi (2.4-rasm)



2.4-rasm. Gidravlik press.

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

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

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:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

GIDRODINAMIKA



Suyuqliklarning truba quvurlari va kanallarda oqishi, harakatga keltiruvchi kuch, ya'ni bosimlar farqi ta'sirida ro'y beradi. Ushbu kuch nasoskompressorlar, 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 miqdorini 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 xarakteristikalar

Suyuqlik sarfi va tezligi. O'zgarmas ko'ndalang kesimlitrubada 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, muxandislik 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) deb nomlanadi:

$$w = \frac{Q}{F} \quad (2.9)$$

Bundan hajmiy sarf,

$$Q = w \cdot F \quad (2.10)$$

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

$$G = \rho \cdot w \cdot F \quad (2.11)$$

bu erda 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_e (m) deb nomlanadi:

$$r_e = \frac{F}{\Pi} \quad (2.12)$$

bu erda F - suyuqlik oqimi ko'ndalang kesim yuzasi, m^2 ; Π - 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:

$$r_e = \frac{F}{\Pi} = \frac{\pi \cdot d^2 / 4}{\pi d} = \frac{d}{4} \quad (2.13)$$

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

$$d = d_e = 4r_e$$

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:

$$r_g = \frac{F}{P} = \frac{a \cdot v}{2a + 2v} = \frac{a \cdot v}{2 \cdot (a + v)}$$

ekvivalent diametr esa

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

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:

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

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 ($dw/d\tau=0$, $dp/d\tau=0$ o'zgaroz), 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 erda w - suyuqlik tezligi; p - bosim; h - oqim chuqurligi.

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

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

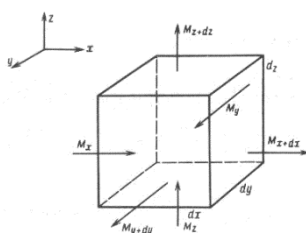
Oqimlarning turg'un harakati uzluksiz, noturg'un esa - davriy jarayonlar uchun xarakterlidir.

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



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

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).

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

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

bu erda ρ - suyuqlik zichligi.

Suyuqlik umumiy qabul qilinmaydigan ta'limni 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:

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

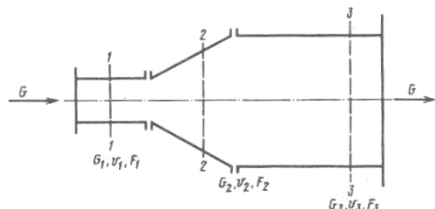
Agar, $\rho = \text{const}$ bo'lganda, parallelepiped ichidagi suyuqlik massasi o'zgarmas bo'lishi kerak. Demak, massaning umumiy o'zgarishi $dM=0$ yoki

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

yoki $\text{div} \mathbf{w} = 0$, bu erda $\frac{\partial w_x}{\partial x}, \frac{\partial w_y}{\partial y}, \frac{\partial w_z}{\partial z}$ - 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 tuba quvurining har bir ko'ndalang



2.6-rasm. Suyuqlik oqimining uzluksizlik tenglamasini keltirib chiqarishga oid

kesimidan vaqt birligida bir xil miqdorda suyuqlik oqib o'tadi (2.6-rasm).

$$G_1 = G_2 = G_3 = \dots = \text{const} \quad (2.14)$$

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

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

$$w_1 F_1 = w_2 F_2 = w_3 F_3 = \text{const} \quad (2.15)$$

(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 qonunining xususiy holi bo'lib, suyuqlik oqimining moddiy balansini 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 $dV = dx dy dz$ hajmli elementar parallelepiped ajratib olamiz (2.1-rasm).

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

$$\begin{aligned} x \text{ o'qiga} & \quad - \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz \\ y \text{ o'qiga} & \quad - \frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz \\ z \text{ o'qiga} & \quad - \frac{\partial p}{\partial z} dx dy dz \end{aligned}$$

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

Parallelepiped hajmidagi suyuqlik massasi:

$$dm = \rho dx dy dz$$

Agar, elementar zarrachatezligi w , uning tezlanishi $dw/d\tau$ bo'lsa, tezlanishning koordinatlar o'qidagi proekstiyalari quyidagicha bo'ladi:

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

bu erda w_x, w_y, w_z - x, y, z o'qlardagi tezliklar.

Koordinata o'qlariga nisbatan tezlanishning proekstiyalari $\partial w_x / d\tau$, $\partial w_y / d\tau$ 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, u va z o'qlarga mos keladigan tezlik miqdori w_x, w_y va w_z larning o'zgarishini ko'rsatadi. Dinamikaning asosiy prinsipiga binoan:

$$\begin{aligned} \rho dx dy dz \frac{dw_x}{d\tau} &= - \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz \\ \rho dx dy dz \frac{dw_y}{d\tau} &= - \frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz \end{aligned}$$

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

Qisqartirishlardan so`ng esa, ushbu tenglamalar sistemasini olamiz:

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

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 echish 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:

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

(2.17) tenglamalar sistemasidagi **dx/dτ**, **dy/dτ** va **dz/dτ** nisbatlar tegishli koordinata o`qlaridagi **w<sub>x</sub>**, **w<sub>y</sub>** va **w<sub>z</sub>** tezliklarning o`zgarishini ifodalaydi. Ushbu nisbatlarni tezlik orqali ifodalab, o`z o`rniga qo`ysak:

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

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

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

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 erda $w = |\mathbf{w}|$ - tezlik vektorining kattaligi bo`lib, **w<sub>x</sub>**, **w<sub>y</sub>** va **w<sub>z</sub>** o`qlari uchun o`z qiymatiga ega.

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

Demak,

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

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

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

Bir jinsli, siqilmaydigan suyuqliklar uchun $\rho = \text{const}$.

Tenglamadagi differentsiallar yig'indisini yig'indilar differentsiali bilan almashtirilishi mumkin, ya'ni:

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

bu erda

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

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.

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

Bernulli tenglamasi energiya saqlanish qonunining xususiy holi bo'lib, oqimning energetik balansini xarakterlaydi. z - nivelir balandlik yoki geometrik napor (h_g, m) deb ataladi va nuqta holatining solishtirma potentsial energiyasini ifodalaydi. $\frac{p}{\rho g}$ - bosim nabori yoki pezometrik napor (h_s, m) deb nomlanadi va bosimning solishtirma potentsial 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 potentsial energiyani ifodalaydi.

$\frac{w^2}{2g}$ - tezlik yoki dinamik napor (h_d, m) deb nomlanadi va u ushbu nuqtadagi solishtirma kinetik energiyani xarakterlaydi.

Demak, turg'un xarakterdagi suyuqlik uchun potentsial $\left(z + \frac{p}{\rho g} \right)$ 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 engishga sarf etiladi.

Haqiqiy suyuqliklar uchun Bernulli tenglamasi ushbu ko'rinishda yoziladi:

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

yoki

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

bu erda h_i - ishqalanish kuchini engish uchun sarflangan napor.

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

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

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

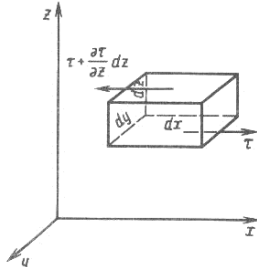
2.9. Suyuqlik harakatining Nave-Stoks differentsial tenglamasi

Suyuqlik oqimi harakatining Nave-Stoks differentsial tenglamasi 1845 yili keltirib chiqarilgan.

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

Qovushoq, haqiqiy (haqiqiy) 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 ajratib olamiz (2.7-rasm). Ishqalanish kuchlari parallelepipedning ustki va pastki tomonlari $d\mathbf{F} = d\mathbf{x}d\mathbf{y}$ yuzalariga urinma bo'ylab, ta'sir etmoqda.

Agar parallelepiped pastki tomonida urinma bo`ylab kuchlanish  $\sigma_{\text{bo`lsa}}$, ustki tomonida esa:



2.7-rasm. Nave-Stoks tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

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

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

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

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

Ushbu tenglamaga urinma kuchlanishi $\tau = \mu \frac{\partial w_x}{\partial z}$ ni

qo`ysak, quyidagicha ko`rinishga ega bo`lamiz:

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

Umumiyholatda, agarucho`lchovli oqimw\_x tezligining tashkiletuvchisifaqatzo`qiyo`nalishidaemas, balkikoordinataninghammauchu`qiyo`nalishidao`zgaradi. Undaxo`qigabirxilta`siretuvchiishqalanishkuchlariningproekstiyasiushbuko`rinishdabo`ladi:

$$\mu \left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \right) dx dy dz$$

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

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

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

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

(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 inertiya 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 differentsial 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 Nave-Stoks differensial tenglamalar sistemasini echish qiyin. Shuning uchun ushbu tenglamalar sistemasi ayrim xususiy hollar uchungina echilgan. Buning uchun, bu differensial tenglamalardan o'xshashlik nazariyasi asosida bir qator o'xshashlik kriteriylari keltirib chiqariladi. Olingan kriteriylar jarayonlarni hisoblashda ishlatiladi.

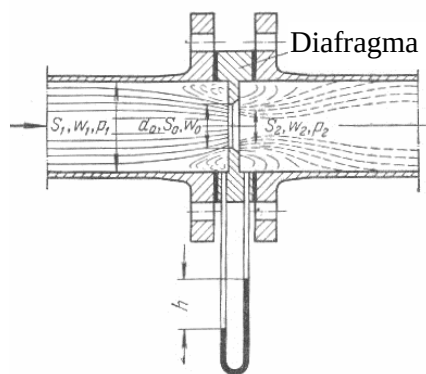
2.10. Bernulli tenglamasining amaliy qo'llanilishi

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

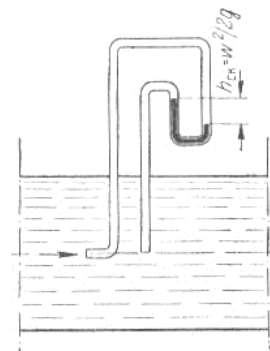
Suyuqlik tezligi va sarfini o'lchash printsiplari. Sanoatda va ilmiy tadqiqotlarda suyuqlik tezligi va sarfini o'lchash uchun drossel asboblari va pnevmometrik trubalar ishlatiladi.

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

Trubkalarining har bir ko'ndalang kesimida suyuqlik sathlarining farqi, uning o'qidagi nuqtaning tezlik nabori 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 suyuqlikdan ancha katta bo'ladi.



2.9-rasm. O'lchov diafragmasi



2.8-rasm. Pnevmetrik trubka yordamida suyuqlik tezligini o'lchash.

Agar, trubadagi suyuqlik bir ortezlikka ega bo'lsa, U-simon difmanometrda suyuqlik h balandlikka ko'tarilishidani kinematik naborni ko'rsatadi, ya'ni

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

Dinamik nabor qiymatidan tezlikni topish mumkin:

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

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

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

Formuladagi α sarf koeffitsientining qiymati har bir o'lchov asbobi va pnevmometrik trubkalar uchun tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Uning qiymati Reynolds kriteriysi va drossel asbobi diametri d_o ning tuba diametri d_1 nisbatiga bog'liqdir:

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

Suyuqlik sarfi esa sekundli sarf tenglamasidan topiladi:

$$V = wF$$

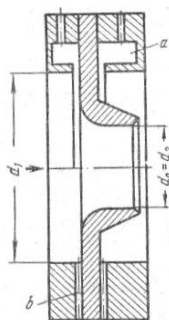
Bu usulda suyuqlik tezligi va sarfini aniqlash oson, lekin pnevmometrik trubkani truba quvurining o`qiga o`rnatish qiyinligi uchun yuqori aniqlikka erishib bo`lmaydi.

Shuning uchun xalqxo`jaligining turli sohalarida suyuqlik vatezlikni o`lchash uchun drossel asboblarga o`llaniladi. Bu asboblarning ishlash prinsipi trubalarning ko`ndalang kesimi o`zgarishi bilan dinamik bosimlar

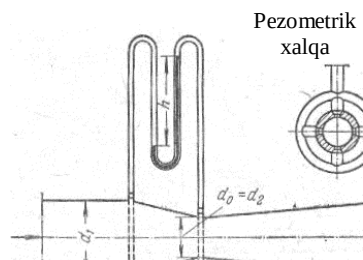
farqining o`zgarishiga asoslangan. Drossel asboblarning sifatida o`lchov diafragmasi, soplosi va Venturi trubalari ishlatilishi mumkin.

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

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



2.10-rasm O`lchov soplosi.



2.11- rasm. Venturi trubasi

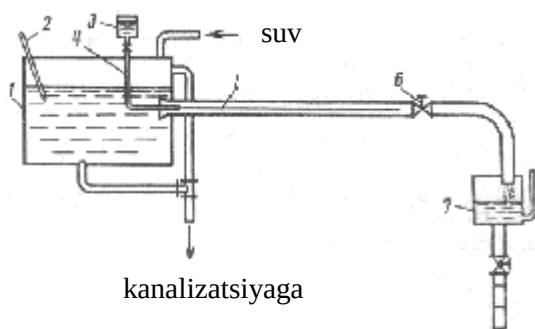
Venturi trubasida o`lchovchi diafragma va soplolariga nisbatan napor va bosimning yo`qotilishi kam bo`ladi (2.11-rasm). Bunga sabab, Venturi trubasida diametr **d** asta-sekin torayib, keyin esa asta-sekin kengayib, dastlabki holati **d** o`lchamiga qaytishdir. Lekin, bu asboblarning kamchiligi shundaki,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

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 kapillyar 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 chiziqli bo`lib cho`ziladi va bir tekis harakat qilayotganini ko`ramiz. Agar, turli joylarda o`rnatilgan bir nechta turli kapillyar 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-kapillyar truba; 5-truba; 6-kran; 7-yig`gich.

Oqimda tezliklar taqsimlanishi parabola shaklidagi chiziqli 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 gorizontall, 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 harakat **turbulent rejim** deb ataladi.

Oqimda tezliklar taqsimlanish cho`qqisi keng, parabolasimon chiziqli bilan ifodalanadi.

Ingliz fizik-olimi Reynolds tajribalarda suyuqlik tezligi, qovushoqligi, 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 qovushoqligi μ ga teskari proporsionaldir. Olim tomonidan taklif etilgan o`lchamsiz kompleks Reynolds kriteriysi deb yuri-

tiladi.

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

bu erda $\nu = \mu/\rho$ - kinematik qovushoqlik, m²/s.

Reynolds kriteriysining son qiymatlariga qarab, suyuqlik harakat rejimi aniqlanadi. Undan tashqari, ushbu kriteriy qovushoqlik va inerstiya kuchlarining o'zaro nisbatini xarakterlaydi. Bir xil truba diametri va suyuqlik tezligida, yuqori zichlik va kichik qovushoqlikka 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.

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

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

bu erda n - oqim indeksi; k - konsistentlik ko'rsatkichi.

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

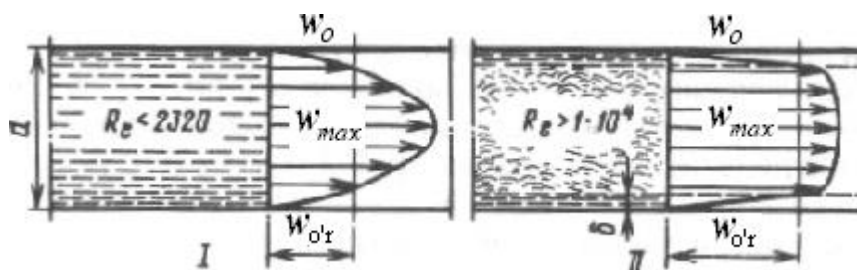
2.12. Laminar harakat qonunlari

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:

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

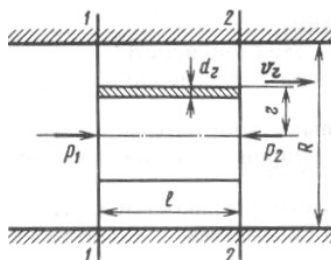
Truba devorida urinma kuchlanish maksimal va oqim o'qida minimal qiymatga ega. Demak, truba devoridan suyuqlik oqimchasi qanchalik uzoqda bo'lsa, uning tezligi shuncha katta bo'ladi va maksimal qiymati oqim o'qiga to'g'ri keladi (2.13).



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

Suyuqlik oqimida tezliklar taqsimlanish qonunini aniqlash uchun oqim o'qidan r masofada joylashgan, uzunligi l va qalinligi dr bo'lgan elementlar stilindr shaklidagi

suyuqlik bo'lakchasini ajratib olamiz (2.14-rasm.)



2.14-rasm. Tezliklar taqsimlanish qonuniga keltirib chiqarishga oid.

Suyuqlik turg'un harakatida jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi $R = R_1 - R_2$ butunlay ichki ishqalanish qarshiligi T ni engishga sarflanadi:

$$P_1 - P_2 = T$$

lekin

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

bu erda 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 erda F - elementar silindr shaklidagi suyuqlikning tashqi yuzasi $F = 2\pi r l$.

Unda

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

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, $r=R$ 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 erda R - truba radiusi.

Oxirgi olingan tenglamadan tezlikni aniqlasa bo'ladi:

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

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

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

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

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

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:

$$dV_{sek} = w_r df = 2\pi w_r \cdot r dr \quad (2.32)$$

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

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

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

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

yoki

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

bu erda d -truba diametri.

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

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

$$V_{sek} = \pi R^2 \cdot w_{o'r} \quad (2.36)$$

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

$$w_{o'r} = \frac{p_1 - p_2}{8 \mu l} \cdot R^2 \quad (2.37)$$

Agar, (2.30) tenglamani ham hisobga olsak:

$$w_{o'r} = \frac{w_{max}}{2} \quad (2.38)$$

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 funktsiyasidir $w/w_{max}=f(Re)$. Masalan, $Re=10^4$ bo'lsa $w_{ur} \approx 0,8 \cdot w_{max}$, $Re=10^8$ da $w_{ur} \approx 0,9 \cdot w_{max}$.

Lekin shuni alohida ta'kidlash kerakki, turbulent rejim o'ta murakkab xarakterli bo'lgani uchun, nazariy usul bilan suyuqlik tezliklarining taqsimlanish profilini aniqlash qiyin. Bunga sabab suyuqlik zarrachalarining tart-

ibsiz harakati va ularning intensiv aralashishidir. Oqibatda, suyuqlik ayrim zarrachalari tezligining yoʻnalishi va kattaliklarining lokal oʻzgarishlari juda tez sodir boʻladi. Bunday fluktuastiyalar xaotik xarakterga ega.

Oqimning istalgan nuqtasi uchun haqiqiy oniy tezlik w_x vaqt τ ga bogʻliqligini ham 2.13-rasmda koʻrish mumkin. Turbulent rejimda tezlik qandaydir oʻrtacha tezlik atrofida pulsastiya qilib turadi. Ushbu nuqta uchun oʻrtacha tezlik $\bar{w}_x$ quyidagi ifodadan topiladi:

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

bu erda w_x - x oʻqi boʻylab suyuqlik zarrachasining oniy tezligi.

Turbulent rejim har doim laminar rejim bilan barobar yuz beradi.

Nazariy va tajribaviy izlanishlar shuni koʻrsatdiki, turbulent rejimdagi harakatni oqim yadrosi va gidrodinamika 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 bogʻliqdir va uning tahminiy qiymatini Levich tenglamasidan aniqlash mumkin:

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

bu erda d -truba diametri.

Turbulent rejimda truba devorining gʻadir-budurligi suyuqlik harakati qarshiligiga salmoqli taʼsir etadi.

Trubalarning gʻadir-budurligi absolyut geometrik va nisbiy gʻadir-budurligi bilan xarakterlanadi. Truba devorlaridagi gʻadir-budurliklar oʻrtacha balandliklarining truba uzunligi boʻyicha oʻlchanishi absolyut gʻadir-budurlik deb ataladi.

Truba devorlaridagi gʻadir-budurliklar balandligi Δ ning ekvivalent diametri d ga nisbati (Δ/d_s) nisbiy gʻadir-budurlik deyiladi va u ushbu fomuladan aniqlanadi:

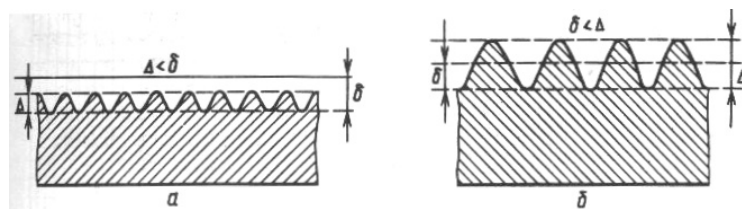
$$\varepsilon = \frac{\Delta}{d_s}$$

Truba devori g`adir-budurliklarining o`rtacha balandligi truba materiali, uning yasash 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

Reynoldskriteriysiqiymatigaqarabchegaraviyqatlamqalinligi δ o`zgaradi. Truba g`adir-budurliklarichegaraviyqatlamdanchiqibqolishholatijudako`nnaporyo`qotilishigaolibkeladi.

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



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

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

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, rivojlangan turbulent rejim-

da 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. Qovushoq suyuqlik harakatining kriterial tenglamalari

Trubada qovushoq suyuqlik harakatini ifodalovchi kriterial tenglamani keltirib chiqarish uchun Nave-Stoks differentsial tenglamasidan foydalanish mumkin.

Agar, siqish va cho'zish kuchlari hisobga olinmasa, absstissa o'qi bo'ylab harakat qilayotgan suyuqlik uchun differentsial 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 erda p - bosim; μ - dinamik qovushoqlik; w - tezlik; ρ - zichlik; τ - vaqt.

Ushbu tenglamadagi birinchi qo'shiluvchi absstissa o'qiyo'nalishida oqim bosimini qo'zg'atishini, ikkinchisida - ishqalanish kuchini, uchinchisi - og'irlik kuchini; to'rtinchisida - inerstiya kuchlarini xarakterlaydi. Tenglama qo'shiluvchilarining fizik ma'nosini inobatga olib, quyidagicha yozish mumkin:

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

bu erda P - bosim kuchi; T - ishqalanish kuchi; G - og'irlik kuchi; I_1 va I_2 - inerstiya kuchlari.

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

Inerstiya va ishqalanish kuchlarining nisbatidan o'lchamsiz $w_x \rho / \mu$ kompleksini olish mumkin, ya'ni Reynolds kriteriysini $Re = w d \rho / \mu$.

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

Og'irlik kuchi va inerstiya kuchlari nisbatidan esa-Frud kriteriysini, ya'ni $Fr = g d / w^2$.

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

O'xshashlik nazariyasining ikkinchi teoremasiga binoan, Nave-Stoks tenglamasi echimini yuqorida olingan kriteriyalar orasidagi funktsional bog'liqlikni ushbu ko'rinishda yozish mumkin

$$\varphi(Ho, Fr, Eu, Re) = 0 \quad (2.41)$$

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

Unda

$$\varphi = \left(Ho, Fr, Eu, Re, \frac{l}{d_e} \right) = 0 \quad (2.41a)$$

yoki

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

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

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

Modellarda olingan tajriba ma'lumotlarini qayta ishlash natijasida koeffitsient 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:

$$Eu = f\left(Fr, Re, \frac{l}{d_9}\right) \quad (2.43)$$

yoki

$$Eu = f_1(Fr, Re, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots)$$

bu erda – $G_1, G_2, G_3, \dots$ – geometrik o'xshashlik simpleksi.

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

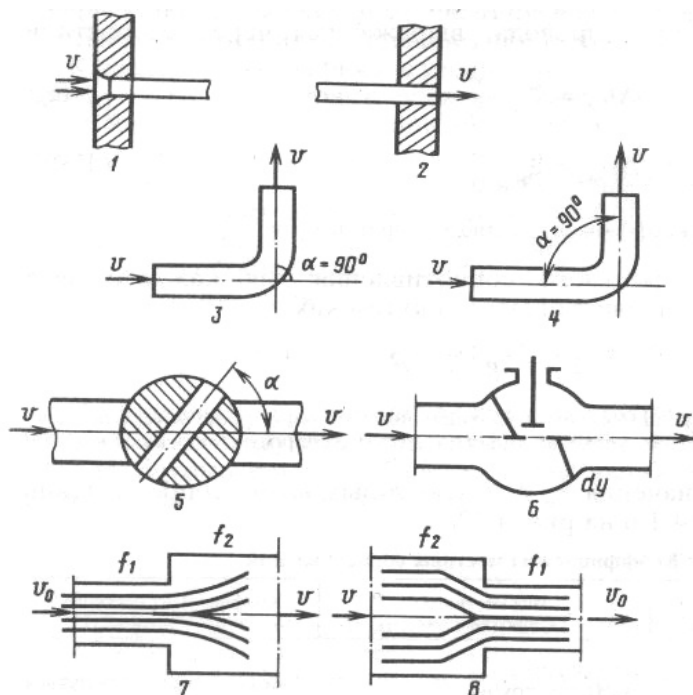
$$Eu = f_2(Re, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots) \quad (2.44)$$

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 $\Delta r_{yo'q}$)ni bilmasdan turib nasos, ventilyator, gazoduvka va kompressorlar yordamida suyuqliklarni uzatish uchun zarur bo'lgan energiya sarfini aniq hisoblab bo'lmaydi. Undan tashqari $h_{yo'q}$ (yoki $\Delta r_{yo'q}$) 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.



2.16-rasm. Mahalliy qarshiliklar.

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 istalgan o'zgarishidir. Ularga qo'yidagilar: keskin va asta-sekin toraygan va kengaygan qismlar, tirsaklar, jo'mrak, yopuvchi va rostlovchi uskuna (ventil, zadviyka, tiqinli kran) va boshqalar kiradi (2.16-rasm).

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:

$$h_{iyk} = h_{uk} + h_{mk} \quad (2.45)$$

bu erda h_{ik} va h_{mk} - ishqalanish va mahalliy qarshiliklarni engish uchun yo'qotilgan napor.

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

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

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

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:

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

bu erda λ – trubauzunligivadiametri; μ va ρ - suyuqlikqovushoqligivazichligi.

2-1 jadval

Mahalliy qarshiliklar koefitsientlari

2.16-rasmdagi mahalliy qarshilik tartibi	Mahalliy qarshilik turi	Mahalliy qarshilik koefitsienti , ξ_{mq}
1.	Trubaga kirish	0,2...0,5
2.	Trubadan chiqish	1,0
3.	90° ga to'g'ri burchak ostida burilish $\alpha=90^\circ$ li tirsak	0,15 1,1... 1,3
4.	Tiqinli kran:	
5.	Butunlay ochiq $\alpha =20... 50^\circ$	0,05
6.	Standart ventill $d_{sh}=20mm$ $d_{sh}=40mm$ va undan ortiq	2 ... 95 8 4...6
7.	To'satdan kengayish ($Re>3500$): $f_1/f_2=0,1$ 0,3 0,4 0,5	0,50 0,40 0,35 0,30
8.	To'satdantorayish ($Re>10^4$): $f_1/f_2=0,1$ 0,3 0,4 0,5	0,25 0,45 0,40 0,35 0,30 0,25

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

$$h_{ik} = \frac{32 w \mu l}{\rho g d^2}$$

Tenglama o'ng tomonining surati va mahrajini $2w$ ko'paytirsak:

$$h_{ik} = \frac{64 \mu}{w d \rho} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g}$$

Shundayqilib, dumaloq-ko'ndalang kesimli trubada suyuqlik laminar rejimda harakat qilganday qotilgan napor:

$$h_{ik} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \quad (2.46)$$

ya'ni, ishqalanish qarshiligini iengishday qotilgan naportezlik napori $h_t = w^2/2g$ orqali ifodalanadi.

Ishqalanish qarshilig-in-iengishday qotilgan naportezlik naporidan qanchalik farq qilish kattaligi **ishqalanish qarshilik koefitsienti** deb ataladi va ξ_{iq} harfi bilan belgilanadi.

$$\xi_{ik} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d}$$

bu erda $\frac{64}{Re}$ - gidravlik ishqalanish yoki ishqalanish koefitsienti va u λ deb belgilanadi.

Laminar ($Re < 2320$) rejimda gidravlik ishqalanish koefitsienti faqat Reynolds kriteriyasining son qiymatiga bog'liq. Bularni hisobga olsak, (2.46) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozsa bo'ladi:

$$h_{ik} = \xi_{ik} \frac{w^2}{2g} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \quad (2.47)$$

Agar, $\Delta r_{iq} = \rho g h_{iq}$ ligini hisobga olsak, ishqalanish qarshiligini engishda yo`qotilgan bosim Δr_{iq} quyidagi tenglamadan hisoblanishi mumkin:

$$\Delta p_{ik} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho w^2}{2} \quad (2.48)$$

bu erda ρ – suyuqlik zichligi.

Agar, trubaning ko`ndalang kesimi dumaloq bo`lmasa, Reynolds kriteriysida d o`rniga ekvivalent diametr  $d_e$  qo`yiladi. Unda

$$\lambda = \frac{B}{Re}$$

bu erda B – ko`ndalang kesim shakliga bog`liq koeffitsient, kvadrat kesim uchun $B=57$, dumaloq kesim uchun $B=96$ va hokazo.

Gidravlik silliq trubalar uchun ($2320 < Re < 10^4$) gidravlik qarshilik koeffitsienti Blaziusning empirik formulasidan:

$$\lambda = 0,316 \cdot Re^{-0,25} = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (2.49)$$

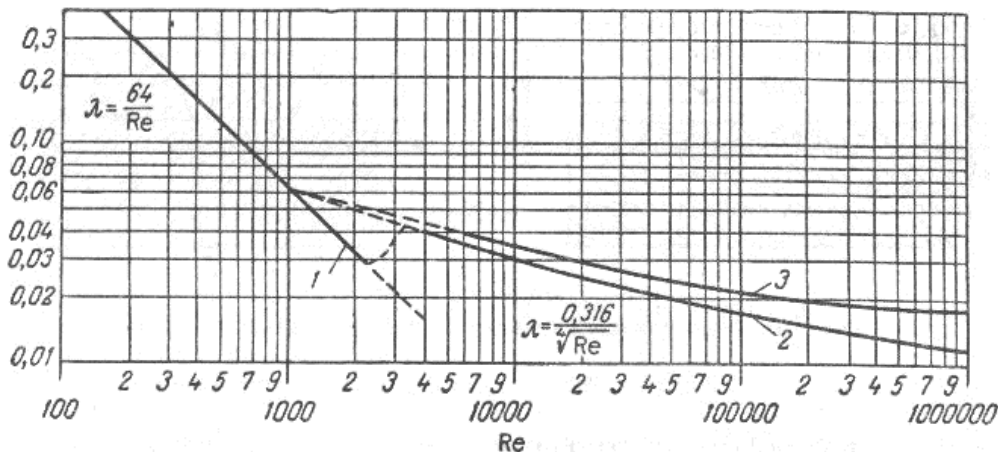
yoki Konakov formulasidan aniqlash mumkin:

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2} \quad (2.50)$$

g`adir-budur trubalar uchun gidravlik qarshilik koeffitsienti ushbu funktsiya ko`rinishida ifodalanadi:

$$\lambda = f(Re, \Delta/d)$$

bu erda $\varepsilon = \Delta/d$ – nisbiy g`adir-budurlik.



2.17-rasm. Gidravlik qarshilik koeffitsienti 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.

Gidravlik qarshilik koeffitsienti λ ni aniqlash uchun quyida keltirilgan grafik tavsiya etiladi (2.17-rasm). Undan ko`rinib turibdiki, tekis trubalar  $\lambda$  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 erda $\lambda = f(Re, \Delta/d)$, so`ng esa avtomodel sohasi  $\lambda = f(\Delta/d)$  ga o`tadi. Turbulent harakat rejimlarining hamma sohalari uchun gidravlik qarshilik koeffitsientini hisoblashning umumlashtirilgan tenglamasi quyidagi ko`rinishga ega:

$$\frac{1}{\sqrt{x}} = -2 \lg \left[\frac{\Delta/d}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] = -2 \lg \left[\frac{e}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] \quad (2.51)$$

Agar, (2.51) formuladagi birinchi qo`shiluvchini inobatga olmasak, ushbu formulani olamiz:

$$\frac{1}{\sqrt{x}} = -2 \lg \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} = 1,8 \lg Re - 1,5 \quad (2.52)$$

Gidravlik qarshilik **Re** ga bog`liq bo`lmagan avtomodel soha uchun ikkinchi qo`shiluvchini inobatga olmasa ham bo`ladi. Unda:

$$\frac{1}{\sqrt{x}} = 2 \lg \frac{3,7}{\Delta/d} = 2 \lg \frac{3,7}{e} \quad (2.53)$$

Nyuton qonuniga bo`ysinmaydigan suyuqliklar uchun **Re***=3000 ... 100000 da gidravlik qarshilik koeffitsientini topishda quyidagi formuladan foydalaniladi:

$$\lambda = a / (Re^*)^b \quad (2.54)$$

bu erda **Re*** - (2.40) formuladan topiladi; **a** va **b** koeffitsientlar 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 nabori orqali ifodalaniladi.

Mahalliy qarshiliklar tufayli yo`qotilgan napor **h_{mq}**ning tezlik nabori **h_t=w²/2g** nisbatiga mahalliy qarshilik koeffitsienti deb ataladi va u **ξ_{mk}** harfi bilan belgilanadi.

Unda, turli mahalliy qarshiliklar uchun

$$\begin{aligned} h_{mk1} &= \xi_{mk1} \frac{w^2}{2g} \\ h_{mk2} &= \xi_{mk2} \frac{w^2}{2g} \\ &\dots\dots\dots \\ h_{mkn} &= \xi_{mkn} \frac{w^2}{2g} \end{aligned}$$

Hamma mahalliy qarshiliklar uchun:

$$h_{mk} = \sum \xi_{mk} \frac{w^2}{2g} \quad (2.55)$$

(2.47) va (2.55) tenglamalarni inobatga olsak, (2.45) tenglama, yani umumiy naporning yo`qotilishi, quyidagik o`rinlashdayozilishim mumkin:

$$h_{yo'q} = \xi_{uk} \frac{w^2}{2g} + \sum \xi_{mk} \frac{w^2}{2g} = \sum \xi \frac{w^2}{2g} \quad (2.56)$$

bu erda $\sum \xi$ - qarshilik koeffitsientlarining yig`indisi.

Shunday qilib, naporning yo`qotilishi ushbu formuladan topiladi:

$$h_{yo'q} = \left(\lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi_{mk} \right) \frac{w^2}{2g} \quad (2.57)$$

Agar, $\Delta r = \rho g h_{yuk}$ hisobga olsak, umumiy bosimning yo`qotilishi esa, quyidagi tenglamadan aniqlash lozim:

$$\Delta p_{yo'q} = \left(\lambda \frac{l}{d_g} + \sum \xi_{MK} \right) \frac{\rho w^2}{2} \quad (2.58)$$

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:

$$V = wF$$

bundan

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} \quad (2.59)$$

bu erda d - truba ichki diametri, m; w - suyuqlikning o'rtacha tezligi, m/s; V - hajmiy sarf, m³/s.

2-2 jadval

Suyuqliklarning tavsiya etiladigan tezliklari

t/r	Suyuqlik nomi	Tezligi, w, m/s
1.	Qovushoqligipasttomchilisuyuqlik	<3 m/s
2.	Qovushoqsuyuqlik	<1 m/s
3.	Tomchilisuyuqlik (o'zidan - o'z ioqishi)	0,2...1 m/s
4.	Tomchili suyuqlik (haydash trubasida)	1...3 m/s
5.	Gaz (ventilyator 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 harajatlar 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.

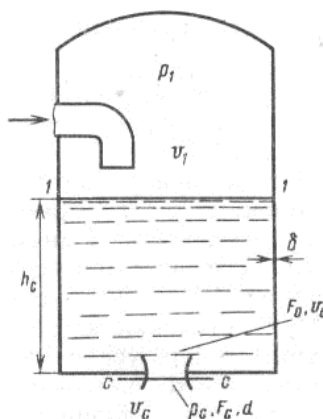
Shuning uchun, truba quvurining optimal diametrini topish uchun texnik-iqtisodiy uslubdan foydalanish zarur.

Optimal truba quvurida ekspluatatsion sarflar minimal bo'ladi.

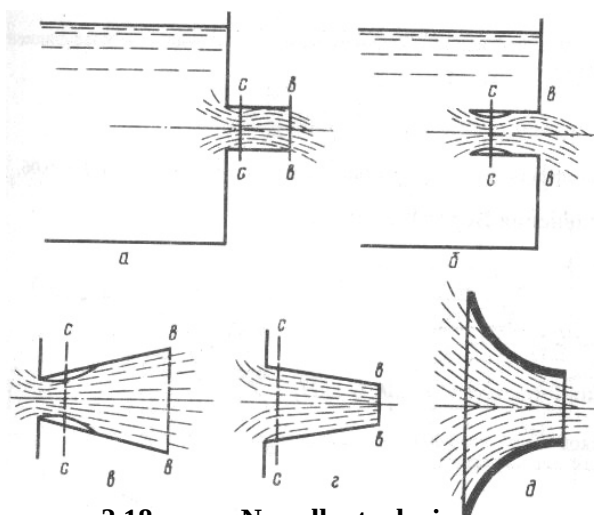
Texnik-iqtisodiy hisoblar asosida tavsiya etiladigan truba quvurlaridagi suyuqliklarning tezliklari 2-2 jadvalda keltirilgan.

2.17. Nasadka va teshiklar orqali suyuqlik oqib chiqishi

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 bermogda deb tasavvur qilamiz.



2.19-rasm. Idishda suyuqlik balandligi o'zgarmas bo'lganda, uning tubidagi dumaloq teshikdan oqib chiqishi.



2.18-rasm. Nasadka turlari.

1-1 va s-s ko'ndalang kesimlar uchun Bernulli tenglamasini yozamiz. Rasmdan ko'rinib turibdiki, $w_1 < w_s$;

$$h_s + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{p_s}{\rho g} + \frac{\alpha \cdot w_s^2}{2g} + h_{yo'q}$$

bu erda r_s , w_s – siqilgan kesimdagi suyuqlik bosimi va tezligi; α – oqimchaning notekislik koeffitsienti:

$$h_{yo'q} = \xi \frac{w_s^2}{2g}$$

bu erda ξ – mahalliy qarshilik koeffitsienti, $\xi = 0,06$.

Bernulli tenglamasidan quyidagi formulani olamiz:

$$w_s = \sqrt{\frac{2g}{2 + \xi} \left(h_c + \frac{p_0 - p_c}{\rho g} \right)} \text{ yoki } w_c = \varphi \sqrt{2gH} \quad (2.60)$$

bu erda

$$\varphi = \sqrt{1/(\alpha + \xi)}.$$

Hajmiy sarf esa

$$V = \varphi F_c \sqrt{2gH}$$

bu erda φ – tezlik koeffitsienti, dumaloq teshik uchun $\varphi = 0,97$; F_c – oqimcha ko'ndalang kesimi yuzasi:

$$F_c = \varepsilon_0 F_0$$

bu erda ε_0 – oqimchaning siqilish koeffitsienti, $\varepsilon_0 = 0,64$; F_0 – teshik ko'ndalang kesimi yuzasi.

Unda:

$$V = \varphi \varepsilon F_0 \sqrt{2gH} = \mu F_0 \sqrt{2gH} \quad (2.61)$$

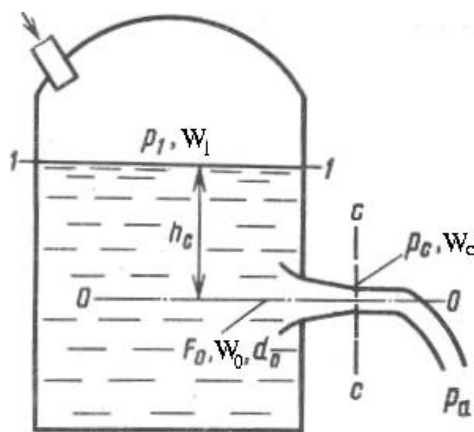
bu erda $\mu = \varepsilon \varphi$ – sarf koeffitsienti.

Sarf koeffitsienti μ teshik shakli, devor qalinligi va suyuqlik qovushoqligiga bog'liq. Suv uchun $\mu = 0,62 \dots 0,63$ bo'lib, boshqa suyuqliklar uchun $\mu = f(Re)$.

Agar, suyuqlik atmosfera bosimli idishga oqib tushsa $r_1 = r_c = r_a$;

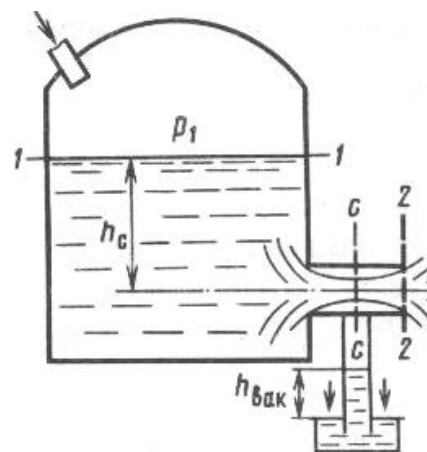
$$V = \mu F_0 \sqrt{2gh_c}$$

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 s-s lar uchun Bernulli tenglamasini yozamiz (2.20-rasm).



2.20-rasm. Idishdagi suyuqlik

baland-
ligio`zgarmasbo`lgandayupqayondevordagidumaloqteshikdansu
yuqlik
oqib chiqishi.



2.21-rasm. Idishdagi suyuqlik
o`zgarmas bo`lganda stilindrik
nasadkadan suyuqlik oqib
chiqishi.

$$h_c + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{p_a}{\rho g} + \frac{\alpha_c w_c^2}{2g} + \xi \frac{w_c^2}{2g}$$

bunda $r_s = r_a$ ekanligini inobatga olamiz.

Tenglamani w_c ga nisbatan echsak,

$$w_c = \sqrt{\frac{2g}{\alpha + \beta} \left(h_c + \frac{p_1 - p_a}{\rho g} \right)} = \phi \sqrt{2gH} \quad (2.62)$$

Suyuqlik sarfi esa, $r_o = r_s = r_a$ quyidagicha topiladi:

$$V = \mu F_o \sqrt{2gh}$$

buerda $\mu = 0,6 \dots 0,62$.

Idishdagi suyuqlik balandligio`zgarmasbo`lganda, stilindrik nasadkadan suyuqlik oqib chiqishi.

Bernulli tenglamasiga binoan siqilgan ko`ndalang kesimda vakuum hosil bo`ladi (2.21-rasm).

Silindrik nasadkadan suyuqlik oqib chiqish tezligi:

$$w = \sqrt{\frac{2gH}{\alpha + \xi_T / \varepsilon^2 + (1/\varepsilon - 1)^2 + \lambda l / d}} \quad (2.63)$$

bu erda ξ_T – toraygan ko`ndalang kesimdagi mahalliy qarshilik; λ – gidravlik qarshilik koeffitsienti; nasadka uchun $\varepsilon = 1$ va $\mu = \phi$.

Nasadka orqali oqib o`tayotgan suyuqlik sarfi;

$$V = \mu F_0 \sqrt{2gH}$$

Hosil bo'layotgan vakuum esa:

$$h_{vak} = 2\varphi^2 H (1 - \varepsilon) / \varepsilon \quad (2.64)$$

Tashqi stilindrik nasadka uchun $\varphi=0,82$, $\varepsilon=0,64$. Ushbu φ va ε qiymatlarida quyidagicha ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$h_{vak} \approx 0,75H \text{ va } H \leq 1,35h_{vak}$$

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, agar vakuum 8 m.suv.ust.dan ortiq bo'lsa, havo chiqish ko'ndalang kesimidan so'rilib 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:

$$H_{e.k} = h_{vak,ek} \frac{1}{2\varphi^2} \cdot \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \quad (2.65)$$

bu erda $h_{vak,ek} = 8 \text{ m.suv.ust.}$

$$H_{ek} = 8 \frac{1}{2 \cdot 0,82^2} \cdot \frac{0,64}{1 - 0,64} \approx 10 \text{ mm.suv.ust.}$$

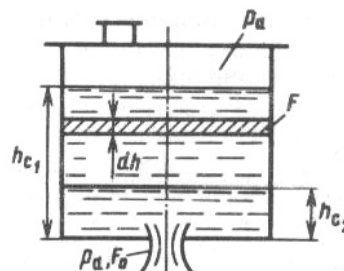
O'zgaruvchan naporda suyuqlikning oqib chiqishi.

O'zgaruvchan naporga ega bo'lgan suyuqlikning yupqa devorli idish teshigidan oqib, butunlay chiqib ketishini ko'ramiz (2.22-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_{c1} dan h_{c2} ga o'zgarganda idish tubidagi teshikdan oqib chiqayotgan suyuqlik hajmi quyidagi formuladan topiladi:

$$dV = \mu F_0 \sqrt{2gh} \cdot d\tau$$



2.22-rasm. O'zgaruvchan naporda suyuqlikning oqib chiqishi.

bu erda $h - d\tau$ vaqtda teshik og'irlik markazi tepasidagi napor.

Vaqt birligida idishdagi suyuqlik balandligi $dh = dV/F$ ga o'zgaradi. Bu erda F – idish ko'ndalang kesim yuzasi.

Oqimning uzluksizlik tenglamasiga binoan:

$$-dhF = \mu F_0 \sqrt{2gh} d\tau$$

bundan

$$d\tau = - \frac{F dh}{\mu F_0 \sqrt{2gh}} \quad (2.66)$$

Suyuqlikning oqib tushish vaqtini topish uchun (2.66) ifodani h_{c1} va h_{c2} oralikda integrallaymiz

$$\tau = - \int_{h_{c1}}^{h_{c2}} \frac{F dz}{\mu F_0 \sqrt{2gz}} = \frac{F}{\mu F_0 \sqrt{2g}} \int_{h_{c1}}^{h_{c2}} \frac{dh}{\sqrt{h}} = \frac{F}{\mu F_0 \sqrt{2g}} \left| 2\sqrt{h} \right|_{h_{c1}}$$

Demak

$$\tau = + \frac{2F(\sqrt{h_{c1}} - \sqrt{h_{c2}})}{\mu F_0 \sqrt{2g}} \quad (2.67)$$

Ushbu tenglama yordamida suyuqlik balandligi ma'lum miqdorga kamayganda, ya'ni h_{c1} dan h_{c2} ga pasayganda, suyuqlikning oqib tushish vaqti topiladi.

Agar, $h_{c2}=0$ bo'lsa, idishdagi suyuqlik butunlay, to'liq oqib chiqqan bo'ladi:

$$\tau = \frac{2F\sqrt{h_{c1}}}{\mu F_0 \sqrt{2g}}$$

yoki

$$\tau = \frac{2Fh_{c1}}{\mu F_0 \sqrt{2gh_{c1}}} = \frac{2V_p}{V} \quad (2.68)$$

bu erda V_p — rezervuar hajmi; V - h_{c1} bo'lgandagi suyuqlik sarfi.

Demak, napor o'zgaruvchan bo'lganda rezervuarining butunlay, to'liq bo'shash vaqti o'zgarmas napor-liga 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, inerstion kuchlar ta'sirida cho'ktirish va suyuqlik muhitlarida mexanik aralashtirishlar kiradi. Ushbu jarayonlar qonuniyatlarini o'rganish gidrodinamikaning tashqi masalasidir.

Jismlar suyuqlikda harakat qilgan paytida qarshiliklar hosil bo'ladi. Bu qarshiliklarni engish va jismning

tekis harakatini ta'minlash uchun ma'lum miqdorda energiya sarflanishi kerak. Hosil bo'layotgan qarshili-

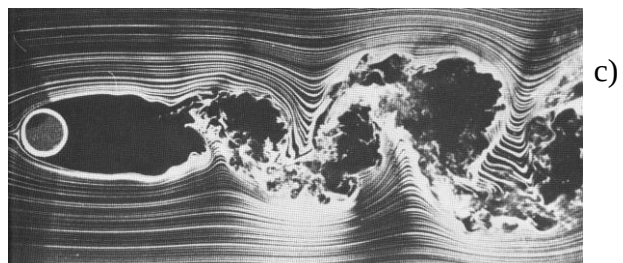
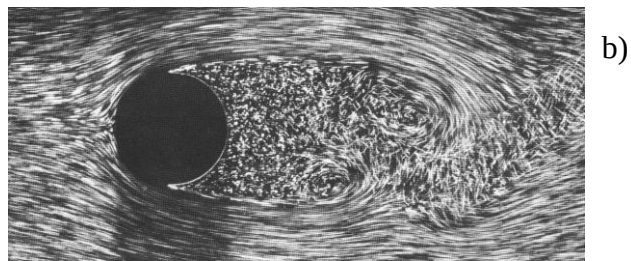
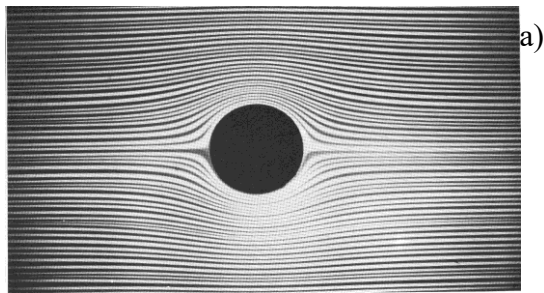
klar asosan harakat rejimi va jism shakliga bog'liqdir.

Laminar rejimda, ya'ni suyuqlik qovushoqligi 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(2.23a-rasm).

Jism harakat tezligi ortishi bilan (turbulent rejimda) inerstiya 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 (2.23b-rasm).



2.23. Qattiq jismning suyuqlikdagi harakati.

a - laminar oqim;
b, c - turbulent oqim.

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.

2.24-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:

$$G = \left(\frac{\pi d^3}{6} \right) \rho_3 g \quad (2.69)$$

Arximed qonuniga binoan ko'taruvchi kuch A ushbu tenglamadan topiladi:

$$A = \left(\frac{\pi d^3}{6} \right) \rho g \quad (2.70)$$

bu erda ρ - suyuqlik zichligi, kg/m^3 .

Zarracha cho'kishiga sababchi kuch esa, quyidagiga teng:

$$G - A = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_3 - \rho) g \quad (2.71)$$

Cho'kish jarayonida qattiq jismga suyuqlik qarshilik ko'rsatadi. Ushbu qarshilik R qiymati muhit qovushoqligi μ , zichligi ρ , zarracha ko'ndalang kesim yuzasi F va shakliga bog'liq.

Muhit qarshilik kuchi R Nyuton qonuniga binoan ushbu tenglamadan topiladi:

$$R = \xi F \frac{\rho w_{\text{tyk}}^2}{2} \quad (2.72)$$

bu erda ξ - muhit qarshilik koeffitsienti; $w_{\text{cho'k}}$ - jism harakat tezligi,

2.24-rasm. Cho'kayotgan zarrachaga ta'sir etuvchi kuchlar.

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 koeffitsienti
Laminar	$Re < 2$	$Ar < 36$	$Re = 0,056 \cdot Ar$	$\xi = \frac{24}{Re} \quad (2.73)$
O'tish	$Re = 2 \dots 500$	$Ar = (36 \dots 83) \cdot 10^3$	$Re = 0,15 \cdot Ar^{0,715}$	$\xi = \frac{18,5}{Re^{0,6}} \quad (2.74)$
Turbulent	$Re > 500$	$Ar > 83 \cdot 10^3$	$Re = 1,74 \cdot Ar^{0,5}$	$\xi = 0,44 = const \quad (2.75)$

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:

$$\xi = f(Re, \Phi)$$

$$\Phi = \frac{F_{sh}}{F} \quad (2.76)$$

bu erda F - jism yuzasi; F_{sh} - jism hajmiga teng sharning yuzasi.

Turli shakldagi jismlarning F koeffitsienti qiymatlari.

Reynolds kriteriysini hisoblashda shar shaklida bo`lmagan jismlar uchun asosiy chiziqli o`lcham sifatida shu jism hajmiga teng ekvivalent sharning diametri qo`llaniladi.

2-4 jadval

Zarracha shakli	Shar	Kub	Silindr ($h=10 \cdot r$)	Disk ($h=0,1 \cdot r$)
Koeffitsient F	1	0,806	0,69	0,32

Agar, jismning hajmi V , uning massasi m va zichligi ρ bo`lsa, unda ekvivalent diametri d ning qiymati ushbu tenglamadan topilishi mumkin:

$$V = \frac{m}{\rho_3} = \frac{\pi d^3}{6} \quad (2.77)$$

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 suyuqlikga bosimning potensial energiyasi ta'sir ettiriladi.

Nasos - shunday gidravlik mashinaki, unda elektr yuritkichning mexanik energiyasi suyuqlikning hara-

katlanish (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, ilgari ilama-qaytma va aylanma harakatlar tufayli suyuqlik siqib chiqariladi. Hajmiy nasoslarga porshenli, rotastion, 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 aylanish tufayli sodir bo'ladi.

Uyurmaviy nasoslarda uyurma energiyasi hisobiga uzatiladi. Bu ishchi g'ildirakning aylanishida uyurmaning tezda hosil bo'lishi va sunishi bilan amalga oshadi.

Aytib o'tilgan nasoslardan tashqari, yana oqimchali nasoslar, hamda gazliftlar va monteju deb nomlanadigan mashinalardan ham foydalaniladi. Bu nasoslarda gaz, suv va bug'larning bosimlaridan foydalaniladi.

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 nabori $N(m)$ – 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 potentsial energiyasiga aytiladi:

$$N_F = \rho g V H$$

Nasos o'qidagi quvvat N_e ni aniqlash uchun foydali quvvatni nasos foydali ish koeffitsientiga 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 konstruktsiyaning mukammalligi, ishlatish samaradorligi va nasosning edirilishi hisobga olinadi:

$$\eta_n = \eta_v \cdot \eta_g \cdot \eta_{mex}$$

bu erda η_v – uzatish f.i.k.; suyuqlikning klapan, salnik, harxiltirqishlardan 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 koeffitsienti η_n porshenli nasoslar uchun 0,8...0,9, markazdan qochma nasos uchun 0,7...0,95 nitashkiletadi.

Nasos qurilmasining to'liq foydali ish koeffitsienti:

$$\eta = \frac{N_f}{N_{yu}} = \eta_n \cdot \eta_{uz} \cdot \eta_{yu}$$

bu erda N_{yu} – yuritkich iste'mol quvvati; η_{uz} – uzatish f.i.k.; η_{yu} – yuritkich f.i.k.

Yuritkichning aniq quvvati, nasosni ishga tushirish onida (vaqtida)gi N_{yu} ortiqcha yuklanishini inobatga olgan holda aniqlanadi.

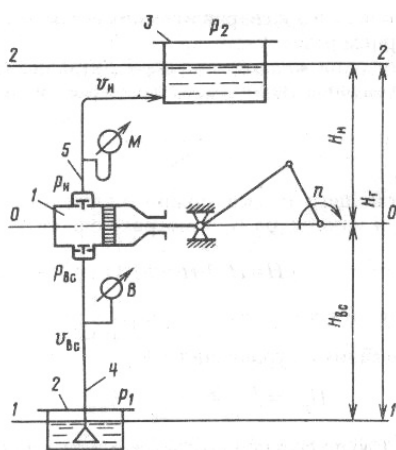
$$N_{an} = \beta \cdot N_{yu}$$

bu erda β - quvvatning zahira koeffitsienti, bu elektr yuritkichning quvvatiga qarab 2,0 dan 1,1 gacha olinadi.

Elektr yuritkichning quvvati qanchayuqoribo`lsa, koeffitsient 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. Taqqoslash tekisligi deb pastki idishdagi suyuqlik sathini olamiz:



$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = H_{so'r} + \frac{w_{so'r}^2}{2n} + \frac{p_{so'r}}{\rho g} + h_{so'r,yo'q} \quad (2.78)$$

bu erda 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 utgan 0-0 tekisligi olinadi) quyidagicha yoziladi:

$$\frac{p_{uz}}{\rho g} + \frac{w_{uz}^2}{2g} = H_{uz} + \frac{w_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + h_{uz,yo'q} \quad (2.79)$$

2.25-rasm. Nasos qurilmasi sxemasi.

bu erda, 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:

$$H = \frac{P_{uz} - P_{so'r}}{\rho g} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{w_{so'r}^2 + w_{uz}^2}{2n} + H_{so'r} + H_{uz} + h_{so'r,yo'q} + h_{uz,yo'q} \quad (2.79a)$$

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:

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + H + h_{yo'q} \quad (2.80)$$

bu erda $h_{yo'q} = h_{so'r} + h_{uz,yo'q}$ – bosimning umumiy yo`qotilishi.

Agarda yuqoridagi va pastki idishdagi bosimlar teng bo`lsa, ya`ni $R_2 = R_1$, u holda:

$$H = H_g + h_{yo'q} \quad (2.81)$$

(2.80) tenglamaga binoan, nasosning bosimi, suyuqlikni geometrik balandlik H_g ko`tarishga, idishlardagi bosimlar farqini, so`rish va haydash idishlardagi gidravlik qarshiliklarni engishga sarf bo`ladi.

Gorizontal joylashgan quvur orqali suv uzatilganda ($H_g=0$), nasos bosimi faqat qarshiliklarni engish uchun sarflanadi:

$$H = h_{yo'q} \quad (2.82)$$

Ishlayotgan nasosning bosimini (naporini) vakuummetr H_v va manometr H_m larning ko'rsatkichlari asosida aniqlash mumkin:

$$H = H_m + H_v + h$$

bu erda h – manometr va vakuummetrlar orasida masofa.

(2.78) tenglamadan so'rish balandligini ko'rib chiqsak:

$$H_{so'r} = \frac{p_1 - p_{so'r}}{\rho g} - \frac{w_{so'r}^2}{2g} - h_{so'r.yo'q} \quad (2.83)$$

w_1 tezlik qiymati $w_{so'r}$ ga nisbatan ancha kichik bo'lgani uchun, $w_1=0$ deb qabul qilsak bo'ladi.

(2.83) tenglamadan shu narsa ko'rinib turibdiki, $r_{so'r}$ kamayishi bilan so'rish balandligi ortadi. Suyuqlik nasos ichida qaynab ketmasligi uchun, $r_{so'r}$ qiymati suyuqlik uzatilayotgan temperaturadagi suv bug'i to'yinish bosimi P_v dan katta bo'lishi kerak, ya'ni $r_{so'r} > r_t$.

Shunday qilib, so'rish balandligining chegaraviy qiymatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$H_{so'r} \leq \frac{p_{at} - p_t}{\rho g} - \frac{w_{so'r}^2}{2n} - h_{so'r.yo'q}$$

bu erda r_{at} – atmosfera bosimi; $r_{at}=r_1$.

Aks holda, suyuqlik nasos ichida qaynab ketadi, va intensiv bug' hosil bo'lishga olib keladi. Bug' pufakchalari suyuqlik bilan yuqori bosimli zonaga kirib qolsa, tomchiga aylanib, bo'shliqlar hosil qiladi, gidravlik zarba shoqin bo'lishiga olib keladi, ya'ni kavitatsiya hodisasi sodir bo'ladi.

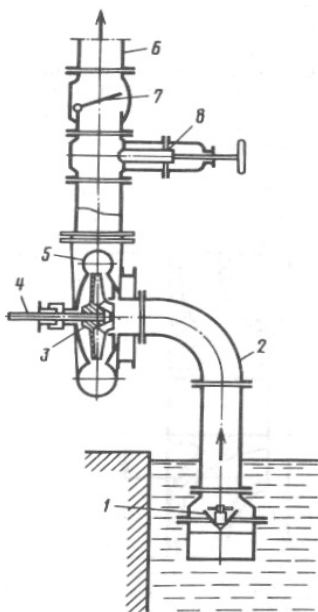
Kavitatsiya bo'lishi nasos unumdorligini pasaytiradi, gidravlik zarba bilan ishlagan nasos, tez buziladi, korroziyaga uchraydi va uning tez buzilishiga olib keladi.

2.22. Markazdan qochma nasoslar

Ishlash prinsipi. Markazdan qochma nasoslar oqim kinetik energiyasini bosimning potentsial energiyaga aylantirib berishiga asoslanib ishlaydi (2.26- 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.

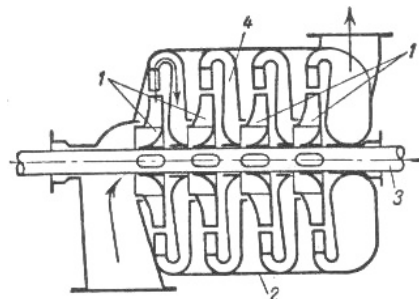
Suyuqlik, so'rish trubasi orqali, ishchi g'ildirak o'qi bo'ylab, nasosga kiradi.

Ishchi g'ildirak suyuqlikka aylanma harakat beradi. Markazdan qochma kuch ta'sirida suyuqlik nasos qobig'i bilan ish g'ildiragi orasidagi o'zgaruvchan ko'ndalang kesimli kanalga kirib boradi. Kanalda suyuqlik tezligi uzatish quvuridagi tezlik qiymatigacha kamayadi.



2.26-rasm. Markazdan qochma nasos sxemasi.

1,7- klapan; 2- sorish quvuri; 3- ishchi



2.27-rasm. Ko'p bosqichli, markazdan qochma nasos sxemasi.

1-ishchi g'ildirak; 2-qobiq;

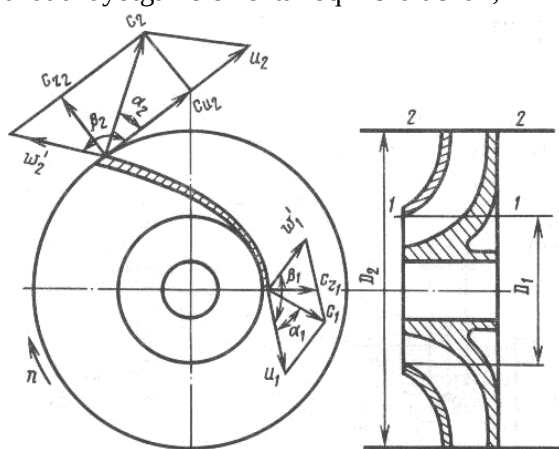
Natijada ishchi g'ildiragiga kirishdagi bosim pasayib, suyuqlik beto'xtov nasosga so'rib boriladi. Markazdan qochma turdagi nasosni ishga tushirishdan oldin nasos ichida siyraklanish hosil qilish uchun uning ichiga suyuqlik quyiladi. Nasosdan suyuqlik orqaga oqib ketmasligi uchun, qaytarish klapani so'rish trubasiga o'rnatilgan bo'ladi. Gidravlik mashinalar bir va ko'p bosqichli nasoslarga bo'linadi.

Bir bosqichli nasosning bosimi 50 m suv ustunidan oshmaydi. Shuning uchun yuqori bosim hosil qilish uchun bir o'qning o'ziga ketma-ket bir necha ishchi g'ildiragi o'rnatiladi.

Ko'p bosqichli nasosning bosimi g'ildirak soniga proporsional. Ko'pincha g'ildiraklar soni beshtadan ortmaydi (2.27- 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 va aylanma tezliklar u_1 va u_2 ning geometrik yig'indisiga teng bo'ladi (2.28-rasm). G'ildirak kuragi bo'ylab harakatlanayotgan elementar oqimcha uchun,



2.28-rasm. Markazdan qochma nasosning asosiy tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

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 erda 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 erda r_1 va r_2 - ishchi g'ildirakning tashqi va ichki radiuslari; α_1 va α_2 - suyuqlikni g'ildirakka kirish va chiqishdagi absolyut va aylanma tezliklari orasida burchak.

Harakat miqdori momenti elektryuritkichdan 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:

$$\sum \Delta M = \sum \rho \Delta V (C_2 r_2 \cos \alpha_2 - C_1 r_1 \cos \alpha_1) \quad (2.84)$$

Ideal oqim uchun hamma harakat energiyasi harakat miqdori momentining ortishiga sarflanadi. Tashqi aylantirish (burish) momenti:

$$M = \frac{N}{\omega} = \frac{\rho g V H}{\omega} \quad (2.85)$$

Tashqi chetki tezliklar $u_1 = r_1 \cdot \omega$ va $u_2 = r_2 \cdot \omega$ ni hisobga olib va (2.84) va (2.85) ni tenglatib va (2.85) tenglamani H ga nisbatan echganda, markazdan qochma nasos uchun Eyler tenglamasiga ega bo'lamiz:

$$H_{naz} = \frac{1}{g} (C_2 \cdot u_2 \cdot \cos \alpha_2 - C_1 \cdot u_1 \cos \alpha_1) \quad (2.86)$$

Suyuqlikni g'ildirakka urilmasdan kirishi va undan chiqishi shartini hisobga olib, $\alpha_1 = 90^\circ$ va $\alpha_2 = 10 \dots 15^\circ$ qabul qilinsa, (2.86) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$H_{naz} = \frac{1}{g} \cdot u_2 \cdot C_2 \cdot \cos \alpha_2 \quad (2.87)$$

(2.28) rasimga qarab, tezliklar parallelogrammasidan $C_2 \cdot \cos \alpha_2 = C_{u2} \cdot \alpha_1 = 90^\circ$ bo'lganda:

$$H_{naz} = \frac{1}{g} \cdot u_2 \cdot C_{u_2} \quad (2.88)$$

(2.88) tenglamasi ishchi g'ildiragining cheksiz sonli kurakchalari uchun olindi. Shuning uchun kurakchalar sonini hisobga oluvchi ε koeffitsient (2.88) tenglamaga kiritiladi, uning qiymati $\varepsilon = 0,6 \dots 0,8$ ga teng.

Hakikiy xajmiy bosim nazariy bosimdan doimo kam bo'ladi. Chunki energiya nasosdagi gidravlik qarshiliklarni engish uchun sarflanadi:

$$H = \frac{1}{g} \varepsilon \cdot \eta_2 \cdot u_2 \cdot C_{u_2} \quad (2.89)$$

bu erda η_r – gidravlik foydali ish koeffitsienti $0,8 \dots 0,95$ ga teng bo'ladi.

Nasos bosimi ma'lum darajada kuraklarning shakliga ham bog'lik bo'lib, aylanma va nisbiy tezliklar vektori orasidagi β_2 burchak yordamida aniqlanadi (2.28-rasm).

Tezlik parallelogrammasidan:

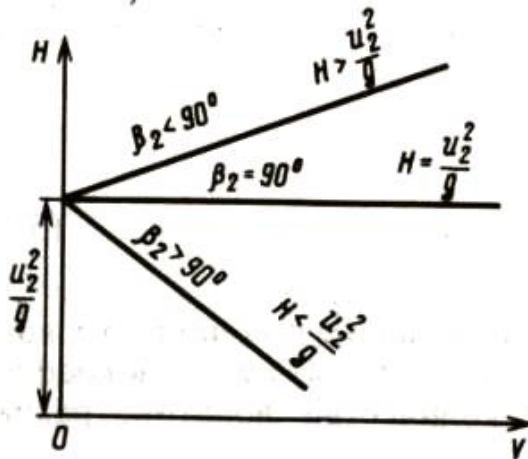
$$C_{u_2} = u_2 - C_{r_2} \cdot \operatorname{ctg}(180 - \beta_2) = u_2 + C_{r_2} \cdot \operatorname{ctg}\beta_2$$

Unda:

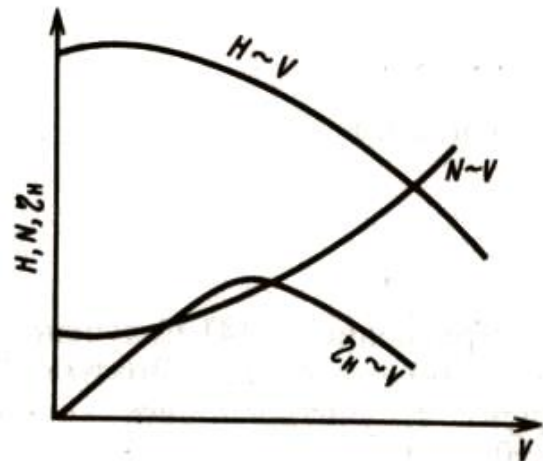
$$H = \frac{1}{g} \cdot \varepsilon \cdot \eta_2 (u_2^2 + u_2 \cdot C_{r_2} \cdot \operatorname{ctg}\beta_2) \quad (2.90)$$

$\beta_2 < 90^\circ$ bo'lganda (kurakchalar ishchi g'ildirakning aylanish yo'nalishi bo'yicha egilgan bo'lsa): $C_r \cdot \operatorname{ctg}\beta_2 > 0$ va $H > \frac{1}{g} \cdot \varepsilon \cdot \eta_r \cdot u_2^2$. $\beta_2 > 90^\circ$ da esa (kurakchalar ishchi g'ildirakning aylanish yo'nalishiga qarama-qarshi buklangan): $C_r \cdot \operatorname{ctg}\beta_2 < 0$ va $H < \frac{1}{g} \cdot \varepsilon \cdot \eta_r \cdot u_2^2$ kurakchalar radial bo'lganda $\beta_2 = 90^\circ$, $C_r \cdot \operatorname{ctg}\beta_2 = 0$ 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 $\beta_2 = 140 \dots 164^\circ$ va $\beta_1 = 153 \dots 166^\circ$ bo'ladi (2.29-rasm).



2.29-rasm. Markazdan qochma nasos naporiga β_2 burchakning ta'siri.



2.30-rasm. Markazdan qochma nasosning xususiy xarakteristikasi.

Markazdan qochma nasoslarda unumdorlik ma'lum miqdorda ishchi g'ildirak kanallarining erkin kesim yuzalari yordamida aniqlanadi (2.28-rasmga qarang).

Nazariy unumdorlik ushbu tenglama yordamida hisoblanadi:

$$V_n = F_2 \cdot C_{r_2} = (\pi \cdot D_2 - z \cdot \delta) \cdot \varepsilon \cdot C_2 \cdot \sin \alpha_2 \quad (2.91)$$

bu erda F_2 – ishchi g'ildirakning tashqi aylana bo'yicha erkin kesim kanali yuzasi; S_{r2} – suyuqlikning ishchi g'ildirakdan chiqishdagi absolyut tezligining radial tashkil etuvchisi; D_2 – g'ildirakning tashqi diametri; z – kurakchalar soni; δ – ku-

rakchalar qarshiligi; b - g'ildirak eni.

Nasosning haqiqiy unumdorligi:

$$V = \eta_v \cdot V_T$$

bu erda η_v —nasosning hajmiy foydali ish koeffitsienti.

Markazdan qochma nasoslar xarakteristikalari. Nasoslar ishini tahlil qilish uchun ularni xususiy va universal xarakteristikalaridan foydalaniladi.

Nasosning xususiy xarakteristikasi bosim N , talab etilayotgan quvvat N , nasosning foydali ish koeffitsienti η_n larning $n=\text{const}$ 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:

$$C_{r2} = \frac{V}{\eta_v \cdot F_2}$$

va (2.90) ga qo'yib ushbu tenglamani olamiz:

$$H = \eta_r \cdot \left(\frac{u_2^2}{g} + \frac{u_2 \cdot \text{ctg} \beta_2}{g \eta_v \cdot F_2} \cdot V \right) \quad (2.92)$$

Ushbu nasos uchun $U_2, \beta_2, \eta_v, F_2$ lar o'zgarmas kattalik bo'lib, N ning V dan bog'liqligi (2.92) tenglamaga binoan to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi:

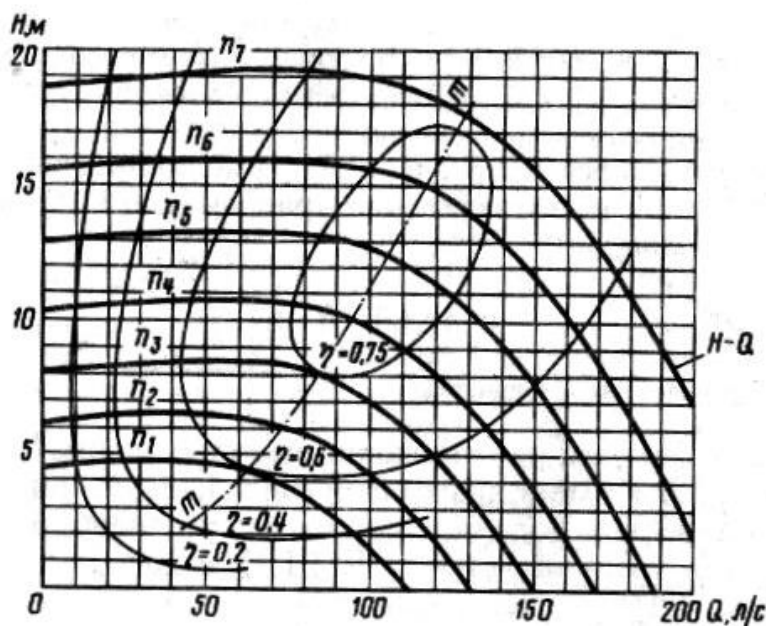
$$H = \eta_r (A + BV)$$

bu erda A va B - o'zgarmas koeffitsientlar.

Haqiqatda esa tajriba bo'yicha $n=\text{const}$ bo'lganda, N ning V ga bog'liqligi egri chiziqni beradi (2.30-rasm), ya'ni, unumdorlik oshgan sari nasos bosimi pasayadi, iste'mol quvvati esa ortadi. Foydali ish koeffitsientining qiymati esa maksimumdan o'tib ketadi. Ma'lumki, nasosning foydali ish koeffitsienti foydali quvvat ($N_\phi = \rho g V H$) ning nasos o'qidagi quvvati nisbatiga teng. Foydali quvvat suyuqlikka energiyasini berishga sarf bo'ladi. $V=0$ va $V=V_{\text{maks}}$ bo'lganda, foydali quvvat nolga teng, ya'ni $N=0$ bo'ladi. So'rish quvuri lo'kidoni 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 N va V zonasiga to'g'ri keladi.

Nasosning universal xarakteristikasi nasos ishining chegaraviy qiymatlari haqida ma'lumotlar va bunda



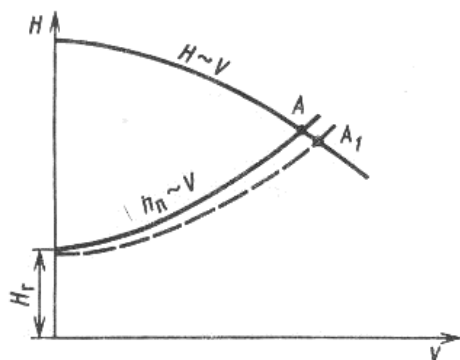
2.31 - rasm. Aylanish chastotasi n bo'lganda markazdan qochma nasosning universal xarakteristikasi.

foydali ish koeffitsientining maksimal qiymatini, uning optimal ish rejimini tanlashga imkoniyat beradi.

Nasos universal xarakteristikasi ishchi g'ildiragining turli aylanish chastotalari uchun olinadi. Bunda N - V bog'liqlik bir necha marta olinadi. Har bir N - V egri chiziqda o'zgarmas foydali ish koeffitsientining (

$\eta'_n, \eta''_n, \eta'''_n, \dots$) qiymatlariga tegishli nuqtalar ajratiladi. **m-m** chizig'i foydali ish koefitsientlarining maksimum qiymatlariga teng bo'ladi (2.31-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.



2.32-rasm. Nasosning tarmoq xarakteristikasi.

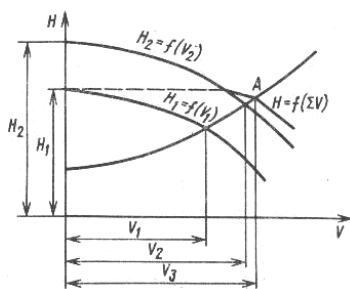
Darsi-Veysbax tenglamasidan $h_u = R \cdot V^2$ ekanligini aniqlash mumkin. Bundan xarakteristikaning parabola tenglamasini $H = H_r + R \cdot V^2$ ko'rinishida yozish mumkin.

2.32-rasmida 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.

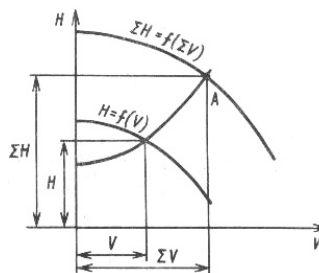
Tarmoqda bosim yo'qotilishi kamaytirilganda, ish nuqtasi (A_1) o'ngga suriladi. Agar, yuqorida qayd etilgan, uchchala usulda ham unumdorlik oshmasa, u holda nasos yanada quvvatli bilan almashtiriladi.

Nasoslarni birgalikda ishlashi. **Nasoslarning suyuqlikni uzatish miqdorini oshirishga, ularni parallel ulash yo'li bilan erishiladi.**

Nasoslarning **yig'ma** xarakteristikasini har bir nasos xarakteristikasi absstissalari yig'indisi orqali olinadi.



2.33-rasm. Parallel ulangan ikki nasosning birgalikda ishlashi.



2.34-rasm. Ketma-ket ulangan ikki nasosning birgalikda ishlashi.

2.33-rasmida **1** va **2** nasoslarning yig'ma xarakteristikalari ko'rsatilgan. Har bir nasos alohida V_1 va V_2

unumdorlikka ega. Parallel ulanganda yig'ma 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 sezilarli 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 (2.34-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.

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.

Proporstionallik 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 $N \sim c_2 u_2$.

Agar aylanishlar soni n_1 da napor N_1 bo'lsa, $n_2 \sim N_2$ bo'ladi deb xulosa qilsak, unda:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{u'_2}{u''_2} \right)^2 = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2, \text{ ya'ni } \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (2.93)$$

(2.91) tenglamadan esa, nasos unumdorligi suyuqlik g'ildiragidan ajralishdagi absolyut tezligini radial tashkil etuvchisiga proporsional, ya'ni $V \sim C_{r2}$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{C'_{2r}}{C''_{2r}} = \frac{u'_2}{u''_2} = \frac{\pi D_2 n_1}{\pi D_2 n_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.94)$$

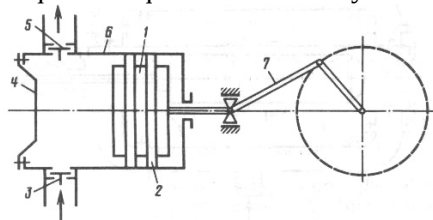
Nasos talab etadigan quvvat esa, unumdorlik va naporning ko'paytmasiga proporsional (2.89) va (2.91) tenglamalarga binoan quyidagi ko'rinishni hosil qilamiz:

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (2.95)$$

(2.93) - (2.95) tenglamalar proporsionallik qonuni tenglamalari deyiladi. Biroq bu tenglamalarni tahminiy hisoblar uchun ishlatish mumkin. Aniq hisoblar uchun esa, nasos ish g'ildiragini aylanishlar chastotasi bilan foydali ish koeffitsienti inobatga olinishi kerak. Shuni qayd etib o'tish kerakki, proporsionallik qonunlari, aylanishlar soni bir-biridan 2 barobardan ortiq farq qilgandagina qo'llash mumkin.

2.23. Porshenli nasoslar

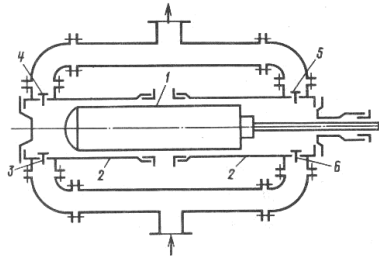
Porshenli nasoslar plunjer yoki porshenni stilindrda ilgarilama-qaytma harakati yordamida suyuqlikni siqib chiqarish prinsipiga asoslangan (2.35-rasm). Porshenni o'ng tomonga qilgan harakatidan keyin, stilindrning chap qismida havoni siyraklanishi sodir bo'lib, so'rish klapani ochiladi va so'rish quvuri orqali suyuqlik stilindrga tortib olinadi. Porshen chapga surilganda so'rish klapani berkilib, uzatish klapani ochiladi va suyuqlik haydash quvuri orqali uzatila boshlaydi.



2.35-rasm. Bir tomonlama harakatlanuvchi, gorizontal porshenli nasos sxemasi.

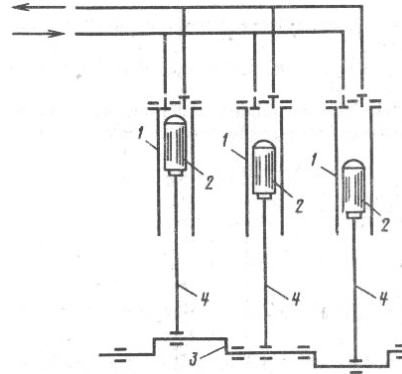
1- porshen; 2- zichlovchi halqalar; 3- so'rish klapani; 4- silindr qopqog'i; 5- haydash (uzatish) klapani; 6- silindr; 7- krivoship-shatun mexanizmi.

Porshen krivoship-shatunli mexanizm yordamida harakatga keltiriladi. Porshen stilindrda zichlovchi halqalar yordamida siqib turiladi. Porshenli nasoslar uzatmasi turiga qarab, bevosita ulanuvchi va uzatmali bo'ladi.



2.36-rasm. Ikki tomonlama harakatlanuvchi nasos sxemasi.

1- plunjer; 2- silindrlar; 3,6- soʻrish klapanlari; 4,5- haydash klapanlari.



2.37-rasm. Uch tomonlama ishlaydigan nasos sxemasi (tripleks-nasos).

1-silindrlar; 2- plunjerlar; 3- tirsakli; 4- shatunlar.

Bevosita ulangan nasoslar bugʻ nasoslar yordamida harakatlanadi, bunda nasos porshen bilan bitta shtokda joylashgan boʻladi. Uzatmali nasoslar elektr yuritkich yordamida harakatga keltiriladi. Nasoslar krivoship aylanish chastotasiga qarab, sekin aylanadigan ($n=45...60 \text{ min}^{-1}$), oʻrtacha ($n=60...120 \text{ min}^{-1}$) va tez aylanadigan ($n=120...180 \text{ min}^{-1}$)larga boʻlinadi.

Porshenli nasoslar vertikal va gorizontal boʻlishi mumkin.

Yuqori bosimli nasoslar 100 MPa gacha boʻlgan bosimni taʼminlab bersa, yuqori mahsuldorlik nasos esa, soatiga 60 m^3 suyuqlik haydab beradi.

Porshenli nasoslar uchun soʻrish va uzatish jarayoni davriy boʻlib, suyuqlikni uzatish bir tekis amalga oshmaydi.

Notekis uzatishni bartaraf etish uchun koʻp tomonlama taʼsir etuvchi nasoslar qoʻllaniladi.

Ikki tomonlama taʼsir etuvchi nasosda 2 ta soʻrish va 2 ta uzatish klapani bor (2.36-rasm). Krivoship toʻliq aylanib chiqqanda stilindrning ham chap, ham oʻng tomonidan navbatma-navbat uzatish va soʻrish jarayonlari sodir boʻladi.

Plunjerning oʻng tomonga qoʻzgʻalishida, chap tomonidagi soʻrish klapani ochiladiva suyuqlik stilindrning boʻshligʻiga soʻriladi. Shu vaqtda esa, oʻng tomondagi uzatish klapani ochilib, suyuqlik stilindrning oʻng qismidan quvurga uzatiladi. Plunjer orqaga qaytganda esa, oʻng tomonning soʻrish klapani ochilib, chap tomonning uzatish klapani ochiladi.

Plunjerda siqish halqalari boʻlmaydi va uzunligining diametriga nisbati katta boʻladi.

Suyuqlikni bir tekisda uzatishni taʼminlash uchun uch tomonlama harakatlanadigan nasoslar yordamida amalga oshirish mumkin. Oddiy xarakatli (bir tomonlama) nasoslarni ketma-ket joylashgan boʻlib, bunday krivoshiplar oʻzaro 120° burchak ostida ketma-ket joylashgan boʻladi (2.37-rasm).

Krivoshipning toʻliq bitta aylanishida, 3 marta soʻrish va 3 marta uzatish jarayoni sodir boʻladi.

Porshenli nasos porshenining bitta harakatidagi nazariy unumdorligi, porshenning vaqt birligida hosil qilgan hajmi bilan aniqlanadi.

Agar porshen siqib chiqarayotgan suyuqlik hajmi (m^3) $V = f \cdot S$ boʻlsa, unda bir yoʻlli nasosning oʻrtacha nazariy unumdorligi (m^3/soat):

$$V_n = 60 \cdot f \cdot S \cdot n$$

bu erda f – stilindrning koʻndalang kesimi; S – porshen yoʻli uzunligi, yaʼni boshlangʻich va oxirgi harakat nuqtalari orasidagi masofa; n – aylanishlar chastotasi.

Ikki tomonlama harakatlanadigan nasosdagi krivoshipning 1 ta toʻliq aylanganida 2 ta marta soʻrish va 2 marta uzatish sodir boʻladi. Porshenning oʻrtacha qilgan harakatida stilindr ichiga $f \cdot S$ ga teng boʻlgan miqdorda suyuqlik soʻriladi, oʻng tomondan esa $(f - f_{o'k}) \cdot S$ miqdorida suyuqlik siqib chiqariladi ($f_{o'k}$ – shtokning koʻndalang kesimi).

Nasosning nazariy unumdorligi:

$$V_n = f \cdot S \cdot n + (f - f_{o'k}) \cdot S \cdot n = 2 \cdot f \cdot S \cdot n - f_{o'k} \cdot S \cdot n$$

Oʻqning koʻndalang kesim yuzasini kichik deb olinsa $f_{o'k} \ll f$, birsoatlik nazariy uzatish miqdori:

$$V_H = 2 \cdot f \cdot S \cdot n \cdot 60 \quad (2.96)$$

Nasosning haqiqiy unumdorligi quyidagicha:

$$V_\mu = \eta_V \cdot V_H :$$

bu erda η_v – klapan, salniq va quvurtirishlaridanoqib chiqish paytida, yo'qotiladigan suyuqlikni hisobga oladigan **foydali ish ko'efficienti** - $\eta_v = 0,85...0,99$.

Ko'p bosqichli nasoslarning haqiqiy unumdorligi ($m^3/soat$) da:

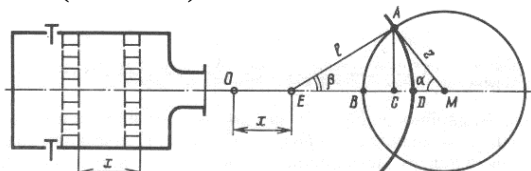
$$V_x = i \cdot 60 \cdot \eta_v \cdot f \cdot S \cdot n \quad (2.97)$$

bu erda 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 (2.38-rasm).



2.38-rasm. Porshen harakat qonunini keltirib chiqarishga oid.

Porshenni chap tomonini oxirgi holatida polzun 0 nuqtada joylashadi. 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 gorizontaal chiziqqa AS perpendikulyar tu-

shiramiz.

Porshen bosib o'tgan x masofa esa: $x = BD = VS + CD$ 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 erda r krivoship uzunligi. Demak:

$$x = r(1 - \cos \alpha) + l(1 - \cos \beta)$$

Lekin $\cos \beta$ ni birga yaqin deymiz, chunki $l \gg r$ va burchak $\beta \rightarrow 0$, shunday qilib $x = r(1 - \cos \alpha)$. Bunda porshenning harakat tezligi:

$$C_n = \frac{dx d\alpha}{d\tau d\alpha} = r \cdot \sin \alpha \frac{d\alpha}{d\tau} = \omega \cdot r \cdot \sin \alpha$$

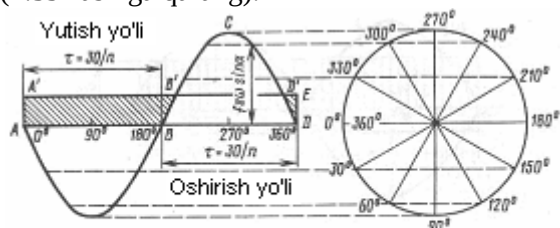
bu erda ω – krivoshipning aylanma burchak tezligi.

Shunday qilib, oniy uzatish sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradi:

$$V = f \cdot C_p = f \cdot r \cdot \omega \cdot \sin \alpha \text{ va } dV = f \cdot r \cdot \sin \alpha \cdot d\tau$$

$$\text{lekin } \omega = \frac{d\alpha}{d\tau}; \text{ unda } dV = f \cdot r \cdot \sin \alpha d\alpha$$

Krivoshipning burilish burchagi α ni absstissa o'qiga qo'ysak, oniy qo'zg'alishni esa, ordinata o'qiga joylashtiramiz (2.39-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 (2.39-rasmga qarang).



2.39-rasm. Oddiy nasosning uzatish diagrammasi.

$$V = \int_{\pi}^{2\pi} dV = fr \int_{\pi}^{2\pi} \sin \alpha \cdot d\alpha = 2fr = f \cdot S \quad (2.98)$$

2.39-rasm krivoship burilish burchagi π dan 2π gacha ko'rsatilgan bo'lib, bu absstissa o'qida ajratilgan oraliq vaqtiga proporsional.

Oddiy nasos so'rish yo'lga mos bo'lgan o'qning birinchi yarim aylanishida suyuqlikni uzatmaydi va bu absstissa o'qida 0 dan π gacha uzatish chizig'i absstissa bilan mos

keladi (AV chizig'i). Oddiy nasosning krivoshipi to'liq aylanishi yoki porshenning 2 marta borib-kelish AVSD chizig'i bilan ifodalanadi.

Krivoshipning burilish burchagi $\alpha = 90^\circ$ bo'lganda, maksimal uzatish bo'ladi. Nasosning notekis uzatishi quyidagi nisbat bilan aniqlanadi: $\psi = V_{max} / V_{yp}$. Oddiy harakatli nasos uchun notekislik ko'efficienti $\psi_I = \pi$ bo'lsa, ikki tomonlama harakatli nasos uchun $\psi_{II} = \pi / 2 = 1,57$, uchtalik uchun esa $\psi_{III} = 1,047$.

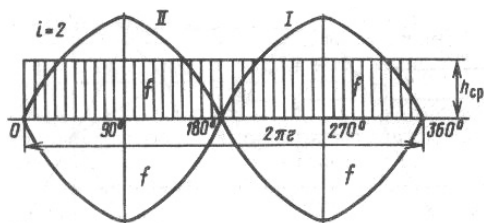
Ikki tomonlama harakatli nasosning uzatish diagrammasi bir-biriga nisbatan o'girilgan sinusoidalar tashkil etadi (2.40-rasm), 3 bosqichli nasos uchun esa 3 ta sinusoidaning 120° ga surilgan bo'ladi (2.41-rasm).

Natijaviy uzatish egri chizig'i 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.

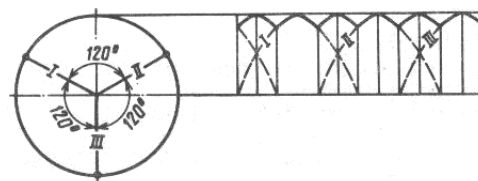
Oddiy nasoslarning uzatish va so'rish quvurlaridagi notekislikni kamaytirish uchun ularga bevosita havo qalpoqchalari o'rnatiladi. Havo qalpoqchalari bufer hajm hisoblanib, uning 50% hajmini havo egallaydi. So'rish paytida, qalpoqchaga suyuqlik kirganda undagi havo siqiladi, agar, uzatish o'rtacha qiymatdan kamaysa, suyuq 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.

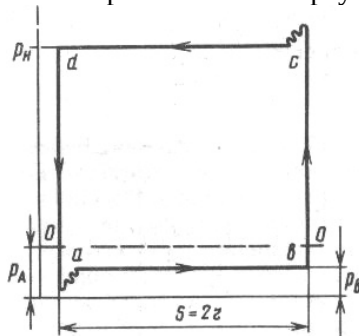


2.40-rasm. Ikki tomonlama harakatlanuvchi nasosning uzatish diagrammasi

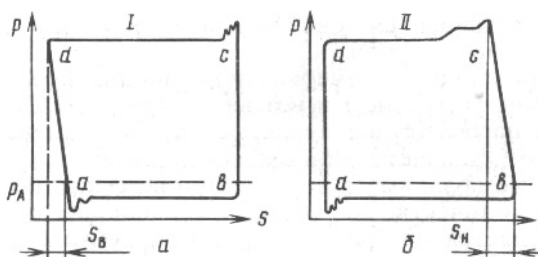


2.41-rasm. Uch bosqichli nasosning uzatish diagrammasi.

Nasos stilindrini absolyut bosimini porshen bosib o'tgan yo'li yoni xajmiga bog'likligini ko'rsatib beradi. Nasos stilindriga, o'rnatilgan indikator yordamida indikator diagramma chiziladi. 2.42-rasmda *av* chizig'i so'rish jarayoniga mos keladi. Nasosdagi bosim atmosfera bosimdan past bo'ladi va *r_v* ga teng bo'ladi. Porshenning *v* nuqtasi eng chetki o'ng holatiga mos keladi. Bu holatda so'rish klapani yopiq bo'ladi. Porshen o'ngga qarab harakati boshlanganda, stilindrdagi bosim birdaniga *r_n* qiymatgacha ko'tariladi (*vs* chiziq). *r_n*-*r_a* bosimlar farqi ostida haydash quvuridagi klapan ochiladi va suyuqlik uzatila boshlaydi (*sa* chizig'i). *a* va *s* nuqtalardagi bosimning tebranishi klapanlarni ochilish paytidagi inerstiya tufayli hosil bo'ladi.



2.42-rasm. Indikator diagrammasi.



2.43-rasm. Nasos ishidagi ba'zi nosozliklar.

a - klapaning 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 erda η_{ind} – indikator f.i.k.

2.43-rasm indikator diagramma yordamida nasosning ba'zi bir nosozliklarini aniqlash mumkin.

2.43a-rasmdagi diagrammada uzatish paytida nasos klapanining kech yopilishi kuzatilayotgan bo'lsa, 2.43b-rasmda esa, so'rish klapani yopilishining kechga qolishi tasvirlangan.

Indikator diagrammasidagi o'zgarishlar nasos ichidagi boshqa nosozliklar mavjudligidan dalolat beradi.

Ijilindrga havoni kirib qolishi diagrammadagi so'rish gorizontaal 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 kamligi, 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.

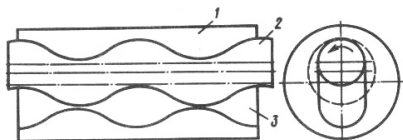
2.24. Nasoslarning maxsus turlari

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 rotastion hajmiy nasoslar (mononasoslar) ishlatiladi.

Mononasosning asosiy qismlari stator 1 va rotor 2 bo'ladi (2.44-rasm).

Odatda, stator ichi ikki yo'lli, yuzali, vintli, profilli, yuqori rezbali stilindrdan tashkil topgan.

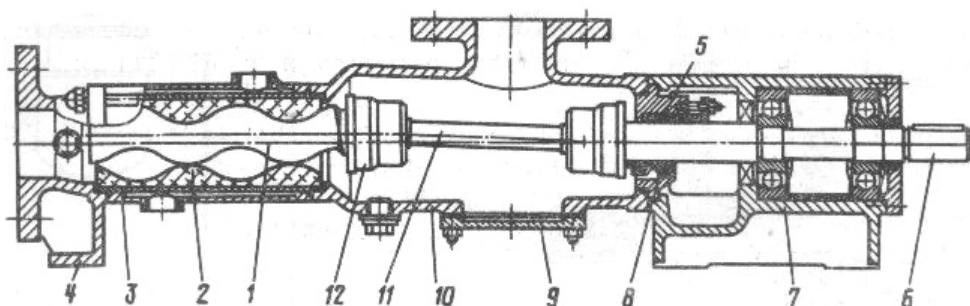
Statorga bir yo'lli rotor o'rnatilgan bo'lib, u o'zining asosiy o'qi va statorning ko'ndalang kesim o'qi atrofida ham aylanadi.



2.44-rasm. Mononasos sxemasi.

1-stator; 2-rotor; 3-yopiq bo'shliq,

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 hajm 0 dan maksimumgacha o'zgaradi, bo'shliq ortib borganda suyuqlik so'rib boriladi.



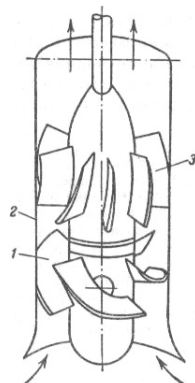
2.45-rasm. Mononasos konstruktsiyasi.

1- rotor; 2-stator; 3-isitish g'ilofi; 4-haydash shtutseri; 5-salnik; 6-o'q; 7-podshipnik qobig'i; 8-zichlovchi halqa; 9-qopqoq; 10-qobiq; 11-birlashtiruvchi o'q; 12-sharnir.

Mononasosning konstruktsiyasi 2.45-rasmda keltirilgan. Nasos korpusi cho'yandan yoki zanglamaydigan po'latdan tayyorlanadi. Stator esa, tabiiy kauchuk, sintetik, maxsus rezina, poliuretan, plastik massadan, yumshoq polivinil xlorid, teflon, poliamiddan, rotor - esa zanglamaydigan metall va plastmassadan tayyorlanadi.

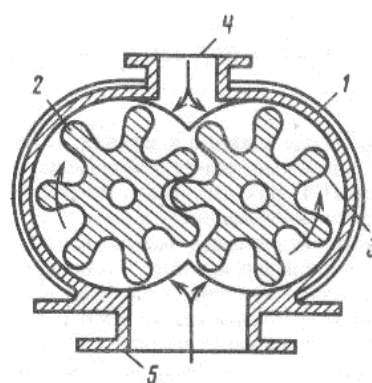
Bu nasoslarning bosimi 2,4 MPa va unumdorligi 200 m³/soatgacha bo'lishi mumkin. Nasoslarda sovitish yoki isitish uchun g'iloflar bo'lishi mumkin. Statorning ishchi temperaturalar oralig'i -30 dan +300 °S gacha.

Kichik bosim bilan katta miqdordagi suyuqliklarni uzatishda o'qli nasoslardan foydalanish yuqori samara beradi (2.46-rasm).



2.46-rasm. Mononasos sxemasi.

1-stator; 2-rotor; 3-yopiq bo'shliq.



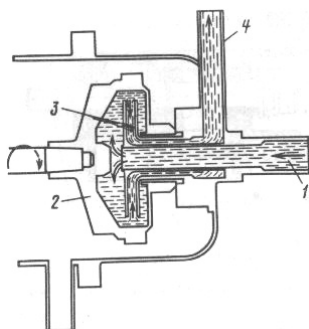
2.47-rasm. Shesternyali nasos sxemasi

1-qobiq; 2,3-shesternyalar; 4-haydash shtutseri; 5-so'rish shtutseri.

Bu turdagi nasoslarning ishchi g'ildiragi eshkakli vint shaklida tayyorlangan bo'ladi. Suyuqlik kurakcha yordamida olib 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 qovushoqli suyuqliklarni uzatishda shesternyali nasoslardan foydalaniladi (2.47-rasm).

Nasos cho'yan korpusdan yasalgan bo'lib, unga 2 ta bir-biri bilan ilashadigan shesternyalar o'rnatilgan



2.48-rasm. Markazdan qochma turdagi suyuqlik aralashtirgich.

1-suyuqlik uzatish shtutseri; 2-aralashtiruvchi baraban;
3-greyfer; 4-aralashmani chiqarish shtutseri.

bo'ladi. Shesternyalardan biri elektr yuritkichga ulangan bo'lib, etaklovchi bo'lsa, ikkinchisi - etaklanuvchi 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 bergich sifatida qo'llash ham mumkin. Undan tashqari, kichik unumdorlikda, yuqori bosimni ta'minlab beradi.

Suyuqliklarni aralashtirish uchun markazdan qochma aralashtirgichlardan foydalaniladi (2.48-rasm).

Rasmda ko'rsatilganidek ma'lum nisbatda aylanayotgan barabanga kiradi va intensiv aralashadi.

Suyuqlik aralashmasi greyferga kirib, bosim ostida aralashtirgichdan shtuster orqali chiqib ketadi.

Markazdan qochma nasos turlari. Ish g'ildiragining charxiga qarab markazdan qochma nasoslar 5 guruhga bo'linadi.

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 koefitsientlarga ega nasoslarning asosiy xarakteristikasini 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 diametrlari 2 ta o'zaro mos bo'lgan, hamda aylanishlarchastotasimosravishdan n_s bo'lgan nasoslarni tekshirib ko'ramiz. Ularning bosimlari N va N_s , unumdorligi V va V_s bo'lsa, quvvatlar N va $N_s = 0,736 \text{ kVt}$ bo'ladi.

(2.89) tenglamadan naporni 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 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 $H_s = 1 \text{ m}$ va $N_s = 0,736 \text{ kVt}$ ni xisobga olib:

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \sqrt{V}}{H^{0,75}} \quad (2.99)$$

(2.99) tenglamadan ko'rinadiki, aniq aylanishlar chastotasida tez yurarlik koefitsienti unumdorlik yaxshilan-

ishiga 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, tez yurar, klapanlari yo'qligi, rostlash osonligi, plastmassadan tayyorlash va engil poydevor asosga o'rnatish mumkin.

Kamchiliklariga esa quyidagilar kiradi: bosim, unumdorlik va foydali ish koeffitsienti, nasosning ish rejimiga bog'liq, suyuqlik qovushoqligi va napor ortishi bilan foydali ish koeffitsienti kamayadi; past unumdorlida nasoslarning foydali ish koeffitsienti kichik bo'ladi.

Bu turdagi nasoslar katta unumdorlik va kichik bosim kerak bo'lganda ishlatiladi.

2.25. Nasoslarni taqqoslash

Hajmiy nasoslar. Porshenli va plunjerli nasoslarning asosiy afzalligi bu ularda foydali ish koeffitsientining kattaligi 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.

Hajmiy nasoslar tuzilishi oddiy (shesternyali va vintli) bo'lib, suyuqlikni bir me'yorda uzatib beradi.

Markazdan qochma va o'qli nasoslar. Bu nasoslar foydali ish koeffitsienti yuqori va suyuqlikni bir me'yorda uzluksiz uzatib beradi. Nisbatan sodda tuzilganligi ularni uzoq xizmat qilishini va ishonchligini 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 koeffitsientini oshiradi. Kurakchali nasoslarni ushbu afzalliklari, ularning kimyo sanoatida keng ko'lamda qo'llanishiga olib keldi.

Bu nasoslarning kamchiligi: unumdorligi va bosimi kamligidir.

Oqimchali nasoslar. 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 koeffitsienti juda kichik va yuqori bosim hosil qila olmaydi.

Havoli (gazli) ko'targichlar. Bu nasoslar tuzilishi sodda va ularga ko'rsatiladigan xizmat ham oddiyligidir. Misol uchun, chuqur quduqlardan suv chiqarish, agressiv suyuqliklarni uzatishda qo'llaniladi. Havoli ko'targichlar f.i.k. past (25...35%). Lekin, nasos tarkibida harakatchan qism va detallar yo'qligi, uning eng asosiy afzalligidir.

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 $10^8 \text{ H/m}^2 (10^{-8} \dots 10^3 \text{ atm})$ gacha bo'ladi.

Gazlarni uzatish va siqish uchun mo'ljallangan mashinalar kompressor mashinalari deyiladi.

Kompressor mashinasi hosil qiladigan oxirgi bosim R_2 ning, gazni so'rilish paytidagi bosim R_1 ga nisbati siqish darajasi deb nomlanadi.

Siqish ko'rsatkichining qiymati bo'yicha kompressor mashinalari quyidagi turlarga bo'linadi:

1) Ventilyatorlar ($P_2/P_1 < 1,1$ - 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 (prinstipi) bo'yicha porshenli, rotorli, markazdan qochma, o'qli va boshqa mashinalarga bo'linadi.

Porshenli mashinalarda gazlarni siqish hajmining kamayishi hisobiga amalga oshadi. Bunda porshenning ilgarilana-qaytma harakati tufayli gazning bosimi oshiriladi.

Rotorli mashinalarda gazlarni siqish eksstentrik joylashgan rotorning aylanishi tufayli hajmning kamayishi oqibatida hosil bo'ladi.

Markazdan qochma mashinalarda ishchi g'ildirakning aylanishida hosil bo'ladigan inerstiya 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 shuki, 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 bosimlarga (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:

$$p = \rho R T \quad (2.100)$$

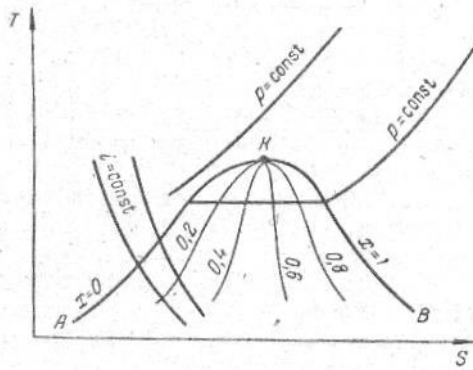
Kompressordan chiqishdagi 10 MPa va undan yuqori bo'lgan gaz uchun real gazning holat tenglamasidan foydalansa bo'ladi:

$$p = z \rho R T \quad (2.101)$$

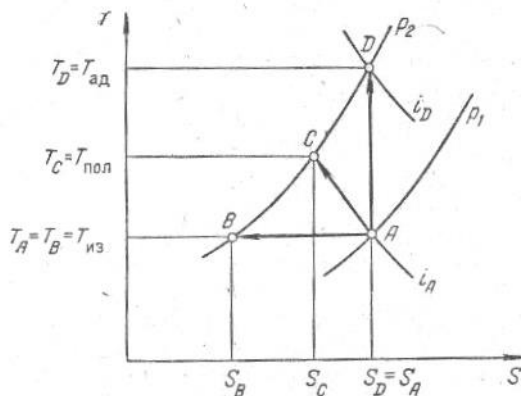
bu erda z – siqilish koeffitsienti, uning son qiymatlari maxsus adabiyotlarda keltirilgan.

Lekin, amaliy hisoblashlar uchun temperatura-entropiya yoki $T-S$ termodinamik diagrammadan foydalanish qulay va ishonchli. Odatda, $T-S$ diagramma tajriba ma'lumotlari asosida quriladi.

2.49-rasmda AKV chegaraviy egri chiziq tasvirlangan bo'lib, uning maksimumi kritik nuqta K ga to'g'ri keladi. Ushbu egri chiziq va absstissa o'qi oraligidagi sohada, bir vaktning uzida ham suyuq, ham bug fazalar mavjuddir. KA kesmaning chap qismidagi soha bug'ning to'liq kondensastiyalanishiga to'g'ri keladi. Grafikning bu qismida quroqlik darajasi $x=1$. KA kesmani uning qismi esa, suyuqlikning to'liq bug'lanishini ifodalaydi va unda quroqlik 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.



2.49 - rasm. T-S diagramma (a) va gazni siqish jarayonining tasviri (b).



2.50 - rasm. T-S diagrammada gazni siqish jarayonini tasvirlash

Nam bug` sohasida o`zgarmas namlik chiziqlari ($x = \text{const}$) o`tkaziladi. O`zgarmas temperatura chiziqlari (izotermalar) absstissa, entropiya chiziqlari ($T = \text{const}$ va $S = \text{const}$) esa ordinata ukariga paralleldir. O`ta qizigan bug` sohasidagi izobara chiziqlari ($r = \text{const}$) tepaga yunalgan bo`lsa, nam bug` sohasida esa, izoterma chiziqlari bilan ustma-ust tushadi, chunki bu erda 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 ( $i = \text{const}$ ) ham o`tkazilgan. **T-S** diagrammadagi gazning hamma parametrlari 1 kg gazga nisbatan olingan.

Termodinamikaning qonuniga binoan, qaytar jarayonlar uchun entropiyaning ortishi quyidagiga teng

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (2.102)$$

Ushbu tenglama yordamida gaz holatining o`zgarish issiqligini hisoblab topish mumkin:

$$Q = \int T dS \quad (2.103)$$

Gazlarni siqish jarayoni. Gazni siqish jarayonidagi oxirgi bosimi atrof-muxit bilan issiqlik almashinishga bogliq. Nazariy jihatdan faqat ikkita holat bo`lishi mumkin:

1) Izotermik jarayon – gazni siqish jarayonida hosil bo`layotgan issiqlikning hammasi atrof muxitga ajratib olinadi va gazning temperaturasi o`zgarmas bo`lib turadi;

2) Adiabatik jarayon – bunda atrof muhit bilan issiqlik almashinish umuman yo`k va siqish jarayonida issiqlik gazning ichki energiyasi oshirishga sarflanadi va natijada uning temperaturasi ko`tariladi.

Lekin, odatda gazni siqish jarayonida xajm 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 $T_A=\text{const}$ chizig'i bo'ylab o'tkazilgan AV to'g'ri kesma bilan ifodalanadi (2.50-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 $S_A=\text{const}$ 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 AS qiya chizig'i bilan xarakterlanadi.

Agar, boshlangich bosim p_1 va oxirgisi p_2 ma'lum bo'lsa gazni siqish uchun sarflangan solishtirma ish l analitik usulda ham aniqlanishi mumkin:

izotermik jarayon uchun

$$l_{iz} = p_1 v_1 \frac{p_2}{p_1} \quad (2.104)$$

adiabatik jarayon uchun

$$l_{ad} = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (2.105)$$

politropik jarayon uchun

$$l_{pol} = \frac{m}{m-1} p_1 \cdot v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \quad (2.106)$$

bu erda v_1 – so'rish davridagi gazning solishtirma hajmi, m^3/kg ; $k=s_p/s_v$ -adiabata ko'rsatkichi (gazning o'zgarmas xajmdagi issiqlik sig'imiga nisbati); m - politropa ko'rsatkichi.

Politropa ko'rsatkichi m ning qiymati gazning tabiati, xossalari va atrof muxit bilan issiqlik almashinish sharoitlariga bog'liq. Masalan, gazni suv yordamida sovutiladigan kompressorlarda havo siqilganda $m=1,35$ deb tahmin qilsa bo'ladi.

Izotermik siqishda eng kam ish sarflanadi. Shuning uchun ham gazlarni siqish izotermik jarayonga yaqin sharoitda tashqil etishga harakat qilinadi. Demak, siqish jarayonida hosil bo'layotgan issiqlikni gazni sovitish yuli bilan ajratib olinadi.

Siqish jarayonidan sung gazning temperaturasi T_2 quyidagicha aniqlanadi:

izotermik jarayon uchun

$$T_2 = T_1 \quad (2.107)$$

adiabatik jarayon uchun

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (2.108)$$

politropik jarayon uchun

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} \quad (2.109)$$

Gazni siqish uchun kompressor sarflayotgan nazariy quvvat N_n (Vt) ushbu formula yordamida topiladi:

$$N_n = V \rho l \quad (2.110)$$

bu erda V – kompressorning xajmiy sarfi, m^3/s ; ρ - gaz zichligi, kg/m^3 .

Agar, kompressorning hajmiy ish unumdorligi va gazning zichligi soʻrsh sharoiti, (yaʼni $V=V_1$ 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

$$N_{n,iz} = p_1 V_1 \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (2.111)$$

adiabatik jarayon uchun

$$N_{i,ad} = \frac{k}{k-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (2.112)$$

politropik jarayon uchun

$$N_{n,pol} = \frac{m}{m-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \quad (2.113)$$

Kompressor oʻqidagi kuvvat N_v ni quyidagi tenglama orqali hisoblab topiladi:

$$N_v = \frac{\rho V L}{\eta_v \eta_{mex}}$$

bu erda η_v – hajmiy koeffitsient, suyuqlikni klapan, turli tirqishlardan oqib chiqib ketishini hisobga oladi; η_{mex} – kompressorning mexanik foydali ish koeffitsienti, mexanik ishqalanishni engish uchun sarflanadigan energiyani hisobga oladi.

Elektr yuritkich kuvvati N_{yu} kompressor oʻqidagi quvvat N_v dan katta, chunki yuritkichning oʻzida va uzatmada maʼlum miqdorda quvvat yoʻqotiladi:

$$N_{yu} = \frac{N_v}{\eta_{dv} \eta_{uz}}$$

bu erda η_{yu} va η_{uz} – elektr yuritkich va uzatmaning foydali ish koeffitsientlari.

Yuritkich kerakli quvvati N_{yu} odatda 10...15% zahira bilan qabul qilinadi, yaʼni

$$N_{yu} = (1,1 - 1,15) \cdot N_{dv}$$

Adiabatik foydali ish koeffitsientning η_{ad} qiymati birga yaqin boʻlib, 0,93...0,97 ga tengdir. Izotermik foydali ish koeffitsienti η_{iz} siqilish darajasiga qarab, 0,64...0,78 qiymat oraligʻida boʻladi. Mexanik foydali ish koeffitsienti η_{mex} koʻpincha 0,85...0,95 oraliqdagi qiymatga teng.

Ventilyator oʻqidagi N_e quvvatni:

$$N_e = \rho Q H g / \eta_v \quad (2.114)$$

tenglamadan aniqlanadi. Bu erda η_v – ventilyator foydali ish koeffitsienti boʻlib, uzatish koeffitsienti η_v va mexanik foydali ish koeffitsienti η_{mex} larning koʻpaytmasi orqali aniqlanadi.

2.28. Porshenli kompressorlar

Porshenli kompressorlar siqish bosqichi soniga qarab bir, ikki va koʻp bosqichli, ishlash prinsipi boʻyicha esa, oddiy (bir tomonlama) va ikki tomonlama harakatli kompressorlarga boʻlinadi. Kompressor mashinasining tuzilishi xuddi porshenli nasosning tuzilishiga oʻxshash. Kompressor mashinasining gazni biror oraliq yoki oxirgi bosimgacha siquvchi qismiga siqish bosqichi deyiladi.

Porshen stilindrda oʻngga va chapga krivoship-shatun mexanizmi yordamida ilgarilama - qaytar harakat qiladi. Kompressorlarda porshen stilindr devoriga zich qilib oʻrnatiladi va uni ikki qismga boʻlib turadi. Porshen chapdan unga ilgarilama harakat qilganda, soʻrsh klapani ochiladi va stilindr gazga toʻladi. Porshen orqaga qaytganda esa, stilindrda gazning siqilishi natijasida bosim ortadi va haydash quvuriga uzatiladi. Maʼlumki, gaz siqilganda uning temperaturasi oshadi.

Oddiy porshenli kompressorlarda porshenning bir marta toʻliq, borib-kelishida bir marta soʻrsh va oʻzatish boʻladi. Ikki tomonlama porshenli kompressorlarda ikkita soʻrsh va ikkita uzatish boʻladi (2.52 - rasm).

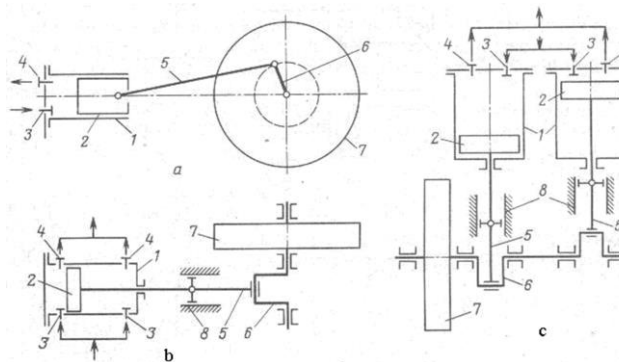
Bir bosqichli kompressorlar gorizonta va vertika holda tayyorlanadi. Gorizonta kompressorlar ikki tomonlama, vertika esa - bir tomonlama boʻladi.

Bir bosqichli, bir tomonlamagorizontal kompressorda (2.51a-rasm) porshen 2 stilindr 1 da harakatlanadi. Stilindr bir tomonidan soʻrish 3 va uzatish 4 klapanlari oʻrnatilgan qopqoq bilan yopilgan. Porshen shatun 5 va krivoship 6 bilan bevosita ulangan.

Oʻqda esa, krivoshipdan tashqari maxovik 8 oʻrnatilgan. Porshen chapdan oʻngga harakatlanganda, stilindr ichida, yaʼni qopqoq bilan porshen orasida, siyraklanish hosil boʻladi. Soʻrish liniyasida bosimlar farqi hosil boʻlgandan soʻng, stilindrda klapan 3 ochiladi va stilindrga gaz kiradi.

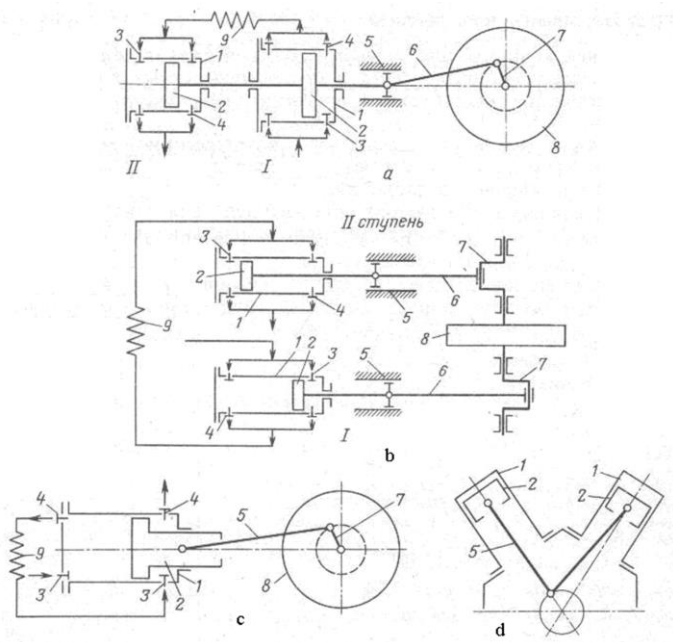
Porshen oʻngga qarab harakat qilganda esa, soʻrish klapani yopiladi, stilindr ichidagi gaz porshen yordamida, maʼlum bosim r_2 gacha siqiladi va klapan 4 ochilgandan soʻng gaz uzatish quvuriga beriladi. Bundan soʻng stikl yana qaytariladi.

Bir bosqichli ikki tomonlamalikompressorda (2.51b-rasm) ikkita surish va ikkita uzatish klapanlari bor. Bu kompressorlarning tuzilishi murakkab, lekin unumdorligi oddiy kompressorga nisbatan ikki marta koʻp.



2.51-rasm. Oddiy porshenli kompressor:

a-bir silindrli, bir tomonlama harakatlanuvchi;
b-bir silindrli, ikki tomonlama harakatlanuvchi;
c-ikkita silindrli, bir tomonlama harakatlanuvchi.
1-tsildir; 2-porshen; 3-soʻrish klapani; 4-haydash klapani; 5-shatun; 6-krivoship; 7-maxovik;
8-kreytskopf.



2.52-rasm. Ikki bosqichli porshenli kompressor:

a-«tandem»; b-«kompaund»; c-differentsial porshenli; d-V-simon silindrli. 1-tsildir; 2-porshen; 3-soʻrish klapani; 4-haydash klapani; 5-kreytskopf; 6-shatun; 7-krivoship; 8-maxovik; 9-sovutkich.

Siqilgan gazni sovitish uchun stilindr, baʼzida esa qopqoqda ham suv uchun gʻilof qilinadi.

Yuqorida koʻrib chiqilgan kompressorlarning unumdorligini oshirish uchun ular koʻp silindrli qilib tayyorlanadi. 2.51v-rasmda ikki silindrli kompressor koʻrsatilgan. Bir tomonlama, ikki silindrli kompressor bir-biriga nisbatan 90° yoki 180° da joylashgan ikkita silindr, bitta tirsakli oʻq va krivoship uzatkichdan iborat.

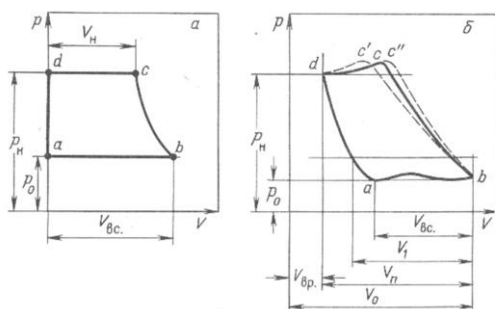
Bir bosqichli vertikal kompressorlar, gorizontal mashinalarga nisbatan tez yurar va unumdorligi koʻproq boʻladi. Undan tashqari, ular kam joy egallaydi, porshen va stilindrlari esa kam ediriladi(gorizontal kompressorlarda ogʻirlik kuchi taʼsirida porshen va stilindrning bir tomoni koʻprok ediriladi).

Ikki bosqichli gorizontal kompressorlar odatda bir silindrli differentsial porshenli qilib tayyorlanadi (2,52v-rasm). Avval gaz porshen 2 ning chap tomonida stilindr 1 da siqiladi, soʻng sovutkich 9 orqali stilindrning boshqa tomonidan kiradi va kerakli r_2 bosimgacha siqiladi.

Koʻp bosqichli kompressorlar «tandem» sistemasi (stilindrlar ketma-ket joylashgan, 2.52a-rasm) yoki «kompaund» sistemasi (stilindrlar parallel joylashgan 2.52b-rasm) boʻyicha tayyorlanadi. Soʻnggi paytda «oppozit» kompressorlar keng tarqalgan boʻlib, bunda porshen harakat yoʻnalishi oʻzaro kesishgan boʻladi. Bu kompressorlarda stilindrlar tirsakli valni ikkala tomonida joylashgan boʻlib, 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, soʻng esa isteʼmolchiga uzatish resiver orqali amalga oshiriladi.

Indikator diagramma. Porshenli nasoslarni tekshirish uchun indikator diagrammasi olinadi. Bunda kompressorning tirsakli oʻqi birmarta aylanganda, bosim va uzatilgan gaz hajmi orasidagi bogʻliqlik quriladi. 2.53-rasmda bir tomonlama, bir bosqichli kompressorning nazariy $p-V$ diagrammasi koʻrsatilgan. Nazariy

kompressor diagrammadagi b va d nuqtalarga mos keladigan holatlarda stilindr 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.



2.53-rasm. Indikator diagrammalari.
a-nazariy; b-ishchi.

Haqiqiy kompressor siqish jarayoni (2.53-rasm) nazariy siqishdan ancha farq qiladi. Stilindr qopqog'i va porshenning orasida doimo bo'sh hajm hosil bo'ladi va u «zararli bo'shliq» deb nomlanadi. Bu bo'shliqda uzatish va siqishdan jarayonidan so'ng porshen orqaga qaytganda, gaz kengayadi va so'rish klapani ochiladi, ya'ni porshen ma'lum bir oralikda a nuqttagacha bekor harakatlanadi. Buning oqibatida kompressor unumdorligi pasayadi, «zararli bo'shliq» stilindrning ish hajmiga nisbatan ulushlarda olinadi: $\varepsilon \cdot V$ (bu erda ε -zararli bo'shliq hajmining porshen harakati tufayli hosil bo'lgan foydali hajmga nisbati teng) odatda, «zararli bo'shliq» stilindr hajmining 3...5% ni

tashqil etadi.

2.53-rasmda vs' va vs'' 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 (vs 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 $V_{so'r}$ «zararli bo'shliq» ta'siri tufayli V_f hajmga nisbatan kichik bo'ladi va kompressorning unumdorligini pasaytiradi. Bu unumdorlikning pasayishi kompressorning hajmiy foydali ish koeffitsienti λ_0 bilan hisobga olinadi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\lambda_0 = \frac{V_{so'r}}{V_p} = \frac{V_{so'r}}{Q_N} \quad (2.115)$$

bu erda Q_N – kompressorning nazariy unumdorligi, vaqt birligi ichidagi porshen harakati tufayli hosil bo'lgan V_f hajmga teng.

Ustilindrning 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:

$$x = \frac{(V_0 - V_{so'r})}{V_{or}} = \frac{(V_f + \varepsilon V_f - \lambda V_f)}{V_f} = 1 - \varepsilon - \lambda$$

unda:

$$\lambda_0 = 1 + \varepsilon - x \quad (2.116)$$

«Zararli bo'shliq»da gazning kengayishi politropik deb hisoblasak, tenglamani quyidachi yozish mumkin:

$$p_2 (\varepsilon \cdot V_f)^n = p_1 (V_0 - V_{so'r})^n = p_1 (x \cdot V_f)^n$$

bu erda $x \cdot V_f = V_0 - V_{sur}$ - p_2 dan va p_1 ga o'zgarganda gazning 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:

$$\lambda_0 = 1 - \varepsilon \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \quad (2.117)$$

(2.117) ifodadan ko'rinib turibdiki, λ_0 ning qiymati ε ga, siqish darajasi p_2/p_1 ga va politropa ko'rsatkichi n ga xossasi va kompressor konstruksiyasiga bog'liq ekan.

Siqish ko'rsatkichini ortishi hajmiy koeffitsient λ_0 ning qiymati kamayadi va nolga teng bo'lib qolishi ham mumkin. Siqish kursatkichi $\lambda_0 = 0$ bo'lganda, siqish darajasi odatda siqish chegarasi deyiladi. Bu holda gaz, zararli bo'shliqda kengayadi va butun stilindrni 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 stilindr devoriga urilib qizishi oqibatida hajmi ortsa, so'riladigan gaz miqdori kamayadi. Shuning uchun, kompressor unumdorligini hisoblashda uzatish koeffitsienti kiritiladi. Uzatish koeffitsienti λ_v kompressordagi barcha yo'qotilishlarni hisobga oladi.

Uzatish koeffitsienti λ_v hajmiy koeffitsient λ_0 bilan, turli tirqishlardan gazni chiqib ketishi bilan birga isib ketishini hisobga oluvchi koeffitsient λ_1 ning ko'paymasidan tashkil topgan, ya'ni $\lambda_v = \lambda_0 \cdot \lambda_1$. Uzatish koeffitsienti λ_v ni quyidagi formuladan ham hisoblab topish mumkin:

$$\lambda_v = \lambda_0 \left(1,01 - 1,02 \frac{p_2}{p_1} \right) \quad (2.118)$$

Bunda haqiqiy unumdorlik Q shtokning ko'ndalang kesim yuzasini hisobga olmaganda quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = \lambda_v \cdot z F S \cdot n \quad (2.119)$$

bu erda z - porshenning birmarta yurganidagi so'rib olish soni, (birtomonlama kompressorlarda $z=1$); F - porshen ko'ndalang kesim yuzasi; S - porshen yuli; n - bir sekunda kompresso'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 kompressorlar 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 (2.54-rasmda) qurilgan p - V nazariy diagrammada ko'rib chiqamiz.

Ikki bosqichli kompressorning birinchi bosqichida r_0 bosimdan p_1 gacha AV oralig'ida adiabatik siqiladi, VS chiziq oralig'ida esa, gazning dastlabki temperaturasigacha issiqlik almashinish qurilmasida sovutiladi (ASE izoterma chizig'i). Ikkinchi bosqichda gaz SD adiabatik chizig'i bo'yicha oxirgi p_2 bosimgacha siqiladi. Shuning uchun oralig' sovuqkichli, ikki bosqichli gazni siqish bir bosqichli kompressorda siqish jarayonini ifodalovchi AVF adiabataga nisbatan izotermaga yaqin bo'ladi ($AVSD$ silliq chiziq bo'ylab boradi). Shtrixlangan $VSDF$ 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, konstrukstiyasi murakkablashadi. Shuning uchun kompressorda bosqichlar soni 6...7 tadan ortmaydi.

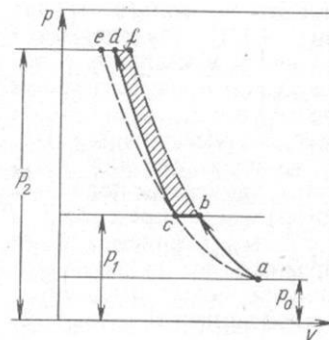
Kompressorning hamma bosqichlarda siqish qursatkichi bir xil bo'lishi, maqsadga muvofiq. Agar, mashina m siqish bosqichli bo'lganda

$$c = \left(\frac{p_k}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (2.120)$$

Ko'p bosqichli kompressorlarning unumdorligi birinchi bosqichdagi surilgan gaz buyicha (2.119) ifodadan aniqlanadi.

Bosqichlar orasida bosimlarning yo'qotilishi har bosqich nazariy siqish ko'rsatkichidan bir oz kattaroq bo'lishi kerak va uni quyidagicha hisoblash mumkin:

$$c = \psi \left(\frac{p_k}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (2.103)$$



2.54-rasm. Kompressorda gazni ko'p bosqichli siqish jarayonining p - V nazariy diagrammasi.

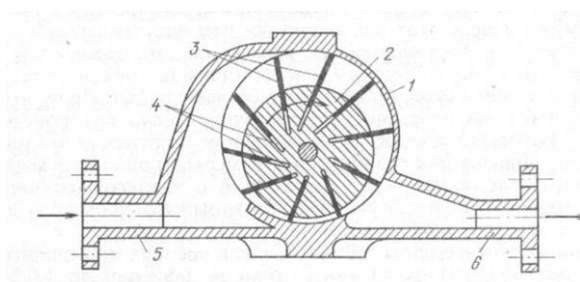
bu erda $\psi = 1,1 \dots 1,5$ bosqichlar orasida bosim yo`qotilishini hisobga oluvchi koeffitsient; r_k - oxirgi bosim.

Porshenli kompressorlarning ba'zi kamchiliklari: katta joy egallaydi, sekin harakat qiladi, og'ir, ko'p metal 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 m³/soat unumdorlikka erishish uchun vertikal porshenli mashinalardan foydalaniladi. Ular ixcham, tez yurar va foydali ish koeffitsienti yuqori bo'ladi.

2. 29. Rotorli kompressorlar

2.55-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 engil bo'ladi.



2.55-rasm. Plastinali tipidagi rotorli kompressor.

1-qobiq (stator); 2-rotor; 3-plastinalar;
4-ariqchalar; 5-so'rish patrubkasi;
6-haydash patrubkasi

Suv halqali rotorli kompressorlar (2.56-rasm).

Stator 1 ga eksstentrik holatda uzunligi bir xil rotor 2 joylashtirilgan. Ishga tushirishdan avval kompressorning yarmi suv to'ldiriladi.

Rotor aylanganda suv chetga sochilib, bir xil

qalinlikdagi suvdan iborat bo'lgan halqa 4 hosil bo'ladi.

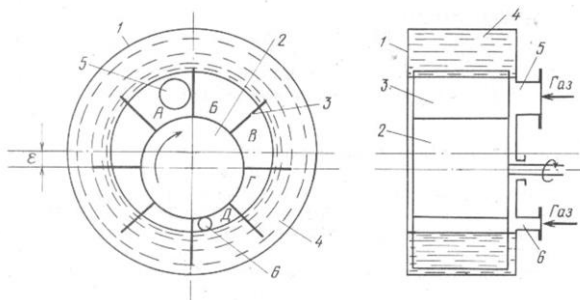
Rotor parraklari va suv halqalari orasida yacheykalar

hosil bo'ladi. Rotor aylanishining birinchi yarmida

yacheyka kattalashsa, ikkinchi yarmida kamayadi.

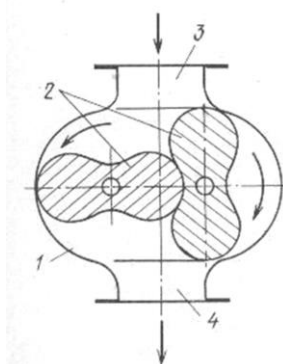
Bunda patrubok 5 orqali gaz so'rilsa, siqilgan gaz

patrubok 6 orqali uzatiladi. Shunday qilib, suv halqalari kompressorda porshen vazifasini bajaradi, chunki ushbu halqa yordamida **A,B,V,G,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.



2.56-rasm. Suv halqali, rotorli kompressor:

1-stator; 2-rotor; 3-parraklar; 4-suvli halqa; 5,6- so'rish vahaydash patrubkalari.



2.57-rasm. Rotatsion kompressor (gazoduvka)

1-qobiq; 2-rotorlar; 3,4-so'rish va haydash patrubkalari.

Ikki parrakli rotor kompressorlar (gazoduvkalar). Qobiq 1 da ikkita parallel vallarda ikkita rotor 2 aylanadi (2.57-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 kamera ga patrubok 3 orqali gaz so`rib olinsa, boshqasida esa patrubka 4 orqali siqilgan gaz haydash quvuriga uzatiladi.

Rotorli kompressorlar bosimi 1,0 MPa va unumdorligi 5000...6000 m³/soatgacha bo`lganda qullanadi. Rotorli kompressorlarning kamchiligi: tayyorlash murakkab, tez ishdan chiqadi, rotor plastinalari juda tez ediriladi, ishlaganda ko`p shovqin tarqatadi va ekspluatastiyasi qimmat.

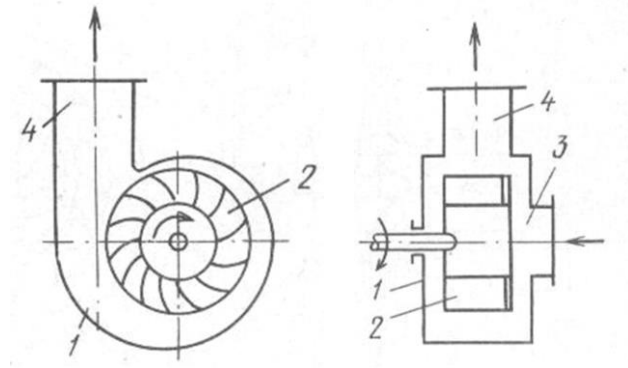
2.30. Markazdan qochma tipdagi kompressorlar

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 ventilyator, turbogazoduvka va turbokompressorlar kiradi.

Markazdan qochma ventilyatorlar shartli ravishda kichik ($r < 10^3$ Pa), o'rta bosimli ($r = 10^3 \dots 3 \cdot 10^3$ Pa) va yuqori bosimli ($r = 3 \cdot 10^3 \dots 10^4$ Pa) ventilyatorga bo'linadi.

Kichik bosimli ventilyatorning spiral ko'rinishidagi qobig'i 1 da bir nechta kurakchali ishchi g'ildiragi 2 aylanadi (2.58-rasm).



2.58- rasm. Markazdan qochma ventilyator.

1-qobiq; 2-ishchi g'ildirak; 3-so'rish patrubi; 4-haydash patrubi.

Gaz g'ildirak o'qi orqali patrubi 3 yordamida so'rib olinadi va uzatish patrubi 4 orqali haydash quvuriga chiqarib beradi. O'rta va yuqori bosimli ventilyatorlar ishchi g'ildiraklarining eni nisbatan keng bo'lib, kurakchalari oldinga egilgan bo'ladi.

Markazdan qochma ventilyatorlar 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. Ventilyatorda hosil bo'ladigan bosim N (2.125) yoki (2.80) tenglamalar yordamida aniqlanadi:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{c'_2}{c''_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.122)$$

$$\frac{H_1}{H_2} \approx \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (2.123)$$

$$\frac{N_1}{N_2} \approx \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (2.124)$$

$$H = H_g + \frac{(p_2 - p_1)}{\rho \cdot g} + \frac{(w_{sur}^2 - w_{o'z}^2)}{2 \cdot g} + h_{yo'q} \quad (2.125)$$

$$H = H_g + \frac{(p_2 - p_1)}{(\rho \cdot g)} + h_{yo'q}$$

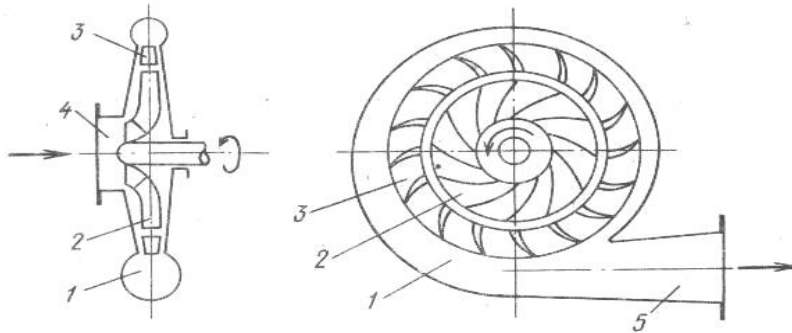
Ventilyator o'qidagi N_e quvvatni:

$$N_e = \frac{\rho Q H g}{\eta_a} \quad (2.108)$$

Bu erda η_v – ventilyator f.i.k. bo'lib, u uzatish f.i.k. η_v , gidravlik f.i.k. η_g va mexanik f.i.k. η_{mex} larning ko'paytmasi orqali topiladi.

tenglamadan aniqlanadi.

Turbogazoduvkalar. Bir bosqichli turbogazoduvkalar (2.59-rasm) yuqori bosimli ventilyatorlarning bir ko'rinishi hisoblanadi va 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 kinetik energiya potentsial energiyaga aylantiriladi. Siqilgan gaz turbogazoduvkalar patrubkasi 5 orqali chiqadi.



2.59 - rasm. Turbogazoduvka sxemasi.

1 - qobiq; 2 - ishchi g'ildirak; 3 – yo'naltiruvchi moslama; 4 – so'rish patrubkasi;
5 - haydash patrubkasi.

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 konstruktiviyasi kabi, faqat ular yuqori siqish darajasini ta'minlaydi. Undan tashqari, ularda g'ildiraklar soni ancha ko'p bo'ladi. o'ildiraklar diametri va eni birinchi g'ildirakka nisbatan asta-sekin kamayib boradi. Ko'p hollarda turbokompressor g'ildiraklari sekstiyalanib, 2 yoki 3 korpusga joylashtiriladi. Har bir qobiqda g'ildiraklar diametri turlicha bo'lsa, lekin qobiq ichidagi g'ildiraklar diametri bir xil, eni esa xar xildir. Odatda, bir qobiqdan ikkinchisiga o'tayotgan siqilgan gaz maxsus sovutgichlarda temperaturasi pasaytiriladi. Turbokompressorlarda maksimal erishish mumkin bo'lgan bosim 2,5...3,0 MPa.

2.31. O'qli va vintli kompressorlar

O'qli kompressorlarning qobig'i qisqa stilindrik patrubka 1 ko'rinishida tayyorlanadi (2.60-rasm) va uning ichida ishchi g'ildirak (kurakchali propeller ko'rinishida) 2 aylanadi.

Ventilyator o'qi bo'ylab to'g'ridan-to'g'ri havo harakat qiladi.

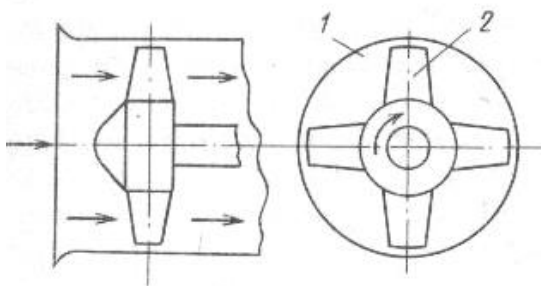
Shu sababli o'qli ventilyatorlar foydali ish koeffitsienti markazdan qochma ventilyatornikidan ancha yuqori bo'ladi. Lekin, o'qli ventilyator hosil qilayotgan napor markazdan qochma ventilyator naporidan 3...4 marta past.

O'qli kompressor tuzilishi bo'yicha ko'p pog'onali o'qli ventilyatorlarga uxshaydi (2.61-rasm). Odatda

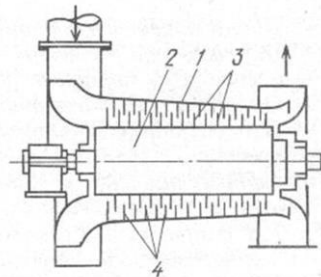
pog'onalar soni 10...20 ta bo'lishi mumkin, lekin siqilayotgan gazning temperaturasi pasaytirilmaydi.

Ishchi kurakchali 3 stilindrik 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 koeffitsientiga ega va katta ish unumdorlikni ($50000 \dots 80000 \text{ m}^3/\text{soat}$) 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 $3000 \dots 6000 \text{ m}^3/\text{soat}$, bosimi 1...1,2 MPa (lekin 3,0 MPa dan ortmaydi).

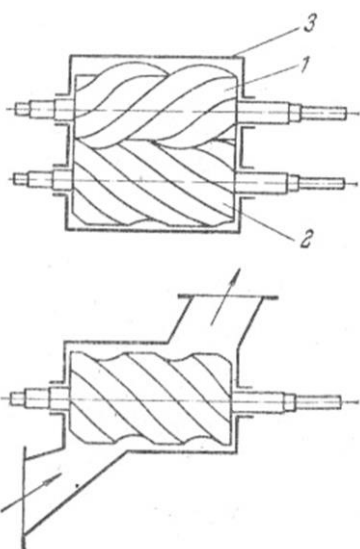


2.60- rasm. O`qli ventilyator.
1- qobiq; 2- ishchi g`ildirak.



2.61-rasm. O`qli kompressor.
1- qobiq; 2- rotor; 3- ishchi kurakcha; 4- qo`zg`almas kurakchalar.

Vintli kompressorlar parallel o`qli ikkita 1 va 2 rotorlardan tarkib topgan bo`lib, qobiq 3 ichida aylanadi (2.62-rasm).



2.62-rasm. Vintli kompressor.
1,2- rotorlar;3- qobiq.

Rotor 1 bir nechta tishli (odatda 3-4 ta) stilindr 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 koeffistienti boshqa turdagi mashinalarnikidan katta bo`ladi.

Vintli kompressorlar ixchamligi, tez yurarligi va uzatilayotgan gazlar tozaligi bilan ajralib turadilar.

Kamchiliklari: vintli rotorlarni tayyorlash murakkab va kompressor ishlash paytida ortiqcha shovqin chiqaradi.

2.32. Vakuu-nasoslar

Vakuu-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 engish 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 koeffistienti va unumdorligi birdan pasayib ketadi. Shuning uchun nasosning ishchi hajmidan to`liq foydalanish uchun ««zararli bo`shliq»»

bo`shlig`ini 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 koeffitsienti $\lambda_v < 0,8 \dots 0,9$ ga teng bo`ladi.

Porshenli vakuum-nasoslar. Ushbu qurilma suyuqlik va quruq mashinalarga bo`linadi. Quruq vakuum-nasos gazni uzatish uchun, suyuqlik 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 koeffitsientini 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  $r_1$ ga teng bo`ladi. r_2 bosimgacha siqilgan gaz «zararli bo`shliq»dan  $r_1$  bosimli kamera 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  $r_1=0,33$  atm. (uzatish bosimi  $r_2=1$  atm bo`lishi 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 koeffitsientini oshirishga erishiladi. Ishchi suyuqlik parstial 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 bardosh, legirlangan va maxsus materiallardan tayyorlanib, kislota va boshqa 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 kondensastiyalash foydalanilgan bug`larni siqish kerakmasligini ta`minlaydi va umumiy energiya sarfini kamaytiradi.

2.33. Kompressorlarni taqqoslash va tanlash

Kimyo sanoatida porshenli va markazdan qochma kompressor mashinalari 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. Inerstiya 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<sup>3</sup>/soat va undan yuqori bo`lgan turbokompressorlar iqtisodiy jihatdan foydali, chunki kapital va xizmat ko`rsatish harajatlari juda kam. Shuning uchun turbokompressorlarni katta miqdordagi unumdorlik (10000...200000 m<sup>3</sup>/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 m³/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 m³/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 ediriladi va ishchi kameralarini zichlash qiyin.

O'qli kompressorlar ixcham va foydali ish koeffitsienti yuqori. Yuqori miqdordagi unumdorlik (80000 m³/soat) va kichik bosimlar (6 atm. gacha) talab etilganda ishlatiladi.

Vakuu-nasoslar hosil qiladigan siyraklanish qiymatiga qarab qo'llaniladi.

Porshenli suyuqlik vakuum-nasoslarning absolyut siyraklanishi 80...85%ni hosil qiladi. Bu mashinalarning takomillashtirilgan konstruktsiyalari 93...97% gacha siyraklanish beradi. Quruq porshenli vakuum-nasoslar bosim rostlagichi bilan bo'lsa, siyraklanish qiymatini 99,9% ga etkazish mumkin. Rotor plastinali, bosim rostlagichli vakuum nasoslar 98...99% li siyraklanishni ta'minlab bersa, rostlagichsizligi esa – 95...96% ni tashqil 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 koeffitsienti juda kichik. Suv halqali vakuum-nasos hosil qiladigan siyraklanish qiymati, ishchi eltich bo'lgan suv bug'ining temperaturasiga bog'liq bo'lgan parstial bosim bilan chegaralanadi.

0,05...0,1 mm.sim.ust.dan katta bo'lmagan qoldiq bosim olish uchun maxsus konstruktsiyali rotor vakuum-nasoslardan foydalaniladi. Bunday ikki bosqichli mashinalarning qoldiq bosimi 0,005 mm.sim.ust.ni tashqil 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.

3 - bob. GIDROMEXANIK JARAYONLAR

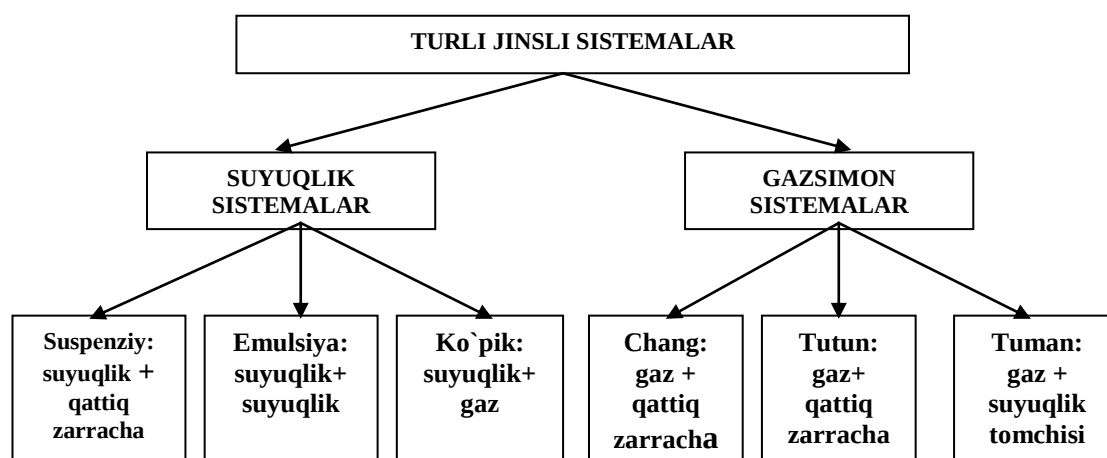


Gidromexanik jarayonlarga quyidagilar kiradi: suyuq va gazsimon turli jinsli sistemalarni gravitastion (choʻktirish), markazdan qochma (stentrifugalash) yoki elektr maydoni kuchlari taʼsirida qattiq zarrachalardan tozalash; bosimlar farqi ostida suyuqlik va gazlarni gʻovak toʻsiqlar orqali oʻtkazib filtrlash; suyuqlik muhitlarida aralashtirish; mavhum qaynash va boshqalar.

3.1. Turli jinsli sistemalar klassifikastiyasi

Kamida ikkita har xil fazalardan (suyuqlik - qattiq jism, suyuqlik - gaz va h.) tarkib topgan aralashmalar **turli jinsli sistemalar** deb nomlanadi. Zarrachalari oʻta mayin yanchilgan holatdagi faza **dispers** yoki **ichki faza** deb ataladi. Dispers faza zarrachalarini oʻrab olgan muhit esa - **dispersion** yoki **tashqi faza** deb ataladi.

Fazalarning fizik holatiga qarab turli jinsli sistemalar quyidagi guruhlariga boʻlinadi: suspenziya, emulsiya, koʻpik, chang, tutun va tumanlar (3.1-rasm).



3.1-rasm. Turli jinsli sistemalar klassifikastiyasi.

Suyuqlik va qattiq zarrachalardan tashkil topgan turli jinsli sistema **suspenziya** deb ataladi. Qattiq zarrachalar oʻlchamiga qarab suspenziyalar shartli ravishda quyidagi turlarga boʻlinadi: dagʻal (>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 oʻlchami keng oralikda oʻzgarishi mumkin. Odatda, emulsiya ogʻirlik kuchi taʼsirida qatlamlarga ajraladi. Lekin, dispers faza tomchilari $0,4...0,5$ mkm dan kichik boʻlsa yoki stabilizatorlar qoʻshilgan hollarda emulsiyalar turgʻun boʻladi va uzoq muddat davomida qatlamlarga ajralmaydi. Dispers faza konstantriastiyasi ortishi bilan dispers faza dispersion fazaga oʻtishi va teskarisi boʻlishi mumkin. Bunday oʻzaro almashinish hodisasi fazalar **inversiyasi** deyiladi.

Suyuqlik va unda taqsimlangan gaz pufakchalaridan tashkil topgan sistemalar **koʻpiklar** deb ataladi. Koʻpiklar oʻz xossalari boʻyicha emulsiyalarga yaqin.

Gaz va unda taqsimlangan $0,3...5$ mkm oʻlchamli qattiq zarrachalardan tashkil topgan sistemalar **tutunlar** deb nomlanadi. Tutunlar bugʻ (yoki gaz) larning suyuq yoki qattiq holatga kondensastiyalanish jarayoni orqali oʻtishda hosil boʻladi. Undan tashqari, qattiq yoqilgʻilar yonishi natijasida ham paydo boʻladi.

Gaz va unda taqsimlangan $3...70$ mkm oʻlchamli qattiq zarrachalardan tashkil topgan sistemalar **changlar** deb ataladi.

Koʻpincha changlar qattiq materialni maydalash, aralashtirish va maʼlum masofaga uzatish paytida hosil boʻladi.

Dispersion gaz va oʻlchami $0,3...5$ mkm boʻlgan dispers suyuqlik fazalardan tashkil topgan sistemalar **tumanlar** deyiladi. Tumanlar suv bugʻini sovitish jarayonida, bugʻning kondensastiyalanishi natijasida hosil boʻladi.

Tutun, chang va tumanlar - **aerozollar** deb yuritiladi.

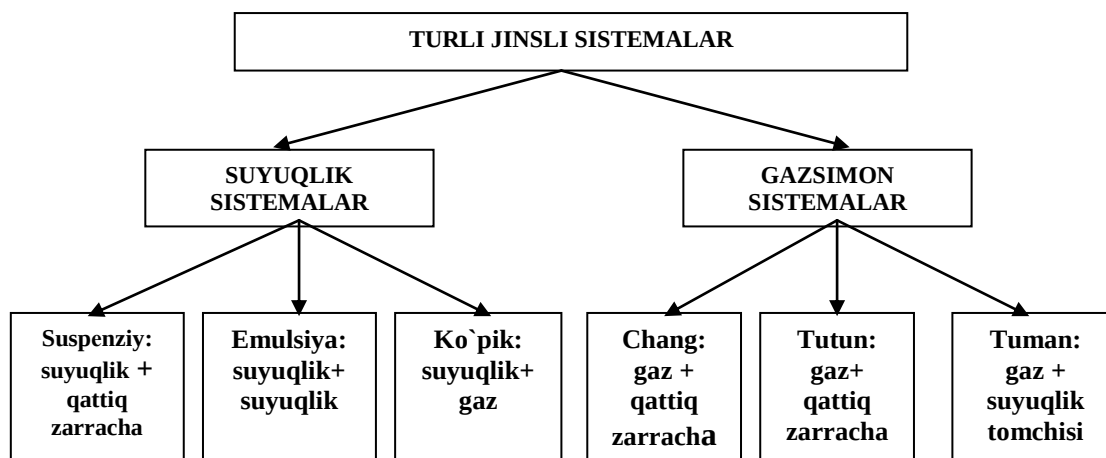
3 - bob. GIDROMEXANIK JARAYONLAR

Gidromexanik jarayonlarga quyidagilar kiradi: suyuq va gazsimon turli jinsli sistemalarni gravitastion (choʻktirish), markazdan qochma (stentrifugalash) yoki elektr maydoni kuchlari taʼsirida qattiq zarrachalardan tozalash; bosimlar farqi ostida suyuqlik va gazlarni gʻovak toʻsiqlar orqali oʻtkazib filtrlash; suyuqlik muhitlarida aralashtirish; mavhum qaynash va boshqalar.

3.1. Turli jinsli sistemalar klassifikastiyasi

Kamida ikkita har xil fazalardan (suyuqlik - qattiq jism, suyuqlik - gaz va h.) tarkib topgan aralashmalar **turli jinsli sistemalar** deb nomlanadi. Zarrachalari oʻta mayin yanchilgan holatdagi faza **dispers** yoki **ichki faza** deb ataladi. Dispers faza zarrachalarini oʻrab olgan muhit esa - **dispersion** yoki **tashqi faza** deb ataladi.

Fazalarning fizik holatiga qarab turli jinsli sistemalar quyidagi guruhlariga boʻlinadi: suspenziya, emulsiya, koʻpik, chang, tutun va tumanlar (3.1-rasm).



3.1-rasm. Turli jinsli sistemalar klassifikastiyasi.

Suyuqlik va qattiq zarrachalardan tashkil topgan turli jinsli sistema **suspenziya** deb ataladi. Qattiq zarrachalar oʻlchamiga qarab suspenziyalar shartli ravishda quyidagi turlarga boʻlinadi: dagʻal (>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 oʻlchami keng oralikda oʻzgarishi mumkin. Odatda, emulsiya ogʻirlik kuchi taʼsirida qatlamlarga ajraladi. Lekin, dispers faza tomchilari $0,4...0,5$ mkm dan kichik boʻlsa yoki stabilizatorlar qoʻshilgan hollarda emulsiyalar turgʻun boʻladi va uzoq muddat davomida qatlamlarga ajralmaydi. Dispers faza kontrastiyasi ortishi bilan dispers faza dispersion fazaga oʻtishi va teskarisi boʻlishi mumkin. Bunday oʻzaro almashinish hodisasi fazalar **inversiyasi** deyiladi.

Suyuqlik va unda taqsimlangan gaz pufakchalaridan tashkil topgan sistemalar **koʻpiklar** deb ataladi. Koʻpiklar oʻz xossalari boʻyicha emulsiyalarga yaqin.

Gaz va unda taqsimlangan $0,3...5$ mkm oʻlchamli qattiq zarrachalardan tashkil topgan sistemalar **tutunlar** deb nomlanadi. Tutunlar bugʻ (yoki gaz) larning suyuq yoki qattiq holatga kondensastiyalanish jarayoni orqali oʻtishda hosil boʻladi. Undan tashqari, qattiq yoqilgʻilar yonishi natijasida ham paydo boʻladi.

Gaz va unda taqsimlangan $3...70$ mkm oʻlchamli qattiq zarrachalardan tashkil topgan sistemalar **changlar** deb ataladi.

Koʻpincha changlar qattiq materialni maydalash, aralashtirish va maʼlum masofaga uzatish paytida hosil boʻladi.

Dispersion gaz va oʻlchami $0,3...5$ mkm boʻlgan dispers suyuqlik fazalardan tashkil topgan sistemalar **tumanlar** deyiladi. Tumanlar suv bugʻini sovitish jarayonida, bugʻning kondensastiyalanishi natijasida hosil boʻladi.

Tutun, chang va tumanlar - **aerozollar** deb yuritiladi.

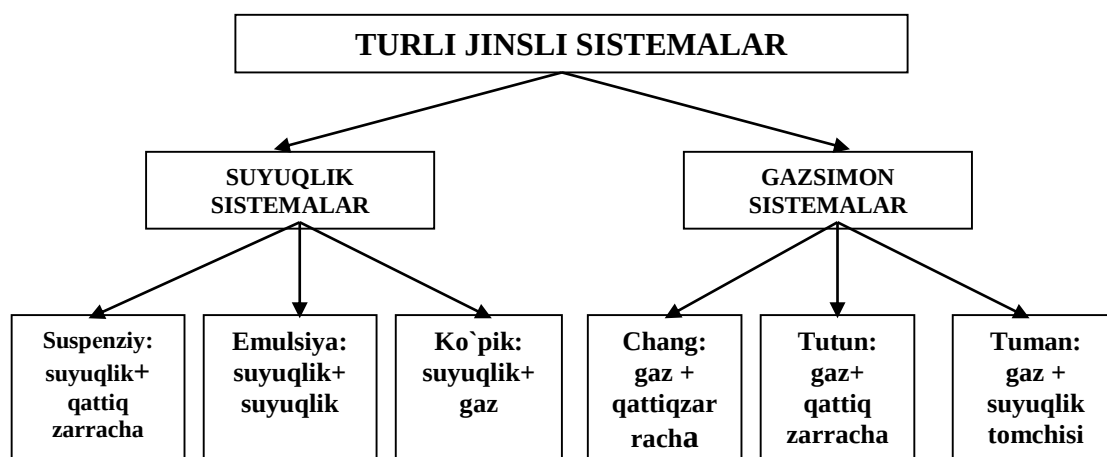
3 - bob. GIDROMEXANIK JARAYONLAR

Gidromexanik jarayonlarga quyidagilar kiradi: suyuq va gazsimon turli jinsli sistemalarni gravitastion (cho'ktirish), markazdan qochma (stentrifugalash) 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 klassifikastiyasi

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 fazadeb** ataladi.

Fazalarning fizik holatiga qarab turli jinsli sistemalar quyidagi guruhlariga bo'linadi: suspenziya, emulsiya, ko'pik, chang, tutun va tumanlar (3.1-rasm).



3.1-rasm. Turli jinsli sistemalar klassifikastiyasi.

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 oralikda 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 kontrastiyasi 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 kondensastiyalanish 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 sistemalar **tumanlar** deyiladi. Tumanlar suv bug'ini sovitish jarayonida, bug'ning kondensastiyalanishi 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; v) stentrifugalash; g) suyuqlik yordamida ajratish.

Og'irlik kuchi, inerstiya (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.

Centrifugalash - suspenziya va emulsiyalarni markazdan qochma kuch ta'sirida ajratish jarayonidir. Bu jarayonda yaxlit yoki g'ovaksimon to'siqlar ham ishlatiladi. Stentrifugalash 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 inerstiya 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_{chuk}, G_{ts} – boshlang'ich aralashma, cho'kma va tozalangan suyuqlik massalari, kg;

x_{ar}, x_{chuk}, x_{ts} – boshlang'ich aralashma, cho'kma va tozalangan suyuqliklar tarkibida **b** modda konstantriyasi, %.

Agar ajratish jarayonida massa yo'qotilishi bo'lmasa, moddiy balans tenglamasini ushbu ko'rinishda yozish mumkin:

moddalarning umumiy miqdori bo'yicha

$$G_{ar} = G_{ts} + G_{cho'k} \quad (3.1)$$

dispers faza (**b** modda) bo'yicha

$$G_{ar}x_{ar} = G_{ts}x_{ts} + G_{cho'k}x_{cho'k} \quad (3.2)$$

(3.1) va (3.2) tenglamalarni birgalikda echsak, tozalangan suyuqlik miqdorini topamiz:

$$G_{ts} = G_{ar} \frac{x_{cho'k} - x_{ar}}{x_{cho'k} - x_{ts}} \quad (3.3)$$

va cho'kma miqdorini:

$$G_{cho'k} = G_{ar} \frac{x_{ar} - x_{ts}}{x_{cho'k} - x_{ts}} \quad (3.4)$$

Ajratish jarayonining samaradorligi ajratish jadalligi bilan xarakterlanadi:

$$\mathcal{E}_{ajr} = \frac{G_{ar} \cdot x_{ar} - G_{ts} \cdot x_{ts}}{G_{ar} \cdot x_{ar}} \quad (3.5)$$

(3.3) va (3.4) tenglamalar yordamida aralashtirish jarayonini ham ifodalasa bo'ladi. Undan tashkari, (3.3) tenglamadan aralashma tarkibidagi dispers faza konstantriyasini ham topish mumkin:

$$x_{ar} = \frac{G_{ts}x_{ts} + G_{cho'k} \cdot x_{cho'k}}{G_{ar}} \quad (3.6)$$

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).

Ixtiyoriy shakldagi zarrachani ko'rib chiqamiz. Uning hajmi

3.2-rasm. Og'irlik kuchi **G** ta'sirida zarracha cho'kishining differentsial tenglamasini kel tirib chiqarishga oid.

chiziqli o'lchamining uchinchi darajasiga to'g'ri proporsionaldir.

$$V = \varphi_1 l^3 \quad (3.7)$$

bu erda l - zarracha gabarit o'lchami, diametri; φ_1 – shaklga bog'liq koeffitsient.

Agar, zarracha zichligi ρ_3 , suyuqlikni ρ_c bo'lsa, unda zarrachaga og'irlik kuchi G va ko'taruvchi kuch A ta'sir etmoqda. Bu ikkala kuch qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi.

$$G = \varphi_1 l^3 \rho_3 g, \quad A = \varphi_1 l^3 \rho_c g \quad (3.8)$$

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 erda μ - dinamik qovushoqlik koeffitsienti; $\frac{\partial w}{\partial n}$ - tezlikgradienti.

Butun zarrachaga ta'sir etuvchi muhitning qarshilik kuchi uning yuzasiga bog'liq. Demak, muhitning qarshilik kuchi quyidagiga teng:

$$R = \varphi_2 l^3 \mu \frac{\partial w}{\partial n} \quad (3.9)$$

Mexanikaning ikkinchi qonuniga binoan, og'irlik, ko'taruvchi va ishqalanish kuchlarining teng ta'sir etuvchisi, zarracha massasining erkin tushish tezlanishiga ko'paytmasiga teng. Demak:

$$\varphi_1 l^3 (\rho_3 - \rho_c) g - \varphi_2 l^3 \mu \frac{\partial w}{\partial n} = \varphi_1 l^3 \rho_3 \frac{dw}{d\tau} \quad (3.10)$$

(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 $\varphi_1 l^3 \rho_c \frac{dw}{d\tau}$ bo'lib:

$$g \frac{d\tau}{dw} \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_3} \cdot \frac{\rho_3}{\rho_c} - \frac{c_2 \mu \partial w}{c_1 \rho_3 l \partial n dw} \cdot \frac{\rho_3}{\rho_c} - \frac{\rho_3}{\rho_c} = 0 \quad (3.11)$$

Olingan natijani ρ/ρ_c ko'paytirib va tegishli qisqartirishlarni amalga oshirsak, quyidagi ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\frac{\varphi_2}{\varphi_1} \cdot \frac{\mu \tau}{l \rho} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \cdot \frac{\mu}{\rho w l} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \cdot \frac{1}{Re} \quad (3.12)$$

φ_2/φ_1 - nisbat zarracha shakliga bog'liq va **shakl koeffitsienti** deb nomlanadi:

$$f = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \quad (3.13)$$

o'lchamsiz kompleks esa:

$$\frac{\mu}{\rho w l} = \frac{1}{Re} \text{ yoki } Re = \frac{w l \rho}{\mu} = \frac{w l}{\nu}$$

Reynolds soni deyiladi. Bu son suyuqlik oqimlari harakatining gidrodinamik o'xshashligini xarakterlaydi, zarrachaning cho'kish jarayonida esa – suyuqlikning zarracha atrofida oqib o'tish gidrodinamik o'xshashligini ifodalaydi.

Xuddi shu yo'l bilan (3.11) ning birinchi ayiriluvchisidan quyidagi ko'rinishga kelamiz:

$$\frac{g \tau}{w} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} = \frac{g l}{w^2} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} \quad (3.14)$$

(3.14) tenglamani Re^2 ga ko'paytirsak, **Arximed** kriteriysini olamiz:

$$Ar = \frac{w^2 l^2}{\nu^2} \frac{gl}{w^2} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} = \frac{gl^3}{\nu^2} \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} \quad (3.15)$$

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:

$$Re = a(fAr)^n \quad (3.16)$$

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

$$Re = \frac{f \cdot Ar}{18} = 0,056 f \cdot Ar \quad (3.17)$$

$1,85 < Re < 500$ yoki $33 < f \cdot Ar < 83 \cdot 10^3$ bo'lganda

$$Re = 0,152 \cdot (fAr)^{0,725} \quad (3.18)$$

$Re > 500$ yoki $f \cdot Ar > 83 \cdot 10^3$ bo'lganda

$$Re = 1,74 \cdot (fAr)^{0,5} \quad (3.19)$$

(3.17)...(3.19) formulalar yordamida aniqlangan Reynolds soni orqali og'irlik kuchi ta'sirida suyuqlikda cho'kayotgan zarracha tezligini topish mumkin:

$$w_{cho'k} = \frac{Re \mu}{l \rho} \quad (3.20)$$

Laminar harakat rejimida cho'kish tezligini quyida keltirilgan usulda topiladi. d diametrli sferik shaklga ega zarrachalar uchun w_{chuk} (3.17) formuladan aniqlash mumkin:

$$\frac{w_{cho'k} d \rho}{\mu} = \frac{1}{18} \frac{gd^3 (\rho_3 - \rho)}{\nu^2 \rho}$$

Agar, $\nu = \mu / \rho$ ekanligini hisobga olsak, cho'kish tezligi ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$w_{cho'k} = \frac{gd^2 (\rho_3 - \rho)}{18 \mu} \quad (3.21)$$

(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 proporsional va muhit qovushoqligiga teskari proporsionalligini ifodalaydi.

Noto'g'ri shakldagi zarrachalar uchun cho'kish tezligi sharsimonnikidan kam bo'ladi. Zarrachalarning shakl koeffitsienti qiymatlari maxsus adabiyotlarda keltirilgan.

Suyuqlikda tomchining cho'kish jarayonida uning shakli uzluksiz ravishda o'zgarib turadi. Bunday hol-larda suyuqlik tomchisining cho'kish tezligi prof. Smirnov N.I. formulasi yordamida hisoblanadi:

$$w_{cho'k} = \frac{gd^{2,5}}{\sigma} \left(\frac{\rho - \rho_T}{\rho_T} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{\mu}{\rho g} \right)^{0,5} \quad (3.22)$$

bu erda d - tomchining o'rtacha diametri; σ - fazalar chegarasidagi sirtiy taranglik; ρ - tomchi hosil qiluvchi suyuqlik zichligi; ρ - muxit zichligi; μ - muhit qovushoqligi.

Stoks qonuniga binoan, cho'kayotgan qattiq zarrachaning maksimal o'lchami ushbu formuladan topiladi:

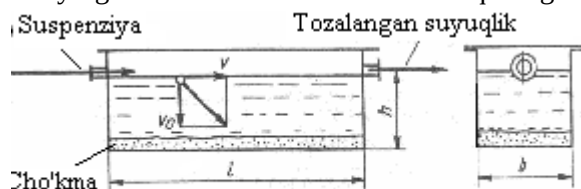
$$d_{\max} \approx 1,56 \sqrt{\frac{\mu^2}{\rho(\rho_3 - \rho)}} \quad (3.23)$$

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. Siiq 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 konstentrastiyasi past sistemalariga qo`llash mumkin.

Lekin sanoatda dispers faza konstentrastiyasi yuqori bo`lgan hollarda ham cho`ktirish jarayonlari, ya`ni cho`kayotgan zarrachalar bir-biri bilan to`qnashganda ham, amalga oshiriladi (3.3-rasm).



3.3-rasm. Cho`kish jarayoni sxemasi

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 siiq 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 nuqtai nazaridan, zarrachalarning siiq 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, siiq cho`kish qonuniyatlarini, mavhum qaynash qatlamidagi ko`tariluvchi oqim harakati orqali o`rganish qulaydir. Bunda, siiq cho`kish tezligi qattiq zarrachalar qatlamining mavhum qaynash holatidagi oqim tezligiga teng. Zarrachalar konstentrastiyasi nolga qarab intilganda, siiq 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 funktsiya orqali ifodalanadi:

$$Re_{cho'k} = f(Ar, \varepsilon)$$

Hammarejimlaruchunsiiqiqholatdagi cho`kishteizligini aniqlash uchun quyidagi umumiy tenglamadan foydalaniladi:

$$Re_{cho'k} = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,6\sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}} \quad (3.23)$$

buerda:

$$Re = \frac{wd\rho}{\mu} \text{ va } Ar = \frac{gd^3}{\nu^2} \frac{\rho_3 - \rho}{\rho} \quad (3.24)$$

$$\varepsilon = \frac{V_0 - V}{V_0} \quad (3.25)$$

buerda: V_0 - suspenziyadagi suyuqlik hajmi, m^3 ; V - suspenziyadagi qattiq zarrachalar hajmi, m^3 .

Sharsimon qattiq zarrachalarning siiq holatdagi cho`kish tezligini quyidagi tenglamalar yordamida topish mumkin:

agar $\varepsilon > 0,7$ dan bo`lsa:

$$w_{s,cho'k} = w_{cho'k} \cdot \varepsilon^2 \cdot 10^{-1,82(1-\varepsilon)} \quad (3.25)$$

agar $\varepsilon \leq 0,7$ dan bo`lsa:

$$w_{s,cho'k} = w_{cho'k} \frac{0,123 \cdot \varepsilon^2}{1 - \varepsilon} \quad (3.26)$$

3.6. Suspenziya konstantastiyasi va zarrachalar shaklining cho`kish tezligiga tasiri

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 koeffitsienti 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	Koeffitsient f
1	Shar	1,00
2	Dumaloq	0,77
3	Serqirra	0,66
4	Cho`zinchoq	0,58
5	Plastinasimon	0,43

Agar, zarrachashaklsharsimonbo`lmasa, uningnazariycho`kistezligisuyuqlikoqimirejimigaqarabtanlanadi. Formuladagi aniqlovchi o`lcham sifatida zarrachaning ekvivalent diametri qo`llaniladi. So`ng esa, zarrachaning haqiqiy shakliga qarab, aniqlangan cho`kish tezligi w_{chuk} tegishli shakl koeffitsienti f ga ko`paytiriladi:

$$w'_{cho'k} = w_{cho'k} \cdot f \quad (3.28)$$

Keltirib chiqarilgan formulalarda cheksiz bo`shliqda zarrachalar erkin cho`kmoqda deb faraz qilingan. Bunday tahmin suspenziya konstantastiyasi juda past bo`lganda to`g`ri. Lekin, suspenziya konstantastiyasi 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 konstantastiyasi qanchalik yuqori bo`lsa, cho`kish tezligiga siqqlik hodisasi shunchalik katta ta'sir qiladi. Shuning uchun, haqiqiy yoki nazariy cho`kish tezligi, hajmiy konstantastiyani hisobga oluvchi tuzatish koeffitsientiga ko`paytiriladi.

3.7. Markazdan qochma kuch ta'sirida cho`ktirish

Emulsiyadagi suyuqlik tomchilarini va suspenziyadagi qattiq zarrachalarni markazdan qochma kuchlar maydonida ajratish jarayoniga **stentrifugalash** deyiladi. Stentrifugalash jarayonini amalga oshiradigan qurilma **stentrifuga** deb nomlanadi.

Markazdan qochma kuch ta'sirida suspenziya **cho`kma** va **fugat** deb nomlanuvchi suyuqlik fazalarga ajraladi. Odatda cho`kma qurilma rotorichida qoladi, fugat esa - tashqariga chiqariladi.

Centrifuga ishlash paytida hosil bo`ladigan markazdan qochma kuchcho`ktirish jarayonidagi og'irlik va filtrlashdagi gidrostatik kuchlarga nisbatan ancha katta bo`ladi. Shuning uchun turli jinsli sistemalarniajratish uchun qo`llaniladigan cho`ktirish va filtrlash jarayonlariga qaraganda stentrifugalash juda samarali hisoblanadi.

Centrifuganing asosiy qismi gorizontaal yoki vertikal o`qga o`rnatilgan va katta tezlikda aylanuvchi stilindrik 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 prinstipiga qarab, stentrifugalarda 2 xil bo`ladi: filtrllovchi va cho`ktiruvchi stentrifugalarda.

Cho`ktiruvchi stentrifuganing stilindrik rotor yoxlit devorli bo`lib, emulsiya va suspenziyalarni cho`ktirish prinstipi asosida ajratadi. Bu qurilmada ajratish jarayonida og'irlik kuchi o`rniga markazdan qochma kuch ishlatiladi. Stilindrik 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.

Filtrllovchi stentrifuga rotor g`ovaksimon bo`lib, emulsiya va suspenziyalarni filtrlash prinstipi asosida ajratadi. Bu qurilmalarda, ajratish jarayonida bosimlar farqi o`rniga, markazdan qochma kuch ishlatiladi.

Bu turdagi stentrifugalarda 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 shtuster orqali chiqariladi. Qattiq faza esa, filtrllovchi to'siqda ushlanib qoladi va undan so`ng rotordan tushiriladi.

Ishlash prinstipiga ko`ra stentrifugalarda davriy va uzluksiz bo`ladi. Rotor o`qining o`rnatilishiga qarab, gorizontaal va vertikal stentrifugalarda bo`ladi. Davriy ishlaydigan stentrifugalarda cho`kma qo'l, og'irlik kuchi yoki pichoq yordamida tushiriladi. Uzluksiz stentrifugalarda cho`kma shnek yordamida inerston va pulsastion kuchlar yordamida tushiriladi.

Filtrlovchi va cho`ktirivchi stentrifugalarda ajratish jarayonlarining tahlili shuni ko`rsatadiki, cho`ktirish va filtrlash jarayonlar bilan stentrifugalash orasida o`xshashlik ko`p va hamma jarayonlarning umumiy qonuniyatlari ham o`xshashdir.

Centrifugalarda hosil bo`ladigan markazdan qochma kuch ushbu tenglik bilan ifodalanadi:

$$c = \frac{mw^2}{r} = \frac{Gw^2}{gr} \quad (3.29)$$

bu erda: 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 - aylanish radiusi, m.

Rotorning aylanish tezligi ushbu tenglikdan topiladi:

$$w = \omega \cdot r = \frac{2\pi n}{60} r \quad (3.30)$$

bu erda: ω - burchak tezligi, rad/s; n - aylanish soni, ayl/min.

(3.29) va (3.30) tengliklardan markazdan qochma kuchni aniqlaymiz:

$$C = \frac{G}{rg} \left(\frac{2\pi n}{60} r \right)^2 \quad (3.31)$$

yoki

$$C \approx \frac{Grn^2}{900} \quad (3.32)$$

Shunday qilib, rotor diametrini ko`paytirishga qaraganda, uning aylanish sonini oshirish, markazdan qochma kuchning o`shishiga olib keladi.

Centrifugalarning ish unumdorligi ajratish koefitsientiga bog`liq. Stentrifugalarda ajratish koefitsienti markazdan qochma kuchlar maydonida hosil bo`lgan kuchlanish bilan xarakterlanadi. Stentrifugada hosil bo`layotgan markazdan qochma kuchlar miqdorining og`irlik kuchi tezlanishidan necha marta ko`pligini ko`rsatuvchi kattalik **ajratish koefitsienti** deb nomlanadi:

$$K_a = \frac{w^2}{rg} \quad (3.33)$$

Centrifuga rotori aylanish chastotasining ortishi va uning diametri kamayishi bilan markazdan qochma kuch maydonida ajratish samaradorligi ortadi. Agar, aylanish tezligini aylanish chastotasi orqali, ifodalasak ajratish koefitsientini aniqlash uchun ushbu ko`rinishdagi formulani olamiz:

$$K_a \approx \frac{n^2 r}{900} \quad (3.34)$$

Ajratish koefitsienti stentrifugalarning muhim xarakteristikasi bo`lib, uning ajratish qobiliyatini aniqlovchi ko`rsatkichdir.

3.8. Tindirish va cho`ktirish qurilmalari

Cho`ktirish jarayoni turli konstruktiviyali 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:

$$V = \frac{lbh}{\tau_0} \quad (3.36)$$

bu erda: l, b, h - qurilmaning geometrik o`lchamlari, m;  $\tau_0$  - zarrachalarning o`rtaga cho`kish davomiyligi, s.

Agar, cho`ktirgichning ish unumdorligi ma'lum bo`lsa, cho`ktirish yuzasini ushbu formuladan aniqlash mumkin:

$$F = \frac{G}{\rho \cdot w} \quad (3.37)$$

bu erda: $G = G_m / \tau$ - cho`ktirgich 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: gravitastion cho`ktirgich, stentrifuga, gidrostiklon va separatorlarga.

Tindirgichlar uzlukli, yarim uzluksiz va uzluksiz ishlaydigan bo`ladi.

Uzluksiz ishlaydigan tindirgich. Bu turdagi qurilma aralashtirgich 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 shtusterdan 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 konstentratsiyasiga bog`liq. Suspenziya zichligi va zarrachalarining diametri ortishi, tindirgich o`lchamlarini kamaytirish imkonini beradi.

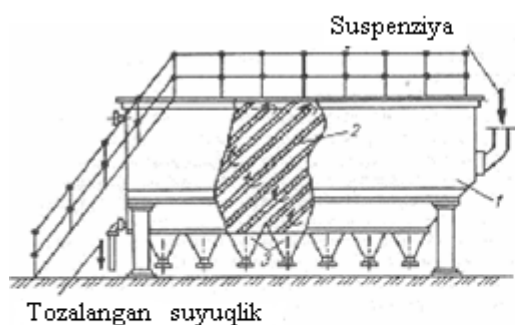
Tindirish jarayonining davomiyligi dispersion faza qovushoqligiga bog`liq. Ma`lumki, temperatura o`shishi bilan suyuqliklar qovushoqligi pasayadi. Shuning uchun, cho`ktirish jarayonini intensivlash maqsadida suspenziyalar qizdiriladi (agar texnologiyaga zid bo`lmasa).

**Qiya to`siqli, yarim uzluksiz tindirgich.** Suspenziya shtuster orqali qurilmaga kiritiladi va qiya o`rnatilgan to`siq 2 lar yordamida galma-gal yuqoridan pastga va pastdan yuqoriga qarab yunaltiladi (3.4-rasm).

Qiya to`siqlar qurilmada suspenziyaning harakat davomiyligi vatindirish yuzasini oshiradi. Hosil bo`ladigan shlam esa, bunker 3 lardayig`iladi va to`lib chiqqandan so`ng kranlar yordamida chiqazib yuboriladi.

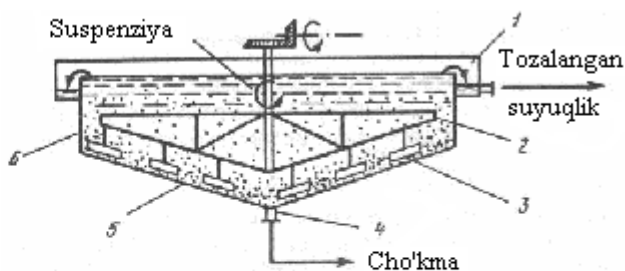
Tozalangan suyuqlik tindirgichning tepa qismida o`rnatilgan shtuster orqali chiqariladi.

Kimyo va oziq - ovqat sanoatlarida uzluksiz ishlaydigan tindirgichlar keng ko`lamda qo`llanilmoqda.



3.4-rasm. Qiya to`siqli yarim uzluksiz tindirgich.

1 - qobiq; 2 - qiya to`siqlar; 3 - bunkerlar.

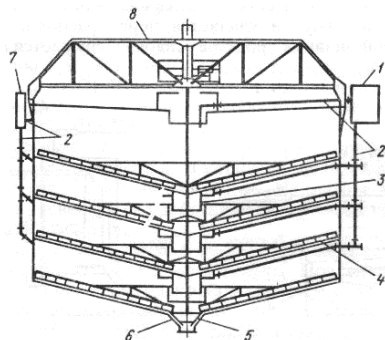


3.5-rasm. Eshkak aralashtirgichli uzluksiz ishlaydigan tindirgich.

1 - halqasimon tarnov; 2 - aralashtirgich; 3 - eshkak; 4 - lyuk; 5 - konussimon tub; 6 - silindrik qobiq

Eshkak aralashtirgichli, uzluksiz ishlaydigan tindirgich. Odatda 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 eshkaklar 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.

Bu turdagi tindirgichlarda zichligi bir tekisda bo`lgan cho`kmalarga va uni samarali suvsizlantirishga erishsa bo`ladi. Eshkakli tindirgichlar kamchiligi, bu ularning qo`polligidir.



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.

**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.

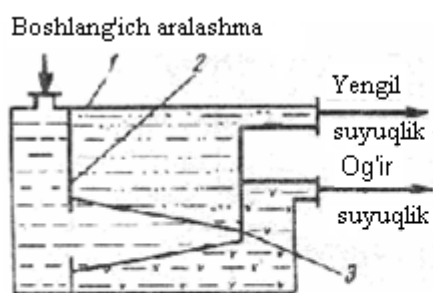
Tindirgich umumiy o`qga ega bo`lib, unga aralashtiruvchi eshkaklar joylashtiriladi. Suspenziya esa taqsimlovchi moslamadan trubalar orqali har bir qavat stakaniga uzatiladi. Tozalangan suyuqlik halqasimon tarnovlardan o`tib, kollektorda yig`iladi. Har bir yarus shlamni chiqarib yuborish stakanlari

bilan ulangan. Yuqorida joylashgan har bir qavat stakanining pastki uchi quyi qavat shlamini ichiga kirib turaladi. 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 erdan o'rta separastion kameraga uzatiladi.

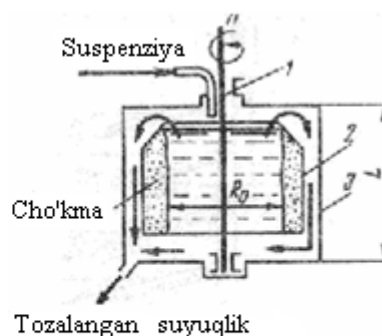
Chap to'siq 2 aralashma sathi balandligini rostlash imkonini beradi. Separastion qismda boshlang'ich aralashma og'irlik kuch ta'sirida fazalarga ajraydi. Engil faza tepaga ko'tariladi va tindirgichning yuqorisidagi shtusterdan oqib chiqadi. Og'ir faza esa, o'ng to'siq 3 ostidan o'tib pastga tushadi va qurilma tubidagi shtusterdan oqib chiqadi.

Cho'ktiruvchi stentrifuga. Bu turdagi qurilmalar rotor yaxlit metallardan 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 shtuster 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.

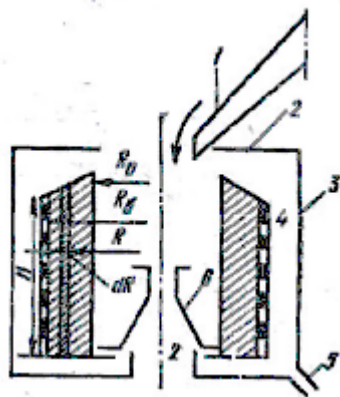


3.8-rasm. Cho'ktiruvchi stentrifuga.

1 - o'q; 2 - rotor; 3 - qobiq.

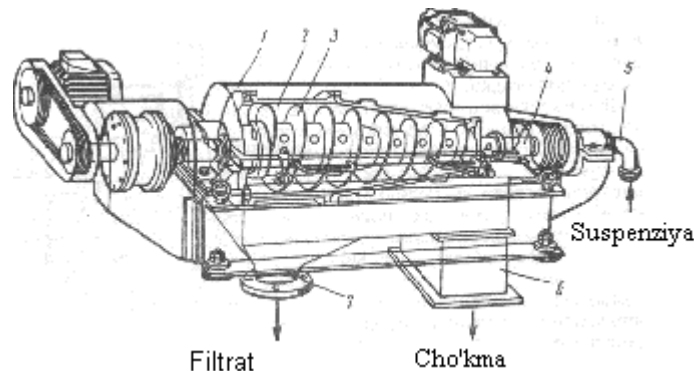
Filtrlovchi stentrifuga. Ushbu stentrifuga qobiq 3 ichida o'rnatilgan aylanuvchi rotor 4 dan tashkil topgan. Rotor devori teshik, to'rsimon bo'lib, uning ichki yuzasi filtrlovchi material bilan qoplangan (3.9-rasm).

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 keltiruvchi kuchi deb ataladi. Ushbu kuch ta'sirida aralashma filtrlovchi material va rotor devorida hosil bo'lgan cho'kma qatlamidan o'tib tozalanadi. Bunday stentrifugalarda jarayon uch bosqichda o'tadi: a) cho'kma hosil qilish va filtrlash; b) cho'kma qatlamining zichlanishi; v) cho'kmadan suyuq fazani ajratish. Jarayonda hosil bo'lgan fugat shtuster 5 dan tashqariga chiqariladi. Jarayon tamomlangandan so'ng, cho'kma suv bilan yuviladi. Hamma bosqichlar tugagandan keyin stentrifuga to'xtatiladi, so'ng esa konus 6 tepaga ko'tariladi va cho'kma to'kiladi.



3.9-rasm. Filtrlovchi sentrifuga.

1 - suspenziya berish trubasi; 2 – cho`kma tushiradigan teshik; 3 - qobiq; 4 - rotor; 5 - fugatchiqarish shtutseri; 6 - konus.



3.10-rasm. Uzlüksiz ishlaydigan, cho`kmani shnekda to`kuvchi gorizontol 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.

Uzlüksiz ishlaydigan, cho`kmani shnekda to`kuvchi gorizontol cho`ktiruvchi stentrifuga (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 stapfalarda rotor 2 aylanib turadi. Shnek esa, rotor ichidagi stapfalarda 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 stentrifuga katta ish unumdorlikka ega va yuqori konstantastiyali mayin, dispers suspenziyalarni ajratish uchun qo`llaniladi. Bunday stentrifugalarning suspenziya bo`yicha ish unumdorligi ushbu formuladan topiladi:

$$V = \frac{3,5D_T^2 \cdot L_T(\rho_3 - \rho)d^2n^2}{\mu} \quad (3.38)$$

bu erda; D_T , L_T - to`kish stilindrining diametri va uzunligi, m; ρ_3 , ρ - zarracha va muhit zichliklari, kg/m³; d - zarrachaning eng kichik diametri, m; n - rotorning aylanish chastotasi, min⁻¹; μ - dinamik qovushoqlik koeffitsienti, Pa·s.

Cho`ktiruvchi stentrifugalarning ish unumdorligi esa ushbu formuladan hisoblanadi:

$$V = \eta F w_k \quad (3.39)$$

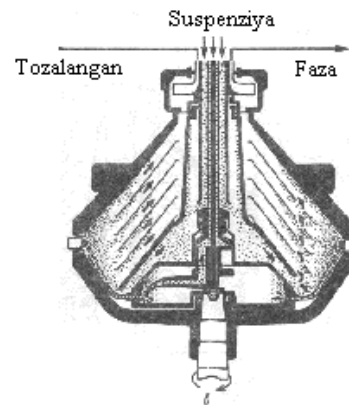
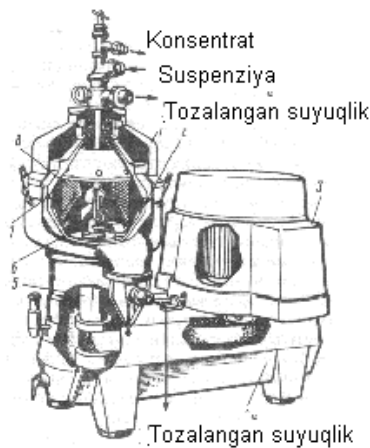
bu erda: η - proporsionallik koeffitsienti; $F = 2\pi R_0 L$ - rotordagi suspenziya ko`zgusi maydonining yuzasi (bu erda  $R_0$  - suspenziya halqasimon qatlamining ichki radiusi, m;  $L$  - rotor uzunligi, m) m<sup>2</sup>;  $w_{st} = w_{chuk} \cdot K$  - markazdan qochma kuch ta`siridagi cho`kish tezligi, m/s (bu erda  $w_{chuk}$  - og`irlik kuchi ta`sirida cho`kish tezligi, m/s; K - ajratish koeffitsienti).

(3.39) tenglama yordamida cho`kmani pichoq bilan kesib oladigan cho`ktiruvchi stentrifuga ish unumdorligini hisoblash formulasini keltirib chiqarish mumkin:

$$V = 25,3 \cdot \eta L n^2 R_0^2 w_{y\kappa} \cdot k \quad (3.40)$$

bu erda: k - suspenziya o`zlash vaqtining stentrifuga umumiy ishlash vaqtiga nisbati.

Tarelkali separator. Bu turdagi qurilmalar qobiq 1 ichida joylashgan rotor va tarelkalar dastasi 8 lardan tarkib topgan (3.11-rasm).



3.11-rasm. Tarelkali separator.

a - umumiy ko'rinish; b - tarelkalar ishlash sxemasi.

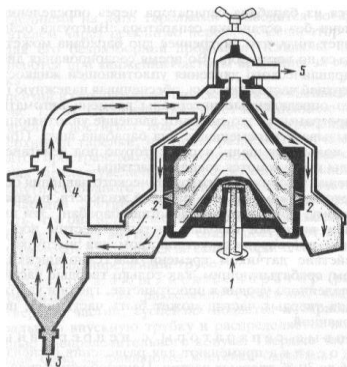
1-qobiq; 2-ichki soplo; 3-uzatma; 4-rom; 5-ishchi valning almashinish vtulkasi; 6-rostlovchi truba; 7-yuvish sistemasi klapani; 8-tarelkalar dastasi.

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 etib kelgan bo'lsa, unda ular butun aralashmadan ajratib olingan deb hisoblash bo'ladi.

Cho'kgan zarrachalar ichki soplolardan halqasimon trubaga o'tadi va separatoridan chiqarib yuboriladi. Tozalangan suyuqlik chetdagi trubadan chiqariladi.

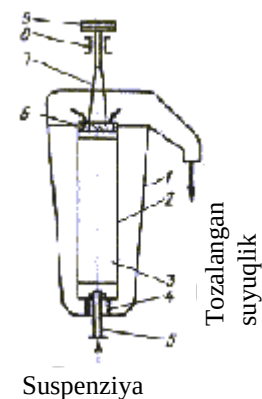
Soploli separatorlarning bir turi bo'lib **baktofuga** hisoblanadi (3.12-rasm). Baktofuga germetik, yuqori tezlikda aylanuvchi soploli separator bo'lib, aralashmalarni tozalash uchun mo'ljallangan. Ushbu separator tarkibida sovitish g'ilo fi va konstantratni deaeratsiya qilish stikloni ham bo'ladi.

Baktofugalar afzalliklari: yuqori ajratish koeffitsienti; konstantrat 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.



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 shtutser; 4 - siklonda sirkulyatsiya qilingan havo oqimi; 5 - baktofugada tozalangan suyuqlik chiqish shtutseri.



3.13-rasm. O'ta samarali sentrifuga.

1 - qobiq; 2 - rotor; 3 - parrak; 4 - podnyatnik; 5 - truba; 6 - tozalangan suyuqlik chiqish teshigi; 7 - shpindel; 8 - tayanch; 9 - shkiv.

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 shtuster 5 orqali chiqariladi. Soplodan chiqayotgan nam konstantrat stentrifuga qopqog'ida yig'iladi, so'ng esa deaeratsiya uchun stiklonga yuboriladi. Tayyor konstantrat stiklonning shtusteri 5 dan to'kiladi. Ifloslangan havo stiklon va baraban qopqog'i orqali stirkulyatsiya qiladi. Bunday baktofugalar sut tarkibidagi bakteriyalarni tozalash (99% gacha), farmastevtika sohasida cho'kib qolgan oqsillar (gamma – globulin) va turli fermentlarni ajratib olish uchun qo'llaniladi.

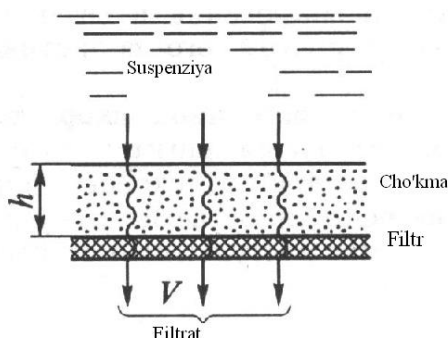
O'ta samarali stentrifuga rotorining kichik diametri $d < 200$ mm bo'lib, katta tezlikda ($< 4500 \text{ min}^{-1}$) aylanadi. Bu qurilmalarning ajratish koeffitsienti 15000 ga teng (3.13-rasm).

Bu turdagi stentrifugalarda juda mayin dispers suspenziya va emulsiya (yog'sizlantirilgan sut) lar ajratiladi.

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 buyonfiltrlar 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).



Filtr to'siq va cho'kma qatlami orqali suyuqlikning o'ish sxemasi.

Filtrlash jarayoni bosimlar farqi yoki markazdan qochma kuchlarmaydoni ta'sirida amalga oshiriladi.

Filtrlash intensivligi suspenziya sifati, ya'ni dispers fazacho'kmasi qarshiligining miqdoriga, karton, shilimshiq va kolloid moddalar bor-yo'qligiga bog'liqdir.

Turli jinsli sistemalarni ajratish paytida filtr konstruktiviyoyoki filtrlovchi stentrifuga, filtr to'siq va filtrlash rejimlarinitanlash zarurati tug'iladi.

Kimyo, oziq - ovqat va boshqa sanoatlarda cho'kma hosil qilish yo'libilan filtrlash keng tarqalgan.

Masalan, shakarpazlikda filtrlash qiyomlarni tozalash, cho'kmani saturastion sharbatdan ajratish uchun qo'llaniladi. Pivo pishirishda esa,ushbu jarayon suslodan **qattiq fazani** ajratish va tayyor mahsulotnitindirish uchun ishlatiladi. Undan

tashqari, vinopazlik, liker – aroq vasharbatlar 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 hosilbo'ladi. Siqiluvchi cho'kma zarrachalari bosim ortishi bilan qatlam deformastiyaga uchraydi va uning o'lchami kamayadi. Siqilmaydigan cho'kmadabosim ko'payishi bilan qatlam shakli va o'lchami uzgarmaydi.

Amalda filtrlashdan keyin quyidagi qo'shimcha jarayonlar qo'llaniladi:

- a) cho'kmani yuvish;
- b) cho'kmani havo yoki inert gazlar oqimi bilan tozalash;
- v) 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 (stentrifugalash).

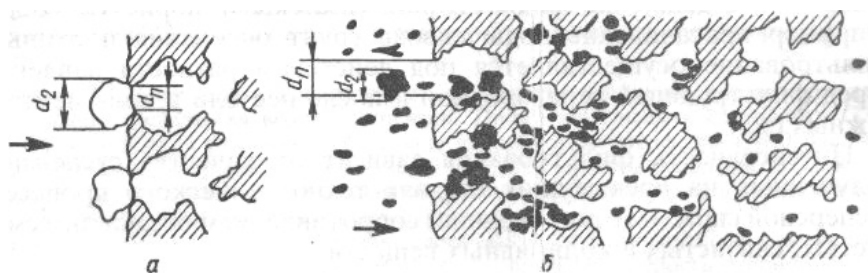
3.10. Filtrlash turlari

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 konstantastiyasi 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 konstantastiyasining ortishiga imkoniyat tug'diradi.

Kovaklarni to'ldirish usulida filtrlash (3.14b-rasm) filtr to'siq kovaklariga qattiq zarrachalar kirib



3.14-rasm. Filtrlash sxemasi.

1 - cho'kma hosil qilib filtrlash;

2 - to'siq kovaklarini to'ldirib filtrlash

to'ldirganda ro'y beradi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, filtrlash jarayonining boshlang'ich davridayoq, qattiq zarrachalar to'siq kovaklarini to'ldirib 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 metallardan yasalgan bo'lsa,

qizdirib kuydiriladi.

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 konstantastiyali suspenzialarni 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 markazdanqochma 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 ulashyo'li bilan hosil qilish mumkin. Bunday holatlarda filtrlash o'zgarmas bosimlar farqida boradi va jarayon tezligi bosimlar farqiga to'g'ri riva cho'kma qatlami qarshiligiga teskari proporsionaldir.

Filtrlash jarayoni esa quyidagi kinetik tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta p}{\mu(R_{ch} + R_{ft})} \quad (3.40)$$

bu erda V - filtrat hajmi, m^3 ; F - filtrlash yuzasi, m^2 ; τ - filtrlash vaqti, s; Δp - bosimlar farqi, N/m^2 ; μ - dinamik qovushoqlik, $Pa \cdot s$; R_{ch} , R_{ft} - 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,

$$x_{ch} \cdot V = h_{ch} F \quad (3.41)$$

bu erda 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.

$$R_0 = r_0 h_0 = \frac{r_0 x_0 V}{F} \quad (3.42)$$

bu erda r_0 – cho`kmaning solishtirma qarshiligi, m^{-2} .

Agar (3.42) ni (3.40) ga qo`ysak, ushbu ko`rinishga ega bo`lamiz:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta p}{\mu \cdot \left(\frac{r_{ch} x_{ch} V}{F} + R_{ft} \right)} \quad (3.43)$$

(3.43) tenglik filtrlash jarayonining asosiy tenglamasi deb ataladi.

Filtr to`siq qarshiligi hisobga olinmasa, quyidagi tenglama holatiga kelimiz

$$r_{ch} = \frac{\Delta p}{\mu h_{ch} \cdot w} \quad (3.44)$$

bu erda w - filtrlash tezligi.

Filtrlash jarayonining boshlang`ich fursati uchun, ya`ni $V = 0$ da, $R_{ft} = \Delta r / (\mu w)$.

$\Delta r = \text{const}$ bo`lgan holat uchun (3.43) tenglamani integrallasak($0 - V$ va $0 - \tau$ oralikda), ushbu tenglama kelib chiqadi:

$$V^2 + 2 \frac{R_{ft} \cdot F}{r_0 x_0} \cdot V = 2 \frac{\Delta p F^2}{\mu r_{ch} x_{ch}} \cdot \tau \quad (3.45)$$

Olingan ushbu tenglama siqiladigan va siqilmaydigan cho`kmalaruchun qo`llasa bo`ladi va u filtrat hajmi ortishi bilan filtrlash tezligi kamayishini ko`rsatadi.

(3.45) tenglamani filtrlash vaqti τ ga nisbatan echsak, ushbuifodaga erishiladi:

$$\tau = \frac{\mu x_{ch} r_{ch}}{2 \Delta p} \left(\frac{V}{F} \right)^2 + \frac{R_{ch} \cdot V}{\Delta p \cdot F} \quad (3.46)$$

yoki (3.41) ni hisobga olsak

$$\tau = \frac{\mu r_{ch}}{2 \Delta p x_{ch}} h_{ch}^2 + \frac{R_{ft}}{\Delta p x_{ch}} h_{ch} \quad (3.47)$$

Shunday qilib, filtrlash vaqti olingan filtrat hajmi kvadratiga to`g`ri proporsionaldir.

Oxirgi tenglamani filtrning solishtirma ish unumdorligi ($V_f = V/F$)ga nisbatan echsak, quyidagi ko`rinishga ega bo`lamiz:

$$V_f = \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\mu x_{ch} r_{ch}} \tau + \left(\frac{R_{ft}}{\mu x_{ch} r_{ch}} \right)^2} - \frac{R_{ft}}{\mu x_{ch} r_{ch}} \quad (3.48)$$

ozgarmas tezlik $w = \text{const}$ holat uchun (3.43) dan ushbu tenglamani olamiz:

$$V^2 \mu x_{ch} r_{ch} + R_{ft} V F \mu = \Delta F^2 \tau \quad (3.49)$$

yoki

$$V^2 + \frac{R_{ft} \cdot F}{r_{ch} x_{ch}} V = \frac{\Delta p F^2}{\mu r_{ch} x_{ch}} \tau$$

bu tenglamadan:

$$\Delta p = \mu x_{ch} r_{ch} \left(\frac{V}{F} \right)^2 \frac{1}{\tau} + \mu R_{ft} \left(\frac{V}{F} \right) \frac{1}{\tau} \quad (3.50)$$

yoki

$$\Delta p = \mu \kappa_{ch} r_{ch} w^2 + \mu R_{ft} w$$

Shunday qilib, filtrlash vaqti ortishi bilan bosimlar farqi ko'payadi:

$$\tau = \frac{\mu \kappa_{ch} r_{ch}}{\Delta p} \left(\frac{V}{F} \right)^2 + \frac{R_{ft}}{\Delta p} \frac{V}{F} \quad (3.51)$$

ya'ni olingan filtrat hajmi kvadratinga to'g'ri proporsional.

Filtrning solishtirma ish unumdorligi (m^3/m^2):

$$V_f = \sqrt{\frac{\Delta p}{\mu \kappa_{ch} r_{ch}} \tau + \left(\frac{R_{ft}}{2 \mu \kappa_{ch} r_{ch}} \right)^2} - \frac{R_{ft}}{2 \mu \kappa_{ch} r_{ch}} \quad (3.52)$$

Amalda cho'kma hajmining filtrat hajmiga nisbati κ_{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:

$$V^2 + 2CFV = 2KF^2\tau \quad (3.53)$$

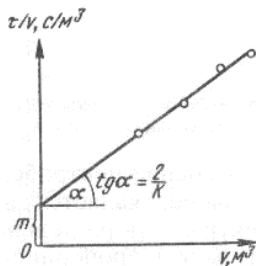
bu erda S - filtr to'siq gidravlik qarshiligini xarakterlovchi filtrlash konstantasi, m^3/m^2 ; K - filtrlash rejimi va suyuqlikdagi cho'kmaning fizik-kimiyaviy xossalarini hisobga oluvchi filtrlash konstantasi, m^2/s .

$$C = \frac{R_{ft}}{r_{ch} \cdot \kappa_{ch}} \quad (3.54)$$

$$K = \frac{2\Delta p}{\mu r_{ch} \kappa_{ch}} \quad (3.55)$$

Agar, (3.53) tenglamaga o'zgartirish kiritsak, ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\frac{\tau}{V} = \frac{2V}{K} + \frac{2C}{K} \quad (3.56)$$



3.15-rasm. Filtrlash konstantasini aniqlashga doir.

Ko'rinish turibdiki, (3.56) tenglik absstissaga α qiya burchak ostida joylashgan to'g'ri chiziq tenglamasi. Ushbu burchak tangensi $tg \alpha = 2/K$ teng va u ordinata o'qida $m = 2S/K$ kesmani ajratadi (3.15-rasm).

Ushbu to'g'ri chiziqni qurish uchun absstissa o'qiga o'lchangan $V_1, V_2, \dots, V_n$ qiymatlari, ordinata o'qiga esa $\tau_1/V_1, \tau_2/V_2, \dots, \tau_n/V_n$ larning tegishli qiymatlari qo'yiladi.

So'ng, aniqlangan K va S qiymatlar yordamida (3.54) va (3.55) tenglamalardan r_{ch} va R_{ft} lar topiladi. Cho'kma va filtrat hajmlarini o'lchash natijasida esa κ_{ch} qiymati topiladi.

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.

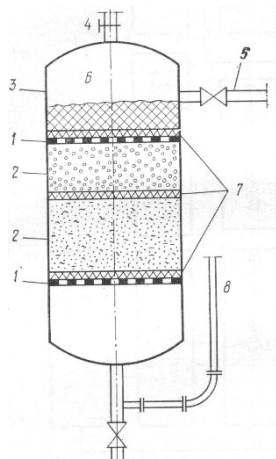
Filtr to'siqlarning turiga qarab, donasimon materiallar, turli gazlamalar va qattiq materiallar (keramika, to'r) yordamida turli jinsli sistemalarni tozalaydigan filtrlarga bo'linadi.

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 stilindrik qobig'ida ikkita to'rli disk bo'lib, ular qurilmani 3 qismga ajratadi: yuqori - sus-

penziya oqib kiruvchi, o`rta - filtrlovchi va quyi - yig`uvchi. Ikkala disk orasida filtrlovchi qum qatlami joylashgan bo`lib, u yirik va mayda frakstiyalardan iborat bo`ladi. Frakstiyalar 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.



3.16-rasm. Qumli filtr.

1 - turli disklar; 2 - qum; 3 - qobiq; 4 - havo jo`mrangi; 5 - suspenziya kirish trubasi; 6 - paxta; 7 - filtr-lovchi to`qima; 8 - filtratnichiqarish trubasi.

Filtrlash tezligi 250...750 kg/(m²· soat).

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.

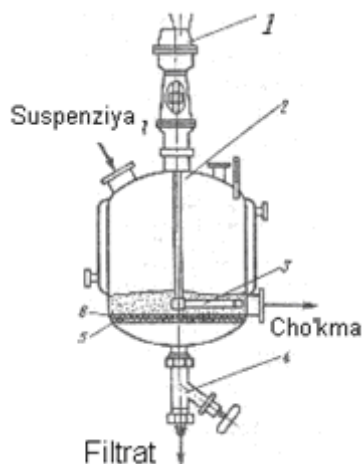
Suspenziya va siqilgan havo alohida shtusterlar orqali uzatiladi. Olingan filtrat esa, to`kish jumragi 4 orqali chiqariladi. Undan tashqari, filtrga saqlovchi jo`mrak ham o`rnatilgan.

Filtrning ish stikli 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.

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 -

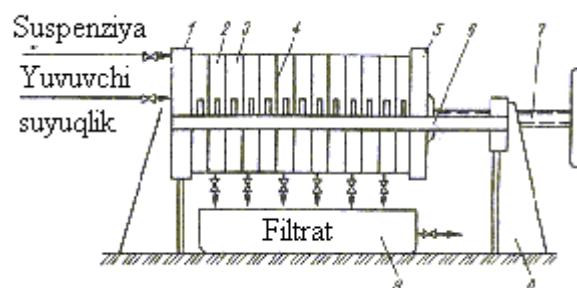
sekin o`zgaradigan, filtr to`siqlar tayyorlash mumkin.

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.



3.17-rasm. Aralashtirgichli nutch - filtr.

1-uzatma; 2-filtr qobig`i; 3-aralashtirgich; 4- to`kish jo`mrangi; 5-filtr to`siq; 6-filtrlovchi to`qima.



3.18-rasm. Romli filtr-press.

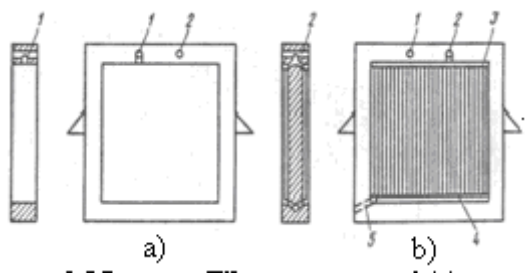
1 - tayanch plita, 2 - rom; 3 - plita; 4 - filtr to`siq; 5 - harakatchan plita; 6 - gorizontaal yo`naltiruvchi; 7 - vint; 8 - stanina; 9 - tarnov.

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.

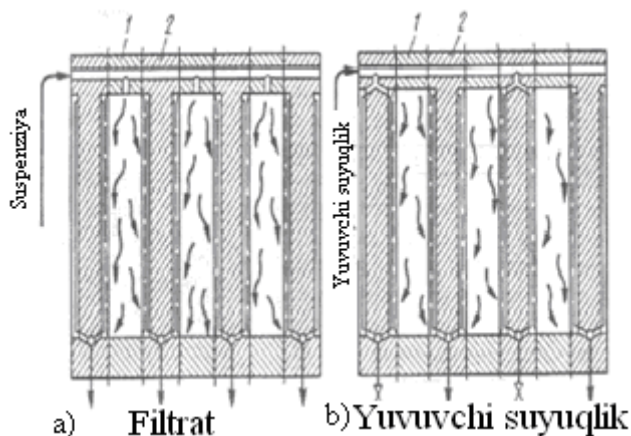
Har bir rom va plitada suspenziyani kiritish va yuvish suyuqligini chiqarish kanallari bor (3.19-rasm).

Plitalarning ikkala tomonida yig'uvchi kanallar 4 bo'lib, yuqori qism drenaj va pastki qismi esa, aylanma kanallar bilan ulangan.



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 shema.

a - filtrlash; b - cho'kma yuvish; 1 - rom; 2-plita.

Suspenziya bosim ostida kanal orqali romning ichkarisiga filtr materialdan o'tadi (3.20 a-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 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. (3.20 b-rasm)

Filtr - pressning ish stikli ushbu jarayonlardan iborat: ishga tayyorlash; filtrlash; yuvish; cho'kmani

to'kish. Davriy ishlaydigan filtr qurilmalarda yordamchi jarayonlarni bajarish uchun ish stiklining 30% ga

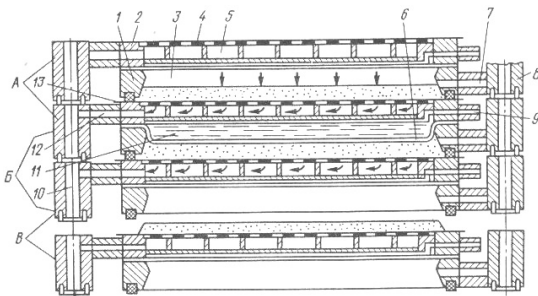
yaqin vaqti sarflanadi va cho'kmani to'kish ko'p mehnat talab qiladi. Bu turdagi filtrlarda filtr to'qimalar

sarfi katta va ularni almashtirish qiyin. Uzluksiz ishlaydigan qurilmalarda ushbu kamchiliklar bartaraf etil-

gan, chunki bu filtrlarda filtrlash, cho'kmani quritish, yuvish, ajratish jarayonlari bir vaqtda sodir bo'ladi.

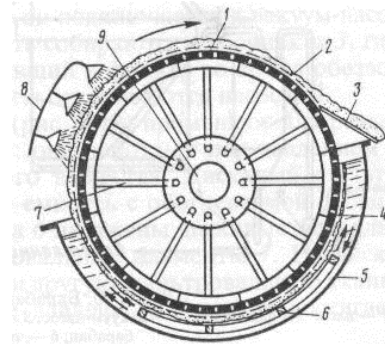
Filtr - press (FPAKM). Bunday filtrda cho'kmani to'kish mexanizastiyalashgan. Ushbu qurilma kamerali, avtomatlashtirilgan filtr bo'lib, temperaturasi 80°S , konstantrostiyasi $10\ldots 500 \text{ kg/m}^3$ li mayin dispers suspenziyalarni ajratish uchun qo'llaniladi. Bu turdagi filtr davriy ishlaydigan 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.



3.22-rasm. Barabanli vakuum - filtr.

1-teshikli baraban; 2-filtr to`qima; 3-cho`kmani kesib turuvchi pichoq; 4-sektsiya; 5-tog`ora; 6-aralashtirgich; 7-truba; 8-suyuqlik purkagich; 9-bosh taqsimlagich.

To`rtburchak filtrlarning bunday joylashuvi solishtirma filtrlash yuzasining ko`payishiga olib keladi.

Agar filtr *A*holatda bo`lsa, kollektor 8 dan kamera 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.

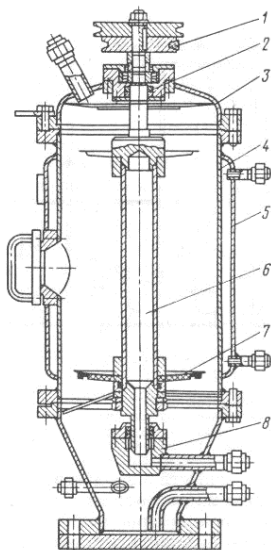
Barabanli vakuum - filtr. Bu turdagi filtrlar konstantastiyasi 50 ... 500 kg/m³ bo`lgan suspenziyalarni uzluksiz ravishda ajratish uchun ishlatiladi (3.22-rasm). Qattiq zarrachalar kristall, tolali amorf va kolloid tuzilishga ega bo`lishi mumkin. Filtr ish unumdorligi qattiq zarrachalar tuzilishiga bog`liq va yuqorida keltirilgan ketma - ketlikda pasayib boradi.

**Filtrning asosiy qismi gorizontal baraban bo`lib, u elektr yuritkich yordamida asta - sekin aylan-tiriladi.** Odatda uning 0,3...0,4 qismi suspenziyalig 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`squinlik qiladi. Baraban ikkita stilindrardan tuzilgan bo`ladi. Tashqi stilindr elaksimon bo`lib, uning ustiga sim to`r tortilgan.

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 stikllarini bevosita filtr ishlashini boshqaruvchi bosh taqsimlagich bilan birlashtirilgan. 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.

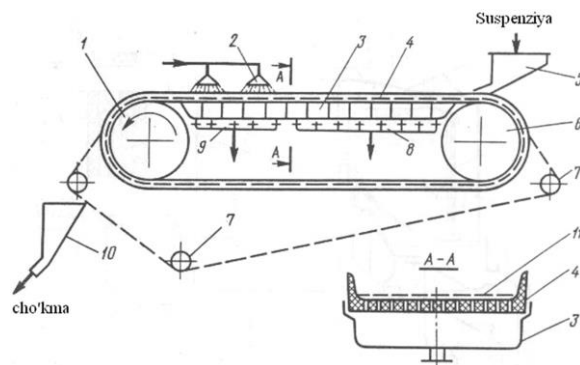
Aylanuvchi diskning har bir teshigi birin-ketin qo`zg`almas diskning teshiklari bilan ulanadi. Shuning uchun baraban bir marta aylananda, filtrlash jarayonining hamma bosqichlari bajariladi. Birinchi bosqichda baraban sekstiyalari vakuum - nasos bilan ulanadi va filtrat idishga tushadi. Keyingi bosqichda baraban sekstiyalari yuvuvchi suyuqlik bilan ulanadi va cho`kma yuviladi. Oxirgi bosqichda baraban sekstiyalari siqilgan havo trubalari bilan ulanib, cho`kma quritiladi va filtrlash yuzasi tozalanadi.

Bu turdagi filtrlarning ishchi yuzasi 5...150 m³ bo`ladi. Kamchiliklari: filtrlash yuzasi katta bo`lgani uchun ko`p joy egallaydi; filtrning narxi qimmat bo`ladi.



3.23-rasm. Diskli filtr.

- 1 - shkiv; 2 - salnikli qistirma;
3 - qopqoklar; 4 - filtr qobiq; 5 - g'ilof;
6 - g'ovak o'q; 7 - filtrlovchi element;
8 - podpyatnik.



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 - fil-
trat chiqarish kollektori; 9 - yuvuvchi
suvni chiqarish kollektori; 10 - cho'kma
yig'gich; 11- filtr to'qima.

Diskli filtr. Bu filtrlar mayin dispers suspenziyalarni ajratish uchun mo'ljallangan bo'lib, qo'shimcha moddalar o'tirindi qatlami bilan bosim ostida ishlaydi. Isitadigan 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 metall dan yasalgan teshikli disk filtr element 7 lar o'rnatilgan (3.23-rasm). Disk-lar, o'z navbatida, polipropilen yoki boshqa filtr to'qima bilan qoplanib, halqasimon qiskichlar yordamida mahkamlanadi.

Diskli filtrlarda qisman quritilgan cho'kmani markazdan qochma kuch yordamida to'kish imkoniyati bor. Filtrlovchi disk-lar 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 suspenzatorida 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'qga tushadi va filtdan

suspenzatorga chiqariladi. Xuddi shu yo'sinda suspenziya filtrlanadi. Jarayon tugagandan so'ng, cho'kma yuviladi va havo yordamida qisman quritiladi.

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.

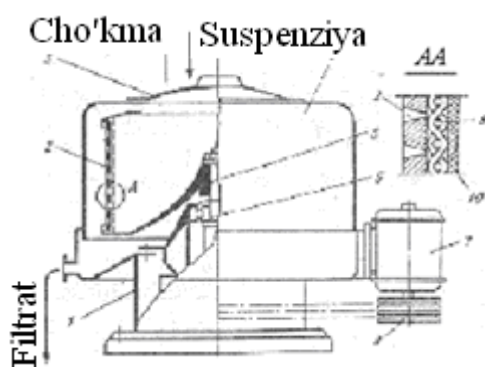
Filtr to'qimaga nov 5 dan suspenziya uzatiladi. Filtrat vakuum ostida kameralarga va kollektor orqali yig'gichga yuboriladi. Hosil bo'lgan cho'kмага purkagich 2 dan yuvuvchi suv beriladi va kameralarga so'rib olinib, so'ng kollektor 9 orqali yig'gich 10 ga chiqariladi.

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 stentrifugalr 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, gravitastion, markazdan qochma va uzilib - uzilib to'kadigan stentrifugalarga bo'linadi.

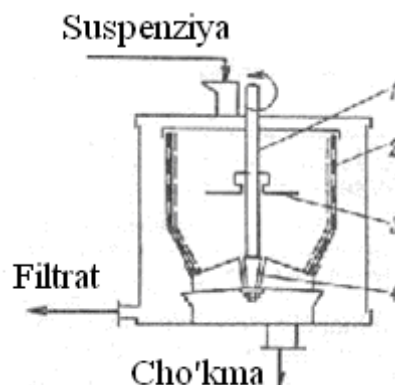
Davriy ishlaydigan filtrlovchi stentrifugada suspenziya baraban tepasidan yuklanadi (3.25-rasm). Suspenziya yuklangandan so'ng baraban harakatga keltiriladi, ya'ni aylantirib boshlanadi. Markazdan qochma kuch ta'sirida suspenziya baraban devoriga uloqtiriladi. Suyuq dispersion faza filtr to'siq orqali o'tadi, cho'kma esa unda ushlanib qoladi. Filtrlash stikli tugaganda so'ng, cho'kma qopqoq 3 orqali qo'l yordamida olib tash-

lanadi.



**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 turi; 10 - filtr to'qima.



**3.26-rasm. Cho'kmani gravitatsion
kuch**

ta'sirida to'kadigan sentrifuga.

1 - o'q; 2 - baraban; 3 - taqsimlovchi disk; 4 - tayanch vtulka.

Cho'kmani o'zi to'kadigan stentrifugada cho'kma gravitatsion kuch ta'sirida qurilmadan chiqarib yuboriladi (3.26-rasm).

Odatda bunday stentrifugalar 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 stikli 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 shtuster orqali chiqariladi.

Uzluksiz ishlaydigan, markazdan qochma kuch ta'sirida cho'kmani to'kadigan stentrifuga 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 uning tuzilishi buzilmaydi.

3.13. Filtrlash jarayonini intensivlash

Xalq xo'jaligida kimyo, oziq - ovqat va boshqa sanoatlar tayyor mahsulotining salmog'i ortib borishi va yuqori gidravlik qarshilikka ega cho'kmalarning turi, miqdorining ko'payib borishi, 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 m², diskli larniki 300 m², lentali filtrlarniki 25 m² gacha etkazilgan.

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 (stilindrik yuzalarda egrilik radiusi kichik cho'kma qatlamlari hosil bo'lganda) va tebranma filtrlash.

Texnologik guruh usullariga quyidagilar kiradi: cho'kma qatlami, bosimlar farqi, suspenziya konstantriyalarining optimal qiymatlarini, hamda uning tarkibidagi qattiq zarrachalarni oldingan mayin va dag'al dispers fraktsiyalarga 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, konstantriya 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 agregirolovchi yoki qo'shimcha moddalar qo'shish, suspenziya solishtirma qarshiligini keskin ravishda 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 tahminlar va suspenziyalarni ajratish qonuniyatlarini soddalashtirishlar asosida ishlab chiqilgan. Shunday tahminlardan 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.

1. 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 tahminan 5 mm (cho'kma xossalriga qarab) deb, qabul qilinsa bo'ladi.

2. $x_{ch}=h_{ch} \cdot F/V$ tenglamadan V ni topamiz:

$$V = \frac{h_u \cdot F}{x_0} \quad (3.57)$$

3. $R_f=0$ deb qabul qilib, V ning qiymatini (3.45) formulaga quyib va uni τ ga nisbatan echib, zarur qalinlikdagi cho'kma hosil qilish vaqtini aniqlaymiz:

$$\tau = \frac{\mu \cdot r_u \cdot h_u^2}{2\Delta p x_u} \quad (3.58)$$

4. Hisoblash tenglamalaridan foydalanib yoki tajriba yo'li bilan yuvish bosqichining davomiyligi τ_{yu} ni topamiz.

5. Baraban sekstiyalari umumiy soni n dan:

a - suvsizlantirish zonasida n_c^1 ta sekstiya;

b - suvsizlantirish zonasida n_c^2 ta sekstiya, cho'kmani to'kish va filtr to'qimani tiklash zonasida n_{tt} ta sekstiya band deb qabul qilamiz.

6. Har bir bosqichning davomiyligi ushbu tenglamalardan aniqlanadi:

a - suvsizlantirish:

$$\tau_c^1 = (\tau + \tau_{\phi}) \frac{n_c^1}{n_{\phi\phi}} \quad (3.59)$$

bu erda $n_{\phi\phi} = n - (n_c^1 + n_c^2 + n_{TT})$ - filtrlash va yuvish zonalaridagi baraban sekstiyalarining soni:

b - suvsizlantirish:

$$\tau_c^2 = (\tau + \tau_{\phi}) \frac{n_c^2}{n_{\phi\phi}} \quad (3.60)$$

cho'kmani to'kish va filtr to'qimani tiklash:

$$\tau_{TT} = (\tau + \tau_{\phi}) \frac{n_{TT}}{n_{\phi\phi}} \quad (3.61)$$

7. Ushbu tenglikdan stiklning umumiy davomiyligi $\tau_{st}(s)$ hisoblanadi:

$$\tau_u = \tau + \tau_c^1 + \tau_c^2 + \tau_{\phi} + \tau_{TT} \quad (3.62)$$

8. Barabanning aylanish tezligi w (ayl/min) esa, quyidagi nisbatdan topiladi:

$$w = \frac{60}{\tau_u} \quad (3.63)$$

9. Filtrlash zonasining markaziy burchagi quyidagiga teng bo`ladi:

$$\theta = \frac{360 \cdot \tau}{\tau_y} \quad (3.64)$$

10. Filtrning ish unumdorligi Q ($m^3/sutka$):

$$Q = \frac{3600 \cdot 24 \cdot V}{\tau_y} \quad (3.65)$$

11. Agar, filtrat bo`yicha umumiy ish unumdorlik  $Q_{um}$  ma`lum bo`lsa, zarur barbanli vakuum - filtrlar soni ushbu nisbatdan aniqlanadi:

$$N_\phi = \frac{Q_{ym}}{Q} \quad (3.66)$$

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.

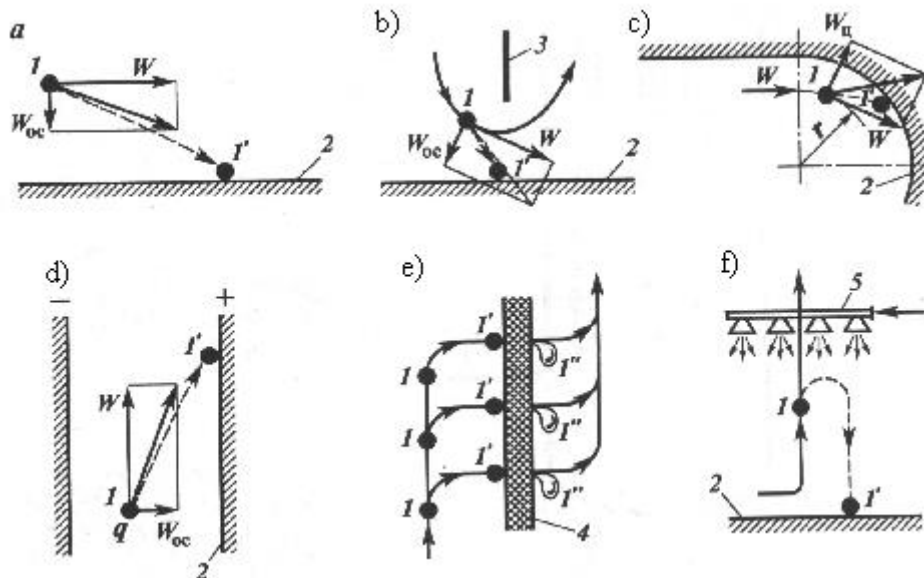
Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarning asosiy texnologik jarayonlaridan biri ifloslangan gazlarni tozalashdir. Shuning uchun, turli jinsli gaz sistemalarni ajratish kimyoviy texnologiyaning dolzarb va eng keng tarqalgan asosiy jarayonlaridan biridir.

Sanoat miqyosida chang hosil bo`lishining manbalari: qattiq jismlarni mexanik maydalash (chaqish, ezish, arralash, edirilish va ularni uzatish), yoqilg`ilar yonishida (kul hosil bo`lish), bug`lar kondensastiyalanishida, 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 kondensastiyalanishi natijasida 0,001...1 mkm o`lchamli mayda suyuqlik tomchilari hosil bo`ladi.

Gazlarni quyidagi tozalash usullari ma`lum:

1. og`irlik kuchi ta`sirida cho`ktirish (gravitastion tozalash);
2. inerstiya 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).



3.26 – rasm. Gaz oqimidagi zarrachalarni ajratib olishning asosiy usullari.

a- og'irlik kuchi ta'sirida cho'ktirish; b- inercion kuchlar ta'sirida cho'ktirish; v- markazdan qochma kuch ta'sirida cho'ktirish; d - elektr maydoni ta'sirida cho'ktirish; e - filtrash; f- 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.

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:

$$\eta = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100\% = \frac{V_1 x_1 - V_2 x_2}{V_1 x_1} \cdot 100\% \quad (3.67)$$

bu erda 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, m³/soat; x_1 va x_2 – boshlang'ich va tozalangan gazda qattiq zarrachalar konsentratsiyasi, kg/m³.

Gazsimon turli jinsli sistemalarni tozalash jarayonining nazariy asoslari 3.1... 3.13 paragraflarda bayon etilgan.

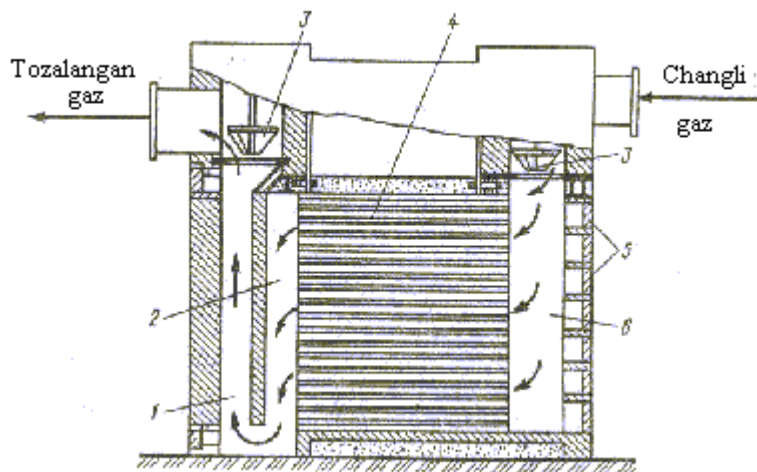
3.16. Og'irlik kuchi ta'sirida gazlarni tozalash

Cho'ktirish jarayonini hisoblashda 3.4 paragrafda keltirib chiqarilgan, ya'ni qattiq zarrachalarni suyuqliklarda cho'kishi ifodalovchi tenglama va qonuniyatlar qo'llaniladi.

Changlarni (dag'al tozalash uchun) tozalash uchun davriy va uzduksiz ishlaydigan qurilmalardan foydalaniladi. Chang cho'ktirish kamerasi bu turdagi asosiy qurilmalardan biridir.

Chang cho'ktirish kamerasi ichida gorizontalk tokchalar joylashtirilgan bo'lib, to'g'ri to'rtburchak shakldagi asosiy qismdan iborat (3.27-rasm).

Chang, rostlovchi klapan 3 orqali so'rish kanali 6 ga kiradi va gorizontalk tokchalar 4 orasiga taqsimlanadi. Tokchalar orasidagi masofa 100...4000 mm bo'ladi.



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.

Tokchalarning asosiy vazifasi chang zarrachalari 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.

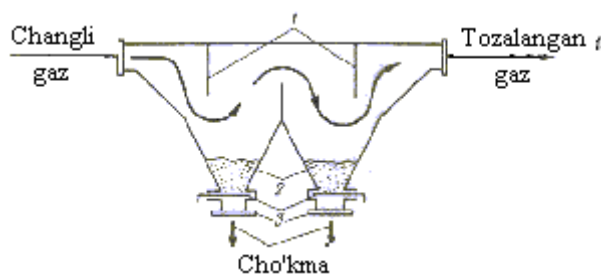
Chang cho'ktirish kamerasida faqat gazlardan yirik zarrachalarni ajratish mumkin, ya'ni dag'al tozalash uchun qo'llash maqsadga muvofiqdir. Shuning uchun, bu turdagi qurilmalar dastlabki tozalash uchun, ya'ni qattiq zarrachalar o'lchami 100 mkm dan katta bo'lgan gazsimon turli jisimli sistemalarni ajratish uchun mo'ljallangan. Qurilmaning tozalash darajasi - 30...40%.

Hozirgi kunda ushbu turdagi qurilmalar qo'polliigi va samadorligi past bo'lgani uchun zamonaviy va mukammal tozalash qurilmalari bilan almashtirilmogda.

3.17. Inerstiya va markazdan qochma kuchlar ta'sirida gazlarni tozalash

Inerstiya kuchlari ostida gazlarni tozalash qaytaruvchi to'siqli tindirgich va markazdan qochma kuchlar ta'sirida ishlaydigan siklonlar konstruktiviyasi asosida yotibdi.

Qaytaruvchi to'siqli tindirgich yirik dispersli changlarni ajratish uchun mo'ljallangan (3.28-rasm).



3.28-rasm. Qaytaruvchi to'siqli tindirgich.

1 - qaytaruvchi to'siqlar; 2 - chang yig'gich;
3 - shiberlar.

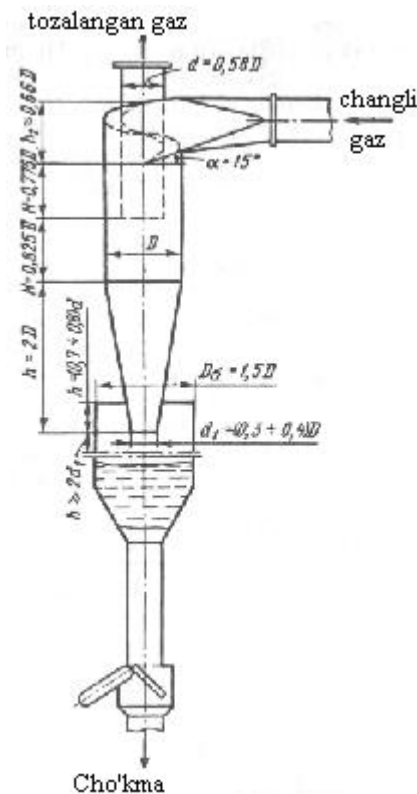
Qaytaruvchi to'siqlar gaz oqimini uyurmalanishi uchun xizmat qiladi. To'siqlardan o'tish paytida hosil bo'ladigan inerstiya kuchlari qattiq zarrachalarni intensiv cho'kishiga sababchi bo'ladi. Yig'gich 2 ga to'plangan qattiq zarrachalar shiber 3 yordamida chiqarib yuboriladi. Bunday qurilmalar gaz o'tkazish sistemalarida o'rnatiladi. Inerstiya kuchlari asosida ishlaydigan chang tozalash qurilmalarining tuzilishi sodda va ixcham. Tozalash darajasi 60%, cho'ktirilayotgan zarrachalar o'lchami 25 mkm va undan yuqori.

Siklonlar markazdan qochma kuchlar maydonida changlarni tozalash imkonini beradi.

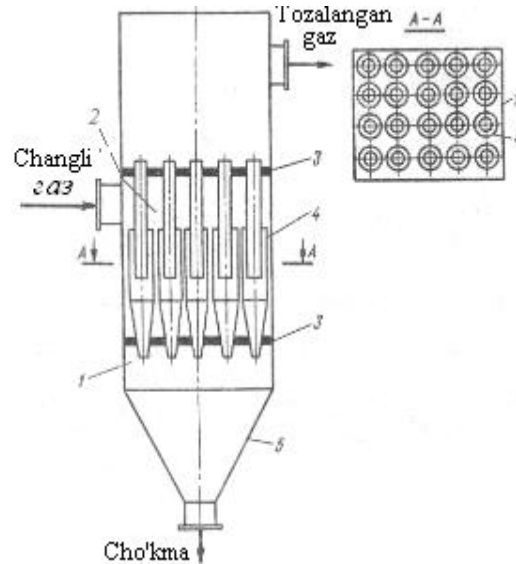
Mashinasozlik korxonalarida qobig'ining diametri 100...1000 mm li siklonlar tayyorlanadi. Ularning ishlash

samaradorligi ajratish koefitsienti bilan xarakterlanadi. Changlarni tozalash darajasi siklon konstruktiviyasi, 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.



3.29-rasm. NIOGaz sikloni.



3.30-rasm. Batareyali siklon.

1 - qobiq; 2 - gaz taqsimlash kamerasi;
3 - panjara; 4 - siklon elementi; 5 - bunker.

Siklon kichik gidravlik qarshilik va nisbatan yuqori tozalash darajasiga ega bo'lgan stilindrik 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 inerstiya 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 tuba orqali siklondan tashqariga chiqib ketadi.

Siklonlarning aniq hisobi juda murakkab bo'lgani uchun gidravlik qarshilik Δr parametri bo'yicha soddalashtirilgan hisoblar qilinadi.

Siklonning stilindrik qismidagi gazning soxta tezligi w_f (m/s) quyidagi formula yordamida aniqlanishi mumkin:

$$w_\phi = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_c \cdot \xi}} \quad (3.68)$$

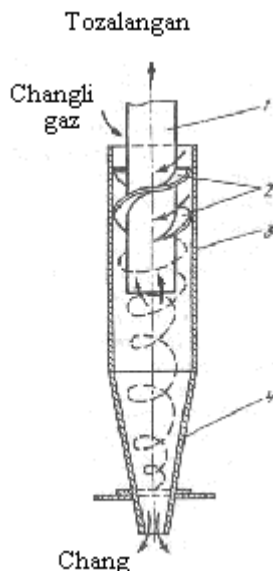
bu erda $\Delta r/\rho_g$ - ajratish faktori; ξ - gidravlik qarshilik koefitsienti.

3.29-rasm keltirilgan siklonlar uchun $\Delta r/\xi = 500...700 \text{ m}^2/\text{s}^2$.

Siklon diametri D (m) ushbu formuladan topiladi:

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot w_\phi}} \quad (3.69)$$

Siklonning stilindrik qismi diametri D aniqlangandan so'ng, qolgan o'lchamlari hisoblanadi, chunki hamma o'lchamlar siklon diametri D ning funkstiyasidir.



3.31-rasm. Batareyali siklon elementi.

1 - markaziy chiqish trubasi; 2 - vintli parraklar;
3 - qobiq; 4 - konussimon tub.

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.

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 patrubi orqali yuborilgan chang gaz taqsimlash kamerasiga kiradi va u erdan 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 erga vintli parraklar o'rnatiladi (3.31-rasm).

Siklon elementlaridan o'tib tozalangan gazlar markaziy tuba 1 orqali umumiy kameraga yig'iladi va chiqish shtusteridan tashqariga uzatiladi.

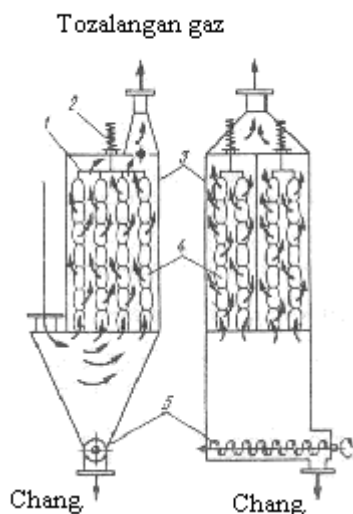
Hamma siklon elementlarida ushlanib qolingani qattiq zarrachalar batareyali siklonning pastki qismi 5 da to'planadi va undan so'ng tashqariga to'kiladi.

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

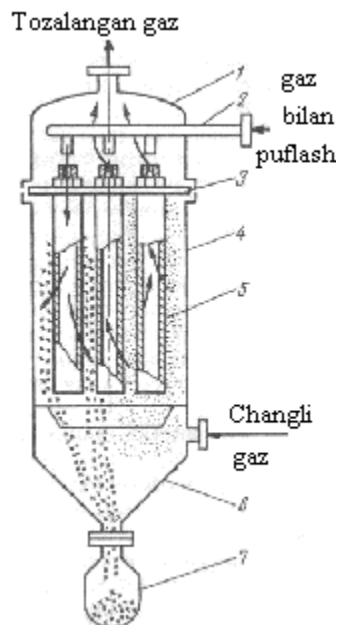
Filtrlovchi to'siq turiga qarab egiluvchan, yarim qattiq, qattiq g'ovak to'siqli va donador qatlamli filtrlar bo'ladi.

Yumshoq filtrlovchi to'siqli filtrlarga engli yoki qopli filtrlar kiradi va ular gazlarni 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.



3.32-rasm. Engli filtr.

- 1 - rom; 2 - silkituvchi mexanizm;
3 - qobiq; 4 - eng; 5 - shnek.



3.33-rasm. Patronli filtr.

- 1 - qopqoq; 2 - kollektor; 3 - truba panjarasi;
4 - qobiq; 5 - filtrlovchi element; 6 - tub;
7 - chang yig'gich.

Batareyali engli filtr. Bu turdagi qurilmalarning filtrlovchi elementi to'qima materialdan yasaladi (3.32-rasm). Filtrlovchi eng va qoplar 4 to'rtburchak shaklidagi qobiq 3 ning umumiy romi 1 ga osilib qo'yiladi. Pastdan yuqoriga qarab harakat qilayotgan changli gaz filtrlovchi englarning uchidagi ochiq teshikdan ichiga kiradi. So'ng, stilindr englarining yon tomon yuzasidan o'tayotganida gaz tozalanib chiqib ketadi, qattiq zarrachalar esa engning ichki devorida ushlanib qoladi.

Foydalanish jarayonida chang qatlami ortib boradi va filtrning qarshiligi kattalashadi. Filtr englarini qayta tiklash uchun vaqti – vaqti bilan mexanizm 2 yordamida silkitib turish zarur. Shunda, englar yuzasida o'tirib qolgan changlar to'kiladi va shnek 5 yordamida tashqariga chiqariladi. Ba'zi bir hollarda englarni qayta tiklash uchun filtr elementlar siqilgan havo yoki gaz yordamida qarama-qarshi yo'nalishda puflab tozalanadi. Ba'zi hollarda sekstiyali filtrlar ham ishlatiladi. Bunda har sekstiya o'zining silkituvchi mexanizmiga ega bo'ladi. Bu esa, filtr sekstiyalarni ketma - ket tozalash imkonini beradi, ya'ni filtr qurilmani to'xtatmasdan filtr elementlarini qayta tiklash jarayonini amalga oshirsa bo'ladi.

Uzluksiz ishlaydigan engli filtrlarning filtrlash tezligi $0,007...0,017 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ga teng. Lekin, filtrlovchi to'qimalar uzluksiz ravishda qayta tiklanishi tufayli filtrlash tezligi $0,05...0,08 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ gacha ortadi.

Eng keng tarqalgan engli filtrlarning gidravlik qarshiligi $1,5...2,5 \text{ kN/m}^2$ ($150...250 \text{ mm. suv ust.}$).

Agar engli filtrlardan to'g'ri foydalanilsa, gazlarni mayin, dispers changlardan tozalash darajasi $98...99\%$ ni tashkil etadi.

Englar tabiiy, sintetik va mineral materiallardan tayyorlanadi. Masalan, 80°C dan past temperaturalarda paxta, bo'zdan, 110°S dan past temperaturalarda jundan, $130...140^\circ\text{S}$ da poliamid, polietilen, poliakrilnitril tolalaridan, 275°S gacha politetraftoretillen va fluoroplastdan, 400°S gacha shisha tolalaridan yasalgan filtrlovchi englar ishlatiladi.

Kamchiliklari: englar tez ishdan chiqadi va kanallari to'lib qoladi; yuqori temperaturali va nam gazlarni tozalash mumkin emas.

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.

Sekstiyalarga biriktirilgan kassetalar past konstantstiyali $0,001...0,005 \text{ g/m}^3$ 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.

Cilindrik 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 stilindrik halqasimon yoki tekis shaklda bo'lishi

mumkin.

Chang filtrlovchi elementdan o'tib, tozalangan gaz qurilmaning yuqori qismidagi shtusterdan 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 jaraeni davom ettiriladi.

Qayta tiklash paytida patronidan puflab chiqarilgan changlar konussimon tub 6 dan chang yig'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

$$F = \frac{V}{V_{sol}} \quad (3.70)$$

bu erda V - changli gazning hajmiy sarfi, m^3/s ; V_{sol} - filtrlarning solishtirma tezligi, $m^3/(m^2 \cdot s)$;

Filtrlovchi elementlar soni esa, ushbu tenglikdan topiladi:

$$n = F(\pi dl) \quad (3.71)$$

bu erda d va l - engning diametri va uzunligi.

Donador qatlamli filtrlar. Bunday filtrlarda davriy, qo'zg'almas yoki uzluksiz harakatdagi filtrlovchi qatlam sifatida maydalangan koks, kvarst qum, shlak, shag'al va boshqa materiallar qo'llanishi mumkin.

Filtrlovchi qatlam panjara yoki to'r orasidagi sekstiyada, gorizontol yoki vertikal holatda o'rnatilishi mumkin.

3.16-rasmda uzluksiz ishlaydigan qumli filtr konstruktiviyasi 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 kondensastiyalanib, zarrachalar namlanadi va ularning zichligi ortadi. Natijada qattiq zarrachalar gazdan oson ajraladi. Bunda, zarrachalar kondensastiyalanish 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.

Suyuqlik bilan yuvib tozalovchi qurilmalarda, ularning konstruktiviyasiga 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, stilindrsimon yoki to'g'ri to'rtburchak shakldagi kolonnalar ko'rinishida bo'ladi.

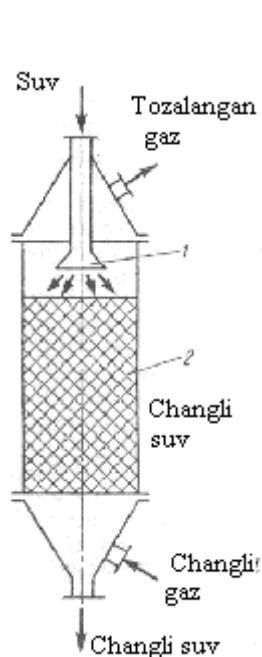
Ichi bo'sh scrubberlarga changli gaz qurilmaning pastki qismidan 0,8...1,0 m/s tezlikda kiritiladi. Gaz o'z yo'nalishini o'zgartirib, yuqoriga qarab harakat qiladi. Scrubberning tepa qismidagi purkagichdan suv yoki boshqa suyuqlik sochilib, og'irlik kuchi ta'sirida mayda tomchilar pastga qarab yo'naladi. 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 oqava suv hosil qilib, pastga tushadi. Tozalangan gaz scrubberning tepa qismidagi shtusterdan chiqib ketadi. Oqava suv qurilmaning tubidagi shtuster orqali tozalashga chiqarib yuboriladi.

Ichi bo'sh scrubberda gazlarning tozalanish darajasi 60...75% ni tashkil etadi. Nasadkali scrubberlarda qobig'ning ichiga nasadkalar ma'lum bir tartibda yoki tartibsiz o'rnatiladi (3.34a-rasm).

Tozalash jarayoni intensivligi va tezligini oshirish uchun scrubberlarga albatta nasadkalar joylashtiriladi. Nasadkalar qo'llanilishi natijasida gaz va suyuq fazalar o'rtasida urinishlar ortadi, ya'ni to'qnashuv yuzasi oshadi. Odatda scrubberlarga halqasimon yoki xordali nasadkalar o'rnatiladi. Ayrim hollarda esa, koks yoki kvarst bo'laklaridan hosil qilingan qatlam, nasadka sifatida ishlatilishi mumkin. Nasadkali scrubberlarda

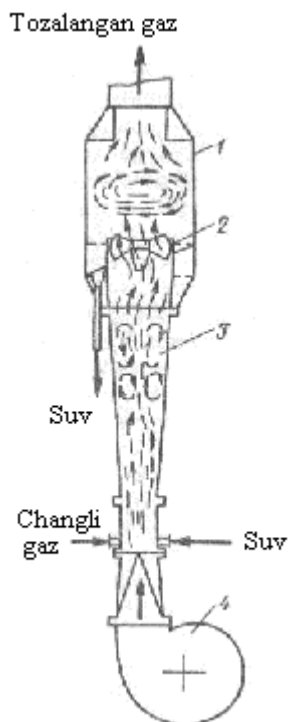
gazlarning tozalanish darajasi 75...85%.

Venturi skrubberlari. Bu turdagi skrubber ikki qismdan (3.34-rasm): Venturi trubasi 3 va ajratgich 1 dan tarkib topgan bo'ladi. Venturi trubasi 3 da gaz tozalansa, ajratgich 1 da esa - suv tomchilari gaz oqimidan ajratiladi.



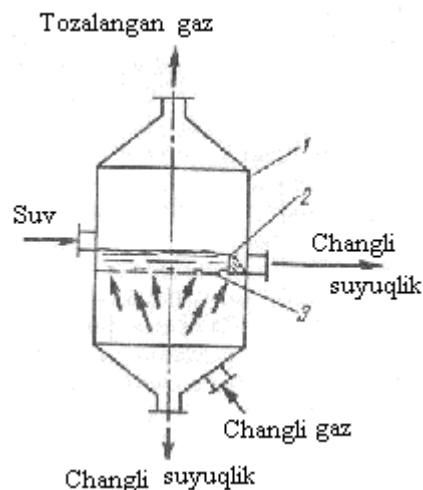
3.34a-rasm. Nasadkali skrubber.

1 - purkagich; 2 - nasadka.



3.34b-rasm. Venturi skrubberi.

1 - ajratgich; 2 - oqimni uyurmaltiruvchi moslama; 3 - Venturi trubasi; 4 - ventilyator.



3.35-rasm. Ko'pikli skrubber.

1 - qobiq; 2 - rostlovchi ostona; 3 - teshikli tar

Tozalanishi zarur bo'lgan gaz, qurilmaning paski qismidan patrubbkaga 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 uyurmaltiruvchi moslama xizmat qiladi. Ajratgichda ajratib olingan suyuqlik yig'gichga oqib tushadi. Tozalangan gaz esa, skrubberning tepa qismidagi patrubbkadan 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 qurilmaga 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).

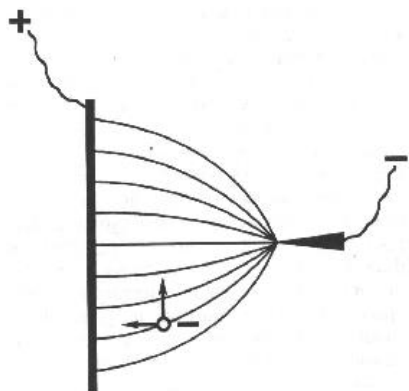
Ko'pikli (barbotajli) chang ushlagichlar tarelkali skrubber ko'rinishida bo'ladi. Changli gaz qurilmaning pastki qismidagi shtuster orqali yuboriladi va u tepaga qarab harakat qiladi. Qurilma stilindrik qobiq 1 ning o'rtasida joylashgan shtuster orqali yuvuvchi suv (yoki suyuqlik) teshikli tarelka ustiga 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 iltirish imkoniyati yuqori. Shuning uchun ham, ko'pikli chang ushlagichlarda changli gazlarning tozalanish darajasi yuqori. Gazning tozalanish darajasiga qarab qurilmadagi teshikli tarelkalar soni aniqlanadi.

Ko'pikli qatlamda changning asosiy miqdori (~80%) suyuqlik bilan ushlanadi va ko'pik bilan birga rostlovchi ostona 2 orqali chiqariladi. 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 shtuster 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.

3.20. Elektr maydon ta'sirida gazlarni tozalash

Jarayonning fizik asoslari. Elektr maydon ta'sirida gazlarni tozalash elektr razryadi yordamida gaz molekulalarining ionizastiya qilinishiga asoslangan.

Agar, gaz yuqori kuchlanishli o'zgarmas tokga ulangan ikki elektrod orasida hosil bo'lgan elektr maydoniga gaz yuborilsa, uning molekulalari ionizastiyaga 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 elektronlarga parchalaydi. Yangidan hosil bo'lgan zaryadlar ham o'z harakat yo'nalishida gazlarni ionizastiyaga duchor qiladi. Natijada to'xtovsiz ravishda ion hosil bo'ladi va hamma gaz ionizastiyalanadi. Bunday jaraen **zarbali ionizastiya** deb nomlanadi.

Gaz to'liq ionizastiyaga 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 ionizastiyaga oid maydon kuchlanganligida elektrodlar orasida "tojli" razryad hosil bo'ladi. Bunda butunlay ionizastiyaga uchragan gaz qatlami cho'g'lanib, nur va charsillangan 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 elektrodلarga 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.

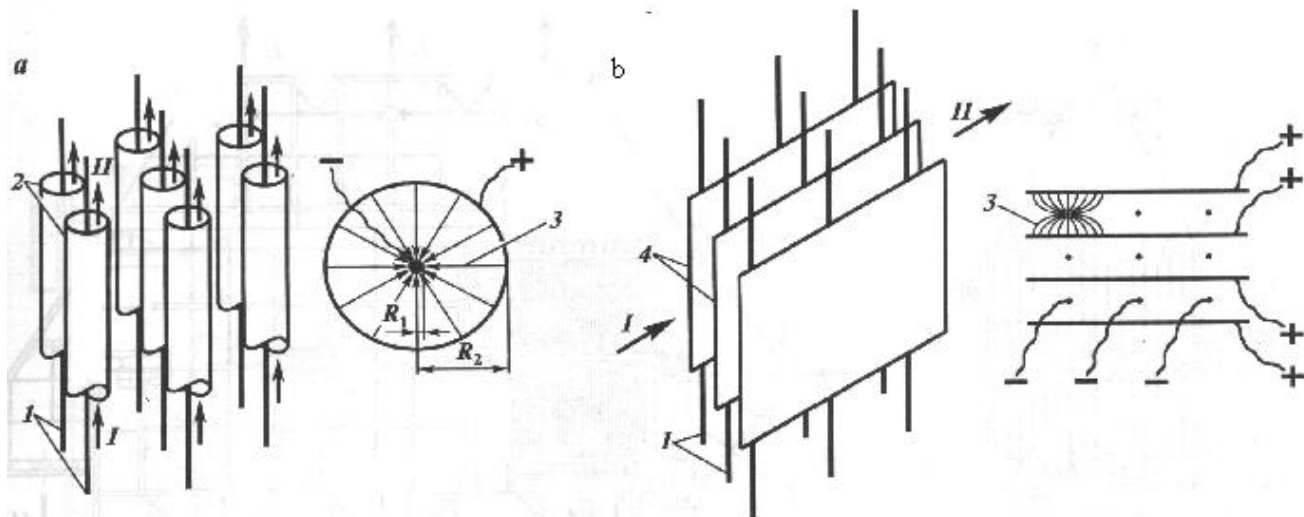
Manfiy ion va erkin elektronlar cho'ktiruvchi elektrod tomon yo'naladi. Yo'l-yo'lakay chang va tomchilar bilan to'qnashib, ularga o'z zaryadini o'tkazadi va cho'ktiruvchi elektrod tomon olib ketadi. Natijada chang yoki tuman zarrachalari shu elektrodda cho'kadi. Gazdagi chang zarrachalarining asosiy qismi manfiy zaryadlanadi, chunki musbat ionlarga qaraganda harakatchan manfiy elektron va ionlar cho'ktiruvchi elektrodda etguncha katta masofani bosib o'tadi. Shuning uchun ham, gazdagi zarrachalar bilan ularning to'qnashishi 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 elektrodda etganda, 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 elektrodلarga 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, engli 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 erga ulanadi.



Trubali (a) va plastinali (b) elektrodlar.

1-«tojli» elektrod; 2-choʻktiruvchi trubali elektrod; 3-kuch yoʻnalishlari;
4-choʻktiruvchi, plastinali elektrod. I-changli gaz; II-tozalangan gaz.

Elektrodlar oʻzgarmas tok manbasiga ulanganda 4...6 kV/sm ga teng potentsiallar farqi hosil boʻladi. Bu qiymat katodning 1 m uzunligida 0,05...0,5 mA tok zichligini taʼminlaydi.

Gazli aralashma trubali-elektrod ichiga yoki plastinalar orasiga uzatiladi. Elektrodlardagi yuqori potentsiallar farqi va elektr maydonining turli jinsliliigi tufayli manfiy elektrod-katod atrofida gaz qatlamida anodga qarab yoʻnalgan elektronlar oqimi hosil boʻladi. Natijada gaz neytral molekullarining elektronlar bilan toʻqnashuvi tufayli gaz ionizastiyaga uchraydi. Ionizastiya oʻz 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 choʻkadi va uni choʻkma qatlami bilan qoplaydi. Elektr maydoni taʼsirida choʻktirish tezligi sekundiga bir necha santimetrdan bir necha oʻnlab santimetrgacha oraliqda boʻladi. Choʻktirish tezligi zarracha oʻlchami va gazning gidravlik qarshiligiga bogʻliq.

Elektr maydonida zarrachalarning choʻkish tezligini aniqlash uchun jarayon laminar rejimda amalga oshadi deb qabul qilamiz.

Elektr maydoni zaryadlangan zarrachaga $F = ne_0 E_x$ (bu erda n - zarracha olgan zaryad; e_0 - elementar zaryad kattaligi; E_x - katod oʻqidan x masofadagi elektr maydon potentsiali gradienti) kuch bilan taʼsir etadi.

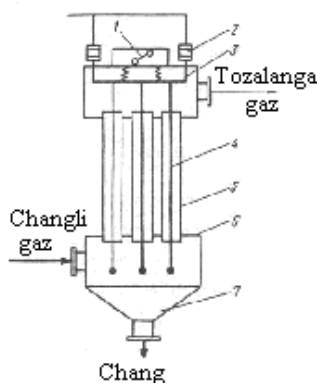
Elektr maydon taʼsirida zarrachaning choʻkish tezligi ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$w_q = \frac{ne_0 E_x}{3\pi d\mu} \quad (3.72)$$

Zarrachaning choʻkish davomiyligi:

$$\tau_q = \int_r^R \frac{dx}{w_q} \quad (3.73)$$

bu erda: R - katod oʻqidan anod oʻqigacha boʻlgan masofa; r - katod radiusi.



3.36-rasm. Trubali elektrofiltr.

1 - silkituvchi moslama; 2 - izolyator;
3 - rom; 4 - "toj" hosil qiluvchi elektrod;
5 - trubali elektrod - anod; 6 - teshikli
panjara; 7 - chang yigʻich.

Elektr maydon potentsiali gradienti E_x katodgacha boʻlgan masofa x ga bogʻliq. Shuning uchun, zarrachalarning choʻkish vaqti (3.73) tenglamani grafik integrallash usuli bilan aniqlanadi.

Trubali elektrofiltrlar. Chang va tutun gazlari qurilmaning pastki qismi boʻlmish elektrodlar mahkamlangan teshikli panjara (6) tagiga uzatiladi va trubali elektrod (anod)lar ichiga taqsimlanadi (3.36-rasm).

Trubali elektrodlar ichiga "toj" hosil qiluvchi elektrod-katodlar oʻrnatilgan. Elektrodlar izolyatorga tayanib turuvchi umumiy romda mahkamlanadi. Elektr maydoni taʼsirida gaz tarkibidagi zarrachalar choʻkadi. Anodga choʻkib, qatlam hosil qilgan zarrachalar vaqti-vaqti bilan silkitib turiladi va qurilmaning pastki qismidagi konussimon tubda yigʻiladi. Yigʻilgan chang zarrachalardan iborat choʻkma pastki shtusterdan toʻkiladi, tozalangan gaz

esa - filtrning tepa qismidagi shtusterdan atrof muhitga chiqarib yuboriladi.

Hozirgi kunda, bir nechta ketma - ket ulangan sekstiyalardan gaz o`tdigan sekstiyali 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 konstantastiyasi 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 konstantastiyasini pasaytirish uchun elektrofiltrdan oldin qo`shimcha gaz filtrlar o`rnatiladi.

Plastinali elektrofiltr elektrodlariga cho`kgan 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 erda i - tok zichligi; L - elektrod uzunligi.

Quyida keltirilgan tenglamadan potentsialning kritik gradienti topiladi:

$$E_K = 31 + 9,54 \sqrt{\frac{\sigma}{r}} \quad (3.74)$$

bu erda: σ - bosim 0,1 MPa da ushbu sharoitdagi havo zichligining 25°S temperaturadagi zichligiga nisbati.

Agar, elektrodlar orasidagi masofani bilsak, elektrodlardagi potentsiallar farqini topish mumkin.

Gazlarni tozalanish darajasi ushbu umumiy formula yordamida aniqlanishi mumkin:

$$\eta_s = 1 - \frac{x_2}{x_1} = 1 - e^{-wf} \quad (3.75)$$

bu erda: x_1 va x_2 - elektrofiltrlarga kirayotgan va undan chiqayotgan gazlarda qattiq zarrachalar konstantastiyasi, kg/m³; w - elektrod yuzasiga qarab harakat qilayotgan zaryadlangan zarracha tezligi, m/s; f - solishtirma cho`kish yuzasi, m²/(m³/c).

Trubali elektrofiltrlar uchun:

$$f = \frac{2l}{rw} \quad (3.76)$$

Plastinali elektrofiltrlar uchun:

$$f = \frac{l}{hw} \quad (3.77)$$

bu erda: 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/c.

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 koagulyastiya* qo`llanishi mumkin, ya`ni gaz aralashmasiga akustik tebranma tovush va ultra tovush chastotalarini ta`sir ettirish kerak. Tovush va ultra tovushlarning 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 kGst bo`lgan akustik ta`sir beriladi.

Zarrachalar o`lchamini kattalashtirishning boshqa usullari ham bor. Masalan, qattiq zarrachalarda suv bug`larini kondensastiyalash. Buning uchun, issiq gaz oqimiga o`ta mayda sovuq suv tomchilarini purkash,

sovuq gaz oqimiga sovuq suv sochish 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 fraktsiya tarkibi va hokazo.

Quyidagi 3-2 jadvalda gaz tozalash qurilmalarining ayrim o'rtacha xarakteristika-lari keltirilgan.

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 kochma skrubberlar	0,05	> 2	90...95	400...800
Engli 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	3000...7000
Elektrofiltr	0,01...0,05	> 0,005	99...99,9	100...200

Jadvaldagi ma'lumotlardan ko'rinib turibdiki, siklon va inerston 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'lmazligi 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 engli filtrlarda to'liq tozalash maqsadida ishlatiladi. Undan tashqari, bunday dag'al tozalash ventilyator parraklarini emirilishdan saqlaydi.

Siklon va batareyali siklonlarni yuqori konsentratsiyali gazlarni tozalash uchun, batareyali siklonlarni gazsimon turli jinsli sistemalarning sarfi katta bo'lganda qo'llash tavsiya etiladi.

Zarracha o'lchamlari 1 mkm dan ortiq, quruq va qiyin ho'llanadigan changlarni mayin tozalash uchun engli filtrlardan foydalaniladi. Lekin, bu 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.

Lekin, 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 havfi 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 m³ 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 etarli 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, engli 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, ya'ni changli gazni uzatish uchun energiya sarfi shuncha ko'p bo'ladi.

Shuning uchun, har bir aniq holatda qurilmani tanlash ko'pgina ko'rsatkichlarni hisobga olishni taqozo etadi.

QO'ZFALMAS VA MAVHUM QAYNASHQATLAMLARI GIDRODINAMIKASI

3.22. Umumiy tushunchalar

Kimyo va oziq - ovqat texnologiyasi 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; absorbtion va rektifikastion 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 nisbatantartibsiz 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 xossalariining 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 va oziq - ovqat sanoatlarining barcha korxonalarida mavhum qaynash jarayonlari keng ko'lamda qo'llanilmoqda. Ushbu jarayon aralashtirish, uzatish, sochiluvchan materiallarni klassifikastiyalash, issiqlik almashinish, quritish, adsorbstiya, absorbtstiya, 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 konstentrastiyalarining tekislanishiga olib keladi. Bu hol o'z navbatida jarayonni optimal tashkil etishga halaqit 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 oralikda 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 sekstiyada zarracha va ishchi eltkichlarning bo'lish vaqti bir xil emas;

- mavhum qaynash qatlamida zarrachalar bir - biriga urilishi natijasida ediriladi;

- zarrachalarni edirilishi 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 havfini 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 erda V - donasimon qatlam hajmi, m^3 ; V_0 - qatlam zarrachalari egallagan hajm, m^3 .

Agar, biror qurilmada donasimon materiallar balandligi N (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 - FNa 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_e marta ortiq bo'lsa, kanallar uzunligi $\alpha_K N$ va qatlamning bo'sh ko'ndalang kesimi $FH\varepsilon/\alpha_e H = F\varepsilon/\alpha_e$ (bu erda α_e - kanallarining egrilik koeffitsienti).

Bo'sh ko'ndalang kesimning ho'llangan perimetri kanallar umumiy yuzasini ularning o'rtacha uzunligiga bo'lish yo'li bilan topiladi, ya'ni $P = FHa/\alpha_K H = Fa/\alpha_K$.

Agar, qatlamning bo'sh ko'ndalang kesimi va ho'llangan perimetri ma'lum bo'lsa, ekvivalent diametrni ushbu tenglamadan aniqlasa bo'ladi:

$$d_s = \frac{4F}{\Pi} = \frac{4 \cdot \left(\frac{F\varepsilon}{\alpha_K} \right)}{\frac{Fa}{\alpha_K}} = \frac{4\varepsilon}{a} \quad (3.78)$$

Ekvivalent diametr d_e 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 :

$$V_3 = \frac{1-\varepsilon}{n} = \frac{\pi d^3}{6}$$

yuzasi esa:

$$F_3 = \frac{a}{n} = \frac{\pi d^2}{f}$$

bu erda d - zarracha hajmiga teng ekvivalent sharning diametri; f - shakl koeffitsienti (shar uchun $f = 1$).

Unda, zarracha yuzasining hajmiga nisbati ushbu ko'rinishdan topiladi:

$$\frac{a}{1-\varepsilon} = \frac{6}{df}$$

bundan

$$a = \frac{6 \cdot (1-\varepsilon)}{fd} \quad (3.79)$$

Agar, (3.79) ni (3.78) tenglamaga qo'ysak, quyidagi formulani olamiz:

$$d_s = \frac{2f\varepsilon d}{3 \cdot (1-\varepsilon)} \quad (3.80)$$

Polidispers zarrachalardan tarkib topgan qatlam uchun diametr d ushbu nisbatdan hisoblab topiladi:

$$d = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}} \quad (3.81)$$

bu erda 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:

$$w = \frac{w_0}{\varepsilon} \quad (3.82)$$

Suyuqlik donasimon qatlamga harakat qilganda, (ishqalanish qarshiligi) gidravlik qarshilikni, bosim yo'qotilishini hisoblash formulasi (2.48) dan topish mumkin:

$$\Delta P_{uk} = \lambda \frac{l}{d_s} \frac{\rho w^2}{2} = \lambda \left[\frac{H}{2fed} \right] \frac{\rho \cdot \left(\frac{w_0}{\varepsilon} \right)^2}{2}$$

yoki

$$\Delta P = \frac{3 \cdot (1 - \varepsilon)}{2\varepsilon^3 f} \lambda \frac{H}{d} \frac{\rho w_0^2}{2} \quad (3.83)$$

Ma'lumki, gidravlik qarshilik koeffitsienti λ gidrodinamik rejimga bog'liq bo'lib, Reynolds kriteriysi qiymati bilan belgilanadi.

Agar (3.82) dan w va (3.80) dan d_e larning qiymatlarini Re qo'ysak, ushbu ko'rinishdagi Reynolds kriteriysini olamiz:

$$Re = \frac{w d_s \rho}{\mu} = \frac{w_0 4\varepsilon \rho}{\varepsilon \mu}$$

yoki

$$Re = \frac{4w_0 \rho}{a\mu} = \frac{4W}{a\mu} \quad (3.84)$$

bu erda W - qurilmaning 1 m²ko'ndalang kesimiga to'g'ri keladigan suyuqlikning massaviy tezligi, kg/(m²s).

Olingan formuladagi solishtirma yuza a o'rniga (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:

$$Re = \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{1 - \varepsilon} \cdot \frac{w_0 d \rho}{\mu} = \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{1 - \varepsilon} \cdot Re_0 \quad (3.85)$$

bu erda:

$$Re_0 = \frac{w_0 d \rho}{\mu} \quad (3.86)$$

Gidravlik qarshilik koeffitsienti λ ni hisoblash uchun bir qator formulalar keltirib chiqarilgan. Suyuqliklarning sochiluvchan, donador qatlamlarda harakat qilishidagi hamma rejimlar umumiy gidravlik qarshilik koeffitsientini hisoblash quyidagi formula yordamida amalga oshiriladi:

$$\lambda = \frac{133}{Re} + 2,34 \quad (3.87)$$

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:

$$\lambda = \frac{133}{Re} \quad (3.88)$$

Agar, $Re > 700$ bo'lganda, donador qatlamda turbulent rejimning avtomodel sohasi boshlanadi, ya'ni jarayon tezlikga bog'liq bo'lmaydi. Unda, (3.87) formuladagi birinchi qo'shiluvchini tushirib qoldirish mumkin, ya'ni:

$$\lambda \approx 2,34 = const \quad (3.89)$$

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 $\approx 0,4$ 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 nis-

batga 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.

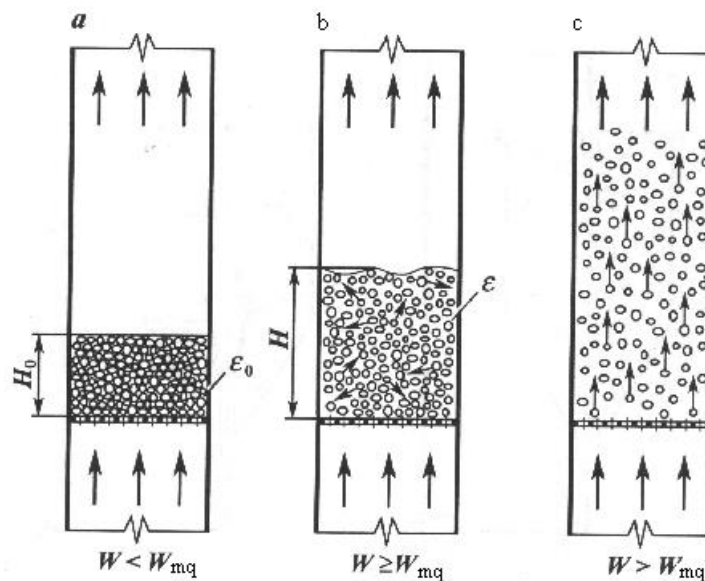
Sanoat donador qatlamli qurilmalarini modellashtirishda model qurilma diametri material zarrachalari diametridan eng kamida 8..10 marta katta bo'lishi shart.

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'ri orqali pastdan yuqoriga qarab kichik tezlik bilan gaz yoki suyuqlik oqimi yuborilsa, donador qatlam qo'zg'almas holatida qoladi (3.37a-rasm). Bunda oqim tezligi o'zgarishi bilan qatlam (solishtirma yuza, g'ovaklilik va hokazo) ning xarakteristiklari o'zgarmaydi. Qatlam orqali o'tayotgan gaz (yoki suyuqlik) oddiy, filtrlanib harakatlanadi.



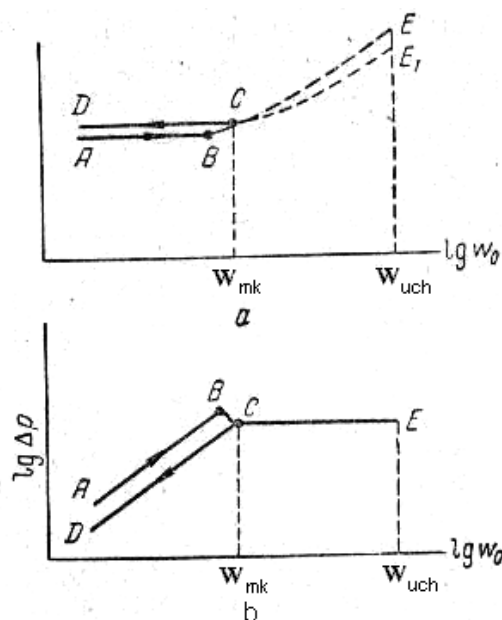
3.37-rasm. Qattiq zarrachalar qatlami orqali gaz (suyuqlik) harakati.

a-qo'zg'almas qatlam; b-mavhum qaynash qatlami;
c - qattiq zarrachalarning oqim bilan chiqib ketishi.

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 siljib boshlaydi va qatlam oquvchanlikka ega bo'lib boshlaydi. 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 etganda 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 (3.37v-rasm). Gaz oqimi bilan qattiq zarrachalarning yoppasiga uchib chiqa boshlash hodisasi **pnevмотransпорт** deb nomlanadi va sanoatda sochiluvchan materiallarini uzatish uchun ishlatiladi.

3.38-rasmda donador qatlam balandligi va gidravlik qarshiligining oqim **sohta** (qurilma ko'ndalang kesim yuzasiga nisbatan hisoblangan tezlik) **tezligidan** bog'liqlik grafiklari keltirilgan.



3.38- rasm. Donador zarrachalar qatlami balandligi (a) va gidravlik qarshiligining (b) oqim tezligiga bogliqligi.

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 AVS 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 (S nuqta) oid ΔR 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 engadi va gidrodinamik bosim kuchi (ΔR) qatlam zarrachalari og'irligiga tenglashadi.

3.38b-rasmdan ko'rinib turibdiki, yuqorida aytilgan shartlar mavhum qaynash jarayonining hamma oraligida (S-E 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 ΔR ham bir xil bo'ladi. Bu holat 3.38b-rasmda SE 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.

Bu holatda qatlamning g'ovakliligi juda katta bo'ladi, ya'ni ε ni qiymati 1 yaqinlashib boradi. Agar, ishchi tezlik w_0 qiymati w_{uch} dan ozgina ortsa, zarrachalarning qurilmadan yoppasiga uchib chiqishi boshlanadi.

Agar, gaz oqimi tezligi asta - sekin kamaytirib borilsa, jarayon egri chizig'i AVS 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 engishga 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 bir oz ko'p bo'ladi (3.38-rasm). Buning isboti rasmdagi CD chiziqning AV dan tepada joylashganligidir.

Agarda jarayon yana qaytadan boshlansa, ya'ni gaz oqimi tezligi ortishi bilan qatlamning gidravlik qarshiligi AV 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 oraligib 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:

$$K_w = \frac{w_0}{w_{mk}} \quad (3.89)$$

Mavhum qaynash soni zarrachalarning aralashish intensivligi va qatlam holatini ifodalaydi.

Ko'pchilik holatlarda zarrachalarning intensiv aralashishi $K_w=2$ dabo'lishi tajriba yo'li bilan aniqlangan. Aniq texnologik jarayon uchun K_w ning optimal qiymati keng oralikda o'zgaradi va u tajriba yo'li bilan topiladi.

Sharsimon shaklli ($f \approx 1$), govakliligi $\varepsilon \approx 0,4$ bo'lgan qatlamning mavhum qaynashning boshlanish tezligi prof. O.M.Todes formulasi yordamida aniqlanishi mumkin:

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} \quad (3.90)$$

bu erda

$$Re_{MK} = \frac{w_{MK} d}{\mu}$$

Mavhum qaynash boshlanish tezligi:

$$w_{MK} = \frac{Re_{MK} \cdot \mu}{d\rho}$$

(3.90) formuladagi Arximed (**Ar**) kriteriysi ushbu formuladan topiladi:

$$Ar = \frac{gd_3^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_K - \rho}{\rho}$$

bu erda: d_e - zarracha ekvivalent diametri, m; ν - muhit kinematik qovushoqligi, m²/s; ρ va ρ_K – muhit va zarracha zichliklari, kg/m³.

$w_0 > w_{mk}$ 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:

$$Re_{yq} = \frac{Ar}{18 + 0,575\sqrt{Ar}} \quad (3.91)$$

bunda

$$Re_{yq} = \frac{w_{yq} d\rho}{\mu}$$

Uchib chiqish tezligi esa:

$$w_{yq} = \frac{Re_{yq} \cdot \mu}{d\rho}$$

Qatlam g'ovakliligi $0,4 < \varepsilon < 1$ oraliqda bo'lganida **Re** ni hisoblash uchun quyidagi umumlashtirilgan formula taklif etiladi:

$$Re_0 = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,6\sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}} \quad (3.92)$$

Agar, **w** ma'lum bo'lsa **ε**ni(3.92) formulada topish mumkin:

$$\varepsilon = \left(\frac{18 Re_0 + 0,36 Re_0^2}{Ar} \right)^{0,21} \quad (3.93)$$

O'zgarmas qatlam N_q va mavhum qaynash qatlami balandliklari N_{mk} o'rtasida quyidagi bog'liqlik bor.

$$H_{MK}(1 - \varepsilon_{MK}) = H_K(1 - \varepsilon_K) \quad (3.94)$$

bu erda ε_q va ε_{mk} - qo'zg'almas va mavhum qaynash qatlamlarining g'ovakliligi.

Qatlamdagi bosimlar farqi ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$\Delta p = g\rho(1 - \varepsilon)H \quad (3.95)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_K}{\rho_3} \quad (3.96)$$

bu erda ρ_K - qatlam zichligi, kg/m³; ρ_3 - qattiq zarrachalar zichligi, kg/m³.

Qo'zg'almas qatlam g'ovakliligi esa:

$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{\rho_T}{\rho_3}$$

bu erda ρ_T - materialning «to'kma» zichligi, kg/m^3 .

Qattiq zarrachalar qatlamidagi bosimlar farqini hisoblash uchun Ergan formulasini qo'llash mumkin:

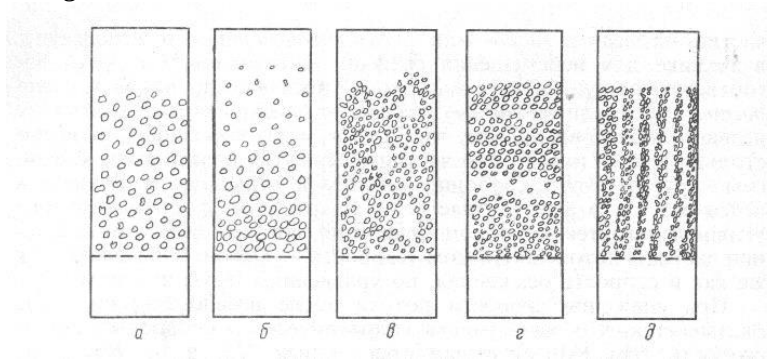
$$\Delta P = 150 \frac{(1 - \varepsilon_0)^2}{\varepsilon_0^3} \frac{\mu w}{d_s^2} H + 1,75 \frac{1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_0^3} \cdot \frac{\rho_n w^2}{d_s} H \quad (3.97)$$

Mavhum qaynash qatlami bir va turli jinsli bo'lishi mumkin.

Bir jinsli mavhum qaynash amalda faqat tomchili suyuqlik oqimida qattiq zarrachalar mavhum qaynash jarayonini sodir bo'ladi.

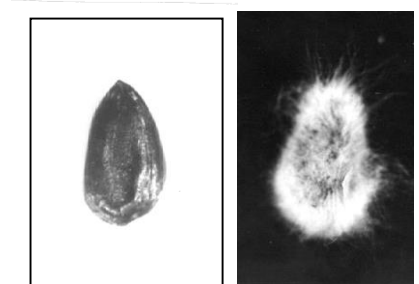
Bunda oqim tezligi w_{mk} dan ko'payib ketganda qatlam balandligi ortsa ham uni tepa chegarasi sezilarli darajada tebranmaydi (3.39a-rasm).

Ammo, sanoat korxonalarida asosan «qattiq jism – gaz» sistemasida mavhum qaynash jarayoni ishlatiladi (3.39b -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 etganda yoriladi va natijada qatlam balandligining tebranishiga olib keladi (3.38a-rasm). **SE** va **SE₁** nuqtali chiziqlar mavhum qaynash qatlami tebranish oralig'ini bildiradi.



3.39-rasm. Mavhum qaynash qatlamining turlari.

a - bir jinsli; b - turli jinsli; v - barbotajli; g - porshenli; d - kanalli.



3.40-rasm. Tuksizlangan (a) va tukli (b) paxta chigiti.

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 qatlamidagi 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 ulotqiriladi. Pufakchalar ko'ndalang o'lchami qurilma o'lchamigacha yiriklashib boradi. Natijada **porshenli rejim** hosil bo'ladi (3.39-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 (3.39d-rasm). Kanal hosil qiluvchi qatlamning eng so'nggi holati bo'lib favvora qatlam hisoblanadi. Bunda, qurilma o'qi atrofida kanal orqali gaz oqimi qatlamdan otilib chiqadi.

Donador-tolali materiallarning mavhum qaynashi. **Ma'lumki, Vatanimizning eng asosiy texnik xom – ashyosi - paxta chigitidir. Paxta chigiti ko'p qatlamli noto'g'ri shaklli, geterogen sistema bo'lib, uning yadrosi – kolloid - kapillyar 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 zarrachalar orasidagi tortishish kuchi donador materiallarnikidan ancha katta va bu guruhga keltiribni qarilgan 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 yondoshish kerakligini taqozo etadi. 3.40-rasmdan ko'rinib turibdiki, chigitning tukliligi ortishi bilan uning ekvivalent diametri ortadi va keltirilgan zichligi kamayadi.

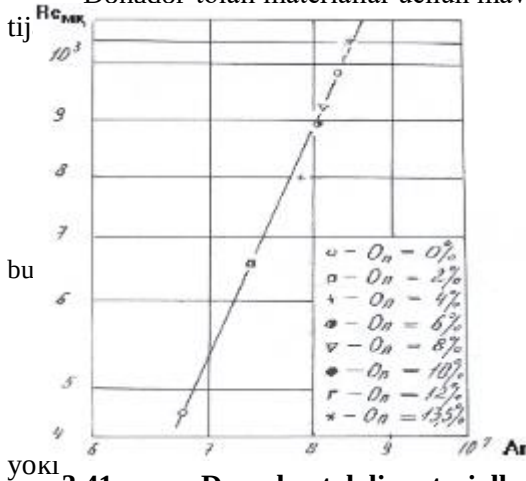
Bunday murakkab tuzilish va shakli paxta chigitining shakl koeffitsienti ushbu empirik tenglamadan aniqlanadi [5,6,13]:

$$f = 1.063 + 5,5 \cdot 10^{-2} O_{II} \quad (3.98)$$

bu erda O_p - paxta chigiti tukliligi, %.

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 boshlanishining material tukliligiga bog'liqlik grafigida ko'rish mumkin (3.41-rasm). Agar chigit tukliligi $O_p = 0$ dan $O_p = 13\%$ 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 noxsimon, noto'g'ri shakli bilan bog'liqdir.

Donador-tolali materiallar uchun mavhum qaynash tezligi bo'yicha ma'lumotlar umumlashtirish natijasi keltirib chiqarildi.



$$Re_{mk} = 0,456 \cdot \left(\frac{Ar}{10^6} \right)^{3,63} \quad (3.98)$$

$$Re_{mk} = \frac{\eta Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}$$

i. η orqali aniqlanadi:

$$\eta = \frac{Re_{mk}}{Re_{mk}^0} \quad (3.99)$$

3.41-rasm. Donador-tolali materiallar uchun Re sonining Ar bog'liqligi.

$$\eta = 1 + 0,43 \cdot O_p^{0,44}$$

bu erda Re_{mk}^0 - tukliligi $O_p = 0\%$ bo'lgan chigitning mavhum qaynash boshlanish tezligi.

Donador-tolali material qo'zg'almas qatlamining g'ovakliligini ushbu formuladan foydalanib topsa bo'ladi:

$$\varepsilon_0 = 0,355 + 0,059\eta \quad (3.100)$$

Qatlamning gidravlik qarshiligi anomal o'zgarganligi sababli va yuqori aniqlikdagi hisoblash formulasini keltirib chiqarish uchun $\lambda = f(Re)$ funktsiya 3 ta zonaga bo'lingan.

Donador - tolali qatlamning gidravlik qarshilik koeffitsienti quyidagi formulalardan topiladi:

1 - zona uchun ($Re < 350$):

$$\lambda_1 = \frac{312 \cdot p^{-0,57} \cdot \exp(0,46 \cdot \eta)}{(1,8 \lg Re_m - 1,64)^2} \quad (3.101)$$

2 - zona $Re > 350$ da boshlanadi va uning yuqori chegarasi Re_{kr} ni ushbu tenglamadan aniqlash mumkin:

$$Re_{kr} = 184,3 \cdot \exp(0,53 \cdot \eta - 0,0248 p_0) \quad (3.102)$$

$$\lambda_2 = 0,86 \cdot p_0^{-0,34} \cdot Re_m^{0,516 \exp(0,082 \eta)} \quad (3.103)$$

3 - zona uchun esa ($Re_{kr} < Re < 4000$):

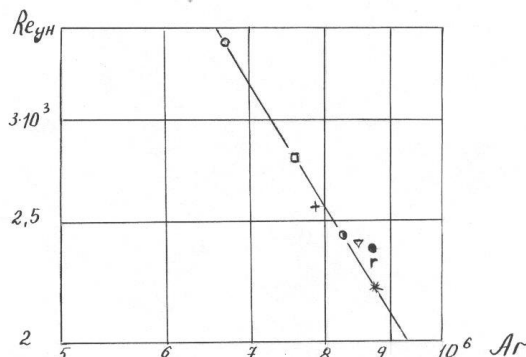
$$\lambda_3 = 6185 Re_m^{-0,9} \cdot p_0^{-0,6} \cdot \exp(0,77 \eta) \quad (3.104)$$

bu erda $r_0 = p/p_{atm}$ - nisbiy solishtirma massaviy yuklama; Re_m - Reynoldsning modifikastiyalashgan kriteriysi, qatlam kanallari ekvivalent diametri d_e orqali hisoblanadi.

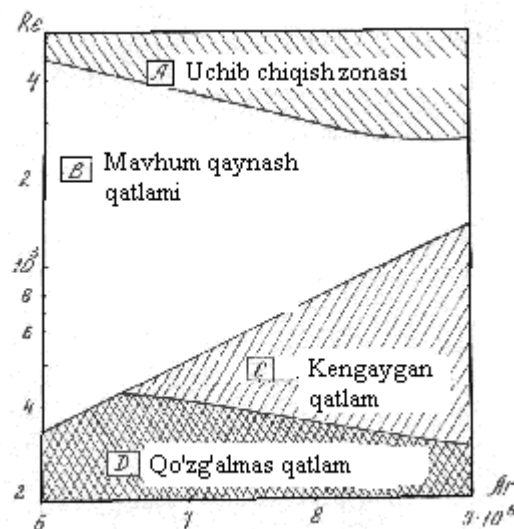
Dastlabki tajribalardan ma'lumki, chigitning tolaligi ortishi bilan zarrachaning ekvivalent diametri ortadi, zichligi esa kamayadi. Shuning uchun, donador - tolali qatlam zarrachalarining uchib chiqish tezligi ham klassik qonuniyatlarga bo'ysunmaydi. Tajriba natijalarini umumlashtirish orqali donador-tolali materiallarning uchib chiqishi tezligina aniqlash uchun quyidagi ko'rinishda formula olindi:

$$Re_{yu} = \frac{\eta^{-0,4} \cdot Ar}{20,16 + 0,683 \sqrt{Ar}} \quad (3.105)$$

Re_{mk} va Re_{uch} qiymatlari ma'lum bo'lgan donador-tolali materiallar uchun qatlam holatlarining mavjud bo'lish chegaralarini topish oson (3.43-rasm).



3.42-rasm. Donador - tolali materiallar uchun Re sonining Ar kriteriysiga bog'liqligi.



3.43-rasm. Donador - tolali materiallarning qo'zg'almas, kengaygan va mavhum qaynash qatlam holatlarining mavjud bo'lish chegaralari

Donador - tolali kengaygan qatlamning yuqori chegarasi mavhum qaynash boshlanish tezligi Re_{mk} bilan aniqlansa, pastki chegarasi esa quyidagi tenglama yordamida topiladi:

$$Re_{TP} = 111(3,9 - \eta) \cdot p_0^{0,18} \quad (3.106)$$

Yuqorida keltirilgan ma'lumotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, donador-tolali materiallar gidrodinamikasi chigit tuklilik koeffitsienti 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 qatlamini esa kamayadi.

3.25. Oqimchali mavhum qaynash

Hozirgi kunda ko'pgina dolzarb muxandislik 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 ishlash paytida 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.

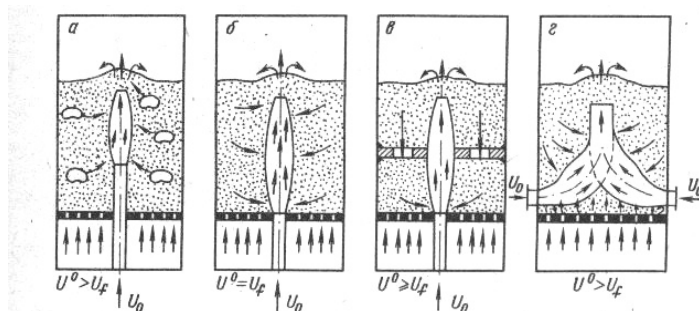
Oqimchali mavhum qaynash jarayoni qatlamni tashkil qilish usuli bo'yicha klassik (an'anaviy) mavhum qaynashdan oqimchali harakat potentsiali imkoniyatlaridan foydalanishga sistemali yondashishi bilan farqlanadi.

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 flotastiya 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 reakstion zonasini parallel - oqimchali sekstiyalashdir.

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 tadbiiq 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.



3.44-rasm. «Gaz-qattiq zarrachalar» sistemasida fazalar o`zaro ta'sirini tashkil etishning printsiptial sxemalari.

a-turli jinsli mavhum qaynash qatlamining o`rta va yuqori qismiga oqimcha uzatish;
b-minimal mavhum qaynash tezligida qatlamga oqimcha uzatish; v-perforatsiyali disk
teshigi orqali oqimcha uzatish; g-bir-biriga yo`nalgan oqimchalar mavhum qaynash
qatlamida.

3.44-rasmida «gaz - qattiq zarracha» sistemasida fazalar o`zaro ta'sirini tashkil etish usullar sxemasi keltirilgan:

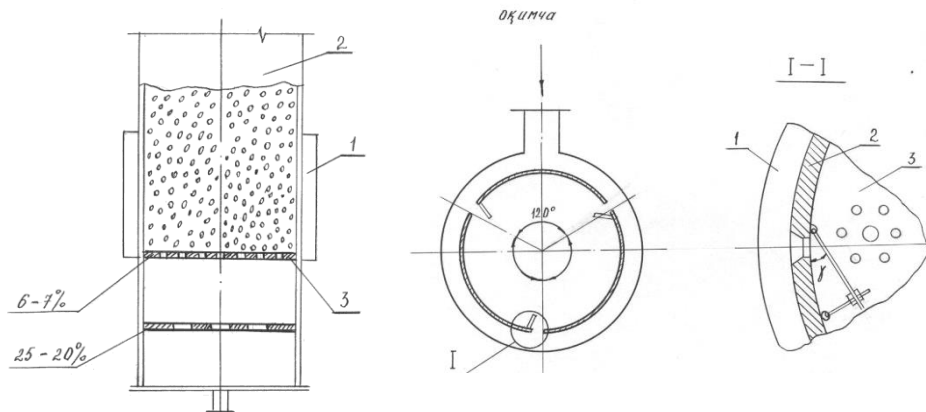
Gidrodinamik faol oqimcha qatlamning turli jinsli yuqori qismini yaxshi aralashtirilgan qatlam holatiga olib kelishi mumkin (3.44a-rasm). Agarda, minimal mavhum qaynash holatidagi qatlamga oqimcha (3.44b-rasm) kiritilsa, jarayon intensivlashadi. Lekin, shuna alohida ta'kidlash kerakki, ikkala holatda ham qurilmaning gidravlik qarshilik pasayadi. Agar oqimcha 3.44v - rasmida ko`rsatilgandek, ya'ni qatlamda joylashtirilgan teshikli panjara o`qidagi katta teshik orqali uzatilsa, qattiq zarracha stirkulyastiya tezligi ortadi. Ushbu holatda qattiq zarrachalar tartibli stirkulyastiyali qatlam hosil qiladi. 3.44g - rasmida bir - biriga yo`nalgan gorizontall 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 stirkulyastiyali bo`ladi va sulfat ammoniy, xamir - turush 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 intensivroq 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 (3.45-rasm).



3.45-rasm. Donador - tolali materiallar uchun oqimchali mavhum qaynash qatlamli qurilma.

1 - qobiq; 2 - oqimcha uzatish halqasi; 3 - teshikli panjara;
4 - oqimcha kiritish shtutseri; 5 - umumiy oqim kiritish shtutseri.

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 ($N/N_0 > 1$ 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 koeffitsientiga qarab, $K_w \leq 1,4$ gacha bo'lgan oralikda mavhum qaynash jarayonini tashkil etish mumkin.

Oqimchali mavhumqaynash jarayonida donador - tolali qatlamning g'ovakliligi ushbu formula yordamida aniqlanadi:

$$\varepsilon = A \cdot Re^x \cdot \exp(0,122 \cdot \eta) \quad (3.107)$$

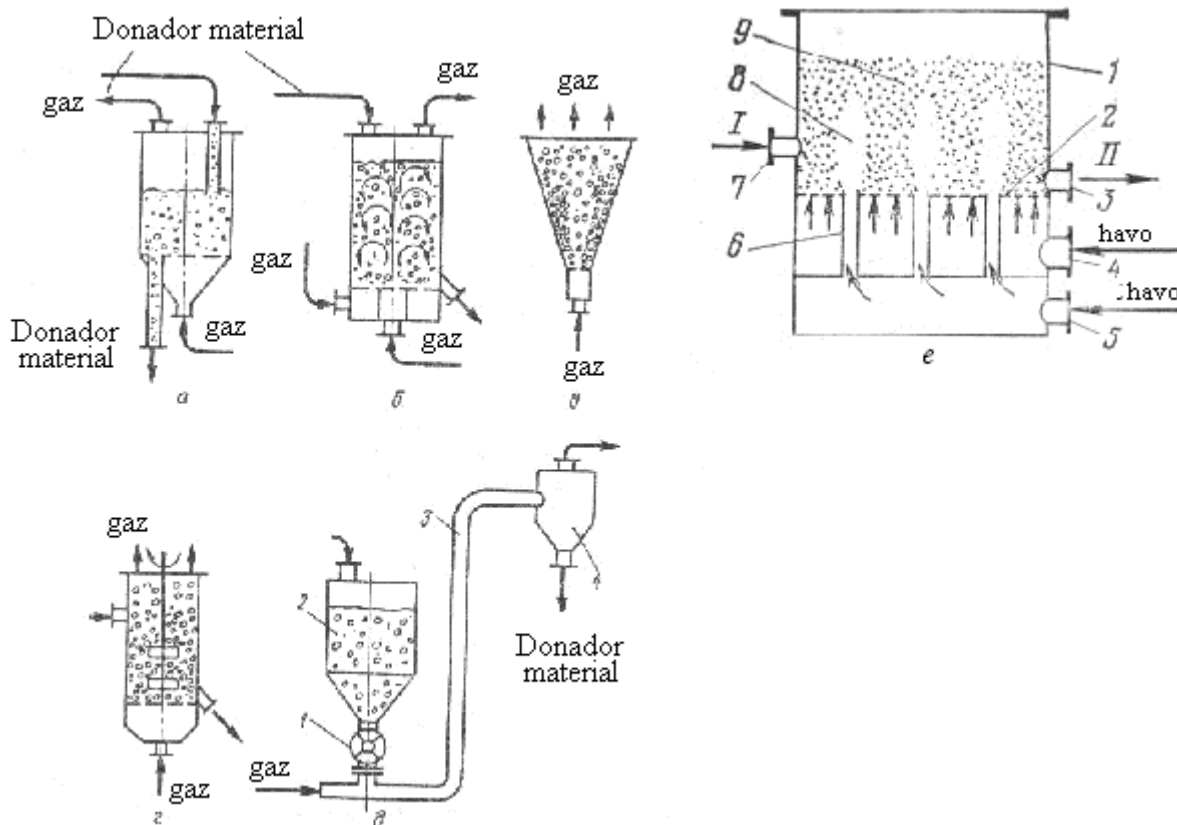
bu erda A va x ning qiymatlari gaz oqimining tezligiga bog'liq. Bunda koeffitsient $A = 0,127...0,265$ va daraja ko'rsatkichi $x = 0,103...0,212$ ga teng.

3.26. Mavhum qaynash qatlamli qurilmalar

Jarayonlar borishining texnologik 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 konstruktsiyalari yaratilgan. 3.46-rasmda mavhum qaynash qatlamli qurilmalarning ayrim konstruktsiyalari 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 yoʻnalishi bir xil, qarama - qarshi va kesishgan yoʻlli boʻlishi mumkin.



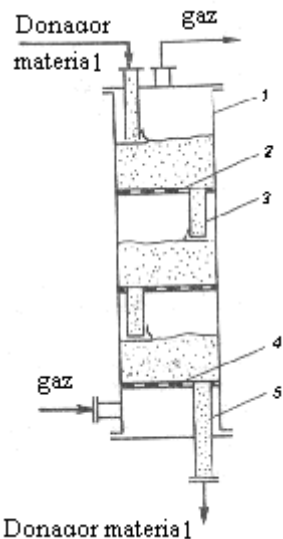
3.46-rasm. Mavhum qaynash qatlamli qurilmalar sxemalari.

a - silindrik uzluksiz ishlaydigan, qarama-qarshi yoʻlli; b - yoʻnaltirilgan sirkulyatsiyali; v - konussimon; g - aralashtirgich moslamali; d - pnevmotransport moslamali; 1 - shlyuzli tamba; 2 - bunker; 3 - past bosimni havo quvuri; 4 - siklon; e - faol oqimchali: 1- qobiq; 2- toʻr parda; 3,5,7- shtutserlar; 6- soplo; 8- faol oqimcha; 9- mavhum qaynash qatlami.

Uzluksiz ishlaydigan, qarama - qarshi yoʻlli stilindrik qurilmalarda gaz oqimi taqsimlovchi teshikli panjara ostiga uzatilsa, material esa qurilma-ning tepa qismidan yuklanadi (3.46a-rasm). Gaz taqsimlovchi teshikli panjara ustida donador materialning bir xil sathini taʼminlash va qurilmadan chiqarish uchun oqib oʻtuvchi patrubkalar xizmat qiladi.

Vertikal stilindrsimon qurilmalar katta miqdordagi don – dunlarni yigʻib qoʻyish uchun ishlatiladi (3.46b-rasm). Gaz taqsimlash kamerasi yassi tub va teshikli panjaralar orasida joylashgan ikkita stilindrdan iborat. Bu konstruktsiyali kameralarda konstantrik toʻsiq uni ikkita, yaʼni ichki va tashqi halqalarga boʻladi. Tashqi halqa boʻshligʻiga, ichkiga qaraganda 2 marta koʻp gaz yuboriladi. Turli miqdorda gaz uzatilgani sababli, qurilmada don mahsu-lotining yoʻnaltirilgan sirkulyastiyali harakati paydo boʻladi. Natijada material intensiv aralashadi va zarrachalar harakati qurilma oʻqidan stilindrik devor tomonga yoʻnalgan boʻladi.

Konussimon qurilmalarda pastdan yuqoriga qarab tezlikning pasayishi polidispers materiallarni mavhum qaynatish imkonini yaratadi (3.46v-rasm). Gaz oqimi katta tezlikda qurilma tubidagi shtuster orqali yuboriladi. Ushbu holatda qurilmaga gaz taqsimlovchi teshikli panjara ham oʻrnatilmasa boʻladi. Teshikli panjarasiz qurilmalarda yopishqoq materiallarni ham mavhum qaynash jarayonidan foydalanib quritsa boʻladi. Agar, konuslik burchagi katta boʻlsa, gaz oqimining qurilma devori yaqinida faolligi kamayadi va konus oʻqi boʻylab uzluksiz kanal barpo boʻlishi 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 oʻlchamli yopishqoq va elektrolizastiyaga moyil mayda zarrachalar mavhum qaynash jarayonida yaxshi aralashishini taʼminlash va harakatsiz zonalarini bartaraf qilish maqsadida, hamda issiqlik va massa almashinish jarayonlarini intensivlash uchun gazomexanik mavhum qaynash usulidan foydalaniladi (3,46g,d-rasm). Qatlamga qoʻshimcha energiya uzatish turli xil aralashtirgich va tebratgichlar yordamida amalga oshiriladi (3.46 g-rasm).



3.47-rasm. Uzlüksiz ishlaydigan sekstiyali qurilma.

1 - qobiq; 2 - gaz taqsimlovchi teshikli panjara; 3 - oqib o'tish moslamasi

Pnevмотransport usuli va moslamasi donador materiallarni trubalari orqali ma'lum masofaga yoki balandlikka uzatish uchun mo'ljallangan (3.46d -rasm). Donador material shlyuzli tamba yordamida havo uzatish quvuriga qadoqlanib tushiriladi. Mavhum qaynash qatlami gaz va qattiq fazalarga stik-londa amalga oshiriladi.

Uzlüksiz ishlaydigan sekstiyali qurilma. Jarayonning harakatga keltiruvchi kuchini kamayishga olib keluvchi teskari aralashishni kamaytirish va jarayon temperaturasi bir xil qilish maqsadida qarama - qarshi yo'lli qurilmalarda sekstiyalash qo'llaniladi (3.47-rasm). Buning uchun qurilma balandligi bo'ylab teshikli panjaralar yordamida donador material qatlami bo'linadi. Donador materialning yuqori sekstiyalardan pastga qarab harakatlanishi, og'irlik kuchi ta'sirida amalga oshadi.

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 konstruktsiyalari qo'llaniladi.

Aralashtirish sifati fazalarni qorishtirish darajasi bilan xarakterlanadi.

Aralashtirish qurilmasining butun hajmidagi fazalarni qorishtirish darajasi I quyidagi tenglama yordamida aniqlanishi mumkin:

$$I = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m \frac{\Delta x'_i}{100 - x_{ar}} + \sum_{j=1}^n \frac{\Delta x''_j}{x_{ar}}}{m + n} \quad (3.108)$$

bu erda m - tahlil uchun olingan namuna, $\Delta x > 0$; $\Delta x'$ - aralashtirgichdagi musbat konstantriyalar farqi va u ushbu formuladan topiladi $\Delta x' = x - x_{ar}$; x_{ar} - ideal qorishtirishda aralashmadagi zarrachalar konstantriyasi bo'lib, u quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$x_{ar} = \frac{100 V_k \cdot \rho_k}{V_s \rho_s + V_k \rho_k}$$

bu erda 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 konstantriyalar 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, stirkulyastiyali, statik va mexanik usullarida 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. Barboterining teshikchali trubalari aralashtirgich tubiga o'rnatiladi. Bu usul o'rtacha qovushoqlikka ($\sim 200 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) ega suyuqliklarni aralashtirish uchun ishlatiladi. Jarayon tezligi past va energiya sarfi ko'p bo'ladi.

Ayrim hollarda aralashtirishni injektorlar yordamida ham amalga oshiriladi. Ciqilgan 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, $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{min})$
1.	Past	0,4
2.	O'rtacha	0,8
3.	Yuqori	1,2

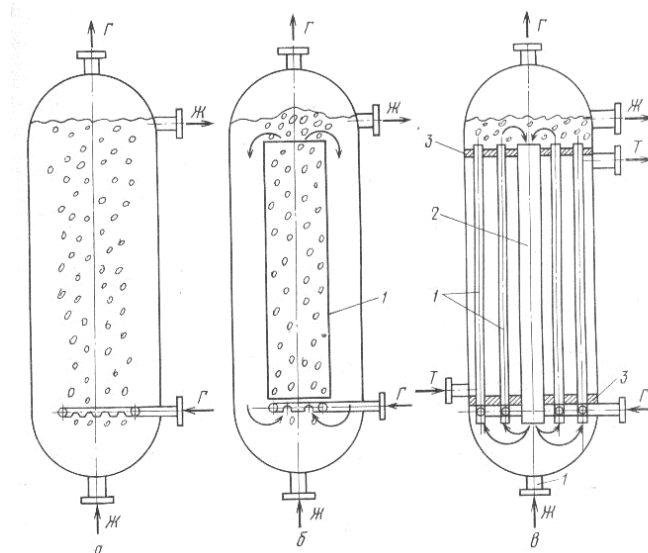
Pnevmatik aralashtirish usulining qo'llanishi cheklangan bo'ladi, chunki ayrim hollarda zararli jarayonlar, ya'ni oksidlanish yoki mahsulotning bug'lanishi yuz berishi mumkin. Shuning uchun, ushbu usul gaz va suyuq fazalar o'zaro to'qnashuvi ruxsat etilgan hollarda ishlatilishi maqsadga muvofiqdir.

3.48-rasmda pnevmatik aralashtirgichlarning ayrim konstruktsiyalari keltirilgan.

Agar, siqilgan havo qurilmaning pastki qismiga yuborilsa, unda erlift hosil bo'ladi (3.48a-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 stirkulyastiya qilishini ta'minlaydi (3.48b-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 stirkulyastiya trubali qurilmalar yaratilgan (3.48v-rasm).

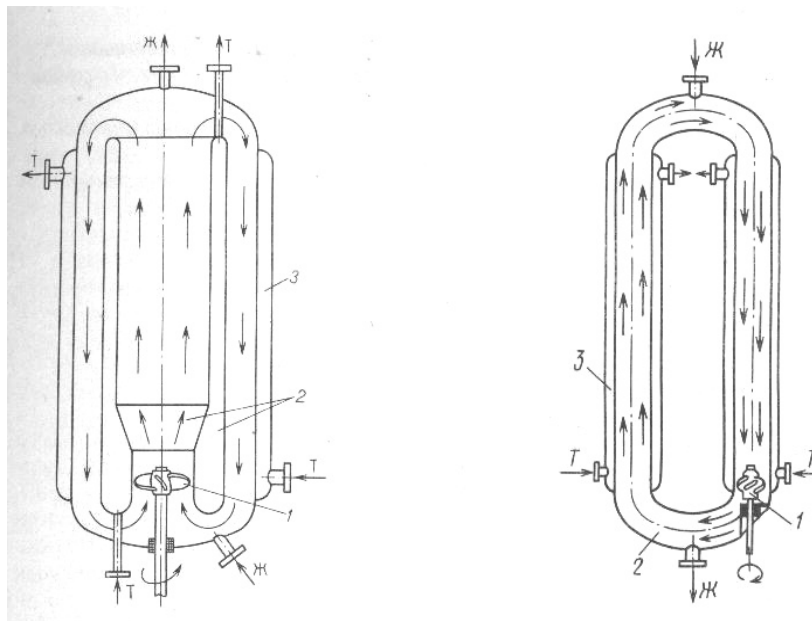


3.48-rasm. Siqilgan havo yordamida aralashtirish.

a - markaziy barboterli; b - gazlift (erlift) trubali; c - gazlift va markaziy sirkulyatsiya 1 - gazlift trubalari; 2 - sirkulyatsiya trubasi; 3 - teshikli truba panjaralari; s - suyuqlik; g - gaz; ie - issiqlik eltkich

Sirkulyastiyali aralashtirish, nasos yordamida amalga oshiriladi. Bunda, «aralashtirgich – nasos – aralashtirgich» yopiq sistemasida suyuqlik uzluksiz aylanib yuradi.

Aralashtirish jarayonining intensivligi, stirkulyastiya 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.



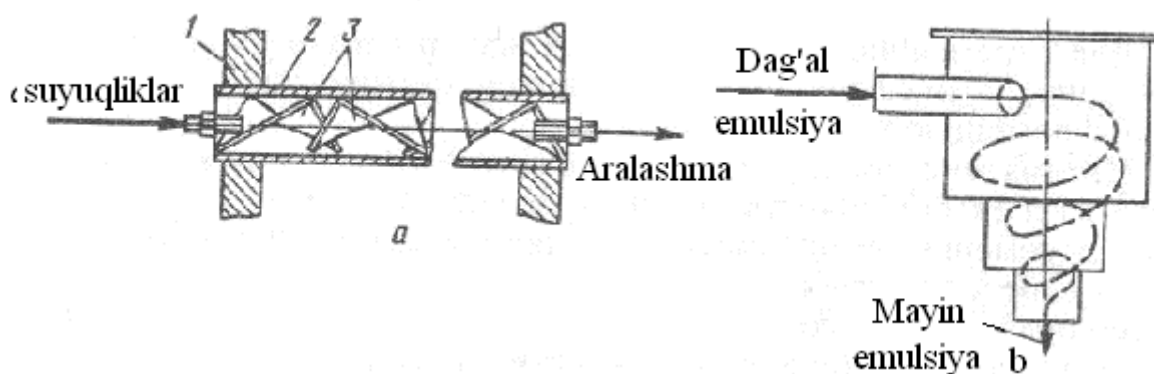
3.49-rasm. Diffuzorli va vintsimon aralashtirgichli qurilma.

1 - vintsimon aralashtirgich; 2 - issiqlik almashinish kamerali diffuzor;
3 – g'ilof; ie - issiqlik eltkich; s - aralashtirilayotgan suyuqlik.

Undan tashqari, turli sohalarda yo'naltiruvchi truba (diffuzor)li vintsimon aralashtirgichlar ham ishlatiladi (3.49-rasm).

Bu turdagi qurilmalarda yopiq stirkulyastion 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 (3.50-rasm).



3.50-rasm. Statik aralashtirgichlar.

a- silindrik, yasama elementli; b- emulsor. 1- flanes; 2- qobiq; 3- aralashtiruvchi element.

Odatda, statik aralashtirgichlar reaktorgacha bo'lgan truba quvuriga yoki bevosita reaktorning o'ziga o'rnatiladi.

3.50a-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 xarakteristikalarini burash burgachi va yo'nalishi, hamda element diametrining uzunligiga nisbati bilan ifodalanadi. O'rnatilishi zarur bo'lgan elementlar soni suyuqlik qovushoqligiga, hamda aralashtirilayotgan suyuqliklar qovushoqligi nisbatiga bog'liqdir. Agar, suyuqlik va fazalar o'rtasidagi qovushoqliklar farqi qancha katta bo'lsa, shunchalik ko'p elementlar o'rnatilishi zarur.

3.50b-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 emulgastiya 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'qga o'rnatilgan, turli xil parraklardan tarkib topgan moslama.

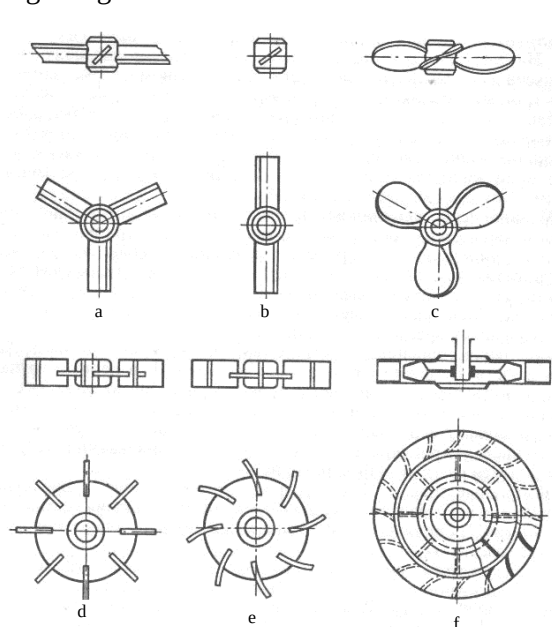
Kimyo va oziq - ovqat sanoatlarida qo'llaniladigan hamma aralashtirish moslamalarini 2 guruhga ajratsa bo'ladi: birinchi guruhga parrakli, turbinali va propellerli; ikkinchi guruhga - maxsus - vintli, shnekli, lentali, romli, yakorli, pichoqli va boshqa moslamalar kiradi. Birinchi guruh suyuqliklar uchun bo'lsa, ikkinchisi esa - plastik va sochiluvchan materiallarni aralashtirish uchun xizmat qiladi.

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 (3.51a,b-rasm). Ularning aylanma chastotasi 30...90 min⁻¹, qovushoq muhitlarda parrak uchidagi aylanma tezligi - 2...3 m/s.

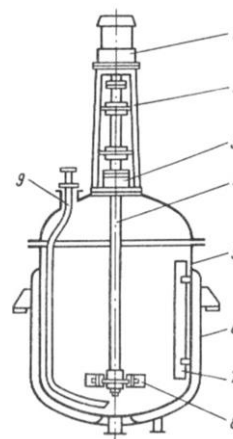
Parrakli aralashtirgichlar afzalliklari: moslama sodda va narxi qimmat emas.

Kamchiliklari - aylanish o'qi bo'ylab suyuqlik oqimi kichik bo'ladi, natijada aralashtirgich hajmida suyuqlik to'liq aralashmaydi. Oq bo'ylab suyuqlik oqimi harakatini jadallashtirish uchun parraklar og'ish burchagi 30° ga teng bo'lishi kerak.



3.51-rasm. Aralashtirgichlar turlari.

- a - uch parrakli; b - ikki parrakli;
- v - propellerli; g - turbinali ochiq;
- d - qiya parrakli, turbinali, ochiq;
- e - turbinali yopiq.



3.52-rasm. Aralashtirgichli qorishtirgich.

- 1 - uzatma; 2 - uzatma tayanchi; 3 - zichlagich;
- 4 - o'q; 5 - qobiq; 6 - g'ilof; 7 - qaytaruvchi to'siq;
- 8 - aralashtirgich; 9 - truba.

Yakorli 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 iflosliklardan 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 (3.51v-rasm). Ushbu moslamalarga nasos effekti xos bo'ladi va suyuqlikning intensiv stirkulyastiyasini 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 (3.51g,d,e-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 stilindrsimon 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 3.52-rasmda ko'rsatilgan.

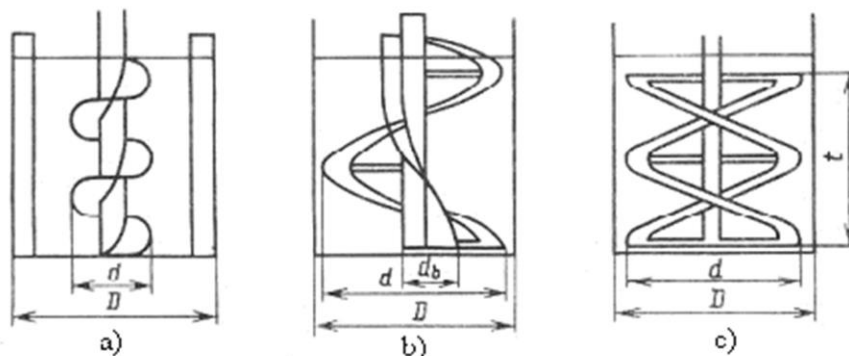
Ishchi g'ildirak 200...2000 ayl/min chastota bilan aylanma harakatlanadi. Turbina g'ildiragi markazdan qochma kuch ta'sirida suyuqlikka tegishli energiya beradi. Suyuqlik aralashtirgich markaziy teshigidan kirib, u erda markazdan qochma kuch ta'sirida tezlanish olgan holda radial yo'nalishida chiqib 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.

3.29. Plastmassalarni aralashtirish

Kimyo sanoatida plastik massalarni aralashtirishda, oziq-ovqat sanoatida non yopish, makaron va qandolat mahsulotlarini ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Bu jarayonda na faqat 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 olibborilishi mumkin. Bu turdagi qurilmalar ichida romli, shnekli yoki lentali aralashtirgichlar vertikal yoki gorizontaal o'rnatiladi (3.53-rasm).

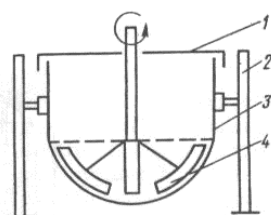


3.53-rasm. Shnekli (a) va lentali (b, v) aralashtirgichlar shemasi.

Shnekli aralashtirgich iste'mol qilayotgan quvvatni aniqlash uchun ushbu tenglama qo'llanishi mumkin:

$$Eu_m = \frac{71}{Re_m} \text{ yoki } N = Ad_m \cdot n^2 \mu \quad (3.109)$$

bu erda d_m -aralashtirgich diametri; A -aralashtirgich moslamasining geometrik nisbatlari funktsiyasi sifatida topiladigan koeffitsient.



3.54-rasm. Xamir tayyorlash qurilmasi.

1 - qopqoq; 2 - tayanch; 3 - qobiq;
4 - qorishtirish moslamasi.

Aralashtirgichning aylanish chastotasi 12 min^{-1} . Qorishtirish jarayoni tugagandan so'ng, qobiq 3 ag'dariladi, ya'ni qopqoq 1 ochiladi va xamir to'kiladi.

Kam va yuqori qovushoqli qandolat mahsulotlar (vafli, biskvit va boshqa xamirlar) ni, hamda qandolat massalarini sochiluvchan komponentlar (keks xamirlarini mayiz, oksil massasini yong'oq) bilan qorishtirish uchun ikkita spiralsimon ishchi organli tog'arasimon shaklli aralashtirgichlar qo'llaniladi.

Aralashtirish jarayoni yupqa qatlamda olib borilgan sababli, yuqori darajada intensivlashga erishish mumkin.

Qurilma tubi shaklida yasalgan, 90° burchak ostida o'rnatilgan 4 parrakli qorishtirish moslamali aralashtirgichda shirinliklar xamiri tayyorlanadi (3.54-rasm).

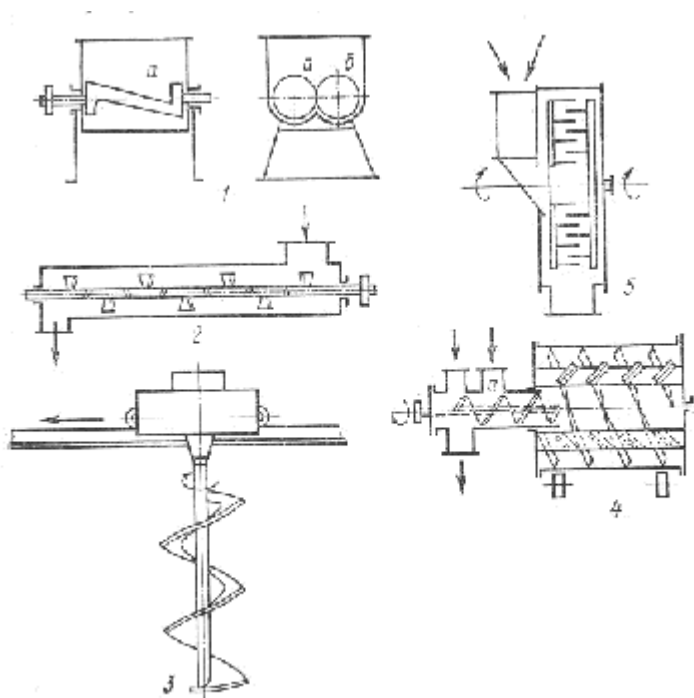
3.30. Sochiluvchan materiallarni aralashtirish

Odatda sochiluvchan materiallarni aralashtirish uchun mo'ljallangan qurilmalar ishlash prinsipi, tezlik xarakteristikalarini va konstruktiv belgilariga qarab guruhlariga 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 boshqatardagi aralashtirgichlar kiradi.

Tezlik xarakteriskalariga qarab tez va sekin yurar qurilmalar boʻladi. Tez yurar aralashtirgichlar bir va ikki pogʻonali boʻlishi mumkin. Birinchi pogʻona isitiladigan, ikkinchisi esa- sovutiladigan boʻlishi mumkin.

3.55-rasmda aralashtirgichlarning asosiy turlari keltirilgan.



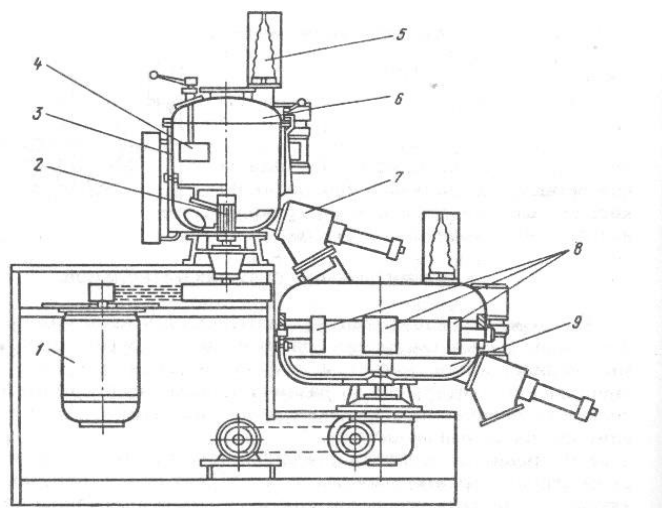
3.55-rasm. Sochiluvchan materiallar aralashtirgichlarining asosiy turlari.

a - parrakli; b, v - shnekli; g - barabanli; d - zarbali.

Parrakli aralashtirgich qarama- qarshi yoʻnalishda aylanadigan m va n parraklardan tarkib topgan.

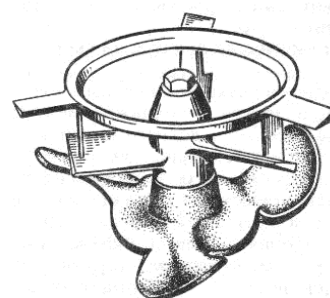
Qurilmaga uzatilgan material parraklarning jadal taʼsirida samarali qorishtiriladi. Shnekli qurilmalarda bir vaqtning oʻzida materiallar ham qorishtiriladi, ham maʼlum masofaga uzatiladi (3.55 b-rasm).

3.55 v-rasm shnekli aralashtirgichning yana bir turi keltirilgan boʻlib, unda bir qator vertikal shneklar harakatchan romlarga oʻrnatilgan boʻladi. Bunday qurilmalarda aylantiruvchi shnek romlar aralashtirilayotgan material bilan birga siljiydi.



3.56-rasm. Kombinalangan turboqorishtirgich.

1 - elektr yuritkich; 2 - rotor; 3 - isitiladigan gʻilof; 4 - deflektor; 5 - filtr;
6 - buriluvchi qopqoq; 7 - oqib oʻtish moslamasi; 8 - sovutiladigan segmentlar; 9- aralashtiruvchi moslama.



3.57-rasm. Turboqorishtirgich ishchi organi.

Barabanli qurilmalarda aralashtirish jarayoni barabanda amalga oshiriladi (3.55 g-rasm).

Zarbali qurilmalarda jarayonning intensivligi aralashtirilayotgan materialga bilalarning koʻpdan – koʻp urinishi natijasida hosil boʻladi (3.55d-rasm).

Ikki pogʻonali, markazdan qochma turboqorishtirgichning umumiy koʻrinishi 3.56-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 (3.57-rasm).

Rotor aylanishi paytida sochiluvchan material qurilma devoriga uloqtiriladi va yuqoriga qarab ko'tariladi. Natijada zarrachalarning stirkulyastiyali harakat oqimi barpo bo'ladi. Qurilma devori bo'ylab hosil bo'lgan ko'tariluvchi oqim nam materialni devorga yopishishiga halaqit beradi. Qorishtirgich konstruktsiyasi rotor parraklarini o'zini - o'zi tozalashini ta'minlaydi.

Sochiluvchan va nam materiallarni aralashtirish uchun mo'ljallangan sekin yurar qorishtirgichlar stilindr 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. Aralashtirish moslamalarini hisoblash

Aralashtirgich parraklari aylanishi paytida energiya asosan ishqalanish qarshiligini engishga, hamda uyurmalar hosil qilish va uzilishiga sarflanadi. Muhitning qarshilik kuchi qarshilik koeffitsienti ψ ga bog'liq.

Istalgan shakldagi parrak uchi uchun o'rtacha va aylanma tezliklari orasida quyidagi bog'liqlik bor va u ushbu ifodadan topiladi:

$$w_{or} = a \cdot \omega$$

bu erda: w - parrak uchiga to'g'ri keladigan aylanma tezlik; a - proporsionallik koeffitsienti.

Agar, $R = P$ ekanligini inobatga olsak, qarshilik koeffitsientini quyidagi tenglamadan aniqlash mumkin:

$$\psi = \frac{P}{\rho d^2 \cdot a^2 \cdot \omega^2}$$

bu erda: R - aralashtirgich parragiga ta'sir etuvchi kuch.

Muhit qarshiligini engish uchun aralashtirgich o'qiga ma'lum miqdorda energiya berish zarur.

Parrak aylanishi uchun kerakki quvvat miqdorini quyidagi formuladan hisoblab topiladi:

$$N = P \cdot w_{yp} = P \cdot a \cdot \omega$$

Parrak uchidagi aylanma tezlik $\omega = \pi dn$ (bu erda n - aralashtirgichning 1 s ichidagi aylanish soni). Agar, oxirgi tenglamaga R va w_{ur} 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, $\psi \pi^3 a^3 = s$ deb belgilab olsak, unda:

$$N = c d^5 \cdot n^3 \rho$$

Koeffitsient s ning qiymati, tajribadan olinadi. Odatda u idish va parrak shakliga, hamda Re kriteriysiga bog'liq, ya'ni:

$$c = f(Re)$$

Aralashtirgichlar uchun Re kattaligi quyidagi ifodadan topiladi:

$$Re_m = \frac{w_{yp} \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{(a\omega) \cdot d \rho}{\mu} = \frac{(a\pi dn)d\rho}{\mu} = a\pi \frac{\pi d^2 \rho}{\mu}$$

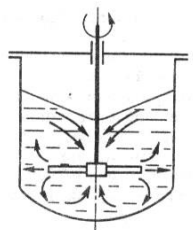
ozgarmas ko'paytma $a\pi$ ni formuladan tushirib qoldirsa bo'lada. Unda:

$$Re_m = \frac{\pi d^2 \cdot \rho}{\mu}$$

Qorishtirish uchun sarflanadigan quvvatni aniqlashga olib keladi. Qorishtirishni 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 aralashishi ikkilamchi oqimlar bilan urama 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, suyuqlik kurakning pastki va yuqori qismlaridan so`riladi. Suyuqlik ikkilamchi oqimi va aylanma harakati, murakkab tasviri 3.58-rasmida keltirilgan.



3.58-rasm. Qorishtirgichda suyuqlik stirkulyastiyasining sxemasi.

Suyuqlikni arashtirgichdagi stirkulyastiyasini murakkab shakldagi yopiq quvurdagi harakat deb tasavvur qilib, iste`mol quvvatini hisoblash uchun kriterial tenglamani  $Eu = f(Re, Fr, G_1, G_2, \dots)$  ko`rinishda olish mumkin. Suyuqlik harakatiga og`irlik kuchining ta`siri sezilsiz bo`lgani uchun, uni hisobga olmaymiz. Bunda  $Eu = f(Re, G_1, G_2, \dots)$  bo`ladi, $Eu = \Delta p / (\rho \omega^2 r)$; 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 erda 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:

$$\Delta p = \frac{N}{V_{sek}} \quad (3.59)$$

bu erda V_{sek} - aralashtirilayotgan suyuqlikning hajmi, u suyuqlik hajmini stirkulyastiya karraligi ko`paytirilganiga teng, m^3/c .

$$V_{cek} = F H m \quad (3.60)$$

bu erda F - qurilmaning ko`ndalang kesim yuzasi; N - qurilmadagi suyuqlik sathi balandligi, m; m - stirkulyastiya karraligi, s^{-1} .

Qurilma o`lchamlarini aralashtirgich diametriga bog`lab yozamiz, chunki ular o`zaro bog`liq.

$$F = C_2 d_m^2; \quad H = C_3 d_m \quad (3.61)$$

Cirkulyastiya karraligini aralashtirgich aylanish chastotasiga proporsional deb qabul qilsa bo`ladi:

$$m = C_4 \cdot n \quad (3.62)$$

$\omega = C_1 \cdot \omega_{ayl} = C_1 \cdot \pi d_m \cdot n = C_5 \cdot d_m \cdot n$ - ekanligini hisobga olib, modifikastiyalashgan Eyler kriteriysini olamiz:

$$Eu_m = \frac{N}{(C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot \rho \cdot n^3 d_m^5)} \quad (3.63)$$

S_2, S_3, S_4, S_5 -koeffistientlarni hisobga olmasak, Eyler va Reynoldslarning modifikastiyalashgan kriteriysini olish mumkin:

$$Eu_m = \frac{N}{(\rho \cdot n^3 d_m^5)} \quad (3.64)$$

$$Re_m = \frac{n d_m^2 \rho}{\mu}$$

buerda: ρ - suyuqlik zichligi, kg/m^3 ; μ - qovushoqlik, Pa·s.

Modifikastiyalashgan kriteriylar orasidagi bog`liqlik tenglamasi ushbu ko`rinishga ega bo`ladi:

$$Eu_m = f(Re_m, \Gamma_1, \Gamma_2, K)$$

Qayta ishlandan so'ng kriterial tenglama $Eu_m = A Re_m^n \cdot \Gamma_1^a \cdot \Gamma_2^b$ soddalashgan holatga keladi. Koeffisient A ning qiymati darajalar ko'rsatkichi, aralashtiruvchining turi, konstruktsiyasi 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 kriteriyalar o'rtasida bog'liqlik grafigi ko'rinishida beriladi.

Normallashtirilgan tipdagi aralashtirgichli qurilmalarning $Ei_m = f(Re_m)$ bog'liqligi 3-4jadvalda va 3.59-rasmda aralashtirgichlarning xarakteristikalarini keltirilgan.

Aniqlangan qonuniy bog'liqliklardan hulosa 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 joylashishchi ham ta'sir qiladi. Shakli stilindrik bo'lmagan va aralashtirgichga to'siqlar o'rnatilgan hollarda (zmeeviklar 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 Reynoldds kriteriysiga bog'liq bo'lmay qoladi. Ushbu avtomodel sohada aralashtirgichning aylanish tezligini oshirish quvvat sarfining ko'payishiga olib keladi.

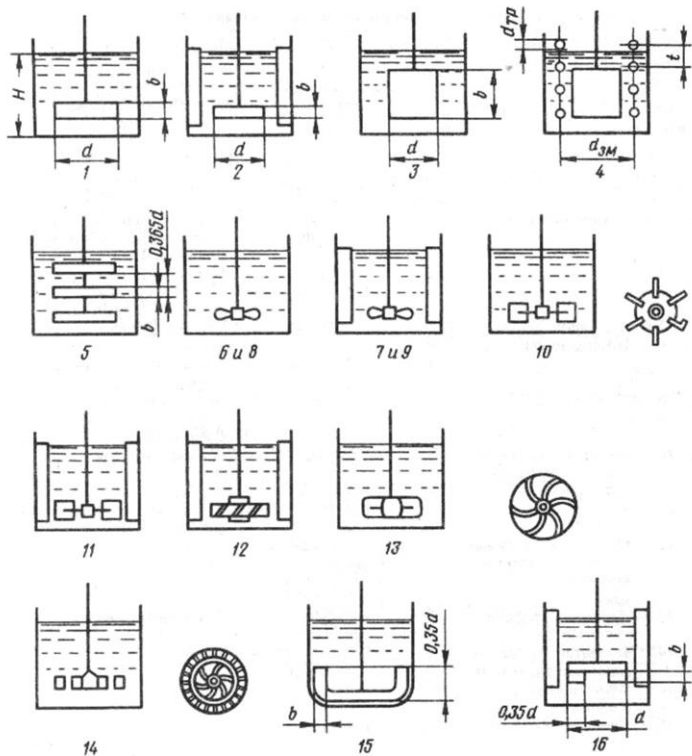
3.59-rasmda berilgan bog'liqliklar tajriba natijalari asosida olingan bo'lib, aralashish jadalligini ketma - ket yaqinlashish uslubida aralashtiruvchining turi, o'lchamlari, aylanishlar soni va aralashtiruvchi yuritkichining quvvatini hisoblashda foydalaniladi.

Qurilma ish hajmi bo'yicha V_{ish} va talab etilayotgan aralashlashtirish jadalligi j (tezkorligi) bo'yicha kerakli quvvati aniqlanadi $[N \cdot m / (m^3 \cdot s)]$:

$$N = j \cdot V_{ish} \quad (3.65)$$

Undan so'ng aralashtiruvchining turi,

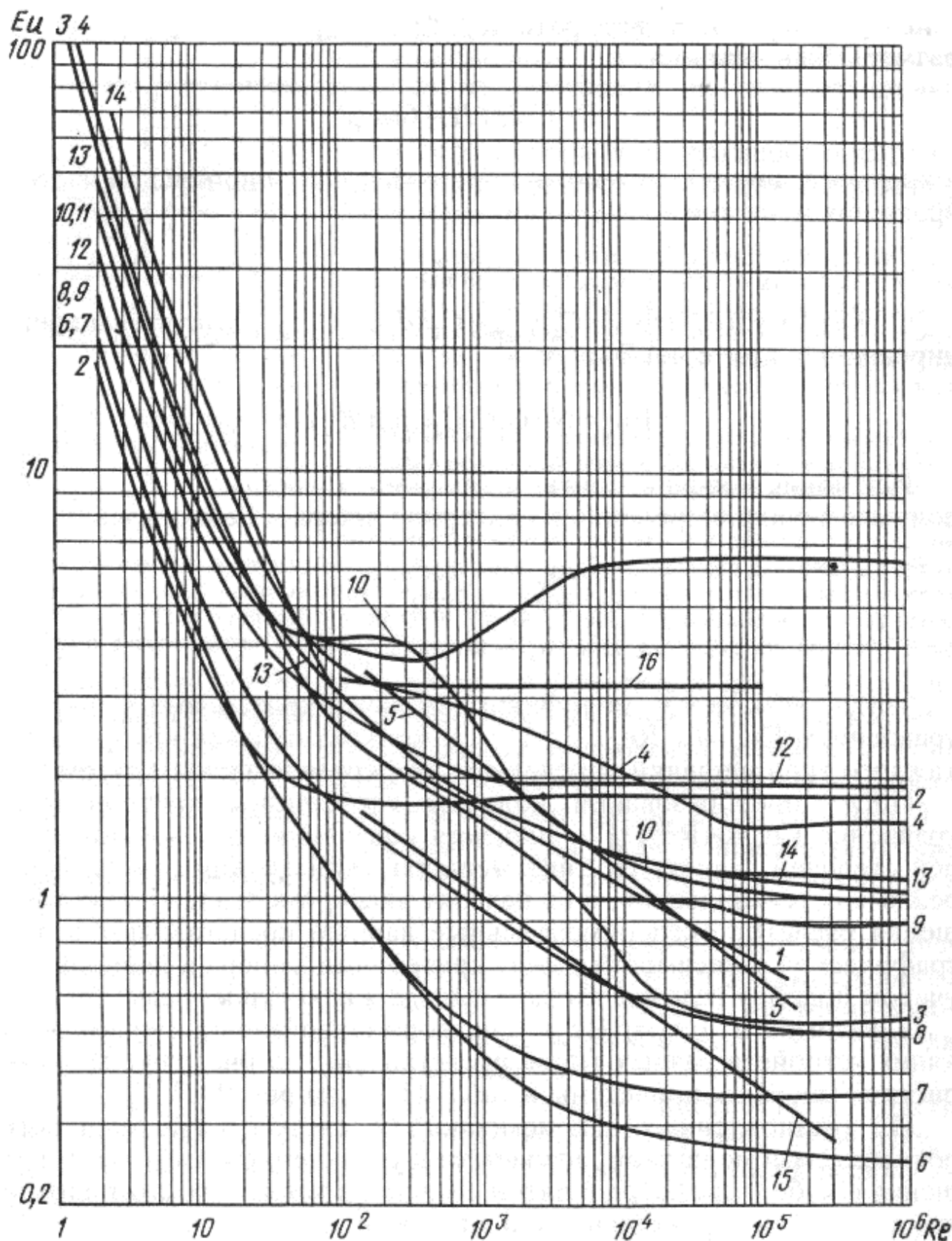
o'lchamlari va aylanishlar soni tanlanadi.



3.59- rasm. Aralashtirgichlar konstruktsiyalari.

Aralashtiruvchining dastlabki tanlangan parametrlari bo'yicha Eyler kriteriysi hisoblanadi, 3.59-rasmdan mos ravishda Re_{ar} kriteriysi aniqlanadi. Re_{ar} qiymati yordamida esa aralashtirgichning aylanish soni aniqlanadi:

$$n = \frac{Re_{ar} \cdot M_c}{(d_{ar}^2 \cdot \rho)} \quad (3.66)$$



3.60-rasm. Turli turdagi aralashtirgichlar uchun $Eu = f(Re)$ grafik bog'liqligi.

Agar, dastlab aniqlangan ushbu nisbatdan aylanishlar sonining qiymati ko'p yoki kam bo'lib qolsa, boshqa qiymatlar olinadi va hisoblash qaytariladi.

Hisoblar, (3.66) 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 (V_t) ni quyidagi tenglamadan aniqlasa bo`ladi:

$$N_{yu} = \frac{N}{\eta} \quad (3.67)$$

bu erda η - uzatmaning f.i.k.

Aralashtirgichga sarflanadigan energiya ($kVt \cdot soat$) aralashtirish davomiyligida bog`liq bo`ladi:

$$E = N_{yu} \cdot \tau \quad (3.68)$$

3-4 jadval

Normallashtirilgan aralashtirgichlarning xarakteristikalar

Aralashtirgichning 3.59-rasmda, 3.60-rasmda egri chiziqli raqamlari.	Aralashtirgich turi	Aralashtirgich xarakteristikasi				Idish xarakteristikasi
		D/d	H/D	d_{ar}	S/ d_{ap}	
1	Ikki parrakli	3	1	0,25	-	to`siqsiz
2	Ikki parrakli	3	1	0,167	-	4 ta to`siqli, eni $0,1 \cdot D$
3	Ikki parrakli	2	1	0,885	-	to`siqsiz
4	Ikki parrakli	2	1	0,885	-	Zmeevikli ($d_{zm}=1,9d$; $d_{tr}=0,066d$; $t=0,12d$)
5	Olti kurakli	1,11	1	0,066	-	to`siqsiz
6	Propellerli	3	1	-	1	to`siqsiz
7	Propellerli	3	1	-	1	4 ta to`siqli, eni $0,1 \cdot D$
8	Propellerli		1	-	2	to`siqsiz
9	Propellerli		1	-	2	4 ta to`siqli, eni $0,1 \cdot D$
10	Ochiq turbinali 6 ta to`g`ri kurakli		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 $0,1 \cdot D$

Ishga tushirish vaqtida energiya faqat ishqalanish kuchini engish uchunгина emas, aralashtirgichni, suyuqlikni harakatga keltirish va inertiya kuchlarini engish uchun sarflanadi. Bu tufayli 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.

TESKARI OSMOS VA ULTRAFILTRLASH

3.32. Umumiy tushunchalar

Cuyuq va gaz aralashmalarni ajratish jarayonlari xalq xo'jaligining ko'p sohalarida muhim ahamiyatga ega. Bunday aralashmalarni ajratishda haydash, rektifikatsiya, ekstraktsiya, adsorbtsiya jarayonlari keng ishlatiladi. Lekin, gaz va suyuq aralashmalarni ajratishning eng universal usuli, yarim o'tkazuvchan to'siq membranalarda yordamida ajratishdir (3.61-rasm).

Kimyo va neftni qayta ishlash sanoatlarida membrana usullari azeotrop aralashmalarni ajratishda, eritmalarini tozalash va konsentratlashni o'rnatishda, yuqori molekulyar birikmalarni eritmalaridan ajratib olishda; biotexnologiya va meditsina sanoatida vaktsina, fermentlarni ajratish va tozalashda; oziq - ovqat sanoatida sabzavot va mevalar sharbatlari konsentratlashni oshirish uchun, suvni va suvli eritmalarini 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, geliy 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 tejimli 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 distillyatsiya, 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.

Yarim o'tkazuvchan to'siq - membranalarni xususiy xossalari 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 gradienti hisoblanadi. Lekin texnik hisoblarda, ushbu jarayonlarning tezligini xarakterlaydigan bosim, temperatura va h. gradienti qabul qilinishi mumkin.

Shunday qilib, membranali jarayonning harakatga keltiruvchi kuchi sifatida bosimlar gradienti - baromembranalari jarayonlar (teskari osmos, nano-, ultra- va mikrofiltrlash), konsentratlash gradienti - diffuzion - membranali jarayonlar (dializ, membrana orqali bug'lanish, membrana yordamida gazlarni ajratish va hokazo), elektr potensial gradienti - elektromembranalari jarayonlar (elektrodializ, elektroosmos va hokazo), temperatura gradienti - termomembranalari jarayonlar (membranali distillyatsiya 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 $\phi(\%)$ quyidagicha aniqlanadi:

$$\phi = \left(\frac{c_1 - c_2}{c_2} \right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{c_2}{c_1} \right) \cdot 100\% \quad (3.69)$$

bu erda s_1 va s_2 - erigan moddaning aralashmadagi va permeatdagi konsentratlashlari.

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 $[kg/(m^2 \cdot s)]$:

$$G = \frac{V}{F \cdot \tau} \quad (3.70)$$

Membrana - bu suyuq yoki gaz aralashmadan bir yoki bir necha komponentni bir tomonlama o'tkazish

qobiliyatiga ega bo'lgan yarim o'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 etarli mustahkamlik;
- 5) ishlatish davrida xossalari o'zgarmasligi kerak.

Membranalar turli polimer (stellyuloza, astetat, 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 membranalarining xizmat muddati membrana materialining kimyoviy chidamliligi bilan belgilanadi.

Diffuziyali membranalar yordamida gaz va suyuqlik aralashmalarini 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'laklarning polimer zanjiri o'zaro qanchalik sust bog'langan bo'lsa, diffuziya tezligi shunchalik yuqori bo'ladi. Demak, diffuziyali membranalarini tayyorlashda liofil polimer materiallarni qo'llash maqsadga muvofiq.

Molekulalarni diffuziyali membranalar orqali o'tish tezligi diffuziya koeffitsientiga to'g'ri proporsional va u esa o'z navbati molekulalarning o'lchami, shakliga qattiq bog'liq.

Bu turdagi membranalarining yaxshi xususiyatlaridan biri shundaki, ularning o'tkazuvchanligi vaqt o'tishi bilan umuman kamaymaydi. Diffuziyali membranalar gidravlik qarshiligi katta, shuning uchun ular yuqqa 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, izotrop);
- 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.

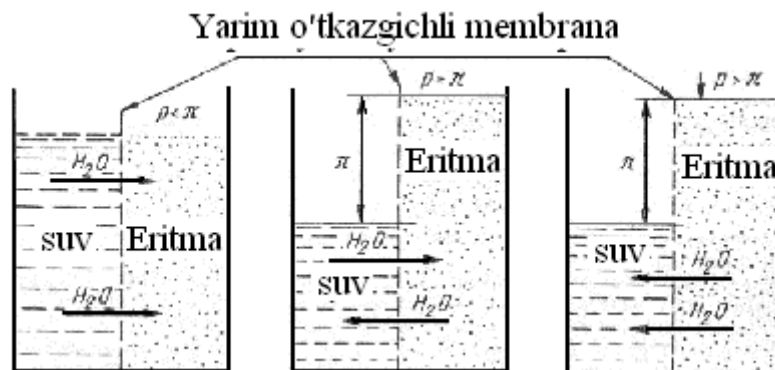
Membrana orqali ajratilayotgan moddalarning o'tishiga erituvchini tashkil etuvchi komponentlar xossalari (masalan, suvning) va ularning membrana bilan o'zaro ta'siri katta ahamiyatga ega. Ma'lumki, suyuqlik va qattiq jism to'qnashish zonasida sirtiy kuchlar (adgeziya, sirtiy taranglik, molekulyar tortishish) 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 molekullari 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 molekulalar (yoki ionlar) larini ushlab qoladigan yarim o'tkazuvchan membranalar yordamida bosim ostida filtrlash jarayoni. Teskari osmos usuli osmos hodisasiga asoslangan, ya'ni bunda sistema muvozanat holatiga chiqmaguncha ($r = \pi$), erituvchi yarim o'tkazuvchan membrana orqali eritmaga o'z - o'zidan o'tadigan jarayon (3.61-rasm).

Muvozanat holatiga o'rnatilish paytidagi bosimga **osmotik bosim** (π) deyiladi. Agar, eritmaga osmotik



3.61-rasm. Teskari osmos usulida eritmalarni ajratish sxemasi.

a - osmos; b - muvozanat; v - teskari osmos.

bosimdan ko'proq bosim ta'sir ettirilsa ($p > \pi$), massa o'tish jarayoni teskari yo'nalishda boradi (3.61v -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 $\Delta r = r - \pi$ hisoblanadi, bu erda r - eritma ostidagi ortiqcha bosim π - eritmaning osmotik bosimi. Agar, teskari osmos jarayonida membrana orqali ozgina dispers faza o'tib qolsa, unda Δr ni hisoblash paytida filtratning osmotik bosimi π ni ham inobatga olish zarur, ya'ni:

$$\Delta p = p - (\pi_1 - \pi_2) = p - \Delta \pi \quad (3.71)$$

Osmotik bosimni tahminiy hisoblash uchun Vant - Goff formulasidan foydalansa bo'ladi.

$$\pi = xRT \quad (3.72)$$

bu erda 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 kapillyar - filtrlashli modeliga binoan elektrolitga cho'ktirilgan liofil membrananing yuzasi va g'ovaklar ichida t_c 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. Yu. I. Ditnerskiy tomonidan yaratilgan.

Agar, membrana g'ovaklari diametri $d \leq 2t_c + d_{ri}$ (bu erda d_{ri} - gidratastiyalangan ion diametri) bo'lsa, g'ovaklar orqali asosan suv o'tadi. Bu hol bunday membranalarining 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 gidratastiyalash 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 sorbstiya xususiyatli bo'lishi kerak;
- g'ovaklar diametri bog'langan suv qatlami qalinligi va gidratastiyalangan 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 molekulyar birikmali eritmalarni ajratish jarayoni, hamda yuqori molekulyar birikmalarni quyushtirish va fraktsiyalashdir. Ushbu jarayon bosimlar farqi yordamida amalga oshiriladi.

Ultrafiltrlash jarayoni erigan komponent molekulyar massasi erituvchi molekulyar massasidan ancha katta bo'lgan sistemalarni ajratish uchun qo'llaniladi.

Yuqori molekulari 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, medistina, kimyo, mikrobiologiya, oziq - ovqat va boshqa sanoatlarda keng qo'llanilmoqda. Testkari osmos, nano- va ultrafiltrlash jarayonlarida eritmalarini ajratishdan avval mikrofiltrlash jarayonini amalga oshirish yuqori samara beradi.

Baromembran jarayonlarni shartli qo'llash chegaralari 3-5 jadvalda keltirilgan.

3-5 jadval

Jarayon Parametr	Testkari 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 testkari osmos va ultrafiltrlash o'rtasidagi oraliq jarayon.

Ushbu jarayon yordamida molekulyar massasi 300...3000 bo'lgan moddalarni ajratish va quyuqlashtirish (konstentrlash), 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 kombi-nastiyalangan 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. Po-limer 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 membranalarining qalinligi bo'yicha konstantstratiya yoki bosim gradientiga asoslangan bo'lib, gaz yoki suyuq aralashmalarni ajratishda qo'llaniladi. Bunda gazlarni membrana yordamida komponentlarga ajratish yoki biror komponentga to'yinishi yuz beradi.

Fovaksiz 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 adsorbstiyalanadi; 2) gaz membrana orqali diffuziya hisobiga o'tadi; 3) membrananing boshqa tomonida desorbstiya yuz beradi. Odatda, ikkinchi bosqich jarayonning tezligiga asosiy xissa qo'shadi va o'tayotgan diffuziya jarayoni Fikning birinchi qonuni bilan ifodalanadi:

$$G = -DF \frac{dc}{dx} \quad (3.73)$$

Agar, (3.73) tenglamani integrallasak va tegishli o'zgartirishlar kiritilsa:

$$G = D \frac{c_1 - c_2}{\delta} \cdot F \quad (3.74)$$

bu erda G - membrana orqali o'tgan gaz miqdori; D – diffuziya koeffistienti; c_1 va c_2 - membrananing ikki tomon-laridagi konstantstratiyalar; x - membrana qalinligi bo'yicha masofa; F - membrana yuzasi; δ - membrana qalinligi.

Membrana yuzasidagi konstantstratiyalar 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:

$$c_1 = SP_1 ; \quad c_2 = SP_2 \quad (3.75)$$

bu erda S - erish koeffistienti; R_1 va R_2 - membrananing ikki tomon yuzalaridagi bosimlar.

(3.75) va (3.74) tenglamalarni (3.73) tenglamaga qo'ysak:

$$G = -DS \frac{P_1 - P_2}{\delta} \cdot F \quad (3.76)$$

$A = D \cdot S$ - membrananing gaz o'tkazuvchanligi (yoki o'tkazuvchanlik koeffistienti).

$$G = A \frac{P_1 - P_2}{\delta} \cdot F \quad (3.77)$$

ya'ni, gaz yoki bug'ning membrana orqali o'tish tezligi membrananing yuzasi, bosimlar farqi va membrananing o'tkazuvchanlik koeffitsientiga to'g'ri proporsional va qalinligiga teskari proporsional.

Membrana orqali bug'lanish - usulida suyuq aralashmalar ajratiladi. Ushbu usul aralashma komponentlarining diffuziya koeffitsientlari turlichi 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 kondensastiyalanadi.

Bu jarayon ham uch bosqichda o'tadi: 1) modda membrana yuzasida adsorbstiyalanadi; 2) membrana orqali diffuziya yordamida o'tadi; 3) membrananing boshqa tomonida desorbstiya 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 °S 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 konstitrlangan va suyultirilgan eritmalarini diffuziya tezliklari turli bo'lgan moddalarni yarim o'tkazuvchan membranalar orqali o'tkazib ajratish usulidir. Agar konstitrasiyasi yuqori va past bo'lgan eritmalar orasiga membrana joylashtirilsa, eritmalar orasida konstitrasiya gradienti hosil bo'ladi. Bu gradient ta'sirida eritilgan modda membrana orqali konstitrasiyasi 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 gradienti hosil bo'lishiga asoslangan va membranali distillyatsiya bunga misol bo'lishi mumkin.

Jarayonning mohiyatini ko'rib chiqamiz. Boshlang'ich konstitrasiyal birorta bir eritma isitilib (30-70°S) mikrog'ovakli suv o'tmaydigan membrananing bir tomonida uzatiladi. Membrananing boshqa tomonida esa, sovuq erituvchi (suv) harakat qiladi. Membrananing g'ovaklarining diametri juda kichik va u suv o'tkazmaydigan bo'lgani uchun, suv molekulalari membrana orqali o'tmaydi. Issiq eritmada ajrab chiqqan bug' membrana g'ovaklariga kirib membrananing sovuq tomonida kondensastiyalanadi. Unda, g'ovaklarda vakuum hosil bo'ladi va bug'latish jarayoni tezlashadi. Berilgan eritmaning temperaturasi uncha yuqori bo'lmagani uchun membranali distillyatsiyani 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 konstitrasiyasini 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, maxsuseritma bilan qanchalik yaxshi ishlov berilganiga bog'liq. Lekin, membranalar ko'rilgan chora va tadbirlarga qaramasdan, ifloslanadi va qurilmaning texnologik ko'rsatkichlarinipasaytiradi. Shuning uchun membranalar xarakteristikalarini dastlabkiholatiga keltirish uchun mexanik, gidrodinamik, fizik va kimyoviy tozalash usullari qo'llaniladi.

Mexanik tozalash usuli samarali bo'lib, faqat stilindrik membranaelementli qurilmalarda qo'llash mumkin. Buning uchun ifloslangan membrana yuzasi ko'pikli gubka 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'libilan membranani tozalash

mumkin.

Bu usullar eng sodda va arzon. Lekin, bu usulda faqat yuzaki, engilbog'langan cho'kmalargina tozalanaadi.

Fizik tozalash membranaga elektr, magnit va akustik maydonlarta'sir ettirish orqali amalga oshiriladi. Bu usulning eng asosiy afzalligi shundaki, membranalarni tozalash qurilmani to'xtatmasdanamalga oshirish mumkin.

Kimeviy tozalash membranalarni reaktiv (masalan, limon, shavelkislotalari, soda, xlor vodorodli suyuq eritma va h.) lar yordamidayuvishdir. 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 umumanqo'llash mumkin emas.

3.36. Membranali qurilmalar tuzilishi va ishlash prinstipi

Teskari osmos va ultrafiltrlash jarayonlari uchun ishlatiladigan qurilmalar davriy va uzluksiz ishlaydigan bo'ladi. Davriy kurilmalar, 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 yukori bosimga hisoblangan va quvurlarni ulanish joyida flanestli birikmalar va maxsus, chidamli qistirmalar qo'llashni talab qiladi.

Filtrlovchi membrana joylashish usuliga qarab yassi, stilindr va o'ram shaklli, hamda ichi bo'sh tolali membranali qurilmalar bo'ladi.

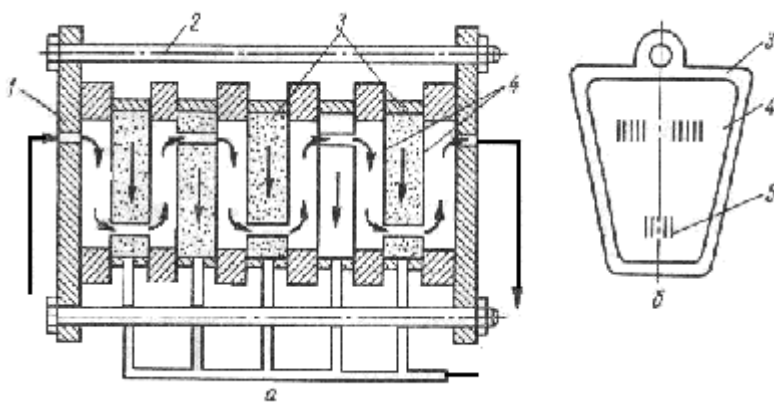
Ushbu qurilmalar alohida sekstiya va modullardan tarkib topgan. Shuning uchun istalgan yuzali qurilmalar yig'ish oson.

Membranali qurilmalarga quyiladigan 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 kurilmalar oddiy filtr qurilmasiga o'xshash bo'lib, eng sodda qurilma deb hisoblanadi. Bu qurilma ikki membranadan tarkib topgan filtrlovchi element konstruktsiya asosini tashkil etadi (3.62-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 oralikda o'rnatilib, eritmani ajratuvchi membranalararo bo'shliq hosil qiladi. Filtrlovchi elementlar dastasi ikkita plita orasida joylashtiriladi va tortuvchi boltlar bilan siqib qo'yiladi.



3.62-rasm. Yassi yuza membrana elementli qurilma.

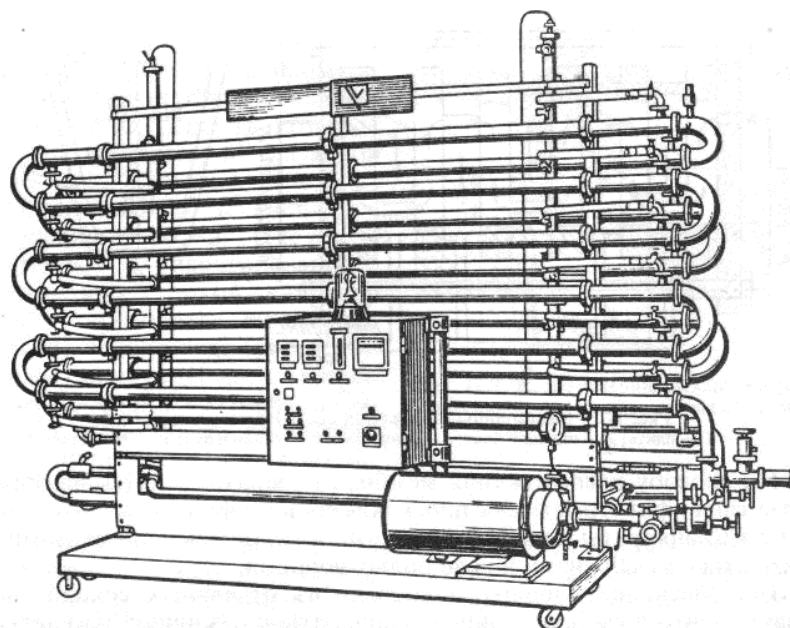
1-plita; 2-tortuvchi bolt; 3-metall "patak"; 4-membrana; 5-teshik.

Eritma filtrlovchi elementlardan ketma-ket o'tadi va konstantrlanadi. Hosil bo'layotgan konstantrat 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 kurilmalar kamchiliklari: membranalar solishtirma yuzasi kichik 60...300 m²; membranalarni almashtirish va yigish qo'lda amalga oshiriladi.

Uilindrik membrana elementli qurilmalar alohida silindrik filtrlovchi modullardan yig`iladi (3.63-rasm).



3.63-rasm. Silindrik membrana elementli qurilma.

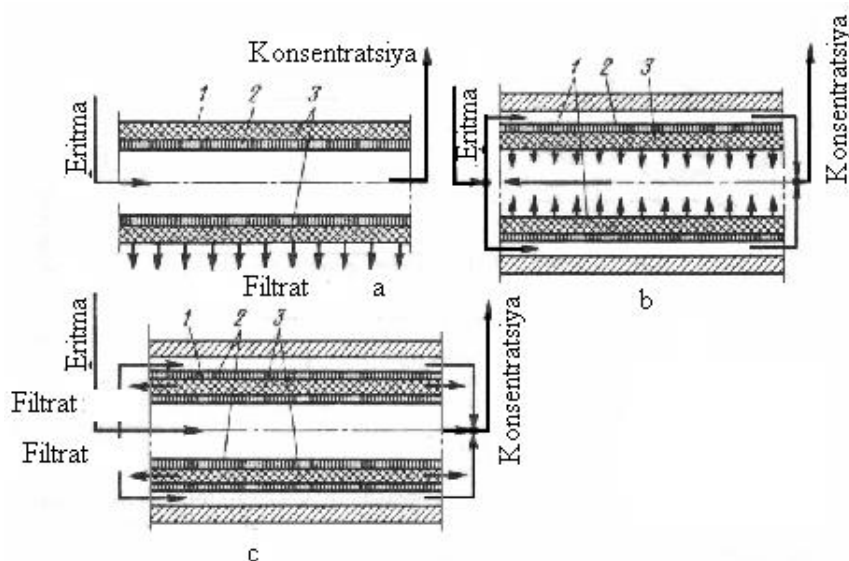
Uilindrik filtrlovchi elementlar 3 xilda: membrana drenaj qobirg`aning ichki va tashqi yuzasida, hamda kombinatsiyali joylashtirilib tayyorlanadi.

Drenaj qobirg`aning ichki yuzasida o`rnatilgan membranali qurilmalar afzalliklari (3.64a-rasm): metall sarfi kam; gidravlik qarshiligi kichik; filtrlovchi elementlarni buzmasdan turib cho`kmadan tozalash oson; konstruktsiya ishonchligi yuqori.

Kamchiliklari: filtrlovchi membrananing solishtirma ishchi yuzasi kichik; elementlarni yig`ish yuqori talablarga javob berishi kerak.

Drenaj qobirg`aning tashqi yuzasida o`rnatilgan membrana 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.

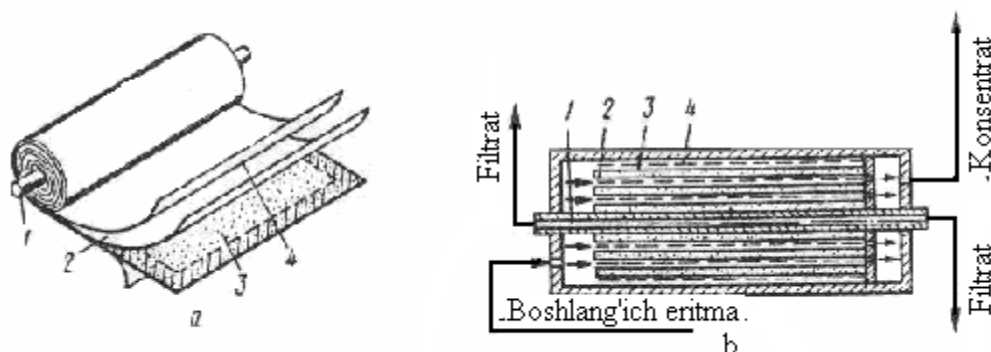
Membranalari kombinatsiyali joylashtirilgan silindrik filtr elementlarning solishtirma ishchi yuzasi yuqorida ko`rib chiqilgan qurilmalarnikidan 2 marta ko`p bo`ladi (3.64v-rasm). Lekin, filtrat chiqarish kanallarining uzunligi kattaligi uchun, gidravlik qarshilik nisbatan katta bo`ladi.



3.64-rasm. Membranasi turlicha joylashtirilgan silindrik filtrlovchi elementlar.

a-drenaj qobirg`aning ichki yuzasida; b-drenaj qobirg`aning tashqi yuzasida; c-kombinatsiyalashgan; 1-truba; 2-membrana; 3-metall "patak".

Kilindrik filtr elementli ultrafiltrlash qurilmalari meva va meva-rezavorlar sharbatlarini tinitib tozalash uchun keng ko'lamda qo'llaniladi. Sharbatlarni xira qilib turuvchi protein, kraxmal, pektin, stellyuloza zar-rachalaridan ajratib olish mumkin. Tozalangan sharbatda faqat tabiiy tarkibli moddalar qoladi.



3.65-rasm. O'ramli filtr element (a) va shunday elementli qurilma (b)

1-truba; 2-membrana; 3-metall "patak"; 4-to'r-separator.

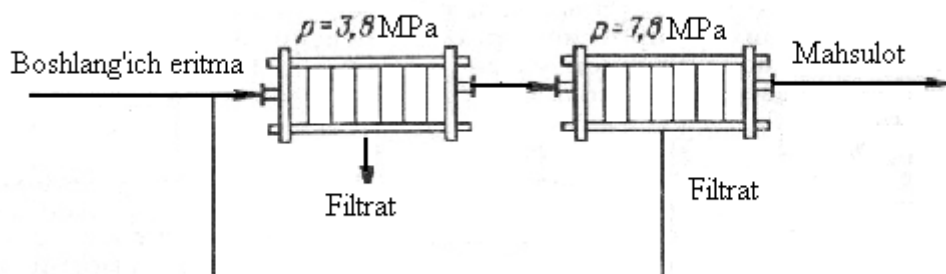
O'ram shakldagi membrana elementli qurilmalar truba shaklida yasilib, uning ichiga bir nechta o'ramli filtr element tiqiladi.

Membranani o'rash zichligi $300 \dots 800 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Boshlang'ich eritma membranalararo bo'shliqda bo'ylama yunalishda harakat qilsa (3.65b-rasm), filtrat esa, spiralsimon drenaj qatlamdan o'tib, trubaga tushadi va quril-madan chiqariladi.

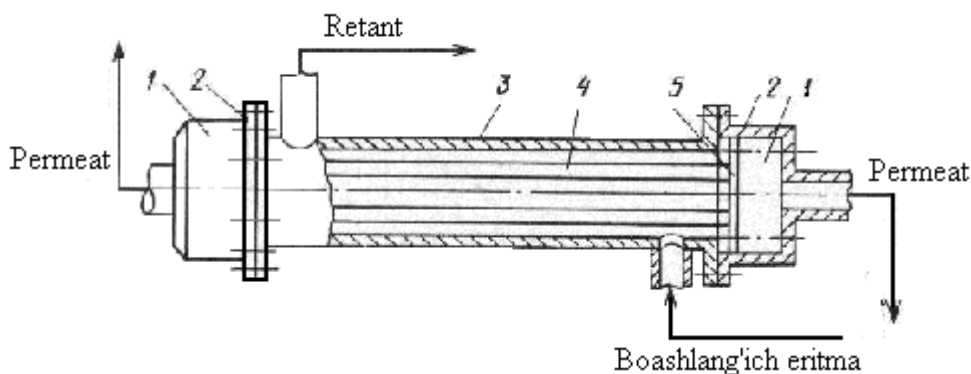
Membrananing ishchi yuzasini oshirish uchun o'rash zichligi ko'paytiriladi.

Membrananing o'rash zichligi oshirilsa, uning ishchi yuzasi ortadi va yasalish narxi pasayadi. O'rash paketining eng maksimal eni 900 mm gacha bo'ladi. Paketlarning uzunligi drenaj qatlamining filtrat harakatiga gidravlik qarshiligi bilan chegaralanadi va odatda 2 metrdan oshmaydi.

3.66-rasmda sut mahsulotlarini ishlab chiqarish uchun, uni qayta ishlash texnologik sxemasi keltirilgan.



3.66-rasm. Sutni qayta ishlash sxemasi.



3.67-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.

Ushbu sxemadan ko`rinib turibdiki, sutni separastiya 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 muommosini hal etish imkonini beradi.

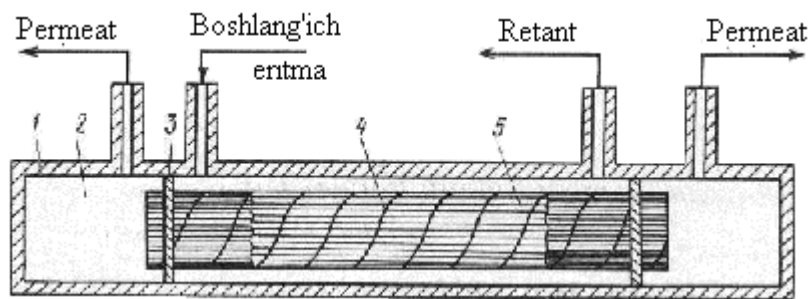
Ichi bo`sh tolali qurilmalar **ultrafiltrlash** va **teskari osmos** yordamida eritmalarini ajratish uchun keng miqyosda qo`llaniladi. Ichi bo`sh tolalarning tashqi diametri 45...200 mkm va devorining qalinligi esa 10...50 mkm, ultrafiltrlash uchun diametri - 200...1000 mkm, devori qalinligi - 50...200 mkm. Ushbu o`lchamli tolalar suyuqlik yoki gaz aralashmasining 10 MPa gacha bo`lgan bosimga chidamli va o`z mustahkamligini yuqotmaydi.

Bu turdagi qurilmalarni quyidagi guruhlarga bo`lish mumkin: a - ichi bo`sh, tolalari parallel joylashtirilgan; b - silindrik membrana elementli; v - 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.

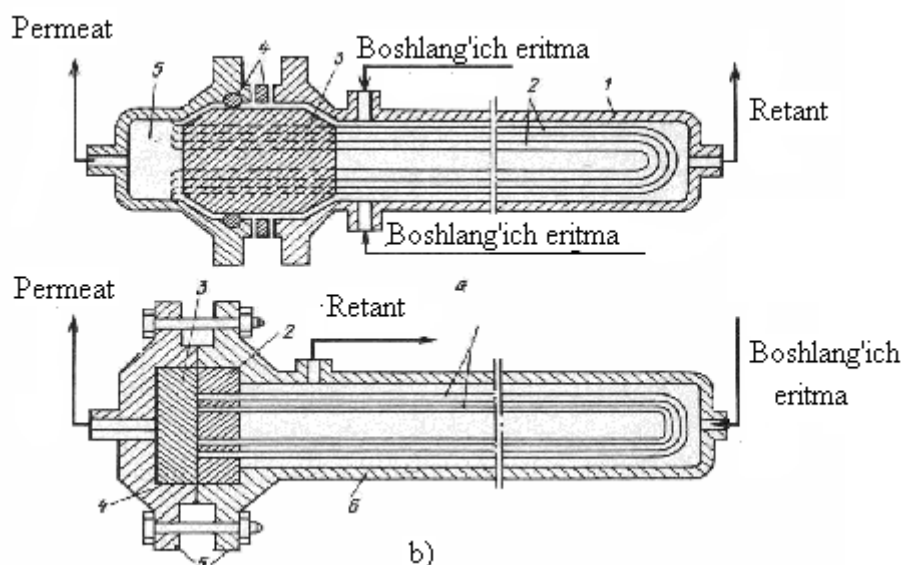
3.67-rasmda ichi bo`sh, tolalari parallel o`rnatilgan membrana qurilma keltirilgan.

Qurilma, eritma kirish va chiqish shtusterlari o`rnatilgan qobiq 3 dan, hamda permeat yig`gich 1 va teshikli panjara 5 larni mahkamlash uchun flanest 2 lardan tarkib topgan. Ichi bo`sh tolalar dastasi 4 qobiq 3 o`qiga parallel holda joylashtiriladi va epoksid elimi 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 kapillyar kanallardan yig`gichga tushadi. Konsentrlangan eritma va retant-uzluksiz ravishda qurilmadan chiqarilib turadi.



3.68-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.



3.69-rasm. Ichi bo`sh, tolalari U-simon qilib joylashtirilagn 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.

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 (3.68-rasm)

Bu turdagi qurilmalarda eritmani aralashtirish jaraenini jadallashtirish uchun taqsimlovchi truba o'rnatiladi. Ushbu trubaning markaziy qismida eritmani tolalar dastasining ichiga uzatish uchun teshiklar qilingan bo'ladi.

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 zarachalar bor eritmalarini 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 (3.69-rasm).

Bu turdagi qurilmalar qobiq 1, permeat yig'gich 5 va halqasimon qistirmalar 4 dan tarkib topgan bo'ladi (3.69a-rasm). U-simon ichi bo'sh tolalar dastasining uzunligi 1,5...2 metr bo'lib, ularning ochiq uchlari shayba 3 ga epoksid elimi 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 3.69b-rasmda ko'rsatilgan qurilmada bartaraf qilingan, chunki shayba 3 qalinligi ancha kamaytirilgan, ya'ni 10...20 mm.

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 eltichlar 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 s_0 (kg/kg) permeatning konsentratsiyasi s_2 (kg/kg), va qurilmadan chiqayotgan permeat miqdori a :

$$a = \frac{W}{L_0} \quad (3.78)$$

bu erda W - permeat sarfi, kg/soat.

Permeat a chiqishi bo'yicha uning miqdori aniqlanadi:

$$W = a \cdot L_0 \quad (3.79)$$

Oqimlar bo'yicha moddiy balans:

$$L_0 = L - W \quad (3.80)$$

L - retant (konsentrat) sarfi:

$$L = L_0 - W \quad (3.81)$$

Komponent bo'yicha moddiy balans:

$$L_0 c_0 = L c_1 - W c_2 \quad (3.82)$$

(3.81) tenglamani inobatga olganda, retant tarkibini ushbu formuladan topiladi:

$$c_1 = \frac{L_0 c_0 - W c_2}{L_0 - W} \quad (3.83)$$

$$c_1 = \frac{c_0 \left(\frac{W}{L_0} \right) \cdot c_2}{1 - \frac{W}{L_0}} \quad (3.84)$$

Keltirib chiqarilgan (3.83) va (3.84) tenglamalar boshqa turdagi membranalarni hisoblash uchun ham qo'llash mumkin.

Agar, (3.78) tenglikni inobatga olsak, hisoblash formulasi quyidagicha bo'ladi:

$$c_1 = (c_0 - a c_2) \cdot (1 - a) \quad (3.85)$$

Membrana ustidagi ajratilayotgan eritmaning tarkibiga qarab membrananing solishtirma unumdorligi ushbu funktsiya orqali aniqlanadi:

$$G = f(c_1) \quad (3.86)$$

Agar, G va s_l kattaliklar ma'lum bo'lsa va (3.79) tenglamani hisobga olsak (3.70) formuladan yarim o'tkazuvchan membrananing yuzasi F ni topish mumkin:

$$F = \frac{W}{G} = \frac{a L_0}{f(c_1)} \quad (3.87)$$

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:

$$M = K F \Delta_{or} \tau \quad (3.88)$$

bu erda K – massa o'tkazish koeffitsienti; F – membrana ishchi yuzasi; Δ_{ur} - membranali ajratish jarayonining harakatga keltiruvchi kuchi; τ - jarayon davomiyligi.

(3.88) tenglamadan membrananing ishchi yuzasi topiladi:

$$F = \frac{M}{K \Delta_{or} \tau} \quad (3.89)$$

bu erda M – membrana orqali o'tgan komponent miqdori, moddiy balans orqali aniqlanadi.

Membrana orqali modda o'tish paytida massa o'tkazish koeffitsientini K ushbu formuladan topiladi:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{\delta}{\lambda_M} + \frac{1}{\beta_2}} \quad (3.90)$$

bu erda $\square$ - ajratilayotgan okimdan membrana yuzasiga modda berish koeffitsienti; $\square$ - membrana kalinligi; $\square_m$ - membrananing modda utkazuvchanlik koeffitsienti; $\square \square_2$ - membranadan permeat okimiga modda berish koeffitsienti.

Massa o'tkazish koeffitsientining teskari qiymati massa o'tkazishga ko'rsatilgan qarshilikni ko'rsatadi:

$$\frac{1}{K} = R = r_1 + r_M + r_2 = \frac{1}{\beta_1} + \frac{\delta}{\lambda_M} + \frac{1}{\beta_2} \quad (3.91)$$

bu erda $r_1=1/\square \square$; $r_2=1/\square \square$ - massa berishga ko'rsatilgan qarshiliklar; $r_M=\delta/\lambda_M$ - membranadagi massa o'tish jarayoniga qarshiligi va $r \gg (r_1+r_2) \cdot r_{Mni}$ aniqlash uchun ko'pincha tajriba o'tkazish kerak bo'ladi. Undan tashqari Δ_{yp} ni

aniqlash ham oson emas.

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, kondensastiyalash, 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 emirmasligi 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'rsatgichlarga katta ahamiyat berish kerak.

4-1 jadval

Issiqlik (sovuqlik) eltkichlarning eng keng tarqalgan turlari

t/ r	Issiqlik eltkichning nomi	Ishchi sharoitlar	
		Temperatura , °S	Bosim, MPa

	Geliy	≤ -272	$\leq 0,1$
1.	Vodorod	≤ -257	$\leq 1,0$
	Azot, kislorod, havo	≤ -210	$\leq 20,0$
2.	Metan	-100...-160	$\leq 4,0$
	Etan, etilen, freonlar	-70...-150	$\leq 4,0$
3.	Ammiak, oltingugurt va uglerod dioksidi, freon -12,22	0...-70	$\leq 1,5$
	Etilenglikol	0...-65	$\leq 0,1$
	Kalstiy xlorid eritmasi	0...-50	$\leq 0,1$
5.	Freon –11, 21, 113, 114	0...-10	$\leq 0,3$
	Suv	0...-100	0,1
6.	To`yingan suv bug`i	100...374	0,1...22
	Gazoyl	0...250	,5
7.	Difenil, difeniloksid, difenil aralashmalari (yuqori temperaturali organik issiqlik eltkichlar)	200...300	0,1...4,
		260...350	0
8.	Silikonlar (yuqori molekulali kremniy organik birikma)	320	0,1
	Qalay va surmalarning qo`rg`oshin bilan qotishmasi	400	0,1...0,
	HTS quyuq eritmasi (40% NaNO₂, 17% NaNO₃va 53% KNO₃)	150...530	6
1			
0.	Tutun gazlari	420...1000	0,1
	Qattiq issiqlik eltkichlar (shamot, alund va hokazo)	≤ 1500	0,1
1.	Gazlardan elektr razryadi o`tganda hosil bo`lgan gazlar	≤ 3500	0,1
1			0,1
2.			0,1
1			0,1
3.			
1			

4.			
1			
5.			
1			
6.			
1			
7.			
1			
8.			
1			
9.			

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. Uzlaksiz 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 xarakteristikalar bo'lib, o'rtacha temperaturalar farqi, issiqlik o'tkazish koeffitsienti 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 echib topiladi;

2. Berilgan vaqt ichida zarur issiqlik miqdorini uzatishni ta'minlovchi qurilma-ning issiqlik almashinish yuzasi aniqlanadi.

Buning uchun issiqlik o'tkazishning asosiy tenglamasidan foydalaniladi.

Issiqlik asosan 3 usulda uzatilishi mumkin. Issiqlik o`tkazuvchanlik, konvekstiya 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:

$$Q = Q_1 = Q_2 \quad (4.1)$$

bu erda Q - qurilmaning issiqlik yuklamasi.

Agar, issiqlik 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_{2ch} bo`lganda (4.1) tenglikni ushbu ko`rinishda yozish mumkin:

$$Q = G_1(I_{1b} - I_{1ch}) = G_2(I_{2ch} - I_{2b}) \quad (4.2)$$

Agar, issiqlik almashinish jarayonida issiqlik eltkichning agregat holati o`zgarmasa, unda uning entalpiyasi ushbu ko`rinishda ifodalanadi:

$$I_{1b} = c_{1b} t_{1b} \quad I_{1ch} = c_{1ch} t_{1ch} \quad (4.3)$$

$$I_{2ch} = c_{2ch} t_{2ch} \quad I_{2b} = c_{2b} t_{2b}$$

Odatda, texnik hisoblarda ma'lum temperatura uchun entalpiya qiymati jadval va diagrammalardan topiladi.

Agar, ikkala eltkichning solishtirma issiqlik sig'implari (S_1 va S_2) temperaturaga bog'liq emas deb hisoblansa, unda issiqlik balansining tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$Q = G_1 c_1 (t_{1\delta} - t_{1\epsilon}) = G_2 c_2 (t_{2\epsilon} - t_{2\delta}) \quad (4.4)$$

4.1.2. Temperatura maydoni va gradienti

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) bog'liq bo'ladi va vaqt τ o'tishi bilan o'zgaradi. Demak, temperatura maydonini ushbu funktsiya bilan ifodalash mumkin:

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad (4.5)$$

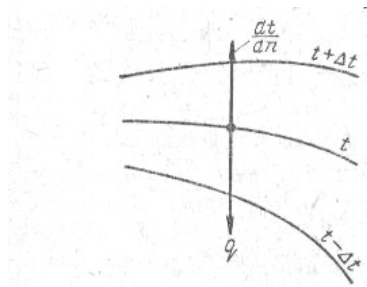
Ushbu bog'liqlik turg'un temperatura maydonini ifodalovchi tenglamadir.

Xususi holatda (4.5) tenglama faqat fazoviy koordinatalar funktsiyasi bo'ladi, ya'ni:

$$t = f(x, y, z) \quad (4.6)$$

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.



4.1-rasm. Temperatura gradientini aniqlashga oid.

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:

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{\partial t}{\partial n} = \text{grad} t \quad (4.7)$$

Izotermik yuzaga normal bo'yicha yo'nalgan temperatura hosilasi temperatura gradienti deb nomlanadi.

Temperatura gradienti vektor kattalikdir.

Temperatura gradienti nolga teng bo'lmagan ($\text{grad} t \neq 0$) sharoitdagina issiqlik oqimi hosil bo'lishi mumkin. Ma'lumki, issiqlik oqimi har doim temperatura gradienti chizig'i bo'ylab harakat qiladi. Lekin, uning harakat yo'nalishi temperatura gradientiga qarama-qarshi bo'ladi.

4.2. Issiqlik o'tkazuvchanlik

Fure qonuni. Qattiq jismlarda issiqlik tarqalish jarayonini tajribaviy o'rganish natijasida Fure (1768-1830) issiqlik o'tkazuvchanlikning asosiy qonuni kashf etdi. Ushbu qonunga binoan, issiqlik o'tkazuvchanlik orqali uzatilgan issiqlik miqdori dQ temperatura gradienti $\frac{\partial t}{\partial n}$, vaqt $d\tau$ ga va issiqlik oqimi yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan maydon yuzasi dF ga proporsional bo'ladi, ya'ni:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF \cdot d\tau \quad (4.8)$$

(4.8) formuladagi proporsionallik koeffitsienti λ issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti deb ataladi. Bu koeffitsient jismning issiqlik o'tkazish qobiliyatini xarakterlaydi va quyidagi o'lchov birligiga ega:

$$[\lambda] = \left[\frac{dQ \partial n}{\partial t dF \cdot d\tau} \right] = \left[\frac{J \cdot m}{K \cdot m^2 \cdot s} \right] = \left[\frac{Vt}{m \cdot K} \right]$$

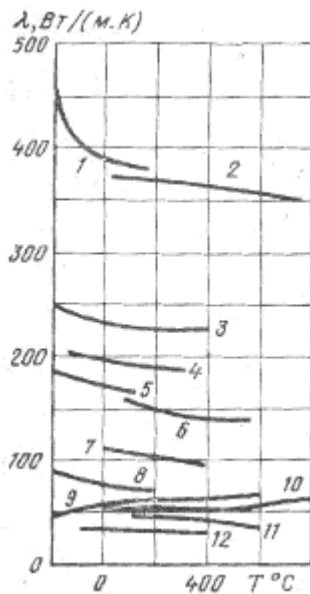
Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti issiqlik almashinish yuza birligidan ($1m^2$) vaqt birligi davomida izotermik yuzaga normal bo'lgan 1m uzunlikka to'g'ri kelgan temperaturalarning $1K(^{\circ}S)$ ga pasayishi vaqtida uzatilgan issiqlik miqdorini ifodalaydi.

Jismlarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti uning tarkibi, fizik-kimyoviy xossalari, temperatura, bosim va boshqa kattaliklarga bog'liq. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti turli materiallar uchun quyidagi oralikda bo'ladi:

- gazlar uchun $0,005 \dots 0,5 \text{ Vt/(m} \cdot \text{K)}$;
- suyuqliklar uchun $0,08 \dots 0,7 \text{ Vt/(m} \cdot \text{K)}$;
- issiqlik qoplama va qurilish materiallari uchun $0,22 \dots 3,0 \text{ Vt/(m} \cdot \text{K)}$;
- metallar uchun $2,3 \dots 458,0 \text{ Vt/(m} \cdot \text{K)}$.

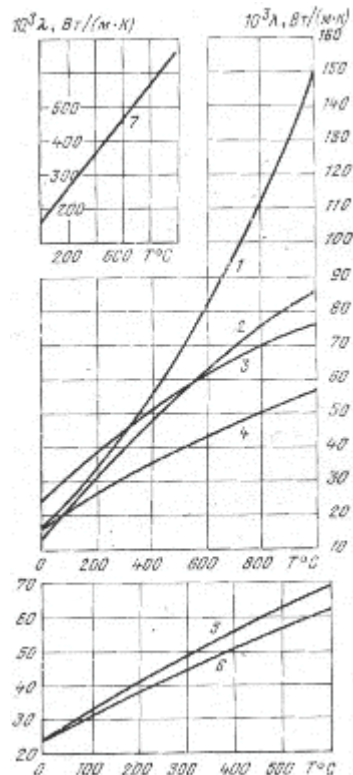
Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarida qo'llaniladigan ayrim metallar issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti quyidagi qiymatlarga ega: legirlangan po'lat - $14 \dots 23$; qo'rg'oshin - 35 ; uglerodli po'lat - 45 ; nikel - 58 ; cho'yan - 63 ; alyuminiy - 204 ; mis - 384 ; kumush - $458 \text{ Vt/(m} \cdot \text{K)}$. Sanoatda eng ko'p qo'llaniladigan metallar

va suyuqliklar issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsientlari 4.2 va 4.3 –rasmlarda keltirilgan.



4.2- rasm. Ayrim metallarning issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsientlari.

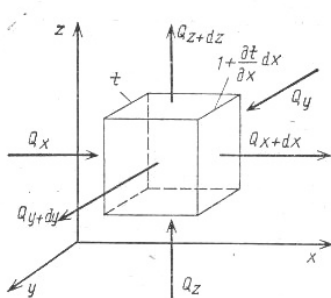
1-toza mis; 2-mis 99,9%; 3- alyu-
miniy 99,7%; 4-alyumiiy 99,0%;
5-toza manganets; 6-manganets 99,6%;
7- rux 99,8%; 8-toza platina; 9-nikel
99%; 10-nikel 99,2%; 11-temir 99,2%;
12-texnik toza qo'rg'oshin.



4.3- rasm. Turli gazlarning issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsientlari.

1-suv bug'i; 2- uglekislova; 3- havo;
4- argon; 5- kislorod; 6- azot; 7- vodorod.

4.2.1. Issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi



4.4-rasm. Furening issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

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 kirsas, 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 issiqliklarning farqi ushbu ifodadan topiladi:

$$dQ = (Q_x - Q_{x+dx}) + (Q_y - Q_{y+dy}) + (Q_z - Q_{z+dz}) \quad (4.9)$$

Fure qonuniga binoan (4.9) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$Q_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dydzd\tau$$

$$Q_{x+dx} = -\lambda \frac{\partial \left(t + \frac{\partial t}{\partial x} dx \right)}{\partial x} dydzd\tau = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dydzd\tau - \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dydzd\tau$$

Demak,

$$Q_x - Q_{x+dx} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dy dz d\tau \quad (4.10)$$

Yuqoridagi suldan foydalanib, qolgan qirralar orqali o'tgan issiqlik miqdorlarini aniqlanadi:

$$Q_y - Q_{y+dy} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} dx dy dz d\tau \quad (4.11)$$

$$Q_z - Q_{z+dz} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} dx dy dz d\tau \quad (4.12)$$

(4.11)...(4.13) tenglamalarning chap va o'ng tomonlarini qo'shib, quyidagi ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$dQ = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) dx dy dz d\tau \quad (4.13)$$

Energiya saqlanish qonuniga binoan, **dQ** issiqlik miqdorining farqi **dτ** vaqt ichida parallelepiped entalpiyasining o'zgarishiga sarflanayotgan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi, ya'ni:

$$dQ = c \rho dx dy dz \frac{\partial t}{\partial \tau} d\tau \quad (4.14)$$

bu erda s – materialning solishtirma issiqlik sig'imi.

(4.13) va (4.14) ifodalarni solishtirish natijasida Furening issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasini olamiz:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c \rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (4.15)$$

(4.15) tenglamadagi $\lambda/(s\rho)$ proporsionallik ko'paytmasi temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsienti deb nomlanadi va u quyidagi o'lchov birligiga ega:

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

Ushbu koeffitsient jismning issiqlik o'tkazish qobiliyatini xarakterlaydi.

Odatda, Furening issiqlik o'tkazuvchanlik differensial tenglamasini ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad \text{yoki} \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 \cdot t$$

Issiqlik almashinish qurilmalarining isitish yuzalari tekis, stilindrik yoki sferik shaklda bo'lishi mumkin.

Shuning uchun, yuqorida qayd etilgan geometrik shaklli devorlarda issiqlikning tarqalishi muhim amaliy ahamiyatga ega.

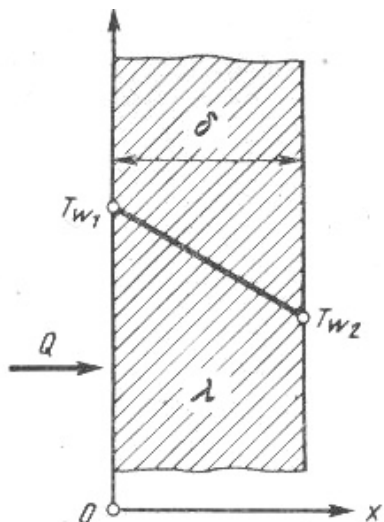
4.2.2. Tekis devorning issiqlik o'tkazuvchanligi

Bir jinsli, devorning qalinligi δ va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti λ bo'lgan bir qatlamli tekis devordan issiqlik o'tishini ko'rib chiqamiz. Devorning tashqi yuza temperaturasi t_{w1} , ichki yuzasini esa t_{w2} ga teng, lekin $t_{w1} > t_{w2}$ (4.5-rasm).

Bir qatlamli, tekis devorning issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini keltirib chiqarish uchun Furening differensial tenglamasi (4.16) dan foydalanamiz.

Ma'lumki, turg'un issiqlik rejimda devorning turli nuqtalaridagi temperatura, vaqt o'tishi bilan o'zgar olmaydi, 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:



4.5-rasm. Tekis bir qatlamli devorning issiqlik oʻtkazuvchanlik tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

$$\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0$$

Shunday qilib, turgʻun jarayonda bir qatlamli tekis devor uchun (4.16) tenglamani quyidagi koʻrinishda yozish mumkin:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0 \quad (4.17)$$

(4.17) tenglamani integrallasak, quyidagi tengliklarni olamiz:

$$\frac{dt}{dx} = C_1; \quad t = C_1 x + C_2 \quad (4.18)$$

Integrallash konstantalari S_1 va S_2 larni chegaraviy ($x=0$ va $x=\delta$) shartlardan aniqlaymiz:

$$C_2 = t_{w1}; \quad C_1 = \frac{dt}{dx} = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\delta} \quad (4.19)$$

Agar, (4.19) ni (4.18) ga qoʻysak, quyidagi natijaga ega boʻlamiz:

$$t = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\delta} \cdot x + t_{w1} \quad (4.20)$$

Oxirgi (4.20) tenglamani tahlil qilsak, ushbu xulosaga kelish mumkin: turgʻun issiqlik jarayonida tekis devorning qalinligi boʻylab temperatura toʻgʻri chiziqli qonuniga binoan oʻzgaradi va temperatura gradienti oʻzgarmas qiymatini saqlaydi.

Aniqlangan temperatura gradienti qiymatini (4.8) tenglamaga qoʻysak, issiqlik oʻtkazuvchanlikning asosiy qonunini ifodalovchi tenglamani olamiz:

$$dQ = \lambda \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta} dF d\tau$$

yoki

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) F \tau \quad (4.21)$$

bu erda λ/δ nisbat devorning issiqlik oʻtkazuvchanligini, unga teskari kattalik δ/λ - devorning termik yoki issiqlik qarshiligini ifodalaydi.

Agar, tekis devor nta (bir-biridan farqli) qatlamdan iborat boʻlsa, turgʻun issiqlik jarayonida har bir qatlam orqali bir xil miqdorda issiqlik oʻtadi (4.6-rasm) va u turli qatlamlar uchun quyidagi koʻrinishda yoziladi:

$$Q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_{w1} - t_a) F \tau \quad \text{yoki} \quad Q \frac{\delta_1}{\lambda_1} = (t_{w1} - t_a) F \tau$$

$$Q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_a - t_b) F \tau \quad \text{yoki} \quad Q \frac{\delta_2}{\lambda_2} = (t_a - t_b) F \tau$$

.....

$$Q = \frac{\lambda_n}{\delta_n} (t_n - t_{w2}) F \tau \quad \text{yoki} \quad Q \frac{\delta_n}{\lambda_n} = (t_n - t_{w2}) F \tau$$

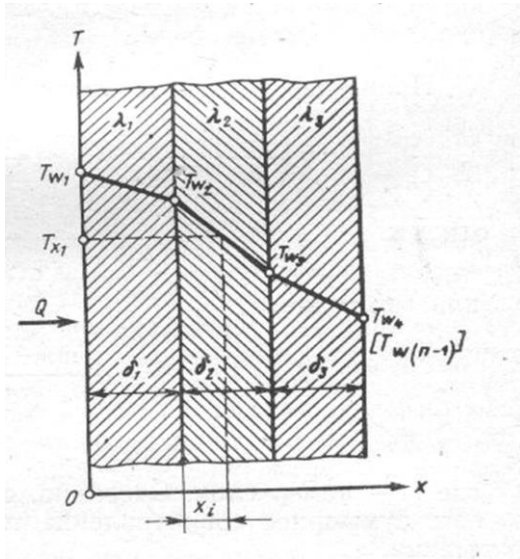
Tenglamalar oʻng va chap qismlarini qoʻshish natijasida ushbu koʻrinishga erishamiz:

$$Q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + K + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \right) = (t_{w1} - t_{w2}) F \tau$$

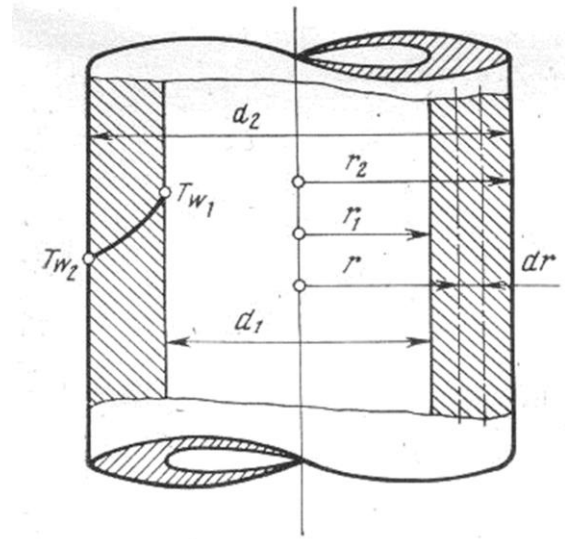
Bunda

$$Q = \frac{(t_{w1} - t_{w2}) F \tau}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (4.22)$$

bu erda i -devor qatlamining tartib raqami; n -qatlamlar soni.



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.

4.2.3. Silindrik devorning issiqlik o'tkazuvchanligi

Uzunligi L , ichki radiusi r_i va tashqi radiusi r_o 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 temperaturalar 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.

Temperatura faqat radius bo'ylab o'zgarmogda va $t_{w1} > t_{w2}$ deb qabul qilamiz. Silindrik devorning biror r radiusdagi yuzasi $F = 2\pi r L$ bo'lsin. Agar, F ning qiymatini (4.8) tenglamaga qo'ysak, bir o'lchovli maydon uchun Q ni topish mumkin:

$$Q = -\lambda 2\pi r L \tau \frac{dt}{dr}$$

bu erda $\delta = r_o - r_i$.

Agar $d\delta$ o'rniga dr ni qo'ysak, unda

$$Q = -\lambda 2\pi r L \tau \frac{dt}{dr}$$

yoki

$$\frac{dr}{r} = -\lambda \frac{2\pi L \tau}{Q} dt$$

ushbu tenglamani r_i dan r_o va t_{w1} dan t_{w2} oralikda integrallasak, quyidagi ko'rinishga erishamiz:

$$\ln \frac{r_o}{r_i} = -\frac{2\pi L \tau}{Q} (t_{w2} - t_{w1})$$

yoki $r_o/r_i = d_o/d_i$ ekanligi hisobga olsak, ushbu formulani olamiz:

$$Q = \frac{2\pi L \tau (t_{w1} - t_{w2})}{\frac{1}{\lambda} 2,3 \lg \frac{d_o}{d_i}} \quad (4.23)$$

Keltirilib chiqarilgan (4.23) formuladan ko`rinib turibdiki, stilindrik devorlarning qalinligi bo'yicha temperatura logarifmik (egri chiziq) qonuni asosida o'zgaradi. Ushbu tenglama turgun issiqlik o'tish jarayoni uchun stilindrik devorning issiqlik o'tkazuvchanligini ifodalaydi.

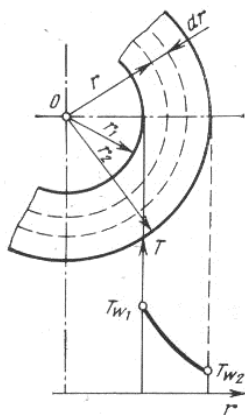
Xuddi shu yo'l bilan n - qatlamli stilindrik devor orqali issiqlik o'tkazuvchanlik usulida uzatilgan issiqlik miqdorini aniqlash mumkin:

$$Q = \frac{2\pi L \tau (t_{w1} - t_{w2})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} 2,3 \lg \frac{d_{i+1}}{d_i}} \quad (4.24)$$

4.2.4. Sharsimon devorning issiqlik o'tkazuvchanligi

Devori materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti λ , ichki radiusi r_1 va tashqi radiusi r_2 bo'lgan sharsimon devorning issiqlik o'tkazuvchanligini ko'rib chiqamiz (4.8-rasm)

Bunday shakldagi jismlarda temperatura tarqalishi bir o'lchovli bo'lgani uchun, temperaturaning devorda taqsimlanishi sharning faqat radiusiga bog'liq. Shuning uchun sferik koordinatalar sistemasida issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi ushbu ko'rinishda yoziladi:



4.8-rasm. Sharsimon devorda temperaturaning taqsimlanishi.

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dt}{dr} = 0 \quad (4.25)$$

Devorning istalgan qalinligidagi temperatura ushbu formuladan topiladi:

$$t(r) = -\frac{C_1}{r} + C_2 \quad (4.26)$$

Agar, sharsimon devorda temperaturaning taqsimlanishi giperbola egri chizig'i shaklida, tashqi temperaturasi t_{w1} va ichki temperaturasi t_{w2} bo'lganda integrallash konstantalari S_1 va S_2 ushbu tenglamalar sistemasidan topiladi:

$$t_{w1} = -\frac{C_1}{r_1} + C_2; \quad t_{w2} = -\frac{C_1}{r_2} + C_2 \quad (4.27)$$

ya'ni

$$C_1 = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}}; \quad C_2 = \frac{r_2 t_{w2} - r_1 t_{w1}}{r_2 - r_1} \quad (4.28)$$

Olingan S_1 va S_2 larning qiymatlarini (4.26) ga qo'ysak, ushbu ifodani olamiz:

$$t(r) = \frac{t_{w1} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_2} \right) + t_{w2} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r} \right)}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} \quad (4.29)$$

Turg'un jarayonda to'liq issiqlik oqimi ushbu formuladan aniqlanadi:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dr} 4\pi r^2 \quad (4.30)$$

(4.28) va $dt/dr = S_1/r^2$ lardan foydalanib, sharsimon devor orqali issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan o'tgan issiqlik miqdorini topish formulasini keltirib chiqarish mumkin:

$$Q = \frac{4\pi\lambda}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} (t_{w1} - t_{w2}) \quad (4.31)$$

Ko'p qatlamli sharsimon devor uchun esa, Q ni hisoblash formulasi ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$Q = \frac{4\pi(t_{w1} - t_{w(n+1)})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_{i+1}} \right)} \quad (4.32)$$

bu erda λ_i vari – iqtalarning issiqlik o`tkazuvchanlik koeffistienti va ichki radiusi.

4.2.5. Murakkab shaklli jismlar 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:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) \cdot F_x \quad (4.33)$$

bu erda F_x –jismning biror sohta (hisoblangan) issiqlik berish yuzasi.

Tekis devorlar uchun

$$F_{xtek} = \frac{2F}{2} = \frac{F_1 + F_2}{2} \quad (4.34)$$

bu erda F_1 va F_2 – issiq va sovuq holatlardagi yuzalari (tekis plastina uchun $F_1=F_2$).

IIilindrik devorlar uchun

$$F_{xyuu} = \frac{2\pi r_2 - 2\pi r_1}{\ln\left(\frac{2\pi r_2}{2\pi r_1}\right)} = \frac{F_2 - F_1}{\ln\left(\frac{F_2}{F_1}\right)} \quad (4.35)$$

Sharsimon devorlar uchun

$$d_1 = \sqrt{\frac{F_1}{\pi}} \quad \text{va} \quad d_2 = \sqrt{\frac{F_2}{\pi}}$$

ya`ni

$$F_{xuap} = \sqrt{F_1 \cdot F_2} \quad (4.36)$$

Agarda, jismlar o`ta murakkab bo`lsa, har qaysi holatda alohida yondashuv zarur.

Quyida mamlakatimizning asosiy texnik xom - ashyosi 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 soddalashtgan 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  $r_1$ , tashqisidiki-  $r_5$ . Jismdagi izotermalar konstantrik aylanalar ko`rinishidadir.

Fure qonuniga binoan, ichi bo`sh sfera uchun issiqlik oqimi Q ushbu formuladan topiladi:

$$Q = -\lambda F \frac{dt}{dr} = -4\lambda\pi r^2 \frac{dt}{dr} \quad (4.37)$$

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:

$$Q = \frac{4\pi\lambda(t_1 - t_5)}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_5}} \quad (4.38)$$

Paxta chigitining har bir qatlamidan o'tayotgan issiqlik miqdorini (4.38) formula yordamida topish mumkin. Formulaning yoyilgan ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$Q = \frac{4\pi(t_1 - t_5)}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} + \frac{1}{\lambda_3} + \frac{1}{r_4} - \frac{1}{r_5} + \frac{1}{\lambda_4}} \quad (4.39)$$

bu erda 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; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ – chigit mag'izi, havo, qobig'i va paxta tolalarining issiqlik o'tkazuvchanligi [5,6,13].

4.3. Issiqlik nurlanishi

Issiqlik nurlanishi to'liq uzunliklari spektrning ko'z ilg'amas qismida bo'lib, 0,8...40 mkm oralikda bo'ladi. Ular yorug'lik nurlari 0,4...0,8 mkm dan faqat to'liq uzunliklari bilan farqlanadi. 4-1jadvalda nurlanish turiga qarab to'liq uzunliklarining o'zgarishi haqida ma'lumotlar keltirilgan.

4-2 jadval

Elektromagnit to'liqlarining umumiy klassifikatsiyasi

Nurlanish turi	To'liq uzunligi, m
Kosmik	$0,05 \cdot 10^{-12}$
γ - nurlanish	$0,05 \cdot 10^{-12} \dots 0,1 \cdot 10^{-12}$
Rentgen	$10^{-12} \dots 20 \cdot 10^{-9}$
Ultrabinafsha	$20 \cdot 10^{-9} \dots 0,4 \cdot 10^{-6}$
Ko'z ilg'aydigan	$0,4 \cdot 10^{-6} \dots 0,8 \cdot 10^{-6}$
Issiqlik (infriqizil)	$0,8 \cdot 10^{-6} \dots 0,8 \cdot 10^{-3}$
Radio to'liqlar	$0,2 \cdot 10^{-3} \dots x \cdot 10^{-3}$

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 chiziqli bo'ylab tarqaladi. Issiq jismlardan tarqalayotgan oqim nurlari boshqa jismga tushganda, energiyaning bir qismi yutiladi Q_{yut} , bir qismi qaytariladi Q_{qay} va bir qismi o'zgarmasdan Q_{ot} o'tib ketadi.

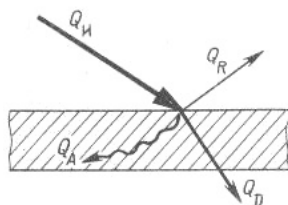
Unda, energiyaning umumiy balansi:

$$Q_{yut} + Q_{qay} + Q_{ot} = Q_{nur} \quad (4.40)$$

yoki ushbu balansning ulushlardagi ko'rinishi:

$$\frac{Q_{yut}}{Q_{nur}} + \frac{Q_{qay}}{Q_{nur}} + \frac{Q_{ot}}{Q_{nur}} = 1 \quad (4.40a)$$

4.8a- rasm. Nurlanish energiyasi balansiga oid.



bu erda Q_{yut}/Q_{nur} – jismning nurlangan issiqlikni yutish qobiliyatini;

Q_{qay}/Q_{nur} – jismning nurlangan issiqlikni qaytarish qobiliyatini; Q_{ot}/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.

$Q_{yut}/Q_{nur}=1$ bo'lganda ($Q_{qay}/Q_{nur}=Q_{ot}/Q_{nur}=0$), jismga tushayotgan nurlangan energiyaning hammasi yutiladi. Bu holda jism absolyut qora jism deb nomlanadi.

$Q_{\text{ot}}/Q_{\text{nur}} = 1$ bo'lganda ($Q_{\text{yut}}/Q_{\text{nur}} = Q_{\text{qay}}/Q_{\text{nur}} = 0$), jismga tushayotgan nurlangan energiyaning hammasi o'zgarasdan o'tib ketadi. Bu holda jism **absolyut shaffof jism** deb nomlanadi.

Sanoatda va tabiatda absolyut qora, oq va shaffof jismlar bo'lmaydi. $Q_{\text{yut}}/Q_{\text{nur}}, Q_{\text{qay}}/Q_{\text{nur}}$ va $Q_{\text{ot}}/Q_{\text{nur}}$ 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 **kul rang 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 silliqqlangan, 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.

Issqlik nurlanish qonuniyatlari Stefan-Bolstman, Kirxgof va Lambert qonunlari bilan ifodalanadi.

Stefan-Bolstman qonuni jismning nur chiqarish qobiliyati E va jismdan 1 soat mobaynida F yuzasidan ajralib chiqayotgan issqlik miqdori Q orasidagi bog'liqlikni ifodalaydi:

$$E = \frac{Q}{F \cdot \tau} \quad (4.41)$$

Nurlanish energiyasi to'liq uzunligi va jismning temperaturasiga bog'liq bo'ladi. Absolyut qora jismning nur tarqatish qobiliyati va temperaturasi orasidagi bog'liqlik ushbu formuladan topiladi:

$$E_0 = K_0 T^4 \quad \text{yoki} \quad E_0 = C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (4.42)$$

bu erda $K_0 = (4,19...5,67) \cdot 10^{-8} \text{ Vt/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$ – absolyut qora jismning nur chiqarish konstantasi; $S_0 = K_0 \cdot 10^8 = 4,19...5,67 \text{ Vt/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

(4.42) formula Stefan-Bolstman qonunining ifodasi bo'lib, Plank tenglamasining hosilasidir.

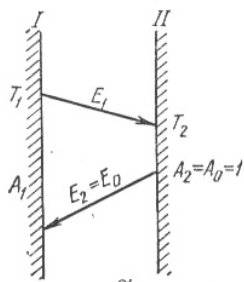
Stefan-Bolstman qonunini absolyut qora bo'lmagan jismlar uchun ham qo'llash mumkin. Masalan, kul rang jismlar uchun quyidagi ko'rinishga ega:

$$E = \varepsilon \cdot C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (4.43)$$

bu erda $\varepsilon = S/S_0$ – kul rang jismning qoralik darajasi yoki uning nur chiqarish koeffitsienti; S_0 – kul rang jismning nur chiqarish koeffitsienti.

Kul rang jismning nur chiqarish koeffitsienti har doim 1 dan kichik bo'lib, 0,055...0,95 oralikda o'zgaradi.

Kirxgof qonuni kul rang jismlarning nur tarqatish va uni yutish qobiliyatlari o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalaydi.



4.9-rasm. Kirxgof qonuniga oid sxema.

$$Q_{\text{qay}}/Q_{\text{nur}} = Q_{\text{ot}}/Q_{\text{nur}} = 1.$$

Bir-biriga parallel joylashgan, kul rang I va absolyut qora II jismlarni ko'rib chiqamiz (4.9-rasm).

Kul rang jismning yutish qobiliyatini A_1 , absolyut qora jismni-
kini esa $A_2 = A_0 = 1$. Kul rang jism temperaturasi absolyut qoranikidan katta, ya'ni $T_1 > T_2$ deb qabul qilamiz. Bunda, kul rang jismdan nurlanish usulida uzatilgan issqlik miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$q = E_1 - E_0 A_1 \quad (4.44)$$

Ikkala jismning temperaturasi tenglashganda, issqlik muvozanat holati yuzaga keladi va $q = 0$ bo'ladi.

Demak:

$$E_1 - E_0 A_1 = 0 \quad (4.45)$$

bundan

$$\frac{E_1}{A} = E_0 \quad (4.45a)$$

Ushbu xulosani umumlashtirib, bir nechta parallel joylashtirilgan jismlar uchun ushbu ifodani keltirib chiqaramiz:

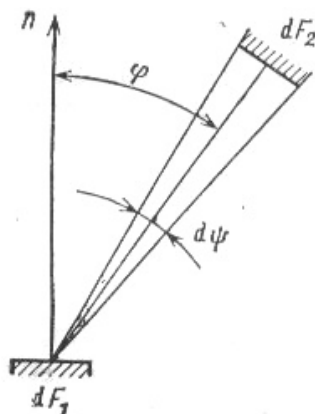
$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = K = \frac{E_n}{A_n} = \frac{E_0}{A_0} = f(T) \quad (4.46)$$

(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:

$$dQ = \frac{1}{\pi} E d\psi \cdot \cos \varphi \cdot dF_1 \quad (4.47)$$

bu erda $d\psi$ - dF_1 elementdan dF_2 element ko'rinishi mumkin bo'lgan fazoviy burchak; φ - 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 - Bolstman qonuni asosida keltirib chiqarilgan formula yordamida hisoblash mumkin:

$$Q_{1-2} = C_{1-2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F \quad (4.48)$$

4.10-rasm. Lambert qonuniga oid sxema.

jismning nur tarqatish yuzasi.

bu erda Q_{1-2} - 1-jismdan 2- siga uzatilayotgan issiqlik miqdori; S_{1-2} - 1- va 2-jismlardan iborat sistemaning keltirilgan nur tarqatish koeffitsienti; F -

$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_0}} \quad (4.49)$$

Agar, bir jism ikkinchisini butunlay o'rab olgan hollarda ($F=F_1$, bu erda F_1 - o'ralib turgan jism yuzasi) 4.48 formuladan foydalansa bo'ladi. Keltirilgan nur tarqatish koeffitsientini esa, ushbu formuladan hisoblab topish mumkin:

$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right)} \quad (4.50)$$

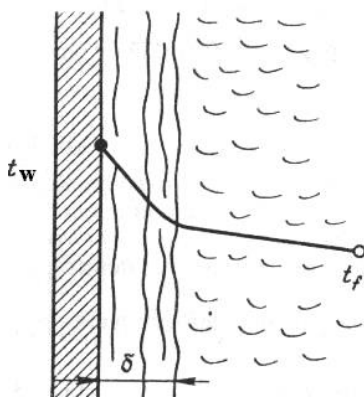
4.4. Konvektiv issiqlik almashinish

Suyuqlik massasi turbulentligi qanchalik yuqori va uning zarrachalari jadal ravishda aralashtirilsa, konvekstiya usulida issiqlik almashinish shunchalik intensiv buladi. Shunday qilib, konvektiv issiqlik almashinish, issiqlikning mexanik uzatilishi va suyuqlik harakati gidrodinamikasiga qattiq bog'liqdir.

Issiqlik almashinish jarayonida qatnashayotgan suyuqlik ikki qatlamdan tashkil topgan, ya'ni chegaraviy qatlam va oqim o'zagi (yadrosi) dan.

Oqim o'zagi issiqlik o'tish vaqtining o'zida ham konvekstiya, ham issiqlik o'tkazuvchanlik usullarida amalga oshadi. Bunday issiqlik almashinish **konvektiv issiqlik almashinish** deyiladi (4.11-rasm).

Issiqlikning qattiq jism yuzasidan suyuqlik (yoki gaz)ga yoki suyuqlik (yoki gaz)dan qattiq jism yuzasiga o'tishi **issiqlik berish** deb nomlanadi.



4.11-rasm. Konvektiv issiqlik almashinish sxemasi.

Devor yuzasidan chegaraviy qatlam orqali energiya issiqlik o'tkazuvchanlik usuli bilan o'tadi. Chegaraviy qatlamdan esa, suyuqlik o'zagiga energiya asosan konvekstiya usulida uzatiladi. Issiqlik energiyasining devor yuzasidan suyuqlikkauzatilish jarayoniga oqimning harakat rejimi katta ta'sir qiladi.

Konvektiv issiqlik almashinish asosan 2xil bo'ladi, ya'ni **erkin** (yoki **tabiiy**) va **majburiy** konvekstiya.

Suyuqlik hajmining turli nuqtalaridagi zichliklarning farqi tufayli ro'y beradigan issiqlik almashinishga **erkin konvekstiya** deyiladi. Bu jarayonga suyuqlikning fizik xossalari, uning hajmi, sovuq va issiq zarrachalari orasidagi temperaturalar farqi katta ta'sir ko'rsatadi.

Butun suyuqlik hajmining tashqi kuchlari ta'siri natijasida ro'y beradigan issiqlik almashinishga **majburiy konvekstiya** deyiladi. Suyuqlikning harakati nasos, aralashtirgich, ventilyatorlar 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 o'tishiga **issiqlik berish** deb nomlanadi.

Issiqlik berish jarayoni issiqlik berish koeffistienti α bilan belgilanadi.

Ushbu qonunga binoan, issiqlik almashinish suyuqlik (gaz)ga uzatilgan issiqlik miqdori dQ , devorning yuzasi dF , yuza t_w va muhit temperaturalar t_f ning farqi $(t_w - t_f)$, hamda jarayonning davomiyligi $d\tau$ ga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni:

$$\left. \begin{aligned} dQ &= \alpha (t_w - t_f) \cdot dF \cdot d\tau \\ dQ &= \alpha (t_f - t_w) \cdot dF \cdot d\tau \end{aligned} \right\} \quad (4.51)$$

(4.51) tenglamadan issiqlik berish koeffistientining o'lchov birligini keltirib chiqarish mumkin:

$$\alpha = \left[\frac{dQ}{(t_w - t_f) dF d\tau} \right] = \left[\frac{J}{m^2 \cdot soat \cdot K} \right] = \left[\frac{Wt}{m^2 \cdot K} \right]$$

Agar, issiqlik almashinish yuzasi bo'ylab issiqlik berish koeffistientining qiymati o'zgarmas ($\alpha = const$) bo'lsa, (4.51) tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$\left. \begin{aligned} Q &= \alpha (t_w - t_f) \cdot F \cdot \tau \\ Q &= \alpha (t_f - t_w) \cdot F \cdot \tau \end{aligned} \right\} \quad (4.52)$$

Demak, issiqlik berish koeffitsienti 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 koeffitsientining 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 koeffitsienti λ , hajmiy kengayish koeffitsienti β , devorning shakli va o'lchamlari (truba diametri d va uzunligi L), hamda g'adir-budurligi e va hokazolarga.

Yuqorida aytilganlarni quyidagi funktsiya holatida yozish mumkin:

$$\alpha = f(w, \rho, \mu, c, \lambda, \beta, d, L, e, \dots) \quad (4.53)$$

Umumiy ko'rinishga ega bo'lgan issiqlik berish koeffitsienti tenglamasi ko'rinishidan sodda bo'lsa ham, α ni aniqlash juda murakkab. Chunki, (4.53)dan ko'rinish turibdiki, α juda ko'p parametrlarga bog'liq. Shuning uchun, tajriba natijalarini o'xshashlik nazariyasi yordamida umumlashtirish yo'li bilan issiqlik berish koeffitsientini hisoblash kriterial formulasini keltirib chiqarish mumkin.

Issiqlik berish koeffitsientini aniqlash uchun suyuqlikda temperatura taqsimlanishini bilish zarur. Undan tashqari, issiqlik almashinish jarayonini hisoblash uchun issiqlik berish koeffitsientini 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 (Fure-Kirxgof tenglamasi)

Ma'lumki, konvektiv issiqlik almashinish jarayonida suyuqlikda issiqlik ham, issiqlik o'tkazuvchanlik, ham konvektsiya 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 temperaturasiining 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 temperaturasiining to'liq o'zgarishini xarakterlovchi substansional hosila quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \frac{\partial t}{\partial y} w_y + \frac{\partial t}{\partial z} w_z \quad (4.54)$$

(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, Fure-Kirxgofning konvektiv issiqlik almashinishning differensial tenglamasini olamiz:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \frac{\partial t}{\partial y} w_y + \frac{\partial t}{\partial z} w_z = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (4.55)$$

Ushbu tenglama harakatdagi suyuqlikda issiqlik energiyasining bir vaqtda issiqlik o'tkazuvchanlik va konvektsiya 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 Fure 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:

$$dQ = \alpha (t_w - t_f) dF d\tau$$

Oxirgi ikki tenglamaning o'ng qismlarini tenglashtirib, «devor-suyuqlik» chegarasharoitlarini xarakterlovchi tenglamani olamiz:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = \alpha (t_w - t_f) \quad (4.56)$$

(4.55) va (4.56) tenglamalar konvektiv issiqlik almashinish jarayonini to'liq ifodalaydi.

4.11-rasmdan ko'rinib turibdiki, eng katta temperatura gradienti chegaraviy qatlamda hosil bo'lib, issiqlik berish jarayonining intensivligini, asosan, uning termik qarshiligi 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 echimini topish qiyin.

Issiqlik almashinish jarayonlarini amaliy hisoblashda o'xshashlik nazariyasi usullari yordamida (4.55) va (4.56) tenglamalardan keltirilib chiqarilgan kriterial tenglamalari keng miqyosida ishlatiladi.

Agar, (4.56) tenglamaning ikkala qismini chap qismiga bo'lsak, ushbu o'lchamsiz kompleksni olish mumkin:

$$\frac{\alpha (t_w - t_f) \partial n}{\lambda \partial t} = \frac{\alpha \cdot \Delta t \partial n}{\lambda \partial t} \quad (4.57)$$

Olingan o'lchamsiz kompleksda differentsiyalash belgilarini o'chirib, n ni l ga almashtirib va qisqartirish yo'li bilan **Nusselt sonini** olamiz:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda} \quad (4.58)$$

bu erda α - issiqlik berish koeffitsienti, $W/(m^2 \cdot K)$; l - geometrik o'lcham, m; λ - muhitning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, $W/(m \cdot K)$.

Nusselt kriteriyasi 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 differentsial tenglamasidan:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \Lambda = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \Lambda \right)$$

uning hamma qo'shiluvchilarini $a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$ ga bo'lish yo'li bilan ushbu o'lchamsiz kompleksni olish mumkin:

$$\frac{\partial t \partial x^2}{\partial \tau a \partial^2 t} \quad \text{va} \quad \frac{\partial t w_x \partial x^2}{\partial x a \partial^2 t}$$

Differentsiallash belgi va yo'nalishlarini o'chirish va qisqartirish yo'li bilan Fure kriteriyasini :

$$Fo = \frac{a \tau}{l^2} \quad (4.59)$$

va Pekle kriteriyasini

$$Pe = \frac{wl}{a} \quad (4.60)$$

keltirib chiqaramiz.

Fure 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 konvekstiya va issiqlik o'tkazuvchanlik usullari bilan issiqlik tarqalish nisbatini xarakterlaydi.

Odatda, Pekle kriteriysi ikkita o'xshashlik kriteriylarining ko'paytmasi ko'rinishida keltiriladi:

$$Pe = \frac{wl}{a} = \frac{wl}{v} \cdot \frac{v}{a} = Re \cdot Pr$$

Prandtl kriteriysi suyuqlik qovushoqligi va temperatura o'tkazuvchanligi xossalariining nisbatini ifoda etadi. Ushbu kriteriy faqat suyuqliklarning diffuzion – issiqlik parametrlari yordamida aniqlanadi:

$$Pr = \frac{v}{a} = \frac{\mu}{a\rho} = \frac{\mu g}{a\gamma} \quad (4.61)$$

Grasgof kriteriysi tabiiy konvekstiya jarayonidagi suyuqlik oqimining gidrodinamik rejimini xarakterlaydi:

$$Gr = \frac{gl^3}{v^2} \beta \cdot \Delta t \quad (4.62)$$

bu erda Δt – devor va suyuqliklar o'rtasidagi temperaturalar farqi, K; β – suyuqlikning hajmiy kengayish koeffitsienti; g – erkin tushishi tezlanishi, m/s².

Ayrim hollarda Nusselt kriteriysi o'rniga konvektiv issiqlik almashinish kriteriysi, Stenton kriteriysini, ham qo'llash mumkin:

$$St = \frac{Nu}{Pe} = \frac{\alpha}{c_p \rho w} \quad (4.63)$$

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:

$$f(Re, Nu, Pr, Fo, Gr) = 0 \quad (4.64)$$

Ushbu tenglamada faqat Nusselt Nu soni aniqlovchi bo'lganligi uchun, (4.64) tenglama quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$Nu = f(Re, Pr, Gr, Fo) \quad (4.65)$$

Issiqlik almashinish jarayonining aniq masalalarini echishda (4.65) tenglamani ancha soddalashtirish mumkin.

Turg'un issiqlik almashinish jarayonida tenglamadan Fo kriteriysi tushirilib qoldiriladi va ushbu ko'rinishni oladi:

$$Nu = f(Re, Pr, Gr) \quad (4.66)$$

Suyuqlikning majburiy harakati davrida tabiiy konvekstiyani inobatga olmasa ham bo'ladi va unda tenglama Gr kriteriysi kiritilmaydi:

$$Nu = f(Re, Pr) \quad \text{yoki} \quad Nu = A Re^n \cdot Pr^m \quad (4.67)$$

Suyuqlikning erkin harakati (tabiiy konvekstiya) davrida tenglamadan Reynolds kriteriysi tushurib qoldiriladi:

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad \text{yoki} \quad Nu = A Gr^n \cdot Pr^m \quad (4.67)$$

4.4.4. Erkin konvekstiya davrida issiqlik berish

Ma'lumki, issiq va sovuq suyuqlik qatlamlari zichliklarining farqi ta'siri ostida erkin konvekstiya 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:

$$Nu = c(Gr \cdot Pr)^n \quad (4.69)$$

bu erda c va n – suyuqlik harakati rejimiga, ya'ni $Gr \cdot Pr$ ga, bog'liq bo'lgan konstantalar.

Grasgof kriteriysida aniqlovchi geometrik o'lcham sifatida quyidagilar qabul qilingan: stilindrik va

sferik jismlar uchun – diametr; tekis plitalar uchun – balandlik.

Aniqlovchi temperatura - chegaraviy qatlamning oʻrtacha temperaturasi $t = 0,5 \cdot (t_w + t_f)$ qabul qilingan. Bu erda t_w – devor temperaturasi, t_f - suyuqlik oʻzagidagi temperatura. Gragof kriteriysidagi temperaturalar farqi $\Delta t = t_w - t_f$ formulada hisoblanadi.

4-3 jadval

Rejimlar	s	N
Laminar (Gr·Pr ≤ 10 ⁻³)	0,45	0
(Gr·Pr = 10 ⁻³ ... 5·10 ²)	1,18	0,125
Oʻtish (Gr·Pr = 5·10 ² ... 2·10 ⁷)	0,54	0,25
Turbulent (Gr·Pr > 2·10 ⁷)	0,135	0,33

4.4.5. Majburiy konvekstiya davrida issiqlik berish

Truba ichida issiqlik eltkichning issiqlik berish koeffitsienti quyidagi tenglamalardan aniqlanadi: turbulent rejim uchun ($Re > 10000$)

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (4.70)$$

oʻtish rejimi uchun ($2320 < Re < 10000$)

$$Nu = 0,008 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \quad (4.71)$$

laminar rejim uchun ($Re \leq 2320$)

$$Nu = 0,17 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr^{0,43} \cdot Gr^{0,1} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (4.72)$$

Trubalar oʻrami majburiy harakatdagi koʻndalang issiqlik eltkich bilan yuvilib turgan sharoitda issiqlik berish quyidagi formulalar yordamida hisoblanishi mumkin:

$Re < 10^3$ boʻlganda

$$Nu = 0,56 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (4.73)$$

$Re > 10^3$ boʻlganda

$$Nu = 0,28 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (4.74)$$

Ushbu tenglamalarda aniqlovchi geometrik oʻlcham boʻlib, kanallarning ekvivalent diametri hisoblanadi.

Nu , Re va Pr kriteriylaridagi fizik parametrlar suyuqlikning oʻrtacha temperaturasida, Pr_g esa – devorning oʻrtacha temperaturasida hisoblanadi.

$(Pr/Pr_g)^{0,25}$ issiqlik oqimi yoʻnalishi va temperaturalar farqining issiqlik berishga taʼsirini hisobga oluvchi parametr.

Issiqlik eltkichning zmeevikda harakat qilganda issiqlik berish koeffitsienti α_{ni} (4.70) formuladan hisoblangan qiymati zmeevik oʻlchamlarini inobatga oluvchi koeffitsient χ ga koʻpaytiriladi:

$$\chi = 1 + 3,54 \frac{d}{D} \quad (4.75)$$

bu erda d – zmeevik trubasining ichki diametri, m; D – zmeevik oʻramining diametri, m.

Havo uchun (4.70) formula quyidagi koʻrinishga ega:

$$Nu = 0,018 \cdot Re^{0,8} \quad (4.76)$$

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:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \left(\frac{D_u}{d_T} \right)^{0,45} \quad (4.77)$$

bu erda d_r – ichki trubaning tashqi diametri, m; D_u – tashqi trubaning ichki diametri, m.

Issqlik eltkich qobiq-trubali issqlik almashinish qurilmasining trubalararo bo`shlig`ida harakat qilganda, issqlik berish eng keng tarqalgan jarayondir. Ushbu holatda issqlik berish koeffistienti quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Nu = C(Re^{0,6} \cdot Pr^{0,23} \cdot d_s) \quad (4.78)$$

bu erda $S = 1,16$ va $1,72$ qiymatlarga teng bo`lishi mumkin. Birinchi qiymat qurilmada ko`ndalang segment to`siqlar bo`lmagan hol uchun, ikkinchi esa – segment to`siqlar o`rnatilgan hol uchun.

Qobiq-trubali issqlik almashinish qurilmalarida trubalar shaxmatli yoki yo`lakli qilib joylashtiriladi.

Issqlik eltkich oqimi trubalar o`ramini tashqi tomonidan yuvib o`tganda, issqlik berish koeffistienti ushbu formuladan hisoblab topilishi mumkin:

trubalarning shaxmatli joylashishida

$$Nu = 0,4 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (4.79)$$

trubalarning yo`lakli joylashishida

$$Nu = 0,27 \cdot Re^{0,63} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (4.80)$$

(4.79) va (4.80) tenglamalar $Re = 200 \dots 2 \cdot 10^5$ bo`lgan oralikda qo`llanilishi mumkin va aniq natijalar beradi.

4.4.6. Issqlik eltkichning agregat holati o`zgarishida issqlik berish

Bug`lanish, kondensastiyalanish, kristallanish va erish jarayonlarida issqlik almashinishning o`ziga xos xususiyatlari shundaki, muhitdan issqlikning olinishi yoki unga uzatilishi o`zgarmas temperaturada ro`y beradi va ikkala fazada tarqaladi. 4.12 – rasmda issqlik berish jarayonida muhitning agregat holati o`zgarishi bilan temperaturasi o`zgarish sxemasi keltirilgan.

Issqlik berishning bu o`ziga xos xususiyatini konvek-tiv issqlik almashinishning kriterial tenglamasi fazaviy o`zgarish kriteriysi yoki kondensastiyalanish kriteriysi $K = r/c \cdot \Delta t$ (bu erda r – bug` hosil qilish issqligi, J/kg;  $s$  – solishtirma issqlik sig`imi, J/kg·K)ni kiritish yo`li bilan hisobga olinadi.

Suv bug`ining kondensastiyalanish paytidagi issqlik almashinishini ifodalash uchun o`xshashlik nazariyasi asosida keltirilib chiqarilgan quyidagi kriterial formuladan aniqlash mumkin:

$$Nu = f(Ga, Pr, K) \quad (4.81)$$

bu erda $Ga = gl^3/v^2$ – Galiley kriteriysi; K – fazaviy o`zgarish kriteriysi; Pr – Prandtl kriteriysi.

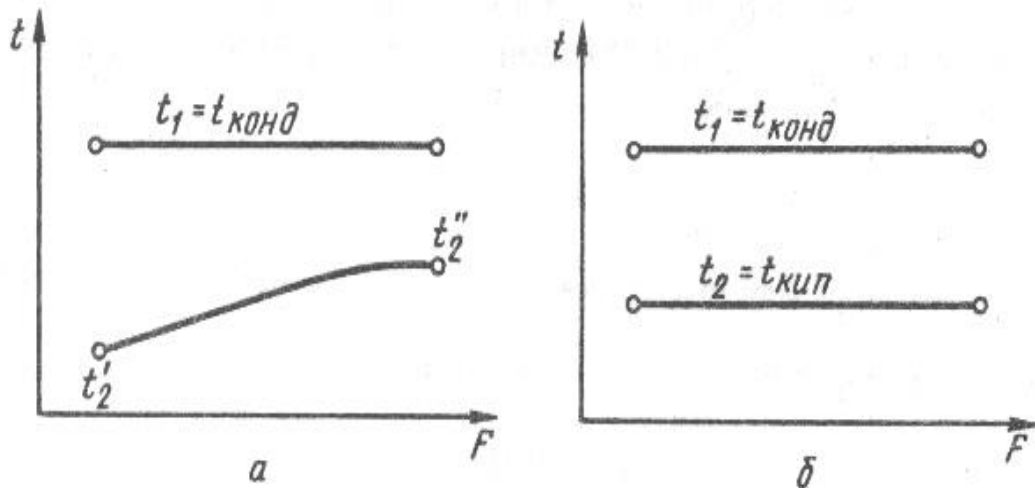
Ko`pgina tajriba natijalarini qayta ishlash natijasida (4.81) formulani quyidagi ko`rinishda yozsa bo`ladi:

$$Nu = C(Ga, Pr, K)^{0,25} \quad (4.82)$$

Yupqa qatlamli kondensastiyalanish davrida issqlik berishni kondensat yupqaqatlamining qalinligini chegaralaydi. Bug`ningtezligi yupqa qatlamli kodensatni uzib olish uchun etarli bo`lmaydi va bir xillik shartlariga kirmaydi.

Yupqa qatlamda kondensastiyalashning umumlashtirilgan tenglamasidagi Re va Fr kriteriylari o`rniga  $Ga = Re^2/Fr = gl^3/v^2$  kriteriysi kiritiladi. Bunga sabab, Galiley kriteriysining bug` - kondensat ikki fazali oqimida og`irroq faza ta`sir etuvchi og`irlik kuchlarining o`xshashligini ifodalashidir. Ushbu holatda kondensastiyalanish paytidagi issqlik berish koeffistienti quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\alpha = C \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 g r}{\mu \cdot l \cdot \Delta t}} \quad (4.83)$$



4.12-rasm. Muhitning agregat holati o'zgarishi bilan issiqlik eltich temperaturasi o'zgarish sxemasi:

a - issiqlik eltich o'z issiqligini agregat holati o'zgarganda uzatmoqda (to'yingan suv bug'ining kondensatsiyalanish davrida). Bu holatda;

$$\Delta t_{yp} = \frac{(t_1 - t_2) - (t_1 - t_2)}{\ln \left[\frac{(t_1 - t_2)}{(t_1 - t_2)} \right]}$$

b - ikkala issiqlik eltichlar agregat holati o'zgarganda issiqlik almashmoqda. Bu holatda $\Delta t = t_1 - t_2$

To'yingan bug'ning vertikal devorda kondensatsiyalanishi va kondensatni laminar rejimda yupqa qatlamda oqib tushish holati uchun (4.83) formuladagi S koeffitsientining qiymati 2,04 ekanligi aniqlandi. Aniqlovchi o'lcham bo'lib, vertikal devor balandligi N xizmat qiladi. Unda, issiqlik berish koeffitsienti α ni quyidagi formuladan hisoblash mumkin:

$$\alpha = 2,04 \sqrt[4]{\frac{rg^2 \lambda^3 g}{\mu \cdot \Delta t \cdot H}} \quad (4.84)$$

bu erda r – kondensatsiyalanish issiqligi, J/kg; ρ – kondensat zichligi, kg/m³; λ – kondensat issiqlik o'tkazuvchanligi, Wt/m·K; μ – kondensatning dinamik qovushoqlik koeffitsienti, Pa·s; $\Delta t = t_{kond} - t_g$ – to'yingan bug' va devor temperaturalari o'rtasidagi farq, °S; N – vertikal truba yoki devor balandligi, m.

Kondensatsiyalanish issiqligi r ning qiymati kondensatsiya temperaturasi, kondensatning λ , ρ va μ parametrlari $t_{yuq} = 0,5(t_g + t_{kond})$ da hisoblanadi.

Agar, bug' gorizontall trubada kondensatsiyalansa, (4.84) formula ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$\alpha = 0,72 \sqrt[4]{\frac{r \cdot \rho^2 \lambda^3 g}{\mu \cdot \Delta t \cdot D}} \quad (4.85)$$

bu erda D – trubaning tashqi diametri, m.

Agar, bug' truba o'ramida kondensatsiyalansa, o'rtacha issiqlik berish koeffitsientini hisoblash uchun ushbu formulani qo'llash mumkin:

$$\alpha = 0,728 \varepsilon_t \sqrt[4]{\frac{rg \rho^2 \lambda^3}{\mu \Delta t D}} \quad (4.86)$$

bu erda ε_t – trubalarning joylashtirilishi (yo'lakli yoki shaxmatli) ga bog'liq koeffitsient.

$$\varepsilon_t = \left[\left(\frac{\lambda_g}{\lambda} \right)^3 \frac{\mu}{\mu_g} \right]^{0,125} \quad (4.87)$$

(4.78) dagi λ_g va μ_g lar kondensat tegib turgan devor temperaturasi hisoblanadi.

Muxandislik hisoblarda $\epsilon_f = 0,55 \dots 0,68$ 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 koeffitsientini aniqlash uchun quyidagi tenglamadan foydalansa bo'ladi:

$$Nu = 125 Re^{0,66} \cdot Pr^{0,33} \quad (4.88)$$

bu erda $Nu = \alpha d / \lambda$; $Re = w l / \mu$; l – chiziqli o'lcham bo'lib, pufakcha radiusining funktsiyasi, 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:

$$d_o = 0,02 \cdot \left[\frac{\sigma}{g(\rho - \rho_\delta)} \right]^{0,5} \quad (4.89)$$

Oxirgi kriterial tenglamadan erkin va majburiy konvekstiya 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 $b = 0,075 + 0,75 (\rho_\delta / \rho - \rho_\delta)^{0,66}$ - o'lchamsiz koeffitsient; ν – suyuqlikning kinematik qovushoqligi, m²/s; σ - sirti taranglik koeffitsienti, N/m.

Erkin konvekstiya sharoitida pufakchali qaynash rejimida α ni aniqlash uchun ushbu tenglama taklif etilgan:

$$\alpha = 7,77 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\rho_\delta}{\rho - \rho_\delta} \right)^{0,033} \left(\frac{\rho}{\sigma} \right)^{0,033} - \frac{\lambda^{0,75} \cdot q^{0,7}}{\mu^{0,45} \cdot c^{0,12} \cdot T_{to'y}^{0,37}} \quad (4.90)$$

bu erda ρ_δ , ρ - bug va suyuqlikning zichliklari, kg/m³; σ - suyuqlik va bug ni ajratib turuvchi chegaradagi sirti taranglik, N/m; λ - suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanligi, Vt/m·K; $q = Q/F$ – solishtirma issiqlik yuklama, Vt/m²; μ suyuqlik qovushoqligi, Pa·s; c – suyuqlikning solishtirma issiqlik sig'imi, J/(kg·K); $T_{to'y}$ – to'yinish temperaturasi, K.

4-4 jadval

t/r	Issiqlik almashinish jarayoni	Issiqlik berish koeffitsienti, Vt/(m ² ·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 kondensastiyalanishi	4000...15000
6.	Organik suyuqlik bug'larining kondensastiya-lanishi	500...2000

Katta hajmda suvning qaynash jarayonida issiqlik berish koeffitsientini tahminiy hisoblash uchun quyidagi formulani qo'llash mumkin:

$$\alpha = 2,72 \cdot q^{0,7} \cdot p_{a6c}^{0,7} \quad (4.91)$$

$$\alpha = 2,72 \cdot q^{0,7} \cdot p^{0,4}$$

bu erda r – bosim, kg·k/sm²

(4.91) formulani $q = 0,4 \cdot q_{kr}$ va $r_{abs} = 0,2 \dots 10$ kg·k/sm² bo'lgan oralikda ishlatish mumkin.

4-4 jadvalda eng ko'p uchraydigan issiqlik almashinish jarayonlarining tahminiy issiqlik berish koeffitsientlari keltirilgan.

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

**issiqliko`tkazish** deyiladi. Ushbu yo`l bilan uzatilgan issiqlik miqdori issiqlik o`tkazishning asosiy tenglamasidan aniqlanadi:

$$Q = K \Delta t_{o'r} F \quad (4.92)$$

bu erda K – issiqlik o`tkazish koeffitsienti, $Vt/(m^2 \cdot K)$; Δt_{ur} – issiqlik va sovuqlik eltkichlar temperaturalarining farqi, K ; F – ajratib turuvchi devor yuzasi, m^2 .

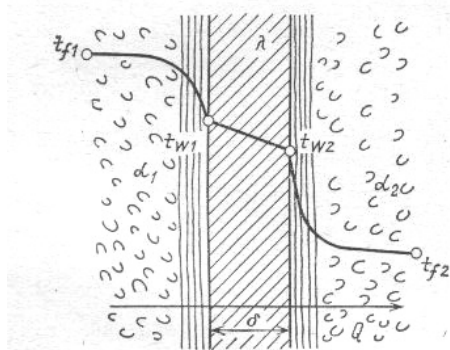
**Tekis devorning issiqlik o`tkazishi.** 4.13-rasmda qalinligi  $\delta$  va materialining issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsienti λ bo`lgan tekis devor tasvirlangan.

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 koeffitsientlari α_1 va α_2 .

Turg`un jarayonda  $F$  yuza orqali birinchi issiqlik eltkich o`zagidan devorga uzatilaetgan 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:

$$t_{f1} - t_{w1} = \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{Q}{F}$$

$$t_{w1} - t_{w2} = \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{Q}{F} \quad (4.93)$$

$$t_{w2} - t_{f2} = \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{Q}{F}$$

4.13-rasm. Tekis devor orqali issiqlik o`tkazish jarayonida temperaturaning o`zgarish xarakteri.

Tenglamalar chap va o`ng tomonlarini qo`shish natijasida, ushbu ko`rinishga erishamiz:

$$t_{f1} - t_{f2} = \frac{Q}{F} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \quad (4.94)$$

bundan:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot (t_{f1} - t_{f2}) \cdot F \quad (4.95)$$

(4.92) va (4.95) tenglamalarni solishtirib, quyidagi formulaga erishamiz:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.96)$$

bu erda K – issiqlik o`tkazish koeffitsienti, $Vt/(m^2 \cdot K)$.

Unda, tekis devorning issiqlik eltkichning o`zgaras temperaturalarida issiqlik o`tkazish tenglamasi ushbu ko`rinishni oladi:

$$Q = KF \tau \cdot (t_{f1} - t_{f2}) \quad (4.97)$$

uzluksiz jarayonlar uchun esa:

$$Q = KF (t_{f1} - t_{f2}) \quad (4.98)$$

(4.97) tenglamaga binoan issiqlik o`tkazish koeffitsientining o`lchov birligi:

$$K = \left[\frac{Q}{F \tau (t_{f1} - t_{f2})} \right] = \left[\frac{J}{m \cdot s \cdot K} \right] = \left[\frac{Vt}{m^2 \cdot K} \right]$$

(4.96) tenglamadan

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (4.99)$$

Shunday qilib issiqlik o'tkazish koeffitsienti 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.

4-5 jadval

r_{ifl} ning tahminiy qiymatlari

t/r	Issiqlik eltkich	$r_{uqur}, \frac{m^2 \cdot K}{Bm}$
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	
	- xom-ashyo	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

Issiqlik o'tkazish koeffitsientiga 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 ifloslarning 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:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.100)$$

bu erda i - qatlamning tartib raqami; n - qatlamlar soni.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, har doim issiqlik o'tkazish koeffitsienti eng minimal issiqlik berish koeffitsienti qiymatidan kichik bo'ladi.

Qilindrik 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 is-

siqlik berish koeffistienti α_1 , tashqi yuzasidan sovuq suyuqlikka issiqlik berish koeffistienti - α_2 , truba balandligi L , ichki radiusi r_1 va tashqi radiusi r_2 bo'lsa, stilindrik yuzadan uzatilgan issiqlik miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = K_R 2\pi\tau \cdot (t_1 - t_2) \quad (4.101)$$

Issiqlik o'tkazish koeffistienti K ni esa ushbu tenglamadan topiladi:

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 r_1} + \frac{1}{\lambda} 2,3 \lg \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot r_2}} \quad (4.102)$$

bu erda K_R – issiqlik o'tkazishning chiziqli koeffistienti, $Vt/(m \cdot K)$.

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 jarayonlarining 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` kondensastiyalansa, 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 $t = f(F)$ funktsiya bilan ifodalanadi. Bunday hol turg'un issiqlik almashinish jarayonini xarakterlaydi.

Noturg'un issiqlik almashinish jarayonlarida 2 holat bo'lishi mumkin:

lat 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.

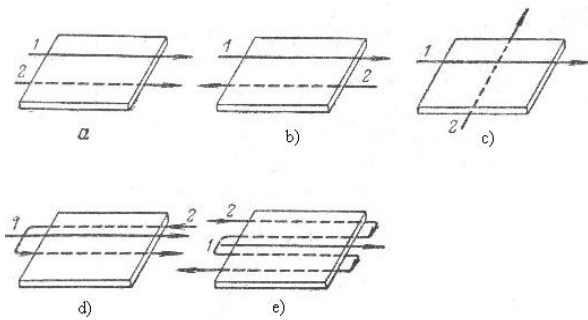
Uzlüksiz ishlaydigan qurilmalarda issiqlik almashinish jarayonida suyuqliklar harakati parallel, qarama-qarshi, kesishib o'tgan va murakkab (aralash) yo'nalishli bo'lishi mumkin (4.14-rasm).

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 (4.14b-rasm) issiqlik eltkichlar bir-biriga qarshi yo'nalishda harakat qiladi;
- 3) kesishib o'tuvchi harakatda (4.14c-rasm) issiqlik eltkichlar bir-biriga nisbatan perpendikulyar yo'nalishda harakat qiladi;
- 4) murakkab yog'i aralash harakatda (4.14d, e-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 etilishga bog'liq bo'ladi.

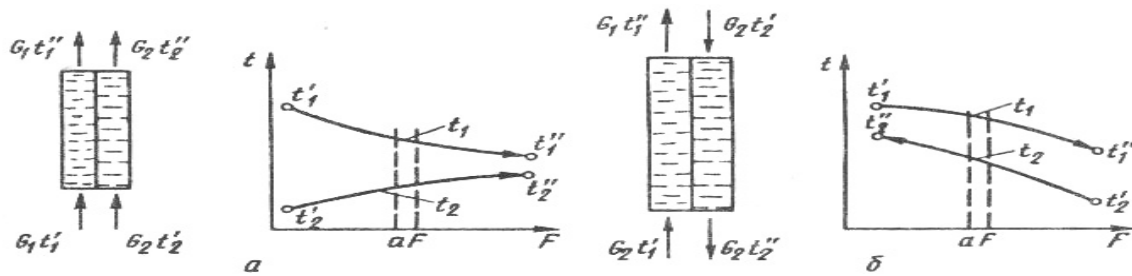
4.15-rasmda paralel va qarama - qarshi yo'nalishli harakatlar paytida issiqlik eltkichlar temperaturalarining o'zgarishi tasvirlangan. Issiqlik eltkichlardan biri G_1 sovuutilganda temperaturasi t_1 dan t_1'' gacha pasaymoqda, ikkinchisi esa G_2 , isitilganda t_2 dan t_2'' gacha ko'tarilmoqda.



4.14-rasm. Issiqlik almashinish jarayonida suyuqliklarning harakat yo'nalishlari

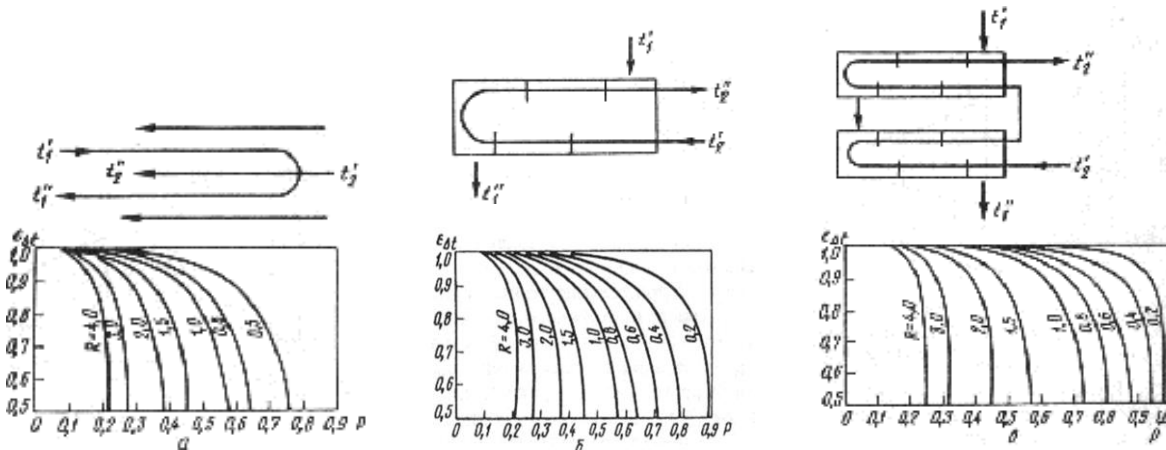
a - parallel; b - qarama - qarshi;
c - kesishib o'tgan; d, e - aralash.

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; b - qarama-qarshi yo'nalish.



4.16-rasm. Aralash yo'nalishli qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasida

issiqlik eltkichlarning harakat sxemasi va eDt koefitsienti:

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; c - 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 almashinishi 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 $dt_1 = -dQ/(G_1 s_1)$ ga pasayadi, sovuq eltkichning temperaturasi esa $dt_2 = -dQ/(G_2 s_2)$ ga ko'tariladi, bu erda G_1 va G_2 issiq va sovuq eltkichlarning massaviy sarfi; s_1 va s_2 - issiq va sovuq eltkichlarning solishtirma issiqlik sig'implari. Issiqlik eltkichlar temperaturasining o'zgarishini topish uchun birinchi tenglamadan ikkinchisini ayirish kerak:

$$d(t_1 - t_2) = -dQ \left(\frac{1}{G_1 \cdot c_1} - \frac{1}{G_2 \cdot c_2} \right) \quad (4.103)$$

Agar, issiqlik o'tkazishning asosiy tenglamasining dQ qiymatini (4.103)ga qo'ysak ushbu ifodaga ega bo'lamiz:

$$\frac{d(t_1 - t_2)}{t_1 - t_2} = -K \left(\frac{1}{G_1 c_1} + \frac{1}{G_2 c_2} \right) dF \quad (4.103a)$$

F yuzali issiqlik almashinish qurilmasida vaqt birligida issiqlik eltkichdan sovuq'iga o'tgan issiqlik miqdori Q , issiqlik balansi tenglamasidan topiladi:

$$Q = G_2 c_2 (t_1' - t_1'') = G_2 c_2 (t_2'' - t_2') \quad (4.104)$$

(4.104) tenglamadagi $G_1 c_1$ va $G_2 c_2$ larning qiymatlarini (4.103a) ga qo'ysak, ushbu ko'rinishni olamiz:

$$\frac{d(t_1 - t_2)}{t_1 - t_2} = - \frac{K}{Q} [(t'_1 - t''_1) + (t''_2 - t'_2)] \cdot dF \quad (4.105)$$

(4.105) tenglamani o'zgaras K da integrallasak:

$$Q = KF \frac{(t'_1 - t'_2) - (t''_1 - t''_2)}{\ln \frac{t'_1 - t'_2}{t''_1 - t''_2}} \quad (4.106)$$

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:

$$\Delta t_{yp} = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} \quad (4.108)$$

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:

$$\Delta t_{yp} = \frac{(\Delta t_{\max} + \Delta t_{\min})}{2} \quad (4.109)$$

Bu formulada hisoblaganda, xatolik 5% dan oshmaydi.

Issiqlik eltkichlarning kesishib o'tgan va aralash yo'nalishli harakatida o'rtacha harakatlantiruvchi kuch ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\Delta t_{yp} = \varepsilon_{\Delta t} \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} \quad (4.110)$$

bu erda $\varepsilon_{\Delta t}$ - o'lchamsiz, koeffitsient bo'lib, 4.16-rasmdagi grafiklardan topish mumkin.

Grafiklardagi R va P kattaliklar Bouman formulasidan topiladi:

$$P = \frac{t''_2 - t'_2}{t'_1 - t'_2}; \quad R = \frac{t'_1 - t''_1}{t''_2 - t'_2} \quad (4.111)$$

ISITISH, BUG`LATISH, SOVITISH VA KONDENSASTIYALASH

4.7. Umumiy tushunchalar

Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarida issiqlik almashinish qurilmalarida o'tkaziladigan suyuqlik va gazlarni isitish, bug'lanish, sovitishva bug'larni kondensastiyalash 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. Yuqoritemperaturali 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 manba bo'lib yokilg'ilarni yonishdan hosil bo'lgan gazlar va elektr energiyasi hamishlatiladi. 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 yuqoritemperaturali issiqlik eltkichlar (o'ta qizdirilgan suv, mineralmoy, organik suyuqlik va ularning bug'lari, tuz eritmaları, suyuq materiallar va boshqalar) kiradi.

Oddiy temperatura (10...30°S) largacha sovitish uchun suv va havo keng miqyosda va samarali qo'llaniladi.

Issiqlik eltkichlarni tanlashda ularning quyidagi xossalriga 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;
- enmaydigan, zaxarlimas, issiqqa chidamli bo`lishi zarur;
- issiqlik almashinish qurilmasi materialini emirmasligi va buzmasligi kerak;
- arzon va kamyob bo`lmasligi zarur.

Ko`p holatlarda issiqlik eltichlar sifatida sanoat yarim mahsulot, mahsulot va chiqindilarning issiqligidan foydalanish iqtisodiy tomondan maqsadga muvofiqdir.

4.7.1. Bug` bilan isitish

Ma'lumki, sanoat miqyosida issiqlik eltich sifatida to`yingan suv bug`i keng ko`lamda ishlatiladi, chunki u bir qator afzalliklarga ega. Masalan, bug` kondensastiyalanganda juda katta miqdorda issiqlik ajralib chiqadi. Agar, bug`ning bosimi  $9,8 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$  bo`lsa, $2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$ miqdorda issiqlik berishi mumkin. Kondensastiyalanayotgan bug`ning issiqlik berish koeffitsienti 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 kondensastiyalanadi. 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`shidir. Shuning uchun, suv bug`i erdamida  $180 \dots 200^\circ\text{S}$  gacha isitish mumkin. Ushbu temperaturalarda bug`ning bosimi $1,0 \dots 1,2 \text{ MPa}$ ga to`g`ri keladi. Juda yuqori bosimli issiqlik eltichlar ishlatilganda, qalin devorli va qimmat qurilmalardan foydalanish ehtiyoji tug`iladi.

4.7.2. Issiq suv bilan isitish

Ushbu usul kimyo va oziq - ovqat mahsulotlarini 100°S gacha isitish uchun qo`llaniladi.  $100^\circ\text{S}$  dan yuqori temperaturalargacha isitish uchun ortiqcha bosim ostidagi **o`ta qizdirilgan suv** ishlatiladi.

Suvning afzalliklari juda ko`p: er 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 stirkulyastion usul ishlatiladi. Stirkulyastion harakat erkin yoki majburiy bo`lishi mumkin. Lekin, sanoatda nasos yordamida amalga oshiriladigan majburiy stirkulyastion jarayonlar keng tarqalgan.

Pomidor, bodring, poliz mahsulotlarini etishtirishda issiqxona (teplista) 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 eltichlariga quyidagi organik moddalar kiradi: glisterin, etilenglikol, naftalin, difenilefiri, difenilmetan, ditolilmetan, difenil va polifenollarni xlrlashmahsulotlari, 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 eltich stirkulyastion usulda isitish uchun ishlatiladi va erkin stirkulyastiya sharoitida issiqlik berish koeffitsienti $200 \dots 350 \text{ Vt/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

Difenil aralashmasining asosiy afzalliklaridan biri shundaki, yuqori bosim ishlatmasdan turib yuqori temperaturalar olish mumkinligidir. Masalan, 300°S temperaturada suv bug`ining bosimi  $87,6 \text{ at}$  bo`lsa, difenil aralashmasida esa - atigi $2,4 \text{ at}$.

Ushbu guruhdagi organik suyuqliklar yordamida $250 \dots 400^\circ\text{S}$ temperaturagacha isitish mumkin.

Suv yoki boshqa issiqlik eltichning isitish uchun ketgan sarfi issiqlik balansidan aniqlanadi:

$$G_s c_s t_{sb} + G_m c_m t_{mb} = G_s c_s t_{mox} + Q_{yo'q} \quad (4.112)$$

bu erda G_s va G_m - suv va mahsulotning massaviy sarflari, kg/soat; s_s va s_m - suv va mahsulotning issiqlik sig'imlari, $\text{kJ/(kg} \cdot \text{K)}$; t_{sb} va t_{mb} - suv va mahsulotning boshlang`ich temperaturalari,  $^\circ\text{S}$ ;  $t_{sox}$  va  $t_{mox}$  - suv va mahsulotning chiqishdagi temperaturalari,  $^\circ\text{S}$ ;  $Q_{yo'q}$  - atrofmuhitga issiqlikning yo`qotilishi, kJ/soat .

(4.112) dan suvning sarfini topish mumkin:

$$G_c = \frac{G_m c_m (t_{mox} - t_{mb}) + Q_{yo'q}}{c_s (t_{s\sigma} - t_{sox})} \quad (4.113)$$

4.7.4. To'yingan suv bug'i bilan isitish

Ushbu usulda isitish amaliyotda keng miqyosda qo'llaniladi. Bungauning quyidagi afzalliklari sababchidir: kondensastiyalanish jarayonidajuda katta miqdorda issiqlik ajrab chiqadi (2024...2264 kJ/kg); kondensastiyalanayotgan bug'dan devorga issiqlik berish koeffistienti judayuqori; isitish bir tekisda sodir bo'ladi.

O'tkir bug' bilan isitishda suv bug'i bevosita isitilayotgan suyuqlikka yuboriladi. Natijada bug' kondensastiyalanadi 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:

$$Gct_b + Di'' = Gc t_{ox} + Dc t_{ox} + Q_{yo'q} \quad (4.114)$$

O'tkir bug' sarfi:

$$D = \frac{Gc \cdot (t_{ox} - t_b)}{i'' - ct_{ox}} \quad (4.115)$$

Isitilayotgan muhitni suv bilan aralashishi mumkin bo'lgan hollardagina o'tkir bug' bilan isitish jarayoni qo'llaniladi.

Ushbu usul ko'pincha suv va suvli eritmalarini isitish uchun ishlatiladi.

Kuchsiz bug' bilan isitishda issiqlik bug'dan suyuqlikka ajratibturuvchi devor orqali uzatiladi. Qurilma ichida bug' kondensastiyalanganlan so'ng, uning bug' bo'shlig'idan kondensat holatida chiqariladi. Hosil bo'lgan kondensatning temperaturasi isituvchi bug'ning to'yinistemperaturasiga teng deb qabo'l qilinadi.

Suyuqlikni isitish jarayonida bug'ning massaviy sarfi ham issiqlikbalansidan topiladi:

$$Gc t_{\sigma} + D_1'' = Gc t_{ox} + Di' + Q_{i'yx} \quad (4.116)$$

Kuchsiz bug' sarfi:

$$D = \frac{Gs \cdot (t_{ox} - t_b) + Q_{yo'q}}{i'' - i'} \quad (4.117)$$

bu erda D – bug'ning massaviy sarfi, kg/soat; G – suyuqlikningmassaviy sarfi, kg/soat; s – suyuqlikning solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K); t_b va t_{ox} – suyuqlikning boshlang'ich va oxirgi temperaturalari, °S; 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 vaktdan beri qo'llanilib kelinayotgan usullardan biridir. Tutun gazlari suyuq, gazsimon va qattiq yoqilgilarni maxsus o'txonalarida yondirish natijasida hosil bo'ladi. Ushbu gazlar yordamida 1000...1100°S temperaturagacha isitish mumkin.

Tutun gazlari yordamida isitishning kamchiliklari: kichik issiqlik berish koeffistienti [35...60 Vt/(m²·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 kullash katta samara beradi, chunki ushbu gazlarni ishlatishda qo'shimcha yokilg'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 oraligida 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 karab ushbu usul bir necha turga bo'linadi: elektr qarshiligi yordamida isitish, indukstion isitish, yuqori chastotali isitish, elektr yoyi bilan isitish.

Elektr qarshiligi yordamida 1000...1100°S 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.

Indukstion isitish qurilma devori qalinligida o'zgaruvchan tok maydoni ta'sirida foydali ish koeffitsienti uyurmaviy toklari hosil bo'ladi va ular issiqlik ajralib chiqishga sababchi bo'ladi.

Ushbu usulda bir tekisda isitish mumkin. Odatda indukstion isitishda 400⁰S temperaturaga erishish va kerakli temperaturani yuqori aniqlikda ushlab turish mumkin.

Bu usulning kamchiliklaridan biri – bu uning kimmatligi. Isitishni arzonlashtirish uchun kombinastiyalashgan usuldan foydalaniladi. Buning uchun mahsulot to'yingan suv bug'i yordamida 180⁰S gacha qizdiriladi va undan keyin indukstion usulda kerakli temperaturagacha isitiladi.

Yuqori chastotali isitish. Ushbu usulda elektr toki utkazmaydigan materillar isitiladi, shuning uchun ham dielektrik usul deb nomlanadi.

Yuqori chastotali isitgichning ishlash prinstipi quyidagicha: o'zgaruvchan elektr maydoniga joylashtirilgan material molekulari maydon chastotasi bilan tebranma harakat qila boshlaydi va qutblanadi. Material molekularining tebranma harakat energiyasi dielektrik molekulari orasidagi ishkalanish kuchini engishga 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 isitgichlar murakkab va ularning foydali ish koeffitsienti juda past bo'ladi. Ushbu usulda ishlaydigan isitgichlarda $1 \cdot 10^6 \dots 1 \cdot 10^8$ Gst chastotali toklar qo'llaniladi.

Elektr toki yordamida isitish jarayonida ajralib chiqadigan issiqlik miqdori issiqlik balansidan topiladi:

$$Q_e + Gs t_b = Gc t_{ox} + Q_{yo'q} \quad (4.118)$$

bu erda Q_e – elektr toki o'tganda elektr isitish moslamasidan ajralib chiqqan issiqlik miqdori, kJ/soat; G – isitilayotgan qurilmada qayta ishlanayotgan mahsulot miqdori, kg/soat; s – material solishtirma issiqligi, J/(kg·K); t_b , t_{ox} – materialning boshlang'ich va oxirgi temperaturasi, ⁰S; $Q_{yo'q}$ – atrof muhitga yo'qotilayotgan issiqlik miqdori, kJ/soat.

(4.118) tenglamadan

$$Q_e = Gs \cdot (t_{ox} - t_b) + Q_{yo'q} \quad (4.119)$$

Isituvchi elementlar quvvati esa ushbu ifodadan aniqlanadi:

$$N = \frac{Q}{3600} \quad (4.120)$$

4.8. Kondensastiyalash

Bug' yoki gazlarni, suv yoki havo yordamida sovitib, suyuq agregatholatiga o'tkazish jarayoniga **kondensastiyalash** deyiladi. Kondensastiyalash jarayoni kondensatorlarda amalga oshiriladi. Ushbu jarayon kimyo va oziq-ovqat sanoatlarida turli moddalarni suyultirish uchun qo'llaniladi. Bug'ning kondensastiyalanishida hosil bo'lgan kondensatning hajmi bug'hajmiga nisbatan taxminan 1000 marta kichik. Bu hodisa kondensatorlarda vakuum hosil bo'lishiga olib keladi.

Sovitish usuliga qarab kondensastiyalanish jarayoni 2 turga bo'linadi: sirtiy va issiqlik eltkichlarni aralashtirish yo'li bilan kondensastiyalash.

Kondensastiyalash jarayonida ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori ushbu formuladan aniqlanadi:

$$Q = D r \quad (4.121)$$

bu erda D – kondensastiyalanayotgan bug' massasi, kg; r – kondensastiyalanish issiqligi, kJ/kg.

Masalan, 1 kg suv bug'ining atmosfera bosimida kondensastiyalanishida 2264 kJ miqdorda issiqlik ajralib chiqadi.

Sirtiy kondensastiya issiqlik almashinish qurilmalarida amalga oshiriladi. Bunday qurilmalar **sirtiy kondensator** deb nomlanadi.

O'ta qizdirilgan bug'ni suv bilan kondensastiyalash jarayonining issiqlik balansi:

$$Di + Ws_s t_{sb} = Dc_{kon} t_{kon} + Ws_s t_{sox} + Q_{yo'q} \quad (4.122)$$

bu erda D – kondensatorga kirayotgan bug'ning massaviy sarfi, kg/soat; i – bug' entalpiyasi, kJ/kg; s_s va s_{kon} – suv va kondensatning solishtirma issiqlik sig'imi, J/(kg·K); t_{sb} , t_{sox} – suvning boshlang'ich va oxirgi temperaturasi, ⁰S; $Q_{yo'q}$ – atrof muhitga yo'qotilayotgan issiqlik miqdori, kJ/soat.

(4.122) dan sovutuvchi suvning massaviy sarfini aniqlaymiz (kg/soat):

$$W = \frac{D \cdot (i - c_{kon} t_{kon}) - Q_{yo'q}}{c_s (t_{sox} - t_{sb})} \quad (4.123)$$

O'ta qizdirilgan bug'ning solishtirma entalpiyasi (kJ/kg) ushbu tenglama orqali hisoblanadi:

$$I = s_{bug'}(t_{bug'} - t_{to'y}) + r + c_{kon} \cdot t_{to'y} \quad (4.124)$$

bu erda $s_{bug'}$ - o'ta qizdirilgan bug' solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K); $t_{bug'}$ - o'ta qizdirilgan bug' temperaturasi, °S; $t_{to'y}$ - bug'ning to'yinish temperaturasi, °S; r - bug'ning kondensastiyalanish issiqliligi, kJ/kg.

Kondensatorning issiqlik o'tkazish yuzasi 3 ta zona uchun alohida hisoblanadi:

- o'ta qizdirilgan bug'ni sovitish zonasining yuzasi F_1 ;

- kondensastiyalash 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 kondensastiyalash ho'l va quruq kondensatorlarda olib beradi.

Ho'l kondensatorlarda suv, kondensat va kondensastiyalanmagan 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.

4.9. Atrof muhit temperaturasi gacha sovitish

Materialdan issiqlik olish yo'li bilan temperaturasini pasaytirish jarayoni **sovitish** deb nomlanadi.

Sanoat miqyosida gaz, bug' va suyuqliklar temperaturasini 15...20 °S 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 °S temperaturali oddiy suv yoki 8...12 °S 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:

$$Gst_b + Ws_s t_{sb} = Gst_{ox} + Ws_s t_{ox} + Q_{yo'q} \quad (4.124)$$

bundan:

$$W = \frac{Gc \cdot (t_b - t_{ox}) - Q_{yo'q}}{s_s (t_{ox} - t_b)} \quad (4.125)$$

bu erda G - sovutilayotgan issiqlik eltkichning massaviy sarfi, kg/soat; s_s - issiqlik eltkich va suvning solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K); t_b, t_{ox} - issiqlik eltkichning boshlang'ich va oxirgi temperaturasi, °S; $Q_{yo'q}$ - 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 °S gacha isiydi va erib boshlaydi. Shu paytda sovutilayotgan mahsulotdan issiqlik ajratib olinadi. Sovitish jarayoni davomiyligi tajriba o'tkazish yo'li bilan aniqlanadi.

Muz yordamida bevosita sovitish jarayonida mahsulot olib kirilayotgan sovuqlik miqdori ushbu tenglamadan topiladi:

$$Q = L(-r) \quad (4.126)$$

bu erda L - muz massasi, kg; r - muzning erish issiqligi, kJ/kg.

Sovutuvchi suyuqlik bilan olib kirilayotgan issiqlik miqdori quyidagi tenglamadan aniqlash mumkin:

$$Q_j = Gst_b \quad (4.127)$$

bu erda G - sovutilayotgan suyuqlik massasi, kg; s - suyuqlik solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K); t_b - suyuqlikning boshlang'ich temperaturasi, °S.

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:

$$Gst_b - Lr = Gst_{ox} + Ls_s t_{ox} \quad (4.128)$$

bu erda s_s - suvning solishtirma issiqlik sig'imi, J/kg·K.

(4.128) dan muzning sarfini aniqlaymiz:

$$L = \frac{Gs \cdot (t_b - t_{ox})}{s_s t_{ox} - r} \quad (4.129)$$

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 temperaturasi 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 va oziq - ovqat mahsulotlarini atrof muhit temperaturasidan past (+4...-60°S) temperaturalarda sovitish, muzlatish va saqlash uchun sovutgichlar ishlatiladi. Sovutgichlarning asosiy ishchi qismi bu sovitish mashinalaridir.

Sovitish mashinalarida sovuqlik ishlab chiqarish uchun gazni siqish, kondensastiyalash va bug'lanish jarayonlardan tarkib topgan teskari aylanma termodinamik stikl qo'llaniladi.

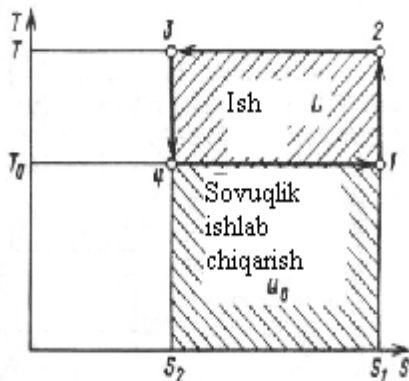
Termodinamikaning ikkinchi qonuniga binoan, atrof muhit temperaturasidan past temperaturagacha sovitish, temperaturasi quyi sathdan yuqori sathga issiqlik o'tkazish bilan bog'liq bo'lganligi uchun, albatta energiya sarflanishi zarur. Bunday issiqlik uzatish Karnoning teskari stikli asosida amalga oshiriladi.

Karno to'g'ri stiklining energetik balansi ushbu tenglama bilan ifodalanadi:

$$Q = L + Q_0 \quad (4.130)$$

Karno teskari stiklini ko'rib chiqamiz (4.17-rasm).

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 kondensastiyalanadi (2-3 chiziq). Bu jarayonda Q miqdorda issiqlik ajralib chiqadi. Undan keyin esa, hosil bo'lgan suyuqlik adiabatik kengaytiriladi.



4.17-rasm. Karno teskari sikli.

L1-2-3-4 - ushbu yuza sarflangan ishga teng; Q_0 - sovuqlik ish unumdorligi.

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 jaraen paytida sovutilayotgan ob'ektdan Q_0 miqdorda issiqlik olinadi.

(4.130) tenglamadan gazning foydali ishini aniqlaymiz:

$$L = Q - Q_0 \quad (4.131)$$

Q va Q_0 issiqlik miqdorlarini ishchi jismning kondensastiyagacha S_1 va undan keyingi S_2 entropiyalari bilan ifodalash mumkin:

$$Q = T \cdot (S_1 - S_2);$$

$$Q_0 = T_0 \cdot (S_1 - S_2) \quad (4.132)$$

Agar, Q va Q_0 qiymatlarini (4.131) tenglamaga qo'ysak, ushbu ifodani olamiz:

$$L = (T - T_0) \cdot (S_1 - S_2) \quad (4.133)$$

Sovitish koeffitsienti ushbu ko'rinishga ega:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{L} = \frac{Q_0}{Q - Q_0} = \frac{T_0}{T - T_0} \quad (4.134)$$

Shunday qilib, sovitish koeffitsienti 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 unumdorligi** deb nomlanadi.

4.11. Issiqlik almashinish qurilmalari

Ma'lumki, sanoatning turli sohalarida xilma-xil xom - ashyo va mahsulotlarni qayta ishlashda issiqlik almashinish jarayonlari va 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 prinsipi qarab issiqlik almashinish qurilmalari sirtiy (rekuperativ), regenerativ va aralashtiruvchi (gradirnya, skrubber, aralashtiruvchi kondensator va h.) qurilmalarga bo'linadi.

Sirtiy issiqlik almashinish qurilmalarida issiqlik eltichlar devor bilan ajratilgan bo'lib, ularda bir muhitdan ikkinchisiga issiqlik ushbu devor orqali uzatiladi. Konstrukstiyasiga ko'ra sirtiy issiqlik almashinish qurilmalari qobiq - trubali, zmeevikli, 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 eltichlar bilan yuvilib turadi. Agar, issiqlik almashinish yuzasi issiq eltich bilan yuvilib tursa, muhitning issiqligi hisobiga isiydi, sovuq eltich bilan yuvilganda esa - o'z issiqligini beradi. Shunday qilib, issiqlik almashinish yuzasi issiqlik eltichning issiqligini yig'ib oladi, so'ng esa sovuq eltichga beradi.

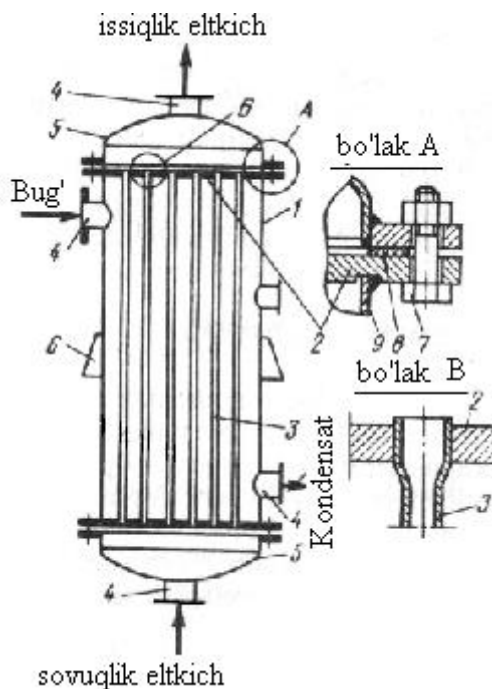
Aralashtiruvchi issiqlik almashinish qurilmalarida ikkala eltich bevosita o'zaro aralashuvi paytida issiqlik almashadi.

Issiqlik almashinish turiga ko'ra qurilmalar isitkich, bug'latkich, sovutkich va kondensatorlarga ajratiladi.

4.11.1. Sirtiy issiqlik almashinish qurilmalari

Konstrukstiyasiga qarab ushbu turdagi qurilmalar qobiq -trubali, «truba ichida truba», zmeevikli, spiralsimon, yuvilib turuvchi, plastinali, qirrali, g'ilofli, blok-grafitli, shnekli va hokazo bo'lishi mumkin.

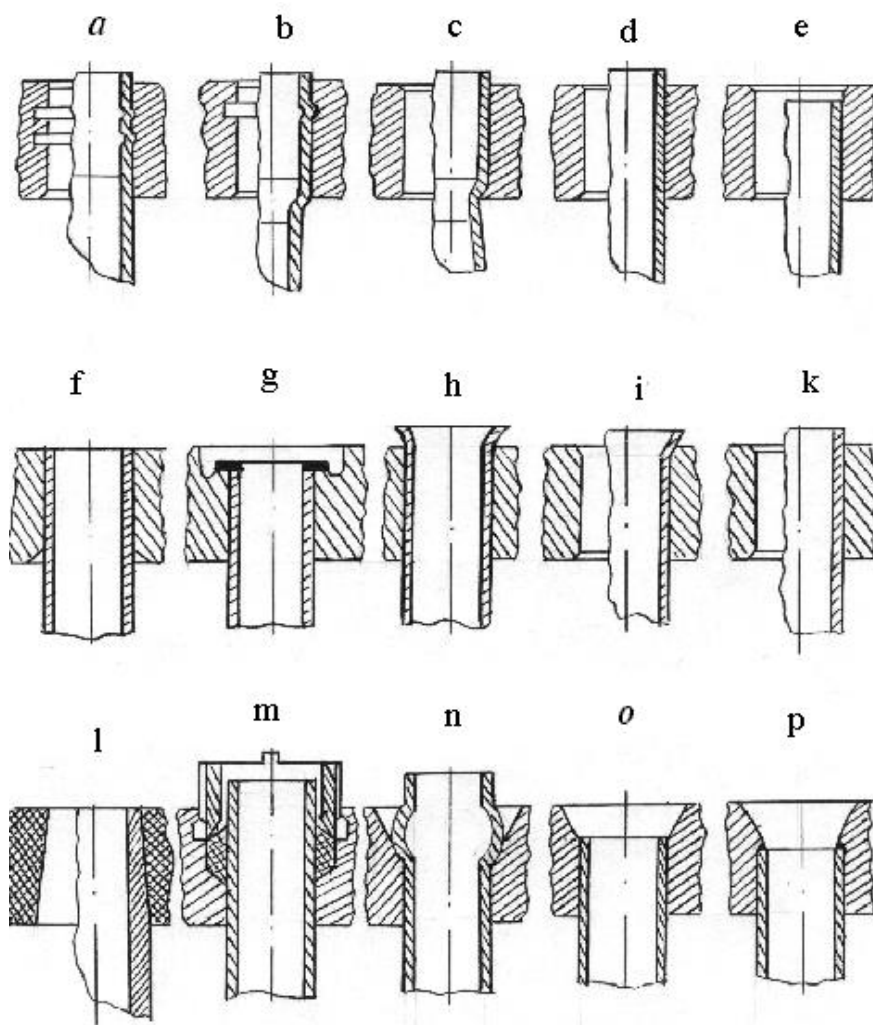
Qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmalari xalq xo'jaligining turli sohalarida eng keng tarqalgan va ko'p ishlatiladigan turidir.



4.18-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.

4.18-rasmda trubalarning qo'zg'almas teshik panjarali, bir yo'lli, vertikal qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi tasvirlangan. Ushbu qurilma stilindr 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 stilindrik qobiq 1 ga payvandlash usulida mahkamlanadi. Qurilma qobig'iga boltli birikma yordamida 2 ta qopqoq mahkamlanadi. Issiqlik eltkichlar kirishi va chiqishi uchun stilindrik qobiq 1 va qopqoq 5 larda patrulkalar o'rnatilgan. Issiqlik eltkichlardan biri, masalan suyuqlik, trubalar bo'shlig'iga yo'naltirilsa, u trubalar orqali o'tib qopqoqning patrulkasidan 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 patrulkasidan chiqazib yuboriladi. Muhitlar orasidagi issiqlik almashinish jarayoni trubalar devori orqali amalga oshiriladi.



4.19-rasm. Trubalarni teshikli panjaralarga ma'kamlash usullari.

a - ikkita ariqchaga razvalstovka qilish; b - bitta ariqchaga razvalstovka qilish; c - payvandlash va razvalstovka qilish; d,e - payvandlash; f, g - ariqchali va tishli payvandlash; h - kirish qismini konussimon razvalstovka qilish; i - tekis teshikka razvalstovka qilish va buklash; k - kavsharlash; l - elimlash; m - salnik bilan zichlash; n - portlatib payvandlash; o - teshikli panjara tashqi tomonini konussimon razzenkovka qilish; p - teshikli panjaraning tashqi tomoni asta - sekin silliq, toraytirib razvalstovka qilish.

Isituvchi trubalar teshikli panjaraga payvandlash yoki razvalstovka qilib mahkamlanadi (4.18-rasm). Ko'pincha, isituvchi trubalar po'lat, legirlangan po'lat, mis, latun, titan yoki boshqa materiallardan tayyorlanishi mumkin.

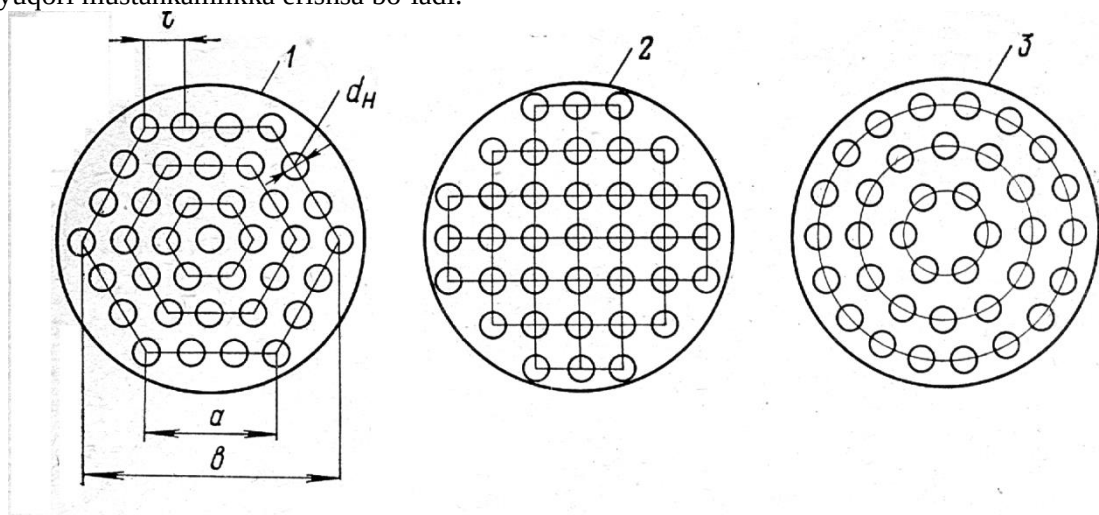
Isituvchi trubalar 3 ni teshikli panjaralar 2 da mahkamlashning eng keng tarqalgan usuli bu oddiy razvalstovkadir (4.19-rasm). Valstovka nomli asbobda radial yo'nalishda hosil qilinadigan kuch ta'sirida truba deformastiyaga (diametri ortadi, ya'ni kengayadi) uchrab, teshikli panjaraga zichlanadi va mahkamlanadi. Truba o'raminig 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 buzulmaydi.

Trubaning kirish qismini konussimon razvalstovka qilish, mahalliy qarshilik koeffitsientini sezilarli darajada pasaytiradi. Bu esa, o'z navbatida kirish qismining emirilish oldini oladi.

Agar, trubalar tebranish, stiklik 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 payvandlanish zarur. Payvandlash choki cho'ktirilgan, valik va ariqchada valik holadi, 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 razvalstovka qilinsa, eng yuqori mustahkamlikka erishsa bo'ladi.



4.20-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.

Hozirgi kunda trubalarni teshikli panjaraga mahkamlashning eng zamonaviy, ilg'or texnologiyasi - bu portlatib valstovka qilishdir. Bunda, portlatuvchi zaryad truba ichida, ya'ni uchida joylashtiriladi. So'ng esa, zaryad kapsul yordamida portlatiladi. Natijada, portlash energiyasi trubani radial yo'nalishda deformatsiya qiladi va teshikli panjara bilan truba mustahkam birikma hosil qilib ulanadi. Bu usuldagi birikma, razvalstovka usuliniqiga 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 joylashtirishi mumkin (4.20-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 boriga 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:

$$n = 3a \cdot (a - 1) + 1 \quad (4.135)$$

bu erda a - eng katta oltiburchak tomonidagi trubalar soni; $v = 2a - 1$ - eng katta oltiburchak diagonalidagi trubalar soni.

Agar, trubalar teshikli panjaraga razvalstovka usulida mahkamlansa, unda trubalarni joylashtirish qadami t ni, ularning tashqi diametriga d , qarab, ushbu oralikdan tanlanadi:

$$t = (1,3K \ 1,5) \cdot d_T \quad (4.136)$$

Payvandlab mahkamlashda esa – $t = 1,25 \cdot d_T$.

Issiqlik almashinish qurilmasining diametri quyidagi tenglamadan topiladi:

$$D = t \cdot (b - 1) + 4d_T \quad (4.137)$$

Trubalarning uzunligi zarur issiqlik almashinish yuzasi F va trubaning oʻrtacha diametri d_{ur} lardan kelib chiqqan holda ushbu formulada hisoblanadi:

$$l = \frac{F}{\pi \cdot n \cdot d_{o'r}} \quad (4.138)$$

Qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmalarida issiqlik eltkichlarning yoʻnalishi parallel yoki qarama - qarshi boʻladi. Issiq eltkich qurilmaning yuqori qismidan trubalararo boʻshliqqa, sovuq eltkich esa, pastki qismidan trubalar ichiga yuboraladi. Natijada, bugʻ issiqligini beradi va soviydi, yaʼni kondensatga aylanadi va pastga qarab harakatlanadi. Temperaturasi ortishi bilan sovuq eltkichning zichligi kamayadi va u yuqoriga qarab koʻtariladi. Agar, suyuqliklar sarfi koʻp boʻlsa, ularning tezligi ham yuqori va issiqlik almashinish jarayoni intensiv boʻladi. Undan tashqari, suyuqliklarning qarama – qarshi yoʻnalishida ularning tezliklari bir xilda taqsimlanib, qurilmaning butun koʻndalang kesimida issiqlik almashinishi oʻzgarmas boʻladi.

Trubalar boʻshligʻidagi toʻsiqlar. Issiqlik almashinish jarayonining tezligini oshirish uchun ikki va undan ortiq yoʻlli isitkichlar qoʻllaniladi.

Ikki va undan ortiq yoʻlli qurilmalarda trubalarni sekstiyalarga ajratish uchun yoki suyuqlikning harakat yoʻli soniga qarab qurilmaning qopqogʻi bilan truba teshikli panjarasining orasiga toʻsiqlar urnatiladi (4-6 jadval). Buning natijasida suyuqlik oqimi uchun yoʻllar son, yaʼni issiqlik almashinish yuzasi ortadi.

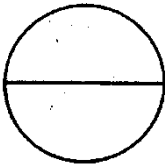
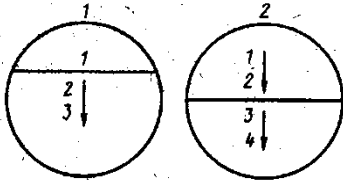
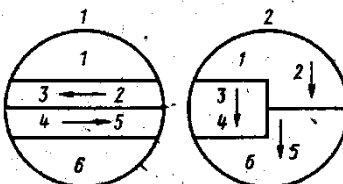
Shuncha alohida eʼtibor berish kerakki, har bir sekstiyadagi trubalar soni bir xil boʻlishi zarur. Ikki va unlan ortiq yoʻlli qurilmalarda bir yoʻnalishiga qaraganda, suyuqliklarning tezligi yoʻllar soniga qarab proporsional ravishda oʻzgaradi.

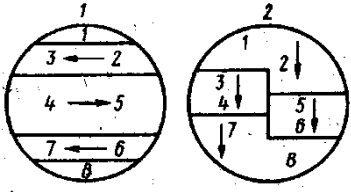
Lekin, shuni unutmaslik kerakki, yoʻllar soni ortishi bilan qurilmaning gidravlik qarshiligi ham ortadi va tuzilishi murakkablashadi.

Qopqogʻ boʻshligʻida oʻrnatiladigan toʻsiqlarning qalinligi qopqogʻ diametriga bogʻliq. Kam legirlangan va uglerodli poʻlatlardan tayyorlangan toʻsiqlarning qalinligi 9...16 mm, mis va nikel qotishmalardan yasalganlarniki esa - 6...13 mm boʻladi. Qopqogʻ va toʻsiqlarning materiali har doim bir xil boʻlishi shart. Odatda, toʻsiqlar qopqoqlarga payvandlanadi yoki qopqogʻ bilan bir butun, yaxlit qilib quyuladi.

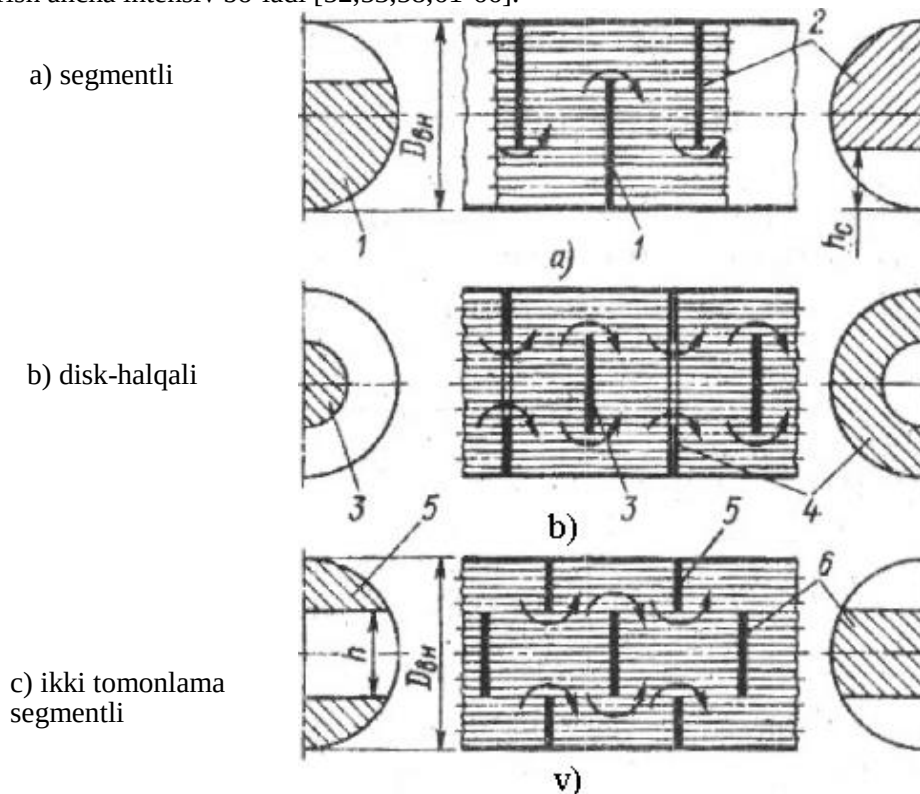
4-6 jadval

Qopqoqlar boʻshligʻidan toʻsiqlarni joylashtirish sxemasi

Toʻsiqlar	Cxema	Yoʻllar soni
Birinchi qopqoqdabitta, ikkinchisida esa boʻlmaydi		2
Harbir qopqoqdabittadan boʻladi.		4
Birinchi qopqoqda 3 ta, ikkinchisida esa 4 ta boʻladi.		6

Birinchi qopqoqda 4 ta, ikkinchisida esa 5 ta bo'ladi.		8

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) eltqich oqimi bilan yuvilib turilsa, bo'ylama harakatiga qaraganda, issiqlik berish ancha intensiv bo'ladi [52,53,58,61-66].



4.21-rasm. Qobiqtrubali issiqlik almashinish qurilmalarida qo'llaniladigan ko'ndalang to'siqlar turlari.

Trubalar paketining egilishi va tebranishini, hamda trubalararo bo'shliqdagi trubalarning ko'ndalang oqim bilan yuvilib turishini tashkil etish maqsadida va qobiq ichida suyuqlik harakatining tezliklari yuqori bo'lishi uchun kondalang to'siqlar o'rnatiladi.

Kimyo mashinasozligida eng ko'p qo'llaniladigan bir tomonli 1 va 2 segment to'siqlar (4.21a-rasm), disk-halqa tipidagi 3 va 4 to'siqlar (4.21b-rasm) va ikki tomonli 5 va 6 segment to'siqlar (4.21c-rasm). Undan tashqari tuba o'ramini yopuvchi, uch tomonlama joylashtiriladigan va boshqa turdagi segment to'siqlar ishlatiladi.

Bosim yo'qotilishi Δp nikamaytirish 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'siqlar 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 qiymatlarga teng:

bir tomonlama segment to'siq uchun $h/D_{ich} = 0,15 \div 0,4$;

ikki tomonlama segment to'siq uchun $h/D_{ich} = 0,2 \div 0,3$.

Ko'ndalang to'siqlar bir qavatli yoki bir necha perforatsiya qilingan listlardan yig'ilgan bo'lishi mumkin. Odatda, bitta listning qalinligi $\delta = 1,5 \div 2$ mm bo'ladi.

Quyidagi jadvalda to'siqlar umumiy qalinligi $\Sigma \delta$ ning qobiq diametri D_{ich} va trubalar uzunligi L ga bog'liqligi keltirilgan.

Qobiqning ichki diametri <i>D_{ich}, mm</i>	<325	<355	<355 (>1550)	>1550
Trubaning tayanchsiz uzunligi <i>L, mm</i>	<610	610...1524	>1524 (<610)	>1524
To'siqlar umumiy qalinligi <i>Σδ, mm</i>	3...4	4...9	9...10	19...20

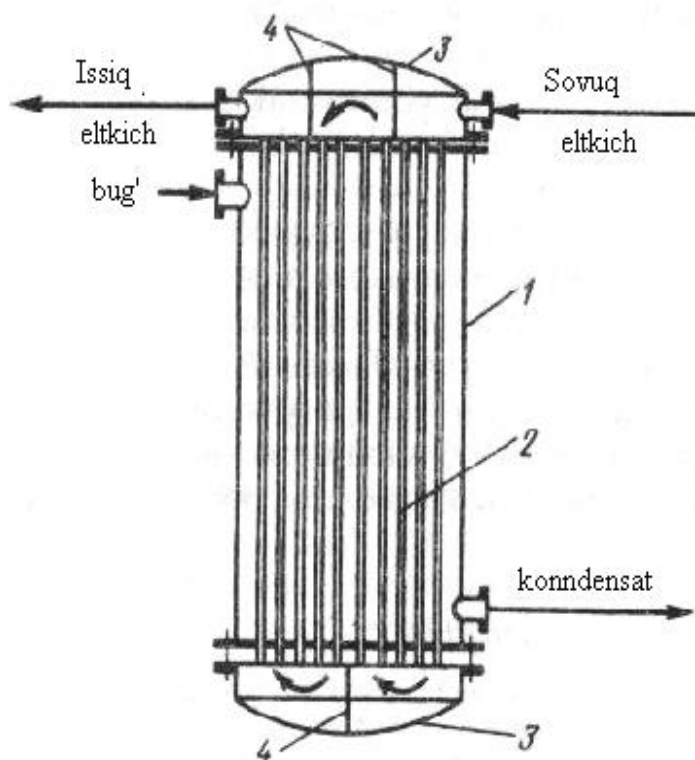
Ko'p yo'lli issiqlik almashinish qurilmasi. 4.22-rasmda to'rt yo'lli qurilma tasvirlangan.

Trubalar bo'shlig'i sekstiyalanishi tufayli, sekstiyadagi trubalar soni butun qurilmanikiga qaraganda kamayadi. Bu esa, suyuqlik oqimi harakatlanadigan ko'ndalang kesim yuzasi kamayishiga va issiqlik eltich 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 koeffitsientini o'sishiga sababchi bo'ladi.

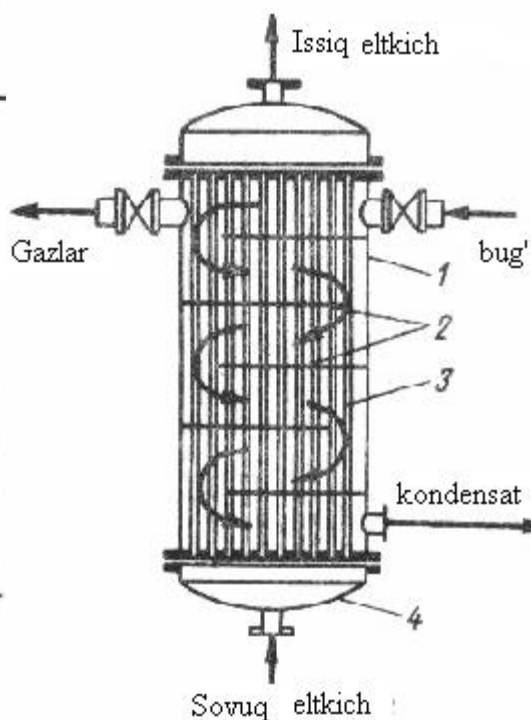
Shuni nazarda tutish kerakki, har doim termik qarshiligi yuqori issiqlik eltichning tezligini oshirish maqsadga muvofiqdir.

Trubalararo bo'shliqda suyuqlik oqimi tezligini va harakat yo'lini uzaytirish maqsadida segment to'siqlar o'rnatiladi (4.23-rasm).



4.22-rasm. Ko'p yo'lli issiqlik almashinish qurilmasi (truba bo'shligi bo'yicha).

1 - qobiq; 2 - isituvchi truba; 3 - qopqoq;
4 - to'siq.



4.23--rasm. Ko'p yo'lli issiqlik almashinish qurilmasi (trubalararo bo'shliq bo'yicha).

1-qobiq; 2 - to'siq; 3 - isituvchi truba;
4 - qopqoq

Gorizonttal issiqlik almashinish qurilmalarida ushbu segment to'siqlar truba o'rami uchun oraliq tayanchlar vazifasini ham bajaradi. Odatda gorizonttal qurilmalar ko'p yo'lli qilib yasaladi va ularda suyuqliklar tezligi yuqori bo'ladi. Bunday qilishdan maqsad, temperatura va zichliklar farqi ostida suyuqliklarning qatlam-larga ajralib, hamda harakatsiz zonalar hosil qilmasligini ta'minlashdir.

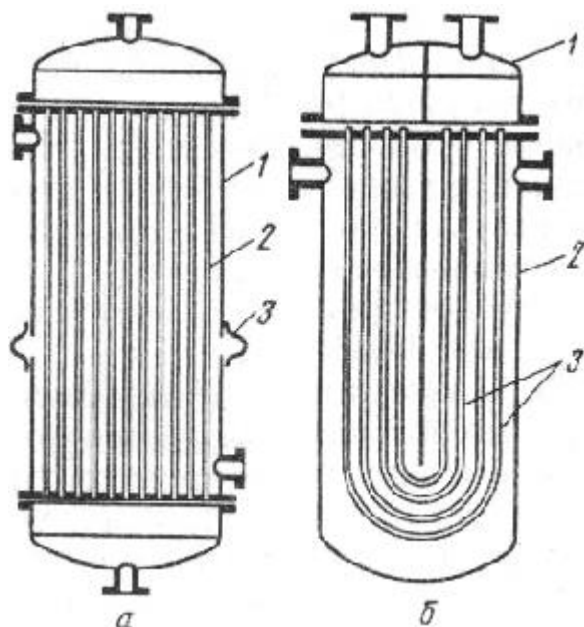
Agar, issiqlik almashinish qurilmasi qo'zg'almas teshik panjara tuzilishi, qobiq va trubalar tempera-turalarining o'rtacha farqi 50°S dan katta bo'lsa, qobiq va trubalar uzayishi har xil bo'ladi. Bu hol o'z navbatida teshikli panjarada katta kuchlanishlar hosil qiladi va panjaradagi trubalar zichlanishini, 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 uzayini kompensatsiya qiladigan issiqlik almashinish qurilma kon-strukstiyalari qo'llaniladi.

Linza kompensatorli issiqlik almashinish qurilmasi. Ushbu turdagi qurilmalar suyuqliklar tempera-tura farqi katta bo'lganda ishlatiladi. Linzali kompensatorlar temperatura deformastiyasini bartaraf qiladi. Bu turdagi qurilmalar truba va trubalararo bo'shliqlari bosimlar $R \leq 6 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ bo'lganda ishlatiladi (4.24a-rasm).

Linzali kompensator issiqlik almashinish qurilmalar qobig'iga payvandlab qo'yiladi va u elastik defor-mastiya 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 kompensastiyalovchi moslama funkstiyasini bajaradi (4.24b-rasm). Qurilma tuzilishi sodda va trubalarning tashqi yuzasini tozalash oson. Undan tashqari, ikki va undan ortiq yo'lli bo'lgani uchun issiqlik almashinish ja-rayoni intensiv bo'ladi. Trubalarning ichki yuzasini tozalash qiyin va teshikli panjarada ko'p miqdorda trubalar joylashtirish murakkab.

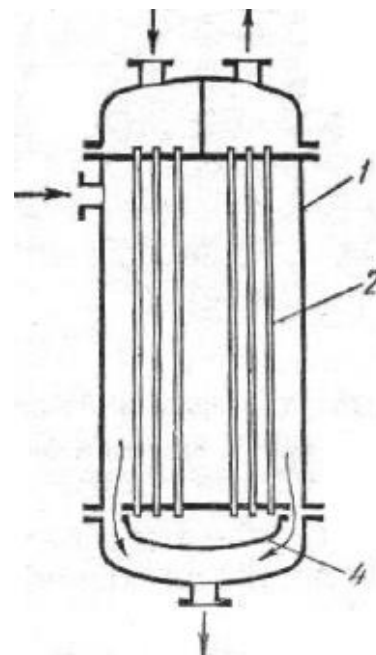
Harakatchan qalpoqchali issiqlik almashini qurilmasi. Truba va qobiqning katta siljishini ta'minlash zarur bo'lgan hollarda harakatchan qalpoqchali issiqlik almashinish qurilmalaridan foydalaniladi (4.25-rasm).



4.24-rasm. Temperatura kuchlanishlarini kom-Pensatsiya qiluvchi issiqlik alma-shinish qurilmalarining tuzilishi.

A - linza kompensatorli: 1 - qobiq; 2 - isitu-vchi truba; 3 - linzali kompensator.

B - U-simon trubali: 1 - qopqoq; 2 - qobiq;
3 - U-simon isituvchi trubalar.



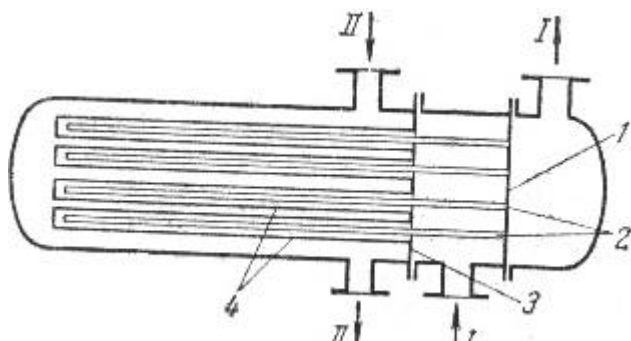
4.25-rasm. Harakatchan qalpoqchali is-siqlik almashinish qurilmasi.

1 - qobiq; 2 - isituvchi trubalar;
3 - harakatchan qalpoqcha.

Qurilmaning pastki teshikli truba panjarasi harakatchan bo'lganligi uchun butun trubalar o'rami qo'zg'almas qobig'ga nisbatan mustaqil, erkin harakat qila oladi. Bu esa havfli bo'lgan trubalar temperatura deformastiyasi, ularning teshikli panjara bilan zichlanishining buzilishi oldini olish imkoniyatini beradi. Lekin shuni qayd qilish kerakki, temperatura ta'sirida uzayishi kompensatsiya qilish, qurilmani murakkablashishi va og'irlashishi hisobiga erishiladi.

Qo'shaloq trubali issiqlik almashinish qurilmasi. Qurilmaning bir tomonida ikkita teshikli truba pan-jarasi o'rnatilgan bo'ladi (4.26-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 tuba tashqi trubaning o`rtasida joylashishi shart. Muhitlardan biri I qurilmaning ichki 2 va tashqi 4 trubalari hosil qilgan halqasimon bo`shliq orqali harakatlanib, tuba 2 orqali trubalararo bo`shliqdan chiqarib yuboriladi. Ikkinchi muhit II esa, yuqoridan pastga qarab qurilmaning trubalararo bo`shlig`idan harakat qiladi va tuba 4 ning tashqi yuzasini yuvib chiqib ketadi.



4.26-rasm. Qo`shaloq trubali qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi.

1, 3 - teshikli panjara; 2 - ichki tuba;
4 - tashqi tuba.

Bunday qurilmalarda temperatura ta'sirida trubalar bir – biridan bevosita istalgan miqdorda uzayishi mumkin.

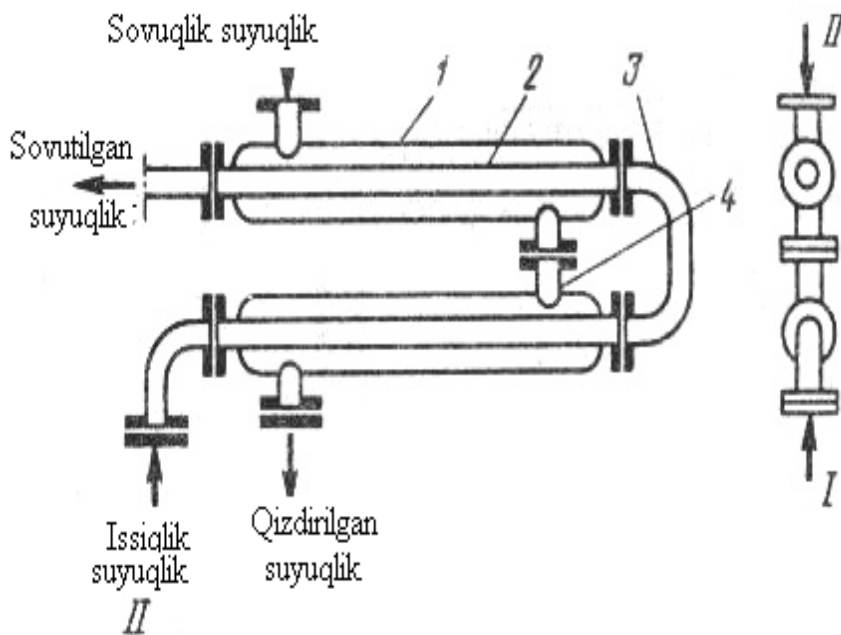
Qo`shaloq trubali issiqlik almashinish qurilmalarining afzalliklari: sodda, trubalararo bo`shliqda yuqori bosimlarni qo`llash mumkin va qarama - qarshi yo`nalishli qobiq - trubali qurilmaga o`xshab ishlaydi.

Kamchiliklari: oddiy qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmasiga nisbatan o`lchami katta va narxi qimmat.

Qobiq - trubali issiqlik almashinish qurilmalari suyuqlik va kondensastiyalanayotgan

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.



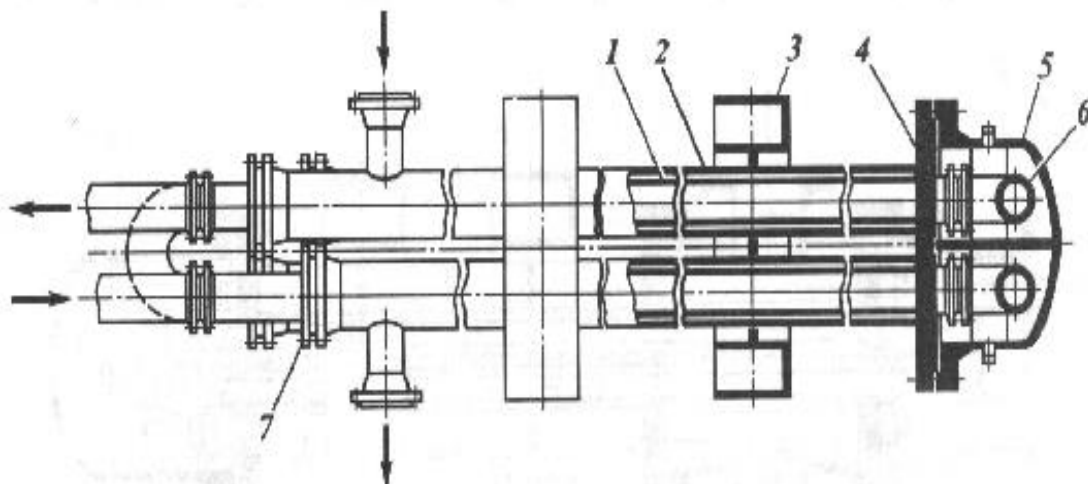
4.27-rasm. "Truba ichida tuba" tipidagi ajralmas, bir oqimli issiqlik almashinish qurilmasi.

1 - tashqi tuba; 2 - ichki tuba; 3 - kalach; 4 - patrubka.
I, II - issiqlik eltichlar.

Kamchiliklari: issiqlik eltichlar tezligini oshirish murakkab (ko`p yo`lli qurilmalardan tashqari); trubalararo bo`shliqni tozalash qiyin; trubalararo bo`shliqni kuzatish va ta'mirlash uchun imkoniyatlar chegaranlangan; razvalstovka va payvandlashga moyil bo`lmagan materiallardan, bu turdagi qurilmalarni yasash murakkab.

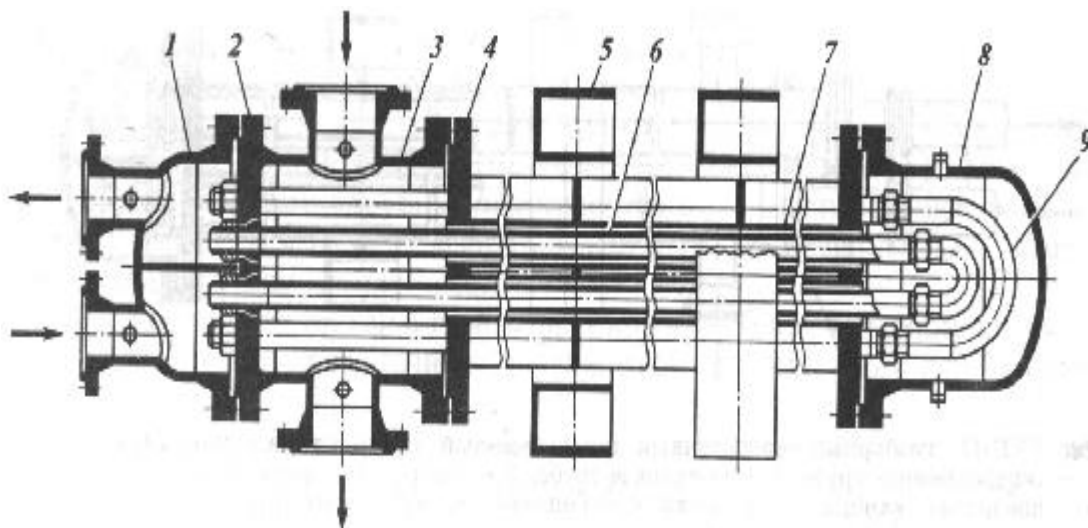
"Truba ichida tuba" tipidagi issiqlik almashinish qurilmasi bir nechta elementlardan tarkib topgan bo`ladi (4.27-rasm).

Har bir element katta diametrli tashqi tuba 1 (odatda 25...159 mm) va konstantrik joylashtirilgan ichki tuba 2 (odatda 57...219 mm) lardan tashkil topgan. Sovuqlik eltich I tuba ichida harakatlansa, issiqlik eltich II trubalararo bo`shliqda harakatlanadi. Issiqlik almashinish ichki trubaning devori orqali amalga oshadi.



4.27a-rasm. «Truba ichida truba» tipida ajraluvchan, bir oqimli issiqlik almashinish qurilmasi.

1-issiqlik almashinish trubasi; 2-truba-qobiq;
3-tayanch; 4-qobiq-truba teshikli panjarasi;
5-burilish kamerasi; 6-qo`shaloq truba;



4.27b-rasm. «Truba ichida truba» tipidagi ajraluvchan, ko`p oqimli issiqlik almashinish qurilmasi.

1-birinchi taqsimlash kamerasi; 2-trubalar teshikli panjarasi; 3-ikkinchi taqsimlash kamerasi; 4-truba-qobiq teshikli panjarasi; 5-tayanch; 6-issiqlik almashinish trubasi; 7-truba-qobiq; 8-burilish kamerasi; 9-qo`shaloq truba.

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 sekstiyalardan 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 koeffitsienti yuqori.

Kamchiliklari: qo`pol; metall sarfi ko`p, trubalararo bo`shliqni tozalash qiyin.

Ajraluvchan konstruktsiyali «truba ichida truba» tipidagi issiqlik almashinish qurilmalarida, temperatura ortishi bilan tashqi trubalarga bog`liq bo`lmagan holda, ichki trubalar uzayishi mumkin (4.27a,v-rasm). Kurilmaning konstruktsiyasi issiqlik almashinish trubalarining ichki yuzasini ifloslik va quyqalardan muntazam ravishda mexanik tozalab turish imkonini beradi. Undan tashqari, bu qurilmalarda trubalarni almashtirish jarayonini amalga oshirish uchun ularni echib olish oson va tashqi yuzasini tozalash mumkin.

Ko'p oqimli issiqlik almashinish qurilmalaridagi (4.27 b-rasm) taqsimlash kamerasi 1 oqimlarni truba 6 larga bo'lib beradi. Truba-qobiq 4 va truba 2 larning teshikli

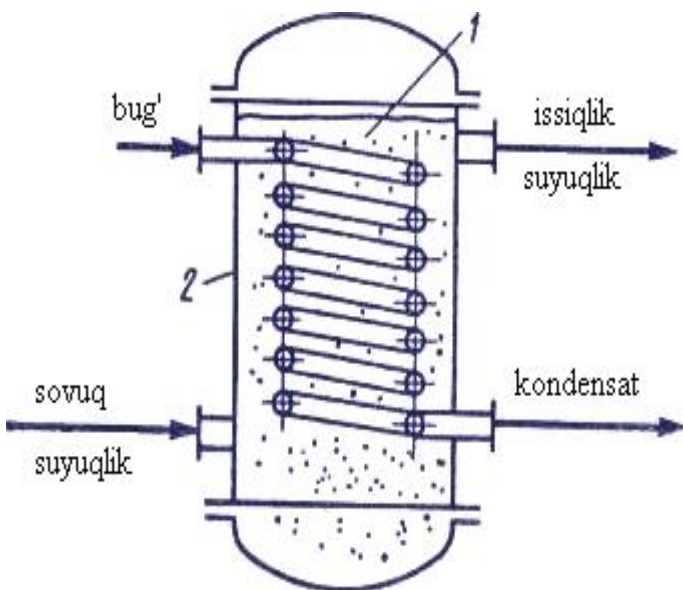
panjarasi orasida taqsimlash kamerasi 3 joylashgan. Ushbu kamera trubalararo bo'shliqda harakatlanayotgan muhit uchun mo'ljallangan. Ko'p oqimli qurilmalarning ichki va tashqi trubalari ikkita yo'llibo'ladi.

Bu turdagi qurilmalarda oqimlarning harakat tezligi qobiq-trubali qurilmalarnikiga qaraganda ancha yuqori. Shu sababli issiqlik o'tkazish koeffitsienti va truba yuzasining issiqlik kuchlanishi katta bo'ladi. Undan tashqari, issiqlik almashinuvchi muhitlarni qarama-qarshi yo'nalishda harakat qilishini tashkil etish oson.

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 koeffitsientini 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.

Zmeevikli issiqlik almashinish qurilmasi. Zmeevik shaklida egilgan truba stilindrik qobiqli idishga o'rnatilgan bo'ladi (4.28-rasm). Stilindrik qobiqli idish 2 isitilishi zarur bo'lgan suyuqlik bilan to'ldiriladi.



4.28-rasm. Zmeevikli issiqlik almashinish qurilmasi.

1 - zmeevik; 2 - qobiq.

Issiqlik berish koeffitsienti kichik; truba ichki devorini tozalash qiyin; $1/d \geq 200 \dots 275$ bo'lsa, zmeevik pastida kondensat yig'iladi, issiqlik almashinish yomonlashadi va gidravlik qarshilik ortib ketadi.

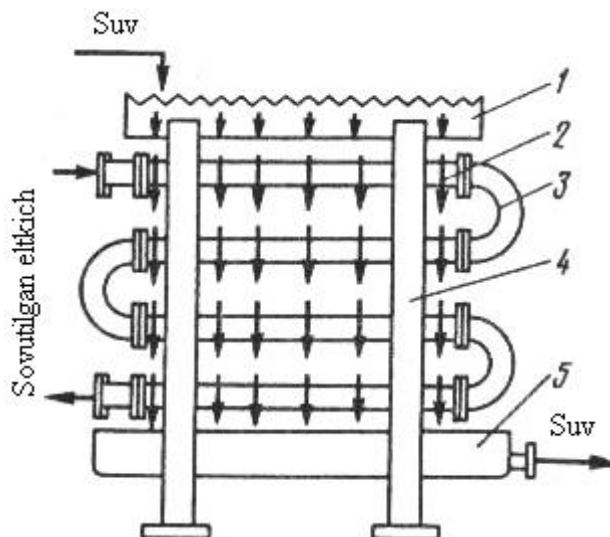
Yuvilib turuvchi issiqlik almashinish qurilmasi gaz, suyuqliklarni sovitish va bug'larni kondensast yalash uchun qo'llaniladi (4.29-rasm).

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 quyuladi va undan trubalar 2 ga oqib tushadi. Suvning bir qismi truba yuzasidan bug'lanib ketadi.

Zmeeviklar ko'pincha 15...75 mm diametrli trubalardan yasaladi. Stilindrik idishning hajmi katta bo'lgani uchun, suyuqlikning tezligi kichik, ya'ni issiqlik berish koeffitsientining qiymati past bo'ladi. Issiqlik eltkich odatda zmeevik ichiga yuboriladi. Bu turdagi qurilmalar kam miqdordagi suyuqliklarni isitish uchun mo'ljallangan.

Zmeevikli 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 m²; suyuqlik hajmi kattaligi uchun ishchi rejimlar o'zgarishi jarayonga sezilarli ta'sir etmaydi.

Ushbu turdagi qurilmaning kamchiliklari: suyuqlikning tezligi va



4.29-rasm. Yuvilib turuvchi issiqlik almashinish qurilmasi.

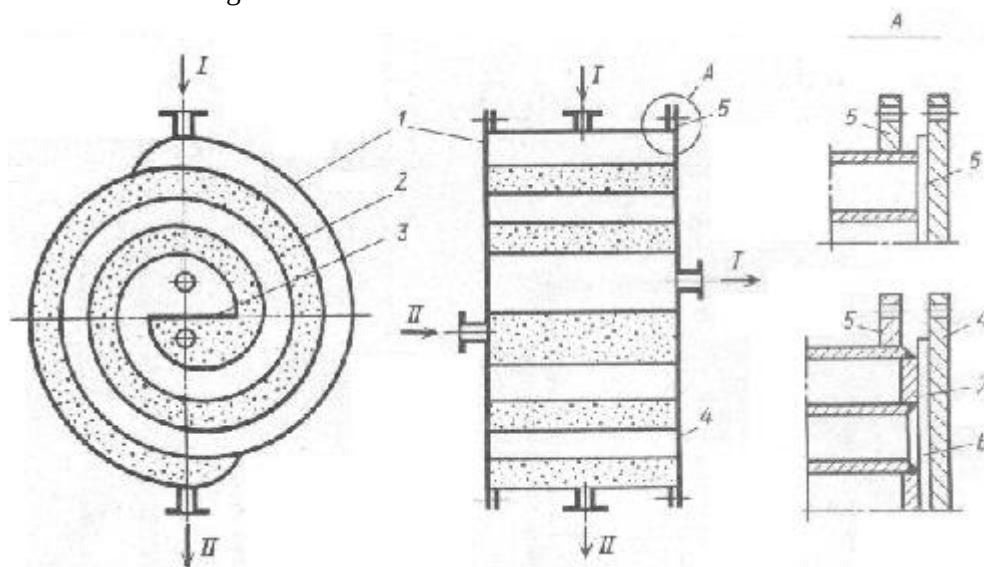
1 - taqsimlovchi tarnov; 2 - truba; 3 - kalach; 4 - tayanch;
5 - yig'uvchi tarnov.

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 koeffitsienti 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 (4.30-rasm). Spirallarning ichki uchlari plastina-to'siq 3 yordamida birlashtirilgan.



4.30-rasm. Spiralsimon issiqlik almashinish qurilmasi.

1,2- metall listlar; 3- plastina-to'siq; 4- qopqoqlar;
5- flanets; 6- qistirma; 7- oralikni belgilovchi bo'lakcha.
I va II- issiqlik eltkichlar.

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 oralikni belgilovchi bo'lakcha 7 ning o'lchami bilan aniqlanadi. Tekis qopqoq 4 lar flanest 5 ga boltlar yordamida mahkamlanadi.

Issiqlik eltkichlar kirishi va chiqishi uchun tekis qopqoqlarning markazida va spiralning tashqi uchlarida shtusterlar 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: tuzilish ixcham; gidravlik qarshiligi nis-

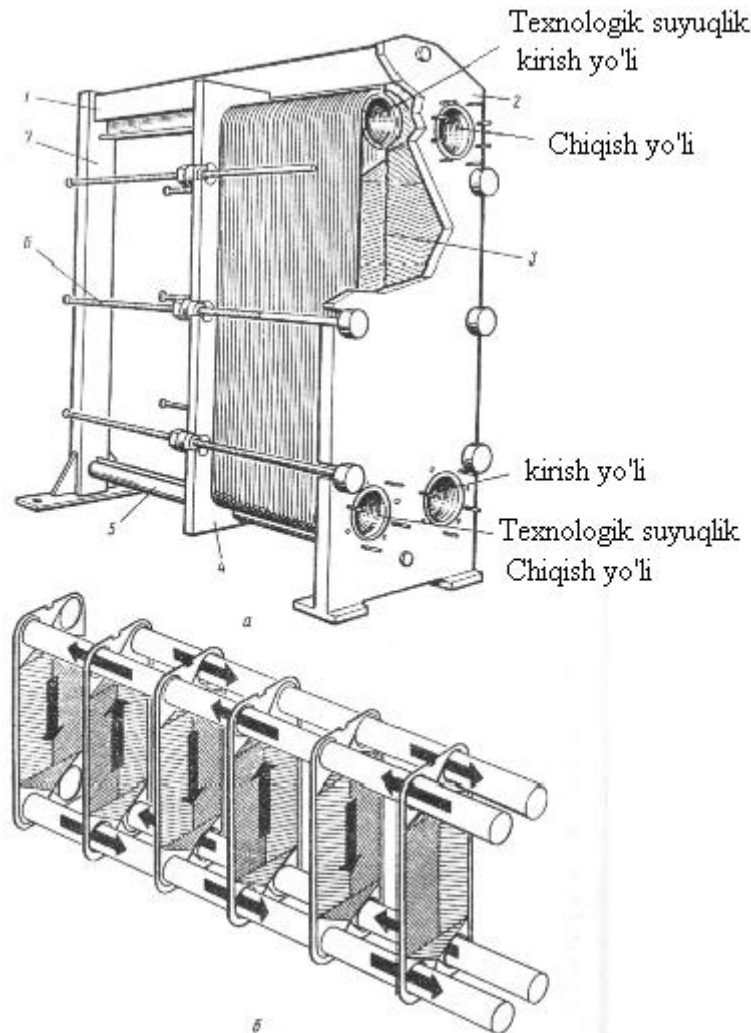
batan kichik; suyuqliklar tezligi yuqori (1...2 m/s); issiqlik o'tkazish koeffitsienti katta; kam joy egallaydi.

Ushbu qurilma kamchiliklari: yasash, ta'mirlash va tozalash qiyin; yuqori bosim ($\geq 1,0$ 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 (4.31-rasm).

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.



4.31-rasm. Plastinali isitkich (a) va uning ishlash printsipti (b):

- 1-tepa tutib turuvchi brus; 2-qo'zg'almas plita; 3-plastina;
4-harakatchan plita; 5-pastgi tutib turuvchi brus;
6-yo'naltiruvchi va tortib turuvchi shpilka; 7-tayanch.

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 printsipti 4.31b-rasmda ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, suyuqliklarning harakati qarama - qarshi yo'nalishda. Shuni qayd etish kerakki, har bir is siqlik eltkich plastinaning bir tomoni bo'ylab harakat qiladi.

Bu turdagi qurilmalar isitgich, sovutkich, hamda pasterizatsiya, sterilizatsiya qilish uchun ham qo'llash mumkin.

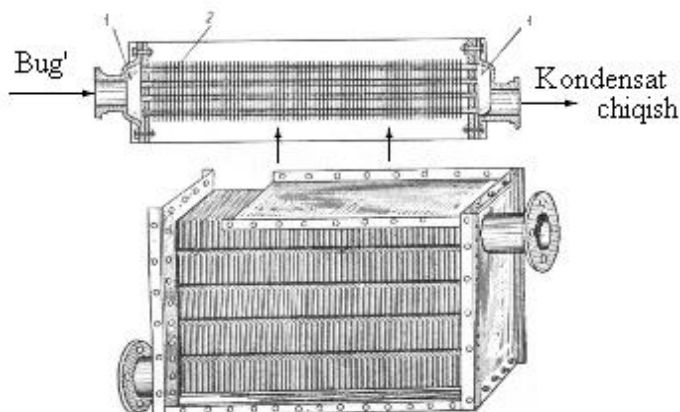
Plastinalar orasidagi kanallarda suyuqlik tezliklari yuqori bo'lgani uchun issiqlik o'tkazish koeffitsienti $K \leq 3800 \text{ Wt/m}^2 \cdot \text{K}$ gacha erishish mumkin. Undan tashqari, bunday yuqori issiqlik o'tkazish koeffitsientlarni olishga sababchi bo'lgan omillardan biri, gofrirlangan plastina yuzasir ig suyuqlik oqimini turbo'lizatsiya qilishi va devorning kichik termik qarshiligidir.

Plastinali issiqlik almashinish qurilmalarining afzalliklari: issiqlik o'tkazish koeffitsienti katta; gidravlik qarshiliga nisbatan kichik; tuzilishi ixcham; suyuqliklar tezligi yuqori; issiqlik almashinish yuzasi katta.

Bu turdagi qurilmalar kamchiliklari: katta bosimga bardosh berolmaydi; tayyorlash qiyin; suyuqlik tar-

kibidagi qattiq zarrachalar kanallarni yopib qo'yish ehtimoli bor.

Qirrali issiqlik almashinish qurilmasi. Bu turdagi qurilmalarda issiqlik berish koeffitsienti past muhit tomonidagi, issiqlik o'tkazish yuzasini ko'paytirish imkoniyati bor (4.32-rasm).

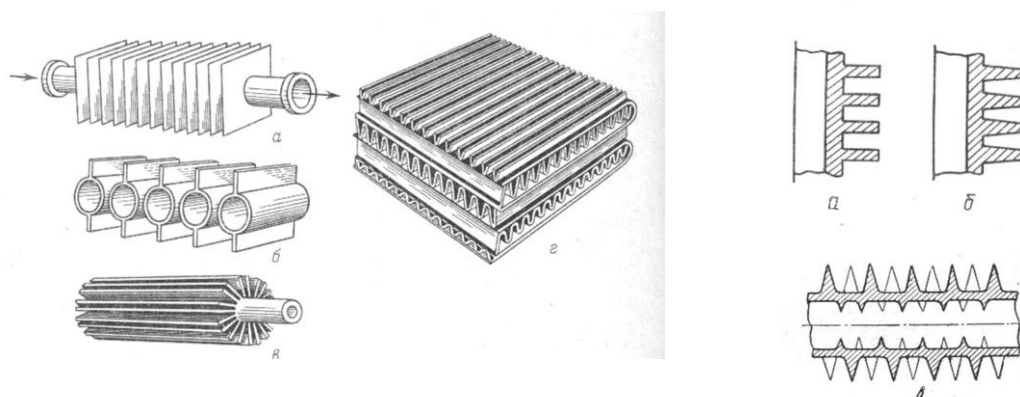


4.32-rasm. Plastinali kalorifer.

1 - quti; 2 - qovurg'a.

Sanoatda ishlatiladigan issiqlik almashinish jarayonlarida devorning ikki tomonidagi issiqlik berish koeffitsientlar bir - biridan keskin farq qiladi. Masalan, suv bug'i yordamida havo isitilganda, bug'ning devorga issiqlik berish koeffitsienti taxminan $10000 \dots 15000 \text{ Wt/(m}^2 \cdot \text{K)}$ 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 qovurg'alar qo'llanishi mumkin. Natijada, bu turdagi trubalar o'rnatilgan qurilmaning issiqlik yuklamasi ortadi. Ma'lumki, qirrali trubalar yasaladigan materialning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti yuqori bo'lishi kerak.

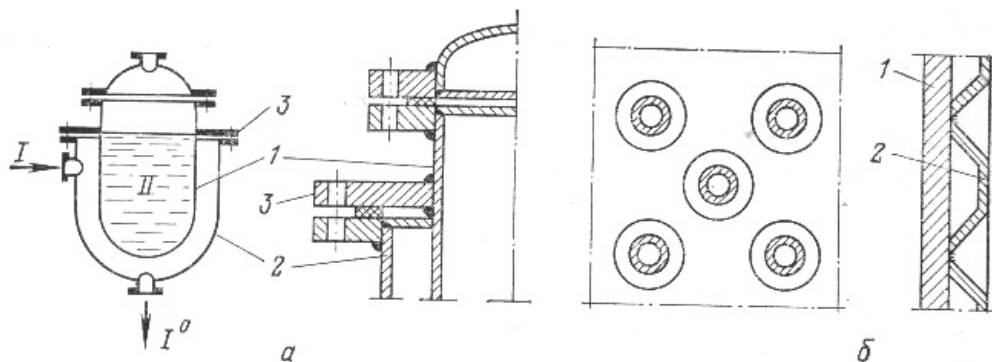


4.33-rasm. Qirrali issiqlik almashinish yuzalari.

a - to'g'ri to'rtburchak qirrali; b - trapetsiya shaklidagi qirrali; v - ko'ndalang qirra; g - bo'ylama, qirrali "yuzgich"; d - bo'ylama, qirrali; e - gofrirlangan qirrali; j - uchburchak shaklidagi, qirrali.

Bunday trubalarning gidravlik qarshiligi kichik bo'lishi uchun qirralar yuzasi issiqlik eltich oqimining yo'nalishiga parallel bo'lishi zarur. Hozirgi kunda to'g'ri to'rtburchak va trapeziya shaklidagi ko'ndalang kesimli qirralar eng ko'p qo'llaniladi. (4.33-rasm) Qirrali issiqlik almashinish yuzali elementlar havo va turli gazlarni isitadigan issiqlik almashinish qurilmalarida o'rnatiladi.

G'iloqli issiqlik almashinish qurilmasi. Bunday qurilmalarda issiqlik almashinish jarayonlari (isitish yoki sovitish) bilan kimyoviy jarayon bir vaqtda yuz beradi. G'iloqli qurilma tasviri 4.34-rasmda keltirilgan.



4.34-rasm. G'ilofli issiqlik almashinish qurilmalari

a - past bosimlar uchun; b - yuqori bosimlar uchun;

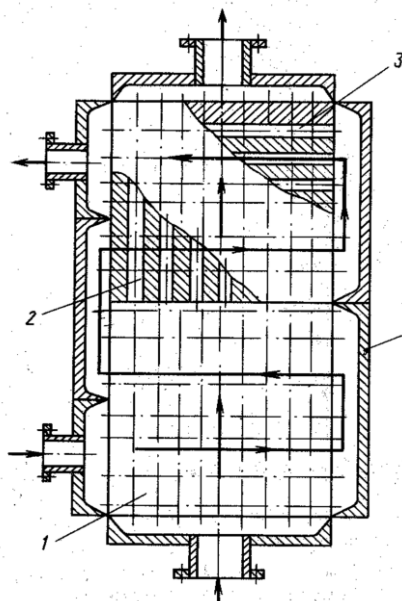
1 - qobiq; 2 - g'ilof; 3 - flanetsli birikma;

I, I' - issiqlik eltkichlar.

Bunday qurilmalarda issiqlik almashinishni yuzasi sifatida reaktor devori xizmat qiladi. Flanest birikma 3 yordamida qobiq 1 ga g'ilof 2 mahkamlanadi. Qobiq va g'ilof orasidagi bo'shliqda issiqlik eltkich I stirkulyatsiya qiladi. Qurilmaning ichida esa, eltkich II joylashtiriladi. Bu turdagi qurilmalarning issiqlik almashinish yuzasi $\leq 10 \text{ m}^2$ 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 (4.34 b-rasm).

Blok-grafitli issiqlik almashinish qurilmasi. Blok-grafitli isitgichlarda grafitning yuqori issiqlik o'tkazuvchanlik [$100 \text{ Wt/(m}^2\text{K)}$] gacha va suyuqlik ta'sirida emirilmasligi tufayli grafitli issiqlik almashinish qurilmalari sanoatning barcha sohalarida ishlatiladigan isitgichlarga nisbatan keng tarqalgan bo'lib, uning afzalliklarini hech qanday isitgich bilan solishtirib bo'lmaydi.



4.35-rasm. Blok-grafitli issiqlik almashinish qurilmasi.

1 - grafitli blok; 2 - vertikal kanallar;

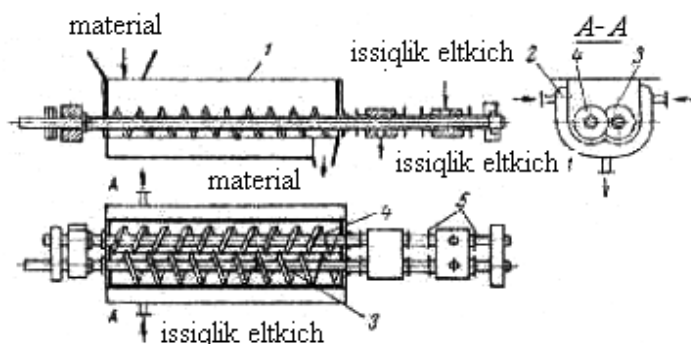
3 - gorizontall kanallar; 4 - qobiq.

Bu turdagi issiqlik almashinish qurilmalarning asosiy elementi parallelepiped shaklidagi grafitli blokdir. Unda issiqlik eltkichlar uchun bir-biri bilan kesishmaydigan teshiklar yasalgan (4.35-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 gorizontall kanallarda harakati tashkil etiladi. O'lchami $350 \times 515 \times 350 \text{ mm}^3$ 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 konstrukstiyasiga bog'liqdir. Grafitli issiqlik almashinish qurilmasining ishchi bosimning qiymati $2,9 \times 10^5 \text{ Pa}$ dan oshmasligi kerak.

Blok-grafitli qurilmalarni muhitlar-dan biri korrozion-faol bo'lgan hollarda ishlatish mumkin. Agarda ikkala muhit ham korrozion-aktiv bo'lsa, unda yon tomondagi plitalar maxsus grafit vkladishlar bilan himoya

qilinadi.



4.36-rasm. Shnekli issiqlik almashinish qurilmasi.

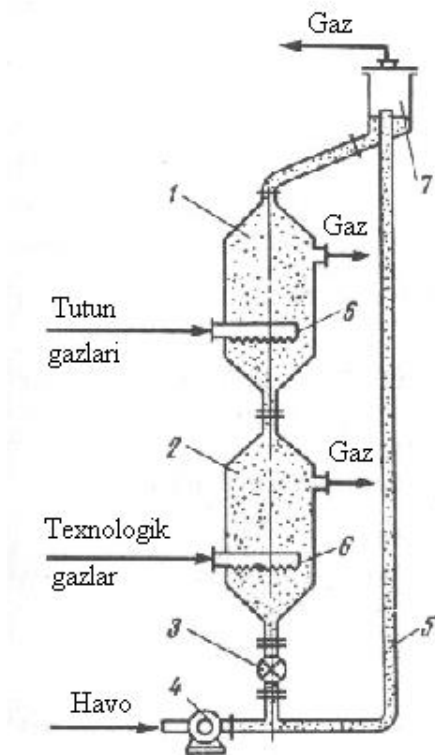
1 - qobiq; 2 - g'ilo; 3, 4 - shneklar;
5 - ichi bo'sh o'qlarning salniki.

materialni qurilmaning boshqa uchiga uzatadi. Ayrim hollarda, issiqlik almashinish jarayonini intensivlash uchun shnekning ichi bo'sh qilib tayyorlanadi va ular orqali issiqlik eltich (bug` yoki issiq havo) yuboriladi.

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 (4.36-rasm).

Qurilma qobig'ining bir uchidan material yuklanadi va bir – biriga qarab aylanayotgan 3 va 4 shneklar yordamida aralash-tiriladi. Aralashtirish bilan birga

4.11.2. Regenerativ issiqlik almashinish qurilmalari



4.37-rasm. Sirkulyatsion harakatlanuvchi donador qatlamli qurilma.

1,2 - issiqlik almashinish qurilmasi; 3 – shlyuzli tamba; 4 - gazoduvka; 5 - pnevmotransport liniyasi; 6 – gaz taqsimlagich; 7 - separator.

Regenerativ issiqlik almashinish qurilmalari ikkita sekstiyadan tashkil topgan bo'ladi. Birinchisida issiqlik eltichdan oraliq materialga issiqlik uzatilsa, ikkinchisida esa – oraliq materialdan texnologik gazga uzatiladi. 4.37-rasmda stirkulyastion harakatlantiruvchi donador qatlamli uzluksiz ishlaydigan regenerativ issiqlik almashinish qurilmasi keltirilgan.

Qurilma asosan ikkita isitgichdan tuzilgan bo'lib, har bir isitgichning pastki qismida gaz oqimini bir me'yorda uzatish uchun taqsimlagich 6 o'rnatilgan. Isitgichdan donador materialni uzluksiz ravishda to'kish uchun shlyuzli tamba 3 xizmat qiladi.

Ikkinchi isitgichdan chiqayotgan sovutilgan donador material pnevmotransport liniyasiga to'kiladi. Undan so'ng, havo yordamida bunker - separatorga uzatiladi va u erda zarrachalar cho'ktiriladi va yana qaytadan birinchi isitgichga yuboriladi.

4.11.3. Aralashtiruvchi issiqlik almashinish qurilmalari

Bir xil yo'lli, ho'l kondensator bug'ni suv yordamida kondensastiyalash uchun mo'ljallangan (4.38-

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 kondensastiyalanishi-ga olib keladi. Kondensator ichidan kondensat, suv va kondensastiyalanmagan gazlar maxsus nasos yordamida so`rib olinadi.

Jarayonning moddiy balansi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

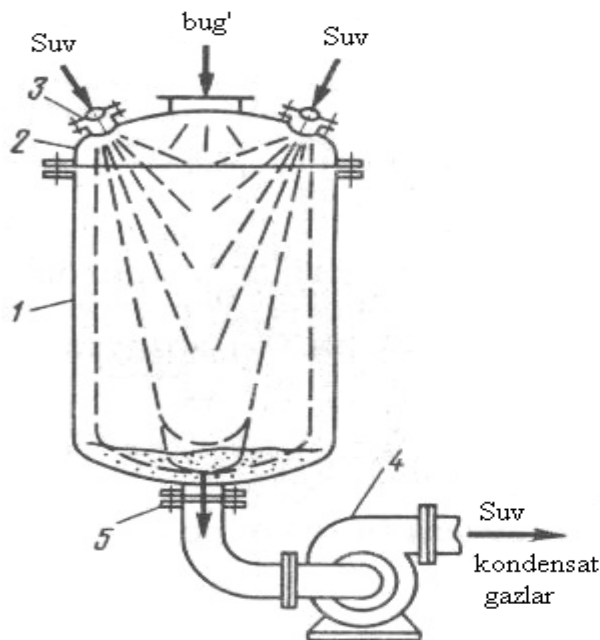
$$Di + Wc_c t_{c\phi} = (D + W) c_c \cdot t_{cox}$$

bundan:

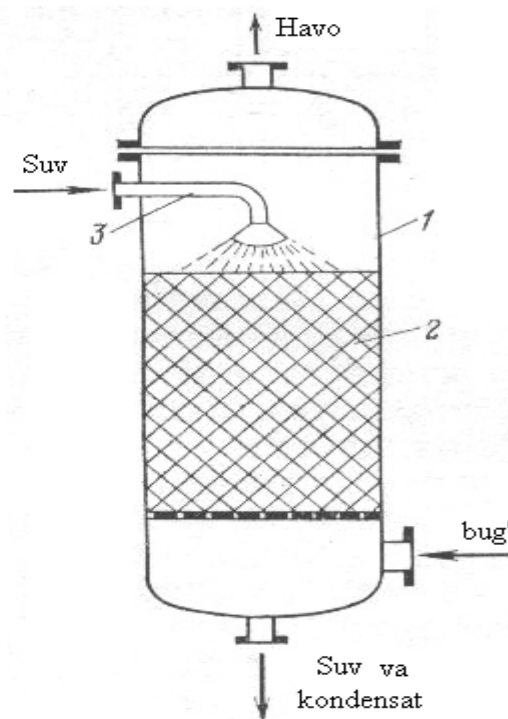
$$W = \frac{D \cdot (i - c_c t_{cox})}{c_c (t_{cox} - t_{c\phi})} \quad (4.139)$$

bu erda D - kondensastiyalanayotgan bug` massaviy sarfi, kg/soat;  $i$  - kondensastiyalanayotgan bug` entalpiyasi, kJ/kg; W - sovutuvchi suv massaviy sarfi, kg/soat; s - suvning issiqlik sig`imi, kJ/(kg·K);  $t_{sb}$  va  $t_{sox}$  - suvning boshlang`ich va oxirgi temperaturasi, °S.

a)



b)



4.38-rasm. Bir xil yo`lli ho`l (a) va nasadkali (b) kondensator .

a) 1-qobiq; 2-qopqoq; 3-purkovchi soplo; 4-maxsus nasos; 5-shtutser.

b) 1-qobiq; 2-nasadka; 3-suv purkagich.

Aralashtiruvchi kondensatordan so`rib olinayotgan havoning massaviy sarfi (kg/soat):

$$G_c = 25 \cdot 10^6 (D + W) + 0,01 \cdot D \quad (4.140)$$

Havoning temperaturasi kondensatordan chiqayotgan sovutuvchi suvning temperaturasiga teng deb qabo`l qilinadi, ya`ni $t_{xavo} = t_{sox}$.

**Qarama - qarshi yo`lli quruq kondensator**da bug` va sovutuvchi suvning o`zaro ta`siri qarama - qarshi yo`nalishda o`tadi (4.39-rasm).

Sovutuvchi suv kondensatorning yuqori qismidagi teshikli tarelkasi 2 ga yuborilsa, bug` esa - pastdagi tarelka ostiga. Suv tarelkadan tarelkaga teshiklari va chetidan ingichka oqimcha ko`rinishida oqib 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.

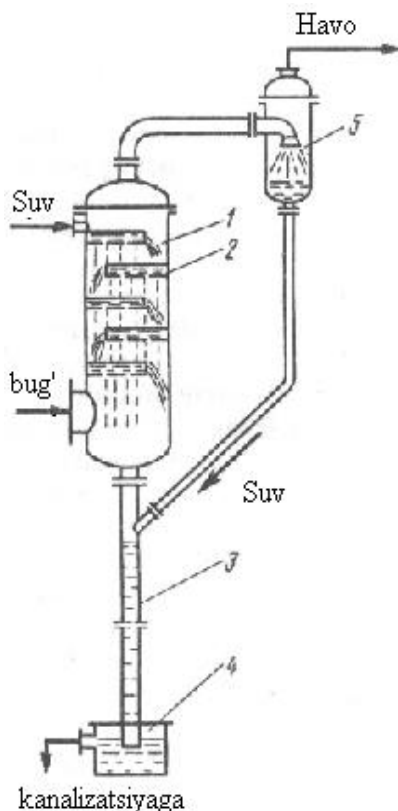
Barometrik kondensatorida kondensastiyalash jarayoni vakuum ostida olib boriladi. Qurilmadagi absolyut bosim 0,01...0,02 MPa bo`ladi.

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:

$$H_{tp} = h_3 + h_d + 0,5 \quad (4.141)$$

bu erda $h_3 = 103,3 \cdot V$ (V - kondensatoridagi vakuum, MPa); h_d - dinamik napor hosil qilish uchun zarur suyuqlik ustunining balandligi, $h_d = (w^2/2g) \cdot (2,5 + \lambda \cdot H_w/d)$; w - trubadagi suyuqlik tezligi, $w = 1 \dots 2$ m/s; λ - gidravlik qarshilik koeffitsienti; 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 shtusterni suv bilan to'lib ketmasligi oldini oluvchi balandlik, m.



4.39-rasm. Barometrik kondensator.

1 - qobiq; 2 - tarelka; 3 - barometrik truba; 4 - yig'gich; 5 - ushlagich.

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 flanestli birikmalar yordamida orasidan so'rilayotgan havo miqdorini bilish zarur.

Havoning sarfi (4.140) tenglamadan hisoblab topiladi, temperaturasi esa ushbu ifodadan:

$$t_{xavo} = t_{co} + 0,1 \cdot (t_{cox} - t_{co}) + 4 \quad (4.142)$$

4.12. Issiqlik almashinish qurilmalarini tanlash

Issiqlik almashinish qurilmalarining konstrukstiyasini 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 emirilishga bardoshli bo'lish kerak.

Issiqlik eltichlar qurilma orqali katta tezlikda o'tsa, issiqlik o'tkazish koeffitsientining 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 koeffitsienti ko'payadi. Lekin, issiqlik o'tkazish koeffitsientining sezilarli darajada ko'payishi uchun devor va undagi iflosliklarning termik qarshiligi kichik bo'lishi kerak. Masalan, agar trubalararo bo'shliqdagi issiqlik berish koeffitsienti trubalar bo'shlig'ini kidan juda past bo'lsa, trubalar ichida oqayotgan suyuqlik tezligining o'sishi

issiqlik o'tkazish koefitsientiga uncha ta'sir qilmaydi. Bu holda trubalararo bo'shliqdagi issiqlik berish koefitsientini oshirish zarur, ya'ni u erga segment to'siqalar 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 koefitsientiga erishish uchun issiqlik berish koefitsienti 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 metallardan yasaladi, ya'ni qobiq, segment to'siq va boshqalar oddiy, uglerodli po'latdan tayyorlanishi mumkin;

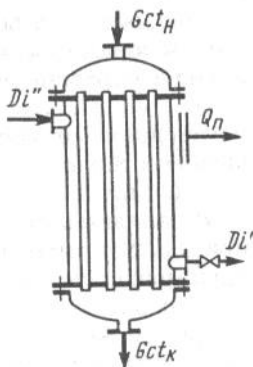
- atrof muhitga issiqlik yo'qotilishini kamaytirish uchun temperaturasi yuqori muhitni truba ichiga yuborish maqsadga muvofiqdir;

- 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 konstruktsiyasi 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 loyihalanganayotganida, hisoblashning asosiy maqsadi, qurilmaning issiqlik almashinish yuzasi va gabarit o'lchamlarini aniqlashdir.



4.40-rasm. Moddiy balans tuzishga oid.

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 (4.40-rasm).

$$Gct_o + Di'' = Gct_{ox} + Di' + Q_{uyk}$$

$$Q = Gc (t_{ox} - t_o) + Q_{uyk} = D (i'' - i') + Q_{uyk}$$

bu erda $D=Q/(i''-i')$ - isituvchi bug' sarfi.

Issiqlik o'tkazish koefitsienti ushbu formuladan hisoblanadi:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

bu erda α_1 va α_2 issiqlik berish koefitsientlari 4 - bobdagi tegishli kriterial tenglamalardan aniqlanadi.

Jarayonni o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi quyidagi tenglamalardan topiladi:

$$\Delta t_{yp} = \frac{\Delta t_{max} + \Delta t_{min}}{2} \quad \text{yoki} \quad \Delta t_{yp} = \frac{\Delta t_{max} + \Delta t_{min}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}$$

Issiqlik almashinish yuzasi issiqlik o'tkazishning asosiy tenglamasidan aniqlanadi:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{yp}}$$

Isitkichdagi trubalar sonini esa, ushbu tenglamadan aniqlash mumkin:

$$n = \frac{4 \cdot F}{\pi d_T^2 l}$$

bu erda 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 formulada hisoblab topish mumkin:

$$D = (1,3K \text{ } 1,5) \cdot (b-1) \cdot d_T + 4d_T$$

Issiqlik almashinish qurilmasining gidravlik qarshiligi Darsi - Veysbax formulasidan topiladi:

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{\rho w^2}{2}$$

bu erda λ - gidravlik qarshilik koeffitsienti; l - trubauzunligi, m; d - trubadiametri, m; $\sum \xi$ - mahalliy qarshilik koeffitsientlarining yig'indisi; w - muhit tezligi, m/s; ρ - muhitzichligi, kg/m³.

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 temperaturalar; 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 ishonumdorlik zahirasi.

Temperaturalarining o'rtacha farqi ushbu formuladan topish mumkin:

$$\Delta t_3 = \frac{Q}{K \cdot F}$$

Mavjud o'rtacha temperaturalar farqi (4.108) formuladan aniqlanadi.

Mavjud o'rtacha temperaturalar farqining zarur o'rtacha temperaturalar farqiga nisbati isitkichning ishonumdorlik zahirasi deb ataladi:

$$\chi = \frac{\Delta t_m}{\Delta t_3}$$

Za-

ru-

o'rtacha temperaturalar farqi issiqlik almashinish qurilmasining o'rtacha ekspluatatsion ishlash sharoitlariga issiqlik almashinish yuzasidan foydalanish koeffitsientini hisobga olgan holda aniqlanadi.

4.13. Issiqlik almashinish jarayonlarini intensivlash

Xalq xo'jaligi turlisohalarining jadalsur'atlar bilan rivojlanishi issiqlik almashinish qurilmalarining keng miqyosda qo'llanishiga aularga qo'yiladigan talablarni o'tirish 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 eltichda temperaturalar maydoni;
4. Issiqlik almashinish qurilmasining tayyorlash texnologiyasiga moyilligi, hamda ekspluatatsiya davrida qulayligi va ishonchliligi.

Undan tashqari, qurilma konstruktsiyasi va jarayonining tahlili, issiqlik eltichni uzatish uchun ruxsat etilgan energiya sarfini aniqlash imkonini beradi. Odatda, energiya sarfi deganda nasosning quvvati nazarda tutiladi.

Shuning uchun, qurilma orqali issiqlik eltichni uzatishda bosimlar yo'qotilishining yig'indisi o'zgarmas bo'lganda, uning gabarit o'lchamlarini kamaytirishni ta'minlaydigan intensivlash usullari yaratilishi kerak.

Ma'lumki, hamma turbo'lent oqimlarni intensivlash usullarida issiqlik berishni jadallashtirish uchun oqim qo'shimcha sun'iy turbo'lizatsiya qilinadi. Lekin, shu bilan birga gidravlik qarshilik koeffitsienti 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 turbo'lent 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, turbo'lentlik intensivligini oshirish energetik sarflar o'sishi bilan bog'liq, ya'ni gidravlik qarshilik koeffitsienti ortadi. Shuning uchun, λ 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 erda na faqat 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 pasay-tirmasligi 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 turbo'lentligini hosil qilish eng samarali vositadir.

2. Trubada bo'rtiq-botiq tipidagi silliq ko'ndalang to'siqlar yasashi oqibatida hosil bo'lgan uyurmaviy oqim turbulentligi to'siqlar o'lchami va shakliga katta bog'liqdir.

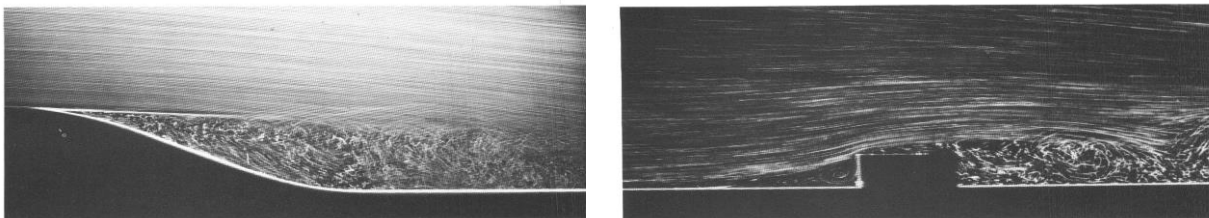
3. Issiqlik almashinish jarayonini intensivlash uchun turbo'lizator shakli o'tkir qirrali (uchburchak, to'g'ri to'rtburchak va h.) bo'lmasligi kerak, chunki bu shaklli to'siqlarning gidravlik qarshiligi katta.

Demak, turbo'lizatorlar shakli asta-sekin ortib, keyin esa kamayuvchi, silliq shaklli bo'lishi gidravlik qarshilik ko'rsat kichini keskin ortib ketmasligini ta'minlaydi.

Suyuqlik va gazlarning oqimi truba ichida harakati davrida devor atrofidagi yupqa, chegaraviy qatlamni sun'iy ravishda turbulizatsiya qilishi kerak. Unlan tashqari, ushbu devor atrofidagi yupqa qatlamni sun'iy ravishda turbulizatsiya qilish uchun diskret joylashgan ko'ndalang bo'rtiq turbo'lizatorlar qo'llash maqsadga muvofiq.

Bir xil balandlikdagi silliq va to'g'ri to'rtburchak shakldagi bo'rtiq to'siqlarning tahlili va u erdagi bosimlarni o'lchash shuni ko'rsatdiki, birinchisida devor yaqinidagi yupqa qatlamning turbulizatsiyasi eng minimal gidravlik qarshiliklarda erishiladi. (4.41-rasm).

Hozirgi kunda, prof. Zokirov S.G. va boshqalar tomonidan yaratilgan, tashqi tomonida ko'ndalang botiq

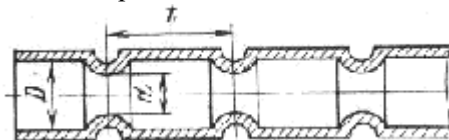


4.41-rasm. Silliq (a) va to'g'ri to'rtburchak (b) shaklidagi bo'rtiq to'siqlarda oqim turbulentligining tuzilishi.

ariqcha va ichki tomoni silliq bo'rtiq to'siqli issiqlik almashinish yuzasi eng samarali intensivlash trubasi deb hisoblanadi (4.42-rasm). Bu turdagi trubalarni «nakatka» usulida yasash texnologiyasi sodda va oson, narxi esa tekis trubaning bir necha foizini tashkil etadi.

"Nakatka" qilish usulida tayyorlangan issiqlik almashinish qurilmasi tekis trubalardan qurilma yasash texnologiyasidan farq qilmaydi. Lekin, samarador trubali issiqlik almashinish qurilmasidagi nakatkali trubalarni

ing umumiy uzunligi, tekis trubali qurilmanikidan kam bo'ladi, ya'ni kamroq sarf bo'ladi.



4.42-rasm. Tashqi tomonida ko'ndalang botiq ariqcha va ichki tomoni silliq bo'rtiq to'siqli samarador issiqlik almashinish yuzasi.

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 koeffitsientini 2,0...2,6 marta orttirishga erishsa bo'ladi. Havo uchun esa, gidravlik qarshilik 2,8...4,5 marta oshganda issiqlik berish koeffitsienti 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 almashinishni samaradorligiga erishiladi;

- bu turdagi turbulizatorli trubalarni sanoat miqyosida tayyorlash oson. Bunday trubali qurilmalarni tayyorlash «O'zbekkimyomash» OTAJda 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,

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left[1 + \frac{\lg Re - 4,6}{35} \right] \cdot \left\{ 3 - 2 \exp \cdot \left[\frac{-18,2 \cdot (1 - d/D)^{1,13}}{(t/D)^{0,326}} \right] \right\} \quad (4.151)$$

agar $t/D = 0,8...2,5$ bo'lsa,

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left[1 + \frac{\lg Re - 4,6}{35} \right] \cdot \left[\left(3,33 \frac{t}{D} - 16,33 \right) \frac{d}{D} + \left(17,33 - 3,33 \frac{t}{D} \right) \right] \quad (4.152)$$

(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 turbo'lizatorlarli trubalarda issiqlik berishni hisoblashda quyidagi formuladan foydalanish mumkin:

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left(1 + \frac{\lg Re_w - 4,6}{7,45} \right) \cdot \left(\frac{1,14 - 0,28 \sqrt{1 - d/D}}{1/14} \right) \cdot \exp \left[\frac{9(1 - d/D)}{(t/D)^{0,58}} \right] \quad (4.153)$$

bu erda Re_w -devorning o'rtacha temperaturasida hisoblanadi.

(4.151)-(4.153) formulalardagi Nu_T quyidagi tenglamalarda hisoblanadi.

gazlarni isitish paytida

$$Nu_T = 0,0207 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \quad (4.154)$$

bu erda aniqlovchi temperatura - truba uzunligi bo'yicha devorning o'rtacha temperaturasi.

gazlarni sovitish paytida

$$Nu_T = 0,0207 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \quad (4.154)$$

bu erda aniqlovchi temperatura - truba uzunligi bo'yicha devorning o'rtacha temperaturasi.

$$Nu_T = 0,018 \cdot Re^{0,8} \quad (4.156)$$

bu erda aniqlovchi temperatura - truba uzunligi bo'yicha o'rtacha massaviy temperaturasi.

Agar $t/D = 0,5$ va $d/D \geq 0,94$ ($Re > Re^*$) bo'lsa, suyuqliklar uchun o'rtacha issiqlik berish quyidagi formuladan topiladi:

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left[100 \cdot \left(1 - \frac{d}{D} \right) \right]^{0,445} \quad (4.157)$$

bu erda Nu_T ushbu formuladan hisoblab topiladi:

$$Nu_T = 0,0216 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,445} \quad (4.158)$$

Ushbu trubalarning gidravlik qarshiligini $Re = 10^4...4\cdot10^5$ oralikda quyidagi formuladan aniqlasa bo'ladi:

$d/D = 0,90...0,97$ va $t/D = 0,5...1,0$ bo'lganda:

$$\frac{\xi}{\xi_T} = \left[1 + \frac{100 \cdot (\lg \text{Re} - 4,6) \cdot (1 - d/D)^{1,65}}{\exp(t/D)^{0,3}} \right] \cdot \exp \left[\frac{25 \cdot (1 - d/D)^{1,32}}{(t/D)^{0,75}} \right] \quad (4.159)$$

$d/D = 0,88...0,98$ va $t/D = 0,5$ bo'lganda

$$\frac{\xi}{\xi_T} = \left[1 + \frac{\lg \text{Re} - 4,6}{3,4 \text{Re} \cdot 10^{-5} + 6} \right] \cdot \left(1,3 - \sqrt{\frac{d}{D} - 0,93} \right) \cdot \exp \left[20,9 \cdot (1 - d/D)^{1,05} \right] \quad (4.160)$$

$d/D = 0,90...0,98$ va $t/D = 0,25$ bo'lganda esa,

$$\frac{\xi}{\xi_T} = \left[1 - \frac{\lg \text{Re} - 4,6}{6(\text{Re} \cdot 10^{-5})^{0,33}} \right] \cdot \left(3 \frac{d}{D} - 2 \right) \cdot \left(2,5 - 1,5 \frac{d}{D} \right) \cdot \exp \left[17 \left(1 - \frac{d}{D} \right)^{0,858} \right] \quad (4.161)$$

(4.159) formuladagi ξ_r quyidagi tenglamadan topiladi:

$$\xi_m = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,254}} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^n \quad (4.162)$$

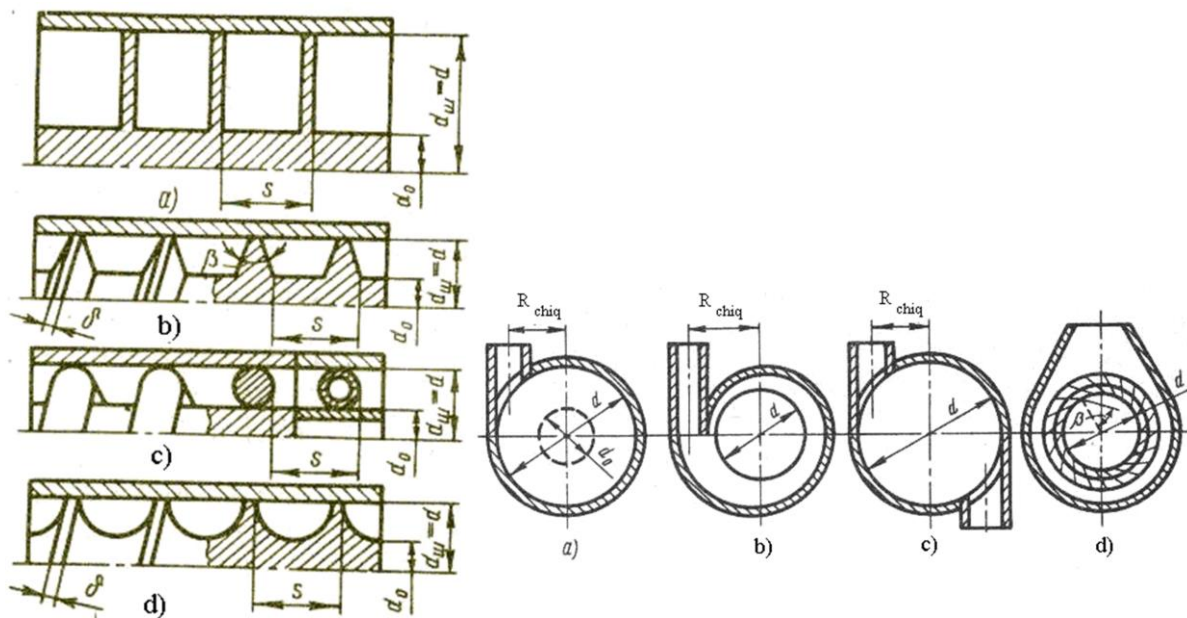
bu erda gazlarni isitish jaraeni uchun $n = 0,14$, gazlarni sovitish uchun $n = 0$ va suyuqliklarni isitish uchun $n = 0,333$.

(4.161) va (4.162) formulardagi ξ_r ushbu tenglamadan hisoblab aniq-lanadi:

$$\xi_T = 0,182 \cdot \text{Re}^{-0,2} \quad (4.163)$$

Ushbu usulda $Pr = 2...80$ bo'lgan suyuqliklar uchun gidravlik qarshilik 2,7...5,0 marta o'sganda issiqlik berish koeffitsientini 2,0...2,6 marta oshirishga erishsa bo'ladi. Havo uchun esa, gidravlik qarshilik 2,8...4,5 marta oshganda issiqlik berish koeffitsienti 2,8...3,5 marta ko'payadi.

Yuqorida keltirilgan devor yaqinidagi chegaraviy qatlamning turbo'lentligini jadallashtiradigan turbo-lizatorlardan tashqari boshqa intensivlash usullari ham kimyo va oziq - ovqat mashinasozligida qo'llaniladi.



4.43-rasm. Shneksimon uyurmalantirgichlar konstruksiyalari.

a-to'rtburchak ariqchali; b - trapetsiya shaklidagi ariqchali; c - sim yoki naycha o'rash yo'li bilan hosil qilingan shnekli; d-yarim doira shaklidagi ariqchali.

4.44-rasm. Issiqlik eltkichni tangentsial yo'nalishda uzatish moslamalari.

a- bitta teshikli tangentsial uyurmalantirgich; b- chig'anoq shaklli uyurmalantirgich; c - ikkita teshikli uyurmalantirgich; d - tangentsial kurak chaliuyurmalantirgich.

Boshqa usullar o'rtasida issiqlik eltkichlarni truba ichida burab, spiralsimon harakatlantirish usuli alohida o'rin tutadi. Buning uchun 4.43...4.46 rasmlarda va 4-7, 4-8 jadvallarda keltirilgan moslamalardan foydalaniladi [48,49].

a) trubaning bir qismi yoki butun uzunligiga vintsimon (buralgan lenta, shnek) turbo`lizatorlar o`rnatiladi (4.43-rasm);
 b) trubaga issiqlik eltkichni tangensial yo`nalishda uzatish (4.44-rasm);
 v) trubaga kirishda yoki trubalarning kerakli joylariga kurakchali uyurmalashtirgichlar o`rnatish (4.45-rasm);

g) isitkichga burama-spiral ko`rinishidagi trubalar o`rnatish (4.46-rasm).

Ushbu usulda issiqlik berishni intensivlash bir qator omillar ta`sirida ro`yobga oshadi:

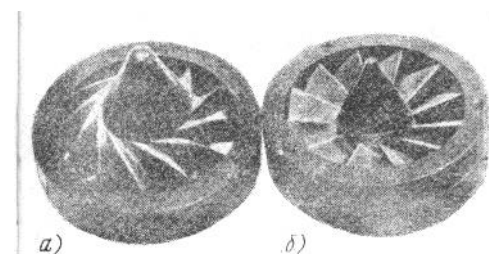
- tekis trubalar bilan bir xil o`rtacha sarfda uyurmalantirgichli trubalarning devori yaqinida tezlik gradienti va turbo`lentli kuchlanishlar yuqori bo`ladi;

- 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;

- vintsimon elementlarni qo`llash qirrali yuzalar effektini beradi. Bu usulda issiqlik berish koeffitsienti 30...40% ortadi, gidravlik qarshilik esa 1,5...2,5 marta ko`payadi.

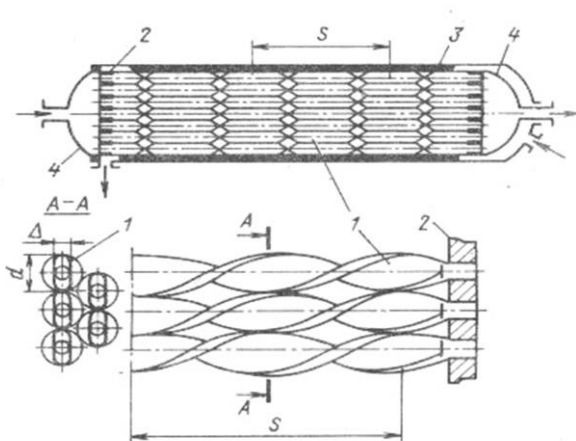
Turbulent va o`tish rejimlarida devor yaqinidagi qatlam zonasini intensivlash kerak, chunki chegaraviy qatlamning issiqlik o`tkazuvchanligi kichik. Undan tashqari, bu erda «devor – suyuqlik» sistemasining 60...70% temperatura napori mujassamlangan, ya`ni issiqlik oqimining zichligi maksimaldir.

Yana bir samarali intensivlash usuli prof. Dzyubenko B.V., prof. Dreyster G.A. va boshqalar tomonidan yaratilgan. Bu samarado truba bo`lib uni burash yo`li bilan hosil qilinadi va uning ko`ndalang kesim yuzasi elipsoid shaklida bo`ladi (4.46-rasm).



4.45-rasm. Aksial - kurakchali uyurmalantirgich.

a) profil; b - yassi kurakchali.



4.46-rasm. Suyuqlik oqimini burama yo`nalishda harakatlantiruvchi issiqlik almashinish qurilmasi.

1 - burama trubalar; 2 - truba teshikli panjarasi; 3 - qobiq; 4 - qopqoq.

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 turbo`lizastiya holatiga olib keladi. Oqim yadrosiga qaraganda, truba devori yaqinida suyuqlik oqimi uyurmaviy harakatlanadi. Burama trubalar birinchi navbatda devor yaqinidagi suyuqlik qatlamini turbo`lizastiya qilish uchun qo`llaniladi.

Sanoat sinovlari shuni ko`rsatadiki, agar  $S/d \approx 12$  bo`lsa, turbo`lent 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`shish 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 koeffitsienti past bo`lgan muhit albatta truba ichiga yo`naltirilishi kerak. Plastina qirrali issiqlik almashinish yuzalarning ba`zi birlari 4-7 jadvalga keltirilgan.

Issiqlik almashinish yuzasiga mexanik ta`sir usullari, hamda elektr, ultratovush va magnit maydonlarining ta`siri, shu kungacha hali etarli o`rganilmagan.

Issiqlik almashinish jarayonini intensivlash natijasida issiqlik o`tkazish koeffitsientining ortishi issiqlik almashinish yuzalari toza bo`lganda, isituvchi bug` va isitilayotgan suyuqliklar va devor o`rtasidagi issiqlik berish koeffitsienti bilan belgilanadi. Ko`pincha ishlatiladigan issiqlik eltkichlarning fizik - kimyoviy xossalari,

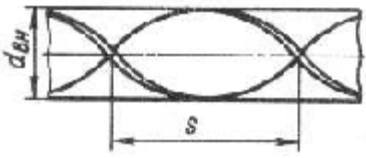
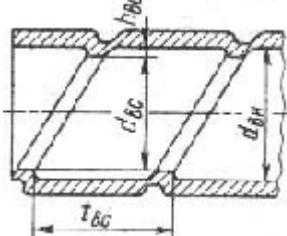
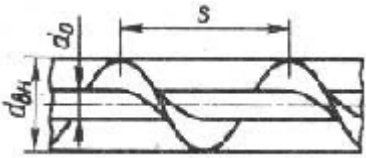
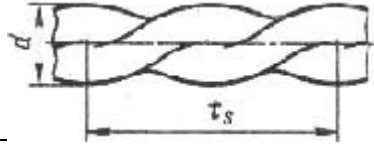
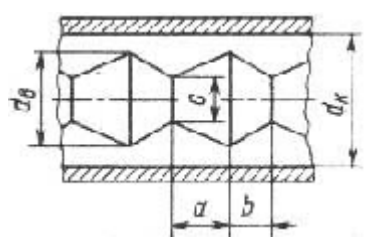
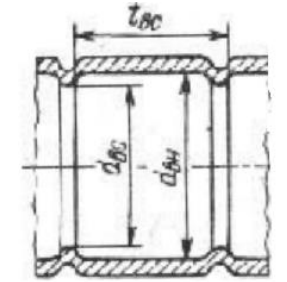
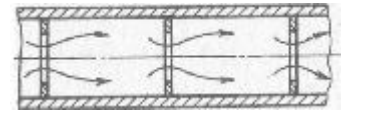
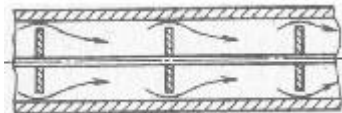
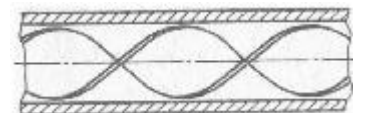
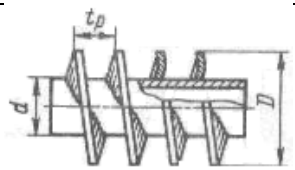
bosimi, temperaturasi va issiqlik berish koeffitsientlari bir - biridan keskin ravishda farq qiladi. Masalan, bug'dan devorga issiqlik berish koeffitsientining qiymati $\alpha = 4000 \dots 15000 \text{ Vt/(m}^2 \cdot \text{K)}$, qovushoq suyuqliklar uchun esa - $\alpha \leq 200 \text{ Vt/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

Ko'rinib turibdiki, jarayonni intensivlash α koeffitsienti kichik bo'lgan issiqlik eltich tomonidan qilish zarur, ya'ni qovushoq suyuqlik tomonidan o'tkazilishi darkor. Agar, issiqlik berish koeffitsienti ikkala muhit uchun taxminan bir xil qiymatga ega bo'lsa, intensivlash ikkala tarafdin o'tkazilishi mumkin. Lekin, qurilmani ekspluatatsion va texnik imkoniyatlari inobatga olinishi zarur.

Odatda issiqlik berish jarayonini intensivlash, gidravlik qarshiliklarni engish 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.

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	
zluksiz, shnekli lenta		Burama truba	
Konfuzor-diffuzor tipidagi halqasimon kanal		Tashqi tomonida diskret joylashtirilgan botiq ariqcha va ichki tomonida bo'rtiq to'siqli truba	
Diafragmakorinishdagi turbulizator		Diskkorinishdagi turbulizator	
Spiralsimon turbulizator		Uzluksiz spiralli truba	

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 turbo`lizastiya qiluvchi shnek va moslamalar o`rnatish;
- issiqlik eltkich oqimiga elektr, magnit va ultratovush maydonlarini ta`sir ettirish;
- devor yaqinidagi chegaraviy qatlamni harakatdagi oqim tezligining tebranishin yoki uyurmali harakatini tashkil etish va uni burama, spiralsimon traektoriya bo`yicha yo`naltirish;
- qirrali konstruktsiya 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 nasadkalarini 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.

4-8 jadval

Sxema	Xarakteristika
	To`g`ri to`rtburchak kanal hosil qiluvchi, tekis, uzluksiz qovurg`alar (TUQ).
	Trapeziya shaklidagi kanal hosil qiluvchi, (TUT).
	Uchburchak shaklida kanal hosil qiluvchi, (TUT).
	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, qirg`ilgan bo`laklari qarama-qarshi tomonga buklangan. Bunday kanallarda suyuqlikning harakati tufayli hosil bo`ladigan chegaraviy qatlam buziladi va issiqlik berish jarayoni intensivlashadi.

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 eritmalarini qaynatish yo`li amalga oshiriladi.

Eritmalarni bug`latishdan maqsad ularning konstentrastiyasini orttirish bo`lib, ya`ni eritmalarini quyushtirishdir. Agarda, quyushtirilgan eritmalaridan yana erituvchi chiqarilsa, qattiq moddalar kristallana boshlaydi va kristallar ajralib chiqadi.

Suyultirilgan eritmalar konstantrasiyasini 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 konstantrlashda 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...1000 m<sup>2</sup> 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 kondensastiyalash yo`li bilan qurilmada vakuum hosil qilinadi va nasos yordamida kondensastiyalanmagan 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 eltikichlardan 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`latgichdan 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 soddada 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, eritmalarining 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 eritmalarini bug`latish uchun ko`llaniladi. Undan tashqari, yuqori bosim ostida bug`latish jarayoni uchun yuqori temperaturali issiqlik eltikichlarni 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` ko`llanilsa, eltikich 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 eritmalarining konstantrasiyasi ortadi va natijada uning fizik va issiqlik xossalari o`zgaradi.

Bug`latish qurilmalarini hisoblash, loyihalash va ekspluatastiya qilish uchun muhim bo`lgan eritmalarining ba`zi bir xossalarni ko`rib chiqamiz.

Temperatura depressiyasi - Δt . Eritma T_e va erituvchilar T qaynash temperaturalari o`rtasidagi farqdir, ya`ni $\Delta t = T_e - T$ temperatura depressiyasi deb nomlanadi. Eritmalar nazariyasidan ma`lumki, bir xil  $T$  temperaturada toza erituvchi ustidagi bug`larining bosimi r , eritma ustidagi bug`larning bosimi  $r_e$  dan har doim ko`p bo`ladi. Yoki bir xil bosimda toza erituvchining qaynash temperaturasi eritmaning qaynash temperaturasidan past bo`ladi.

Eritmalarining temperatura depressiyasi erituvchi va erigan moddalar xossalriga bog`liqdir. Bosim va

konstentrastiya 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: $\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$.

Agar, eritmaning atmosfera bosimdagi temperatura depressiyasi Δ'_{am} ma'lum bo'lsa, istalgan boshqa bosimlardagi depressiya Tishenko formulasidagi tahminan hisoblab aniqlanish mumkin:

$$\Delta' = 1,62 \cdot 10^{-2} \frac{T^2}{r} \Delta'_{am} \quad (4.165)$$

bu erda T - ma'lum bosimdagi toza erituvchining qaynash temperaturasi, K; r - ma'lumki bosimdagi toza erituvchining bug'latish issiqligi, kJ/kg; Δ'_{am} - atmosfera bosimidagi temperatura depressiyasi, °S.

Agar, Δ'_{am} kattaligi bo'yicha tajribaviy ma'lumotlar yo'q bo'lsa, uni bir nechta usul bilan tahminan hisoblab topish mumkin. Biror bosimda eritmaning bitta qaynash temperaturasi ma'lum bo'lsa - Babo, ikkita temperaturasi ma'lum bo'lganda esa - Dyuring yoki Kireev qoidasiga binoan aniqlash imkoni bor.

Babo qoidasiga binoan, biror konstentrastiyali eritma ustidagi bug' bosimining pasayishi $(r_1 - r_2)/r_1$ yoki r_2/r_1 temperaturaga bog'liq emas va o'zgarmas qiymatga tengdir:

$$\frac{p_2}{p_1} = K = const \quad (4.166)$$

bu erda r_1 va r_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 qisminidan 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:

$$\Delta'' = t_c - T'' \quad (4.167)$$

Ushbu tenglik eritma harakatini inobatga olmagan uchun uning xatoligi katta. Shuning uchun Δ'' ning qiymatlari tajribaviy usulda topiladi.

Vertikal bug'latkichda intensiv harakatlanayogan eritmalar uchun Δ'' miqdori 1...3°S oralikda qabul qilinishi mumkin.

Gidravlik depressiya - Δ''' . Ushbu depressiya ikkilamchi bug'ning separator va quvurlar orqali harakati davrida ishqalanish va mahalliy qarshiliklarni engishi tufayli vujudga keladigan temperatura yo'qotilishlar.

Ushbu gidravlik qarshiliklarni engish 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 °S oralig'ida bo'ladi.

Yuqorida qayd etilgan depressiyalarni hisobga olsak, eritmaning qaynash temperaturasi quyidagicha hisoblanadi:

$$t_k = T' + \Delta' + \Delta'' \quad (4.168)$$

bu erda T' - ikkilamchi bug' temperaturasi, K

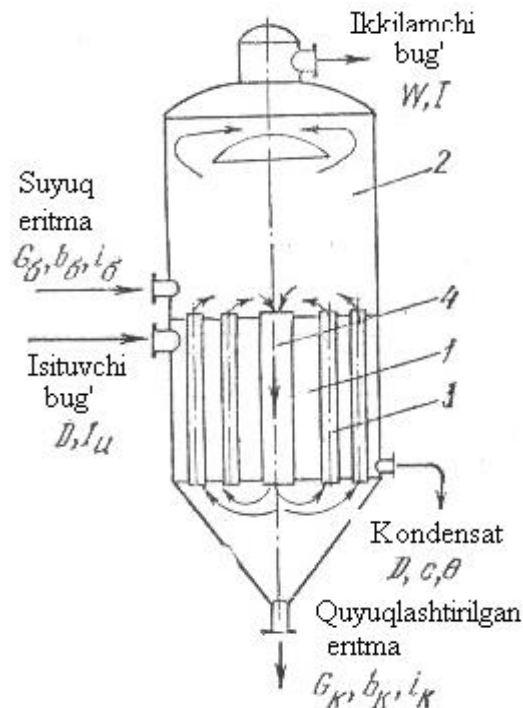
Eritmalar issiqlik sig'imi temperatura va erigan moddalar konstentrastiyasining funkstiyasidir.

Ko'pchilik eritmalar issiqlik sig'imi additivlik qoidasiga bo'ysinmaydi. Shuning uchun eritmaning ushbu xossasini erigan modda va erituvchilar issiqlik sig'implari yordamida aniqlab bo'lmaydi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, eritma konstentrastiyasi qanchalik katta bo'lsa, uning issiqlik sig'imi shunchalik additivlik qoidasiga kam bo'ysinadi. Eritmaning ushbu xossasi maxsus adabiyotlarda keltirilgan.

Eritish issiqligi eritmaning konstentrastiyasi, 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 reakstiyaga

Oson gidrat hosil qiladigan moddalar musbat eritish issiqligiga (suvda), ega; gidrat hosil qilmaydigan moddalar - manfiy eritish issiqligiga ega.

qaytadan bug`latayotgan eritmaga qo`shiladi.



4.48-rasm. Markaziy sirkulyatsiya trubali bug`latkich.

1 - isituvchi kamera; 2 - separator; 3 - isituvchi trubalar;
4-tsirkulyatsiya trubasi.

Eritmaning ma'lum qismi (zichligi yuqori) stirkulyatsiya trubasi orqali bug`latishning pastki qismiga tushadi. Ushbu trubadagi eritma va isituvchi trubalardagi «bug` - suyuqlik» aralashmasi zichliklari o`rtasidagi farq tasirida beto`xtov ravishda stirkulyatsiya qilib turadi. Konstentrastiyasi oshgan, yani quyuglashtirilgan eritma, qurilmaning pastki qismidan chiqarib olinadi.

4.16.1. Oddiy bug`latishning moddiy balansi

Oddiy bug`latish jarayonining moddiy balansi ushbu tenglamalar yordamida ifodalanadi:

$$G_b = G_{ox} + W \quad (4.169)$$

bu erda G_b – boshlang`ich eritma sarfi, kg/soat;  $G_{ox}$  - quyuglashtirilgan eritma sarfi, kg/soat;  $W$  – bug`latilgan suv miqdori, kg/soat.

Eritmadagi quyug moddaga nisbatan moddiy balans ushbu ko`rinishga ega:

$$\frac{G_b \cdot x_b}{100} = \frac{G_{ox} \cdot x_{ox}}{100} \quad (4.170)$$

bu erda x_b va x_{ox} - eritmaning boshlang`ich va oxirgi konstentrastiyalari, % (mass).

Agar, (4.169) va (4.170) tenglamalardan bug`latilgan suv miqdorini topish mumkin:

$$W = G_b \left(1 - \frac{x_b}{x_{ox}} \right) \quad (4.171)$$

Eritmaning oxirgi konstentrastiyasi esa:

$$x_{ox} = G_b \frac{x_b}{G_b - W} \quad (4.172)$$

Quyuglashtirilgan eritma bo`yicha bug`latkichning ish unumdorligi quyidagi tenglamadan topiladi:

$$G_{ox} = \frac{G_b \cdot x_b}{x_{ox}} \quad (4.173)$$

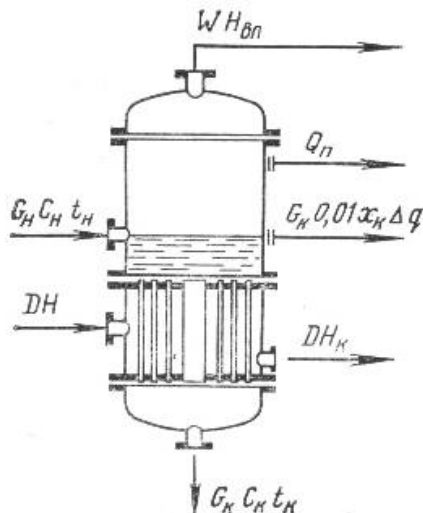
4.16.2. Oddiy bug`latishning issiqlik balansi

Oddiy bug`latish jarayonining issiqlik balansi 4.49-rasmda keltirilgan issiqlik oqimlari asosida bitta tenglik yordamida yozilishi mumkin:

$$G_b c_b t_b + DI = G_{ox} c_{ox} t_{ox} + G_{ox} 0,01 x_{ox} \Delta q + W \cdot I_{ib} + D \cdot I_k + Q_{yo'q} \quad (4.174)$$

bu erda 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;  $\Delta q$  - eritmani  $x_b$  va  $x_{ox}$ gacha quyushtirish issiqligi, kJ/kg;  $Q_{yuk}$  - issiqlikning atrof muhitga yo`qotilishi, kJ/soat.

$G_b c_b t_b$ - boshlang`ich eritma bilan issiqlik kirishi;



4.49-rasm. Oddiy bug`latish jarayonidagi issiqlik oqimlar sxemasi

- DI - isituvchi bug` bilan issiqlik kirishi;
- $G_{ox} c_{ox} t_{ox}$ - quyushtirishgan eritma bilan issiqlik chiqishi;
- WI_{ib} - ikkilamchi bug` bilan issiqlikning chiqishi;
- DI_k - isituvchi bug` kondensati bilan issiqlikning chiqishi;
- $G_{ox} 0,01 x_{ox} \Delta q$ - quyushtirish issiqligi;
- Q_{yuk} - atrof muhitga issiqlik yo`qotilishi.

Agar, (4.169) tenglamani (4.174) ga qo`ysak, ushbu ko`rinishga erishamiz

$$G_b c_b t_b + W c_b t_b + DI = G_{ox} c_{ox} t_{ox} + G_{ox} 0,01 x_{ox} \cdot \Delta q + W \cdot I_{uo} + D \cdot I_k + Q_{yo'q} \quad (4.175)$$

bundan

$$D = G_{ox} \frac{c_{ox} t_{ox} - c_b t_b + 0,01 x_{ox} \Delta q}{I - I_{ox}} + W \frac{I_{ib} - c_b t_b}{I - I_{ox}} + \frac{Q_{yo'q}}{I - I_{ox}} \quad (4.176)$$

(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 yuqotilayotgan issiqlikni qoplash uchun zarur bug` sarfi.

Birinchi va uchinchi qo`shiluvchilar qiymati, ikkinchisiga qaraganda, juda kichikdir. Shuning uchun, tahminiy 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, yani $Q = KF\Delta t$ dan.

Unda, uzluksiz ishlaydigan bug`latkichning isitish yuzasi quyidagi ifodadan topiladi:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t}$$

bu erda 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 farqga temperaturalarning umumiy farqi deyiladi va ushbu ko`rinishda yoziladi:

$$\Delta t_{um} = t_{ib} - t_{kond} \quad (4.177)$$

bu erda t_{ib} - isituvchi bug` temperaturasi, °S;  $t_k$  - kondensatorga kirishdagi ikkilamchi bug` temperaturasi, °S.

Temperaturalarning foydali farqi t_{um} dan temperaturalar yo`qotilish yig`indisi $\Sigma \Delta$ ga kamroq bo`ladi, yani

$$\Delta t = \Delta t_{um} - \Sigma \Delta \quad (4.178)$$

bu erda

$$\Sigma \Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$$

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 :

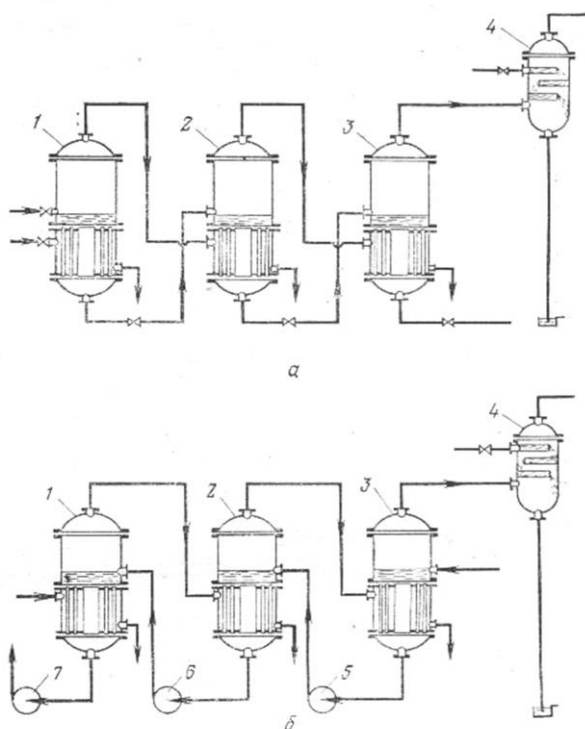
- bir korpusli qurilma uchun 1,1...1,2 kg;
- ikki korpusli qurilma uchun 0,55 kg;
- uch korpusli qurilma uchun 0,40 kg;
- to`rt korpusli qurilma uchun 0,30 kg.

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 kombinastiyalangan yo`lli ko`p korpusli bug`latish qurilmalariga bo`linadi. 4.50a-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 konstantastiyagacha quyuglashtirilgandan 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 usha 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` kondensastiyalanish uchun barometrik



4.50-rasm. Bug`latish qurilmalarining printsipl sxemalari.

a - bir xil (parallel) yo`nalishli;

b - qarama-qarshi yo`nalishli;

1-3 - korpuslar; 4- barometrik kondensator; 5-7 - nasoslar.

kondensator 4 ga yuboriladi.

4.50b-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.

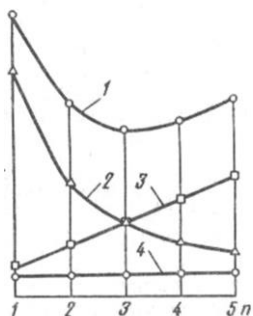
Kombinastiyalashgan bug'latish qurilmalarida eritmani kiritish va chiqarish variantlari turlicha bo'lishi mumkin.

Parallel yo'nalishli bug'latish qurilmasining afzalliklari: eritmani korpusdan korpusga uzatish uchun nasos kerak emas.

Har bir keyingi korpusda, yuqori konstantastiyali eritma, nisbatan pastroq bosimda bug'latiladi.

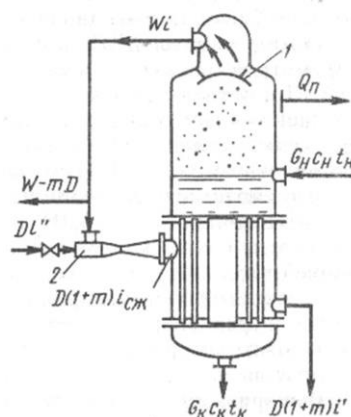
Shu oxirgi korpusdagi issiqlik o'tkazish koeffitsienti birinchisiga qaraganda ancha kichik bo'ladi.

Qarama - qarshi yo'nalishli bug'latish qurilmasining afzalliklari: juda yuqori konstantastiyalargacha quyuqlashtirish mumkin; bir yo'nalishli qurilmalarga nisbatan kichik isitish yuzasi talab etiladi. Kamchiligi: eritmani korpusdan korpusga uzatish uchun nasoslar zarur.



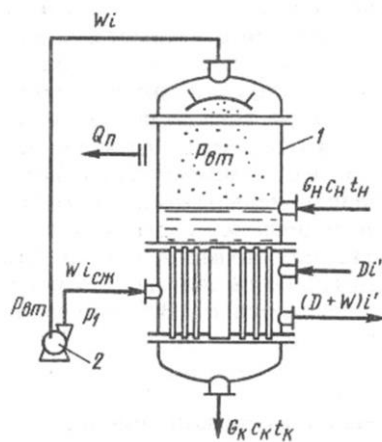
4.51-rasm. Bug'latish korpuslari n ning optimalsonini aniqlashga oid.

1 - umumiy sarflar; 2 - energetik (isituvchi bug'ga bo'lgan) sarflar; 3 - kapital va amortizatsiya sarflari; 4 - ekspluatatsiya sarflari.



4.52-rasm. Turbokompressorli bug'latish qurilmasi.

1 - bug'latgich;
2 - turbokompressor.



4.53-rasm. Injektor isciqlik nasosli bug'latish qurilmasi.

1 - bug'latgich;
2 - issiqlik nasosi.

4.51-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 stirkulyastiyali qurilmalar uchun ushbu farq 5...7°S va majburiy stirkulyastiyali uchun esa- 3°S dan kam bo'lmasligi zarur.

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'latgichda 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, kompressor sifatida turbokompressor qo'llaniladi (4.52-rasm).

Bug'latgichdan chiqayotgan bosimi r_{ib} va entalpiyasi i ikkilamchi bug' turbokompressor yordamida so'rib olinadi va u erda r 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:

$$G_b c_b t_b + D \cdot i'' + W \cdot i_c = G_{ox} \cdot c_{ox} \cdot t_{ox} + W \cdot i + (D + W) \cdot i' + Q_{yo'q} \quad (4.179)$$

bundan isituvchi bug` sarfi:

$$D = G_{ox} \frac{c_{ox} t_{ox} - c_b t_b}{i'' - i'} + W \frac{i - c_b t_b - i_s}{i'' - i'} + \frac{Q_{yo'q}}{i'' - i'} \quad (4.180)$$

bu erda i_s - 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_s qiymatga kamroq sarflanadi:

$$D = W \frac{i - c_b t_b - i_s}{i'' - i'} \quad (4.181)$$

Turbokompressorda sarflanayotgan quvvat miqdori ushbu tenglamadan topiladi:

$$N = \frac{W(i_s - i)}{3600 \eta_{ad} \cdot \eta_{mex}} \quad (4.182)$$

bu erda η_{ad} - turbokompressorning adiabatik f.i.k.; η_{mex} - elektr yuritkich va yuritmalarning mexanik f.i.k.

Bug`-injektor issiqlik nasosli bug`latgichda isituvchi bug` injektorga uzatiladi (4.53-rasm). Bug`-injektor Venturi trubasi tipidagi moslama bo`lib, uni yasashga ko`p metall sarflanmaydi. Injektor ishlashi paytida vakuum hosil bo`ladi va bug`latgichda 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:

$$D \cdot (1 + m) \cdot i_s + G_b c_b t_b = G_{ox} c_{ox} t_{ox} + W \cdot i + D \cdot (1 + m) \cdot i' + Q_{yo'q} \quad (4.183)$$

bundan bug` sarfi:

$$D = G_{ox} \frac{c_{ox} t_{ox} - c_b t_b}{(1 + m) \cdot (i_s - i')} + W \frac{i - c_b t_b}{(1 + m) \cdot (i_s - i')} + \frac{Q_{yo'q}}{(1 + m) \cdot (i_s - i')} \quad (4.184)$$

bu erda $m = 0,5 \dots 1,0$ - injekstiya koeffitsienti.

(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, injekstiya koeffitsienti 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 stirkulyastiyasining turi va karraligi klassifikatsiyalashning asosiy belgilari deb hisoblash mumkin. Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarida uch xil bug`latish qurilmalari keng tarqalgan:

1. Erkin (tabiiy) stirkulyastiyali bug`latish qurilmalari;
2. Majburiy stirkulyastiyali bug`latish qurilmalari;
3. Yupqa qatlamli (plyonkali) bug`latish qurilmalari.

Zamonaviy bug`latish qurilmalarining isitish yuzalari 10...1800 m<sup>2</sup>. Bug`latkichlar konstruktsiyalarini tanlashda eritmalarning fizik va issiqlik xossalari, kristallinishga 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 konstruktsiyalari keltiriladi.

**Ichki isituvchi kamerali va markaziy stirkulyastion trubali bug`latkich.** Vertikal qobiq 1 ning pastki qismida isitish kamerasi 2 joylashgan. O`z navbatida isitish kamerasi ikkita teshikli panjara va unga razvalstovka usulida mahkamlangan qaynash trubalari 3 dan tarkib topgan. Isitish kamerasining o`rtasiga

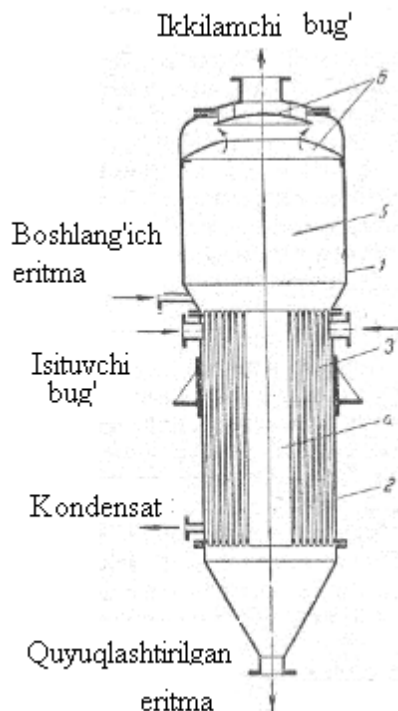
qaynash trubalariga qaraganda diametri kattaroq stirkulyastion truba 4 o`rnatilgan bo`ladi.

Isitish kamerasining trubalararo bo`shlig`iga issiqlik eltich, ya`ni suv bug`i yuboriladi.

Eritma esa qurilmaning teshikli truba panjarasi ustiga uzatiladi va stirkulyastion 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` separastion bo`shliq 5 ga ko`tariladi va tomchi ushlagich 6 da inerstion kuch ta`sirida mayda eritma tomchilaridan ajratiladi. Undan keyin, ikkilamchi bug` qurilmadan chiqib ketadi.

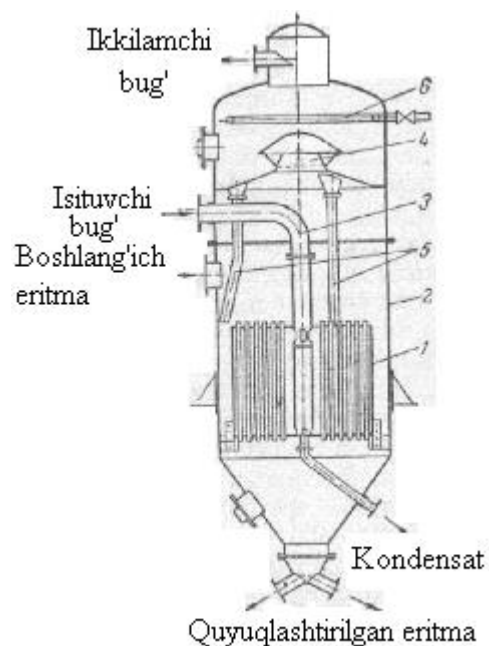
Quyuqlashtirilgan eritma konussimon tubdagi shtuster orqali oraliq yoki tayyor mahsulot sifatida chiqariladi.

Yuqorida qayd etilgandek qaynash va markaziy (stirkulyastion) trubada eritmaning stirkulyastiyasi uning zichliklari farqi ostida ro`y beradi. Eritma zichligi farqining hosil bo`lishiga sabab, isitish kamerasi yuzasining markaziy trubanikidan ancha kattaligidir.



4.54-rasm. Ichki isituvchi kamera va markaziy sirkulyatsion trubali bug`latish qurilmasi.

1 - qobiq; 2 - isituvchi kamera;
3 - qaynash trubalari; 4 - sirkulyatsion truba;
5 - separatsion bo`shliq; 6 - tomchi ushlagich.



4.55-rasm. Osmo 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.

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 stirkulyastiya qiladi va issiqlik o`tkazish jarayoni jadallashadi. Undan tashqari, eritma stirkulyastiyasi 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 eltichlardan 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 trubalarning 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 stirkulyastiya karraligi kamayadi.

**Osmo isituvchi kamerali bug`latgich.** 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 stirkulyastiya ta'sirida bug'latish jarayoni sodir bo'ladi (4.55-rasm).

Ikkilamchi bug' tomchi ushlagich 4 dan o'tib qurilmaning tepasidan chiqib ketadi. Ikkilamchi bug'dan ajratib olingan suyuqlik truba 5 orqali pastga oqizib tushiriladi. Qurilmaning qaynash trubalarining ichki va tashqi yuzalarida hosil bo'luvchi kovakli qatlam (nakip) vaqti – vaqti bilan suv bilan yuvilib turiladi.

Bu qurilmada markaziy stirkulyastion truba isituvchi kamera tashqarisida o'rnatilgan bo'lib, katta ko'ndalang kesimga ega. Shuning uchun ham eritma stirkulyastiyasiga 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'latishi 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 stirkulyastiyasining 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 eritmalarini bug'latish samardorligi past; eritma trubalarga yopishib qoladi.

Erkin stirkulyastiyali bug'latkichlar tuzilishi sodda va kristallanmaydigan, o'rtacha qovushoqlik suyuqliklarni bug'latish uchun qo'llaniladi (4.56-rasm).

Bug'latish qurilmasi separator, isituvchi kamera va stirkulyastion trubadan tashkil topgan. Separator elliptik qopqoqli stilindrik qobiqdan iborat bo'lib, isituvchi kameraga boltlar yordamida birlashtirilgan. Unda, ikkilamchi bug'ni tomchilardan ajratish uchun turli konstrukstiyali qaytargichlar o'rnatiladi (4.56a-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 stirkulyastion truba bilan birlashtirilgan. Stirkulyastion va qaynatish trubalaridan tarkib topgan tutashgan sistemada tabiiy stirkulyastiya hosil bo'ladi.

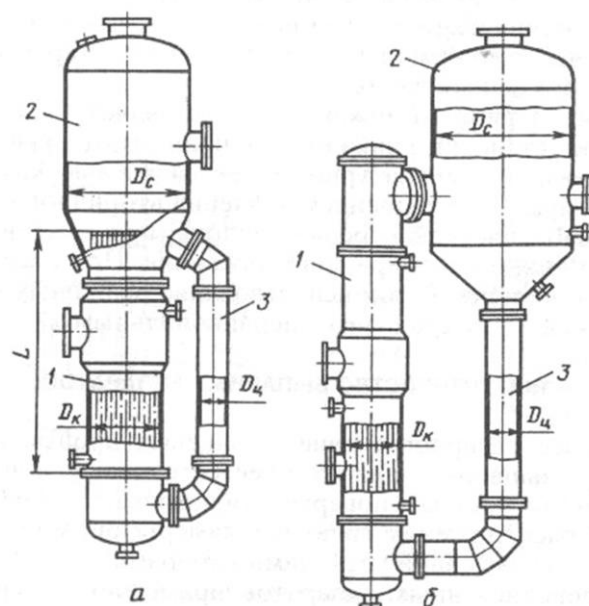
Agar, trubalarda eritma qaynash darajasigicha isitilsa, undagi bir qism suyuqlik bug'latishi natijasida trubalarda bug' - suyuqlik aralashmasi hosil bo'ladi. Albatta, bu aralashma zichligi suyuqlik zichligidan kichikdir. Shunday qilib, stirkulyastion trubadagi suyuqlik massasi, qaynash trubadagi suyuqlikdan katta bo'lishi aniq. Natijada, qaynash trubasi – bug' bo'shlig'i - stirkulyastion truba - trubular va hokazo yo'li bo'yicha eritma stirkulyastion harakatlanadi.

Sirkulyastiya paytida qaynayotgan suyuqlik tomonidagi issiqlik berish koeffistienti ortadi va truba yuzasida qattiq, kovakli ifloslik qatlami hosil bo'lishi kamayadi.

Tabiiy stirkulyastiya bo'lishi uchun ikkita shart bajarilishi zarur:

1) Bug' - suyuqlik aralashma qatlamini muvozanatda ushlab turish va zarur tezlik hosil qilish uchun stirkulyastion trubadagi suyuqlik sathining baladligi etarli bo'lishi kerak;

2) Bug' - suyuqlik aralashmasi iloji boricha kam zichlikli bo'lishi uchun qaynash trubalarida bug' ajralib chiqish intensivligi etarli miqdorda bo'lishi darkor.



4.56-rasm. Eritmasi erkin sirkulyatsiya qiladigan bug`latkichlar.

a - isituvchi kamerasi ajratilgan bug`latkich; b - isituvchi kamerasi tashqariga o`rnatilgan bug`latkich:

1- isituvchi kamera; 2-separator; 3-tsirkulyatsion truba. Ds, Dk, Dts - separator, isituvchi kamera va sirkulyatsion truba diametrlari; L - kamera uzunligi.

Eritma va bug` orasidagi temperaturalar farqi ko`p va qaynash zonasida naporning yo`qotilishi kam bo`lgani uchun, stirkulyatsiya tezligi 1,8...2 m/s ni tashkil etadi.

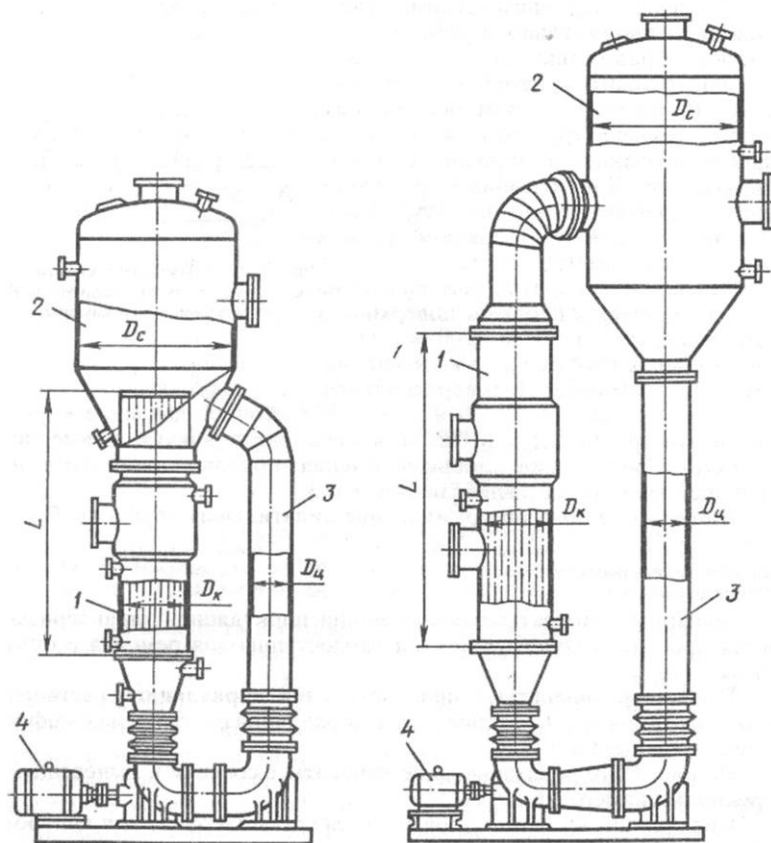
Agar, stirkulyatsiya tezligi yuqori bo`lsa, bug`latgichning ish unumdorligi va issiqlik almashinish jarayonining intensivligi katta bo`ladi.

4.56-rasmda eskirib qolgan markaziy stirkulyatsiya trubali bug`latgichdan tubdan farq qiladigan qurilma keltirilgan. Ma`lumki, markaziy stirkulyatsion trubali bug`latkichlarda temperaturalar farqi kichik va stirkulyatsiya 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 stirkulyatsiya tezligi ko`p bo`ladi. Intensiv stirkulyatsiyaga erishish uchun isituvchi bug` va eritma orasidagi farq 10°S dan kam bo`lmasligi kerak.

4.56-rasmda keltirilgan bug`latkichlarning issiqlik almashinish yuzasi 10...1200 m<sup>2</sup>, 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, separatoridagi vakuum esa - 93,0 kPa. Stirkulyatsion truba ko`ndalang kesim yuzasining isituvchi kamera yuzasiga nisbati 0,3 dan kam bo`lmasligi zarur.

**Majburiy stirkulyatsiyali bug`latkichlar** eritma stirkulyatsiyasining intensivligi va issiqlik o`tkazish koeffitsientini oshirish imkonini beradi. Bunday qurilmalarda qovushoqligi katta bo`lgan eritmalarni ham bug`latish mumkin (4.57-rasm). Eritma stirkulyatsiyasi 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 (4.57a-rasm).



4.57-rasm. Eritma majburiy sirkulyatsiya qiladigan bug`latkichlar.

a- isituvchi kamera ajratilgan bug`latkich; b- isituvchi kamerasi tashqarida o`rnatilgan bug`latkich;

1 - isituvchi kamera; 2 - separator; 3 - sirkulyatsion truba; 4 - nasos.

Eritma qaynash trubalari uchidan ozgina pastroq sathda ushlab turiladi. Isituvchi kamera trubalaradagi eritma tezligi 1,2...3,5 m/s bo`ladi. Eritma stirkulyatsiya qiladigan sistema suyuqlik bilan to`lib turgani uchun nasos ishi faqat gidravlik qarshiliklarni engish 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`latayotgan suvdan bir necha barobar ortiqdir. Shuning uchun ham, suyuqlik massasining qaynash trubasidan chiqayotgan bug` - suyuqlik aralashmadagi bug` massasiga nisbati juda katta.

Bu turdagi bug`latkichlar isitish yuzasi 25...1200 m<sup>2</sup>, qaynash trubalarining uzunligi 4...9 m, diametri 25, 38, 57 mm bo`lishi mumkin. Isituvchi kameradagi ortiqcha bosim 0,3...1,0 MPa, separatoridagi vakuum esa - 93 kPa. Stirkulyatsion truba ko`ndalang kesimi yuzasining isituvchi kamera yuzasiga nisbati 0,9 dan kam bo`lmasligi kerak.

Majburiy stirkulyatsiyali bug`latkichlar afzalliklari: issiqlik o`tkazish koeffitsienti juda katta (erkin stirkulyatsiyaligi qaraganda 3...4 marta ko`p), shuning uchun isitish yuzasi kam bo`lsa ham bo`ladi; kichik temperaturalar farqida (3...5°S) ham samarali ishlaydi; kristallanishga moyil eritmalar bug`latilganda, issiqlik almashinish yuzalarida iflosliklar yopishib qolmaydi.

Bunday qurimalarning kamchiligi shundaki, nasosni ishlatish tufayli energiya sarfi ko`payadi.

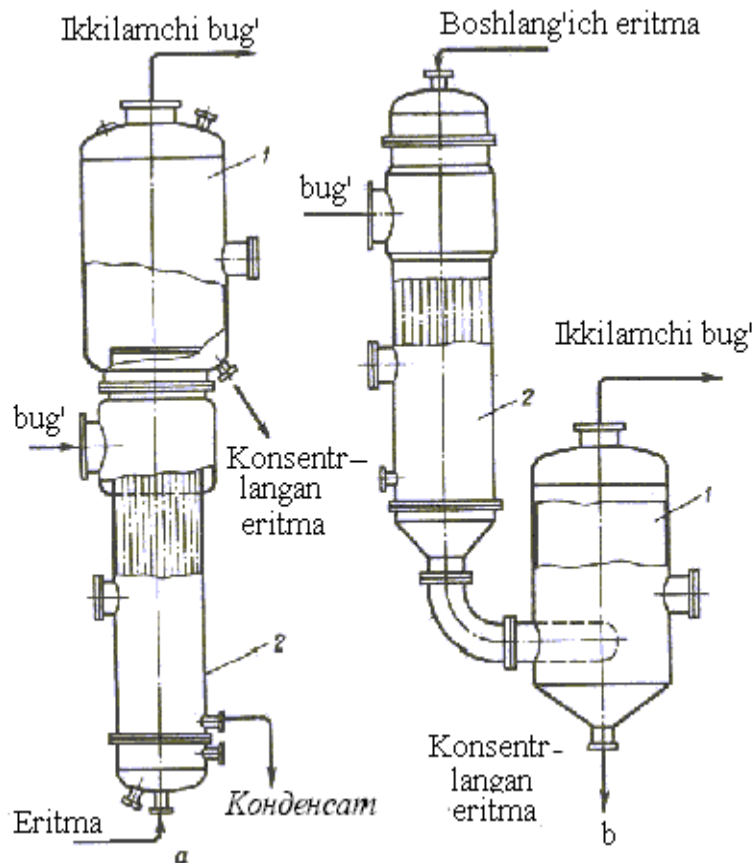
Odatda, bug`latkichlar qimmat legirlangan metallardan yasalganda, hamda qovushoqligi yuqori va kristallanishga moyil eritmalarini bug`latish uchun qo`llash yuqori samara beradi.

**Yupqa qatlamli (plyonkali) bug`latkichlar** yuqori temperaturaga chidamsiz eritmalarini quyushtirish 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 pastka oqib tushuvchi yupqa qatlamli bug`latkichlarga bo`linadi.

Yupqa qatlamli bug`latkichlar isituvchi kamera va separatoridan tarkib topgan bo`ladi (4.58-rasm).

Isituvchi kamera trubalari 7...9 m uzunlikda bo`lib, suv bug`i yordamida isitiladi.



4.58-rasm. Yupqa qatlamli bug'latkichlar.

a – ko'tariluvchi qatlamli bug'latkich; b - pastga oqib tushuvchi qatlamli bug'latkich.

1 - separator; 2 - isituvchi kamera.

4.58a-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 turbulizastiyaga uchraydi va uning yuzasi jadal ravishda yangilanib turadi. Shu omillar hisobiga yuqori issiqlik o'tkazish koeffitsienti va katta bug'latish yuzasiga erishiladi.

4.58b-rasmda pastga oqib tushuvchi qatlamli bug'latkich tuzilishi keltirilgan. Bunday qurilmada boshlang'ich eritma isituvchi kameraning yuqori qismiga uzatiladi.

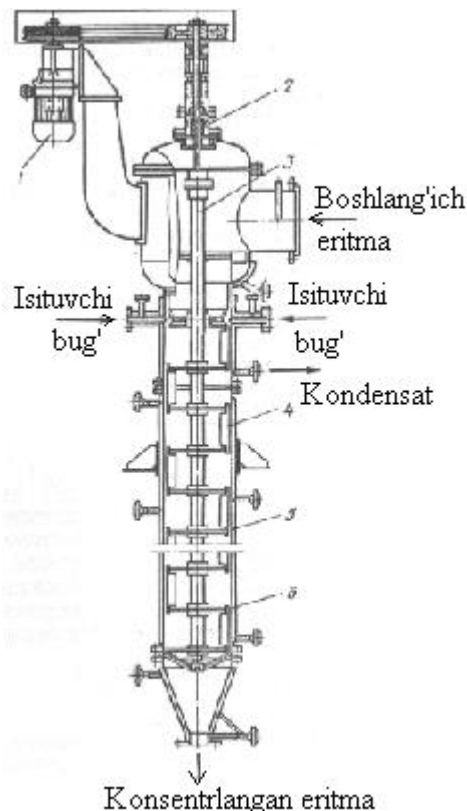
Quyushtirilgan eritma, separatorning pastki qismidan chiqariladi.

Yupqa qatlamli bug'latqichlarning issiqlik almashinish yuzasi 63...2500 m² bo'lib, 38 va 57 mm li trubalardan yasaladi.

Isituvchi kameradagi ortiqcha bosim 0,3...1,0 MPa, separatoridagi vakuum esa - 93 kPa.

Kamchiliklari; isituvchi bug' bosimi tebranib turgan hollarda ishlashi bir tekisda emas. Agar, ish rejimi buzilsa, qurilmani stirkulyastiyali ishlash rejimiga o'tkazish mumkin.

Rotor – yupqa qatlamli bug'latkichlar yuqori temperaturaga chidamsiz, qovushoq va pastasimon materiallarni, hamda suspenziyalarni bug'latish uchun ishlatiladi (4.59-rasm).



4.59-rasm. Rotor - yupqa qatlamli bug'latkich.

1 - yuritma; 2 - zichlagich; 3 - rotor; 4 - parrak; 5 - qobiq; 6 - g'ilof.

Bunday bug'latkichlar stilindrsimon yoki konussimon qobiq 5 dan iborat bo'lib, tashqarisi isituvchi g'ilof 6 bilan o'ralgan. Qobiq 5 ichida rotor 3 aylanib, eritmani stilindrik 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'latadi 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 koeffitsientini hisoblash uchun ushbu formula tavsiya etiladi:

$$\alpha = 110 \cdot \left(\frac{n}{\mu} \right)^{0,33} \cdot \lambda \quad (4.185)$$

bu erda n - aylanish chastotasi, ayl/min; μ - dinamik qovushoqlik, Pa·s; λ - muhitning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, Vt/m·K.

Issiqlik berish koeffitsientini boshqa formuladan ham hisoblab topsa bo'ladi:

$$Nu = 0,65 \cdot Re^{0,25} \cdot Re_y^{0,43} \cdot Pr^{0,3} \cdot z^{0,33} \quad (4.186)$$

bu erda z - rotordagi parraklar soni.

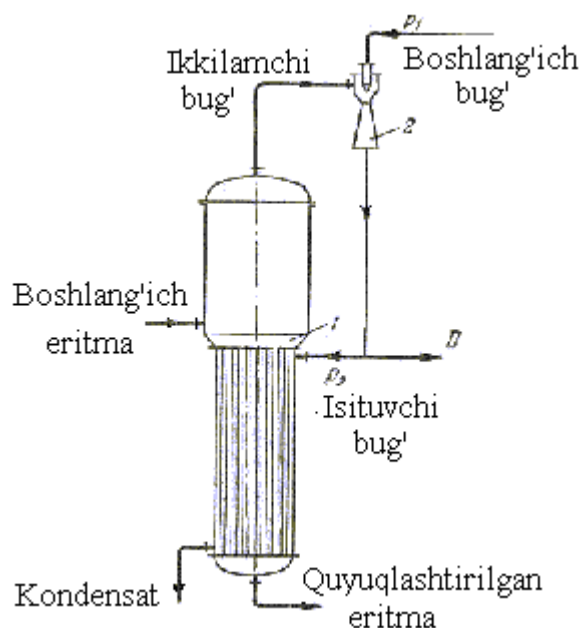
$$Re_y = \frac{d^2 \cdot n}{\nu} \quad (4.187)$$

Qobiq devori va parraklar orasidagi tirqish 0,04...1,5 mm ni tashkil etadi. Boshlang'ich eritma qurilmaning yuqori qismiga uzatiladi va stilindrik devor bo'ylab yupqa qatlam ko'rinishida taqsimlanadi. Parraklarning aylanma tezligi 12 m/s.

Qurilma konstrukstiyasi 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 koeffitsientiga ega, ya'ni 2300...2700 Vt/m²·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 eritmalarining sifat ko'rsatkichlarini saqlab qolish uchun issiqlik nasosli, bir korpusli bug'latkichlarni ishlatish maqsadga muvofiqdir.



4.60-rasm. Issiqlik nasosli bir korpusli bug`latish qurilmasi.

1 - bug`latkich; 2 - oqimchali (injektorli) nasos.

4.60-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 juda o`rinli va ko`p korpusli bug`latish sxemalarida isituvchi bug`ni tejash imkonini beradi.

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 °S 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.

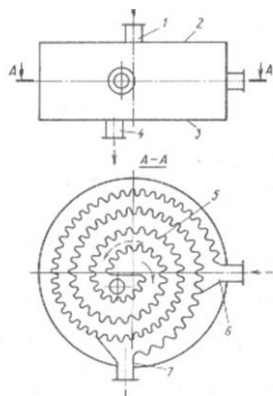
4.18. Perspektiv issiqlik almashinish qurilmalari

Ma`lum qurilmaga qaraganda, yangi issiqlik almashinish qurilmasi yuqori issiqlik o`tkazish koeffitsientli, emirilishga bardosh, metall va issiqlik eltkichni uzatishga energiya sarfi kam kabi ko`rsatkichlarga ega bo`lishi zarur.

Bunday issiqlik almashinish qurilmalarini loyihalash usullaridan biri – issiqlik berishni chegaralaydigan, suyuqlik yupqa qatlamini buzadigan yuzali qurilmalar yaratishdir. 4.61–rasmda samarador plastinali – spiralsimon issiqlik almashinish qurilmasi keltirilgan.

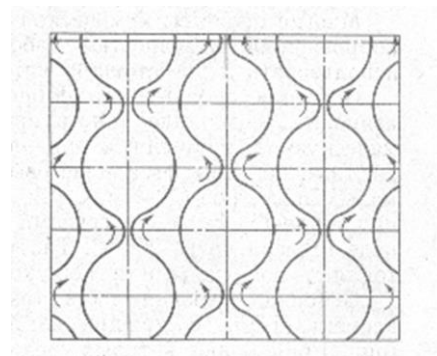
Bu turdagi qurilmalar spiral bo`yicha o`rilgan gofrirlangan list 5 va ikkala tomonidan tekis qopqoq 2 lardan tarkib topgan. Issiqlik eltkichlarni kirish va chiqishi uchun 1,4,6,7 shtusterlar mo`ljallangan. Muhitlarning qarama - qarshi yo`nalishli harakatidagi birinchi issiqlik eltkich shtuster 6 dan kiradi va gofrirlangan kanallar orqali o`tib, shtuster 4 dan chiqariladi. Ikkinchi issiqlik eltkich esa, shtuster 1 dan kirib, gofrirlangan kanaldan o`tib shtuster 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.



4.61- rasm. Plastinali spiralsimon issiqlik almashinish quril-masi.

1,4,6,7 - shtutserlar; 2,3 - tekis qopqoqlar;
5 - gofrirlangan list.



4.62-rasm. «Babeks» tipidagi issiqlik almashinish qurilmasining kombinatsiyalashgan trubalar o`rami.

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.

Germaniya firmasi «Bavariya Anlagenbau» tomonidan «Babeks» tipidagi issiqlik almashinish qurilmasida ham issiqlik eltkichning chegaraviy qatlami buziladi va jarayon intensivlashadi (4.62-rasm). Bu qurilma qobiq-trubali va plastinali issiqlik almashinish qurilmalarining eng yaxshi xususiyatlarini o`z ichida mujassamlagan.

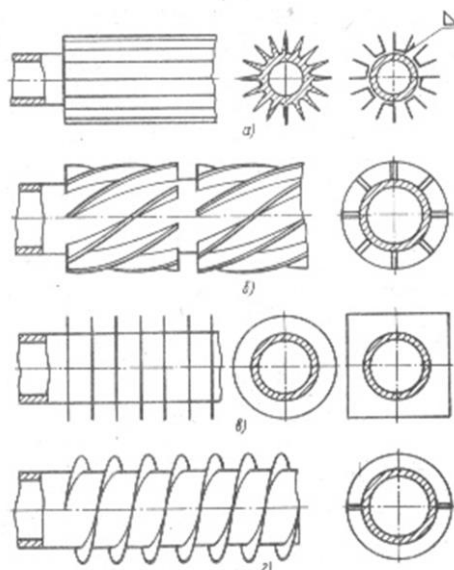
Issiqlik almashinish yuzalari 0,2...1,0 mm qalinlikdagi shtamplangan metall listlardan iborat. Metall listda yarim doira shaklidagi ariqchalar shtampovki usulida qilinadi. Shtampovka qilingan listlar simmetrik holatda ketma-ket yig`ilib mahkamlanadi va natijada trubalar va trubalararo bo`shliqlar hosil 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.

Kurilmaning 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  $130...760^\circ\text{S}$  oralikda 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 (4.63-rasm).



4.63-rasm. Samarador qirrali trubalar

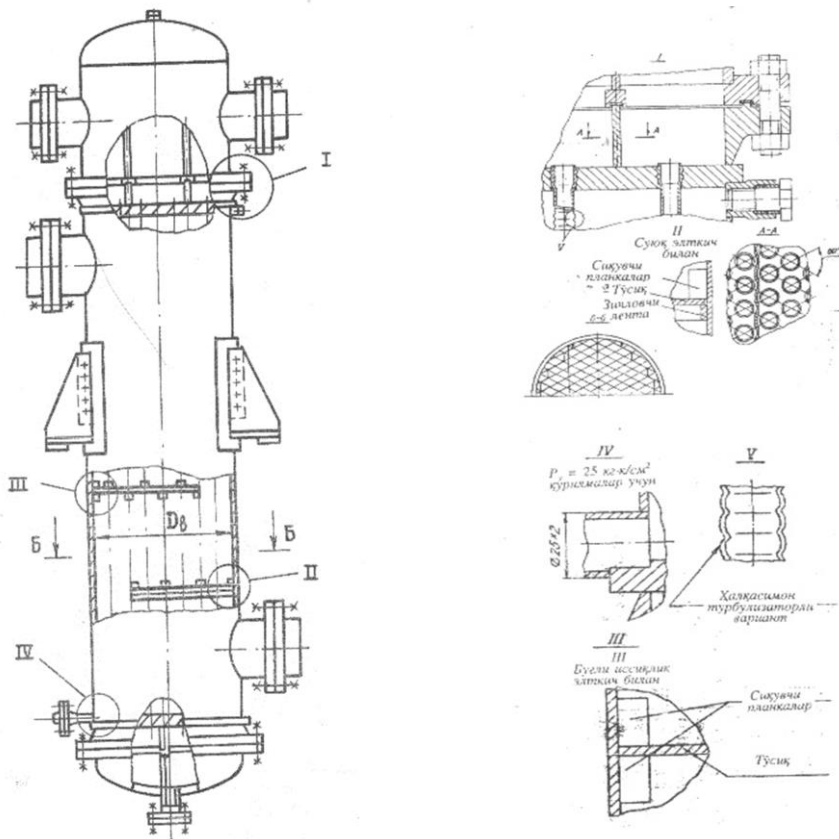
a - bo'ylama qirrali; b - qirqma, spiralsimon qirrali;
c - ko'ndalang qirqma; g- spiralsimon qirrali.

Qirrali trubalarda na faqat issiqlik almashinish yuzasi F ortadi, balki oqim turbulizastiyasi jadallashganligi sababli qirrali yuzadan issiqlik eltkichga issiqlik berish koeffistientining qiymati ham ko'payadi. Lekin, shu bilan birga, gidravlik qarshilik ham 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 koeffistienti bilan xarakterlanadi.

Issiqlik berish koeffistientini oz miqdorda oshirish uchun po'latdan, ko'p miqdorda oshirish uchun esa – mis va alyuminiydan 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 (4.42-rasm) qurilmalardan birining tuzilishi 4.64-rasmda keltirilgan. Bu turdagi trubali qurilmalarda, hattoki laminar rejimda ham, issiqlik berish koeffistienti 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 - $\xi/\xi_{tek} = 1,8...7$ barobar o'sadi. Ftoroplast kabi materiallarning kashf etilishi bilan emirilishga 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°S gacha bo'lishi mumkin. Odatda, ftoroplastdan yasaladigan qurilmalar qobiq-trubali tuzilishli bo'ladi (4.65-rasm).



4.64-rasm. Samarador qobiq-trubali issiqlikalmashinish qurilmasi.

Egiluvchan polimer trubalar o`ramining uchlari teshikli panjaraga payvandlanadi (4.65b-rasm). Ftoroplast trubali issiqlik almashinish qurilmalari sulfat kislota, xlorli organik va tibbiyot mahsulotlarini ishlab chiqarishda qo`llaniladi.

Samarador qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmalarini yaratishni yana bir usuli – bu teshikli panjara qalinligini issiqlik almashinish devori yoki unga yaqin qalinlikda qilishdir (4.65b-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 konstrukstiyalar qilishga hojat qolmaydi.



4.65-rasm. Ftoroplast trubali issiqlik almashinish elementi.

Undan tashqari, elektromagnit maydonining (o`ta yuqori chastotasi SVCh) nurlanish energiyasidan issiqlik energiya manbai sifatida foydalanishning kelajagi porloqdir.

4.19. Qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmalarini hisoblash

Qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasida etil spirti (100%-li) isitilmoqda. Etil spirtning massaviy sarfi $G_1=25000$ kg/soat, temperaturasi $t_{1b}=30^{\circ}\text{S}$ dan $t_{1ox}=70^{\circ}\text{S}$ gacha isitilmoqda va u trubalararo bo`shliqda harakatlanmoqda. Isituvchi suyuqlik – suv (to`yinish bosimidan yuqori bosimda) trubalar ichida harakatlanadi va temperaturasi $t_{2b}=170^{\circ}\text{S}$ dan $t_{2ox}=130^{\circ}\text{S}$ gacha pasaymoqda.

Issiqlik hisobi

Echish:

Etil spirtning oʻrtacha temperaturasi

$$t_{or} = \frac{t_{\theta} + t_{ox}}{2} = \frac{30 + 70}{2} = 50^{\circ}C$$

Etil spirtning $t_{or}=50^{\circ}S$ dagi fizik-mexanik va issiqlik-diffuzion xossalari:

- zichligi $\rho_1 = 763 \text{ kg/m}^3$;
- solishtirma issiqlik sigʻimi $s_{r1} = 2954 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$;
- issiqlik oʻtkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda_1 = 0,1745 \text{ Vt/(kg}\cdot\text{K)}$;
- kinematik qovushoqlik koeffitsienti $\nu_1 = 0,918 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;
- hajmiy kengayshi koeffitsienti $\beta_1 = 1,175 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$;
- Prandtl soni $Pr_{f1} = 11$.

Qurilmaning issiqlik yuklamasi:

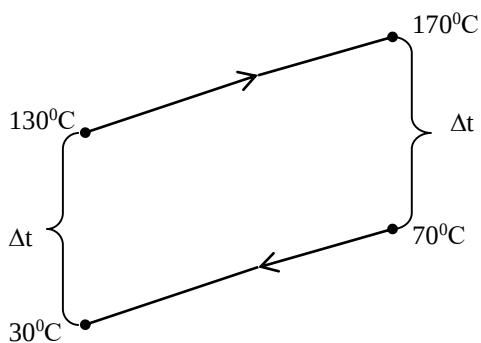
$$Q = G_1 \cdot c_{p1} (t_{lox} - t_{1\theta}) = \frac{25000}{3600} \cdot 2954 \cdot (70 - 30) = 820555,6 \text{ Vt}$$

Oʻrtacha temperaturalar farqini aniqlaymiz:

$$\Delta t_{ka} = 170 - 70 = 100^{\circ}S$$

$$\Delta t_{ki} = 130 - 30 = 100^{\circ}S$$

$$\frac{\Delta t_{ka}}{\Delta t_{ki}} = \frac{100}{100} = 1$$



sifatida topiladi:

Oʻrtacha temperaturalar farqi oʻrtacha arifmetik temperatura

$$t_{or} = \frac{100 + 100}{2} = 100^{\circ}C$$

Truba devoridan spirtga issiqlik berish koeffitsientini $\alpha_1 = 140 \text{ Vt/(m}^2\cdot\text{K)}$ va suvdan devorga esa - $\alpha_2 = 415 \text{ Vt/(m}^2\cdot\text{K)}$ deb qabul qilib olamiz. Legirlangan X18N10T markali poʻlatdan tayyorlangan trubaning $t_{\theta t} = 100^{\circ}S$ dagi issiqlik oʻtkazish koeffitsientining tahlimiy qiymatini 2-2 jadvaldan $120 \text{ Vt/(m}^2\cdot\text{K)}$ deb tanlab olamiz [5,6]:

Issiqlik oqimining zichligi:

$$q_o = K \cdot \Delta t_{or} = 120 \cdot 100 = 12000 \text{ Vt/m}^2$$

Etil spirti harakatlanayotgan boʻshliqdagi truba devorining temperaturasi

$$t_{w1} = t_1 + \frac{q_o}{\alpha_1} = 50 + \frac{12000}{140} = 135,7^{\circ}C$$

bu erda $\alpha_1 = 140 \text{ Vt/m}^2\cdot\text{K}$ deb qabul qilamiz

Suv harakatlanayotgan truba devorining temperaturasi

$$t_{w2} = t_{w1} + \frac{q_0 \delta}{\lambda} = 135,7 + \frac{12000 \cdot 0,002}{50,7} = 136,2 \text{ } ^\circ\text{S}$$

Unda, yuqorida hisoblangan issiqlik yuklama uchun zarur yuzani topamiz:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{820555,6}{120 \cdot 100} = 68,4 \text{ } M^2$$

Ushbu, ya'ni $F=68,4 \text{ } m^2$ ga mos qobiq-trubali standart issiqlik almashinish qurilmasini 2-4 jadvaldan tanlaymiz [5,6]:

- issiqlik almashinish yuzasi	$F = 69 \text{ } m^2$;
- qobiq diametri	$D = 800 \text{ } mm$;
- truba diametri	$d = 25 \times 2 \text{ } mm$;
- trubalar soni	$n = 442$
- yo'llar soni	$z = 2$
- truba uzunligi	$l = 2 \text{ } m$;
- trubalararo bo'shliqning eng tor ko'ndalang kesimining yuzasi	$f_{mt} = 0,07 \text{ } m^2$;
- trubalararo bo'shliq bitta yo'li ko'ndalang kesimining yuzasi	$f_{tr} = 0,077 \text{ } m^2$.

Etil spirtning o'rtacha massaviy tezligi:

$$\omega_1 = \frac{G_1}{3600 \cdot A_{m1} \cdot \rho} = \frac{25000}{3600 \cdot 0,2854 \cdot 763} = 0,032 \text{ } m/s$$

bu erda f_{mt} ni quyidagi formuladan hisoblab topsa ham bo'ladi

$$A_{m1} = \frac{\pi D^2}{4} - n \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} - 442 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,025^2}{4} = 0,2854 \text{ } m^2$$

Etil spirtning harakat rejimi **Re** ni aniqlash uchun trubalararo bo'shliqning ekvivalent diametrini topamiz:

$$d_s = \frac{4f_{MT}}{\Omega_1} = \frac{D^2 - nd^2}{nd} = \frac{0,8^2 - 442 \cdot 0,025^2}{442 \cdot 0,025} = \frac{0,3638}{11,05} = 0,0329 \text{ } m$$

Etil spirti uchun Re soni:

$$Re = \frac{\omega_1 \cdot d_s}{\nu_1} = \frac{0,032 \cdot 0,0329}{0,918 \cdot 10^{-6}} = 1142,9$$

Demak, etil spirtining harakat rejimi – laminar, chunki $Re_{fl} = 1142,9 < 2300$.

Birinchi yaqinlashishda $l/d_o = 2000/25 = 80$, ya'ni $l/d_v > 50$, unda $\varepsilon_1 = 1$. 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

$$Gr_{f1} = \frac{gd^3}{\nu^2} \beta_1 (t_{w1} - t_1) = \frac{9,81 \cdot 0,0329^3}{(0,918 \cdot 10^{-6})} \cdot 1,175 \cdot 10^{-3} (124,4 - 50) = 36180000$$

$$\begin{aligned} Nu_{f1} &= 0,15 \cdot Re_{f1}^{0,33} \cdot Pr_{f1}^{0,42} \cdot Gr_{f1}^{0,1} \left(\frac{Pr_{f1}}{Pr_{w1}} \right)^{0,25} = \\ &= 0,15 \cdot 1143^{0,33} \cdot 5,44^{0,42} \cdot 36180000^{0,1} \cdot \left(\frac{11}{5,44} \right)^{0,25} = \\ &= 0,15 \cdot 10,2 \cdot 2,04 \cdot 32 \cdot 1,19 = 118,86 \end{aligned}$$

Truba devoridan etil spirtga issiqlik berish koeffistienti:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_{f1} \cdot \lambda_1}{d_s} = \frac{118,86 \cdot 0,1745}{0,0329} = 630,4 \frac{Wt}{m^2 \cdot K}$$

Issiqlik suvning o'rtacha temperaturasini aniqlaymiz:

$$t_2 = \frac{t_{2\delta} + t_{2ox}}{2} = \frac{170 + 130}{2} = 150^\circ C$$

Suvning temperaturasi $t_2 = 150^\circ C$ bo'lgan davrida uning asosiy parametrlarini topamiz:

- zichligi $\rho_2 = 917 \text{ kg/m}^3$;
- solishtirma issiqlik koeffistienti $c_{p2} = 4313 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$;
- issiqlik o'tkazuvchanlik koeffistienti $\lambda_2 = 0,684 \text{ Wt/(m}^2\cdot\text{K)}$;
- kinematik qovushoqligi $\nu_2 = 0,203 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;
- hajmiy kengayish koeffistienti $\beta_2 = 1,03 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$;
- Prandtl soni $Pr_{f1} = 1,17$.

Trubalardagi suvning sarfi:

$$G_2 = \frac{Q}{C_{p2}(t_{2\delta} - t_{2ox})} = \frac{820555,6}{4313(170 - 130)} = 4,76 \text{ kg/s}$$

Truba kanallaridagi suvning o'rtacha massaviy tezligi:

$$\omega_2 = \frac{4G_2}{\pi d_s^2 \cdot n \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot 4,76}{3,14 \cdot 0,021^2 \cdot 442 \cdot 917} = 0,0374 \text{ m/s}$$

Reynolds soni

$$Re_{f2} = \frac{\omega_2 \cdot d_s}{\nu^2} = \frac{0,0374 \cdot 0,021}{0,203 \cdot 10^{-6}} = 3869$$

ya'ni, issiq suv o'tish rejimida harakatlanmoqda

Grasgof sonini hisoblaymiz:

$$Gr_{f2} = \frac{gd_b^3}{\nu_2^2} \beta_2 \cdot (t_{w2} - t_2) = \frac{9,81 \cdot 0,021^3}{(0,203 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot (150 - 135,7) =$$

$$= \frac{9,81 \cdot 9,26 \cdot 10^{-6}}{0,041 \cdot 10^{-12}} \cdot 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot 14,3 = 32633931$$

Issiq suv oqimi uchun Nusselt sonini topamiz:

$$Nu_{f2} = 0,15 \cdot Re_{f2}^{0,33} \cdot Pr_{f2}^{0,42} \cdot Gr_{f2}^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_{a2}}{Pr_{u2}} \right)^{0,25} =$$

$$= 0,15 \cdot 3869^{0,33} \cdot 1,17^{0,42} \cdot 32633931^{0,1} \cdot \left(\frac{1,17}{1,22} \right)^{0,25} = 13,68$$

$$Pr_{w2} = \frac{c_2 \mu_2}{\lambda_2} = \frac{4270 \cdot 0,196 \cdot 10^{-3}}{0,685} = 1,22$$

Issiq suvning $t_{w2} = 136,2^\circ\text{C}$ dagi parametrlari quyidagicha [5,6]:

$$\lambda_2 = 0,685 \text{ Wt/(m}\cdot\text{K)}$$

$$s_2 = 4270 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\mu_2 = 0,196 \cdot 10^{-3}$$

Issiq suvdan devorga issiqlik berish koeffitsientini hisoblaymiz:

$$\alpha_2' = \frac{Nu_{f2} \cdot \lambda_2}{d\phi} = \frac{13,68 \cdot 0,685}{0,021} = 446,15 \text{ Wt/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Issiqlik o'tkazish koeffitsienti esa

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1'} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2'}} = \frac{1}{\frac{1}{630,4} + \frac{0,002}{50,2} + \frac{1}{446,15}} =$$

$$= \frac{1}{0,00158 + 0,0000398 + 0,00224} = \frac{1}{0,00386} = 259,1 \frac{\text{Wt}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Issiqlik almashinish yuzasi:

$$F = \frac{820555,6}{235,96 \cdot 100} = 34,8 \text{ m}^2$$

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	$F = 38 \text{ m}^2$
- qobiq diametri	$D = 600 \text{ mm}$
- tuba diametri	$d = 25 \times 2 \text{ mm}$
- trubalar soni	$n = 240$
- tuba uzunligi	$l = 2,0 \text{ m}$
- yo'llar soni	$z = 2$

- bo'shliqning eng tor ko'ndalang kesimning yuzasi $f_{mt} = 0,040 \text{ m}^2$

- truba bitta yo'li ko'ndalang

kesimining yuzasi $f_{tr} = 0,042 \text{ m}^2$

Gidravlik hisob

Trubalar ozgina korroziyaga uchragan po'latdan yasalgan deb qabul qilamiz. Truba devorining g'adir-budurliqi $e = 0,2 \text{ mm}$.

$$\varepsilon = \frac{e}{d_s} = \frac{0,2}{21} = 0,0095$$

$Re_{\rho} = 3869$ i $d_s/e = 105$ bo'lgan hol uchun gidravlik qarshilik koeffitsientni aniqlaymiz.

$$\lambda = \frac{1}{4 \left\{ \lg \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] \right\}^2} = \frac{1}{4 \left\{ \lg \left[\frac{0,0095}{3,7} + \left(\frac{6,81}{3869} \right)^{0,9} \right] \right\}^2} = \frac{1}{19,892} = 0,0503$$

Trubalardagi tezlik bosimi

$$\Delta p_{me3} = \frac{\rho \omega^2}{2} = \frac{917 \cdot 0,0374^2}{2} = 0,641 \text{ Pa}$$

Ishqalanish qarshiligini engish jarayonidagi bosimning yo'qotilishi:

$$\Delta p_{uk} = \lambda \left(\frac{nL}{d_s} \right) \cdot \Delta p_{me3} = 0,0503 \left(\frac{240 \cdot 2}{0,021} \right) \cdot 0,641 = 737 \text{ Pa}$$

Mahalliy qarshilik koeffitsientlari:

a) kamera kirish va chiqish - $\xi_1 = 3$;

b) trubaga kirish va undan chiqish - $\xi_2 = 2$.

Jami:

$$\sum \xi = 5$$

$$\Delta p_{MK} = \sum \xi \cdot \frac{\rho \omega^2}{2} = 5 \cdot \frac{917 \cdot 0,0374^2}{2} = 3,2 \text{ Pa}$$

Bosimning umumiy yo'qotilishi

$$\Delta p_{yM} = \Delta p_{uk} + \Delta p_{MK} = 737 + 3,2 = 740,2 \text{ Pa}$$

Issiq suvni qurilmaga uzatish uchu 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 R (Pa).

Nasosning hajmiy sarfi:

$$V = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{4,76}{917} = 0,0052 \text{ m}^3/\text{s}$$

To'liq napor esa

$$R = R_{um} = 0,075 \text{ m.suv.ust.}$$

So'ng esa, suvning uzatish uchun zarur bo'lgan ko'rsatkichlar **V** va **R** bo'yicha mos keladigan standart nasosni tanlaymiz [6, 128].

$$\text{Nasos turi X20/18; } V = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s; } N = 10,5 \text{ m; } n = 48,3 \text{ 1/s; } \eta_n = 0,6$$

$$\text{Elektr yuritkich tipi A02-31-2; } N = 3 \text{ kVt; } \eta_{dv} = 0,83$$

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:

$$\frac{d}{D} = 0,983 \text{ va } \frac{t}{D} = 0,496$$

Ushbu nakatka parametrlari trubalar uchun issiqlik almashinish jarayonining intensivligi quyidagiga teng

$$\frac{Nu}{Nu_{mek}} = 1,34$$

Gidravlik qarshilikning o'zgarishi esa quyidagiga teng bo'ladi:

$$\frac{\xi}{\xi_{mek}} = 1,08$$

"Nakatka" trubali issiqlik almashinish qurilmasida issiq suv harakat qilayotgan tomondagi α koeffitsientni quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\alpha_{hak} = 1,34 \cdot \alpha_{mek} = 1,34 \cdot 446,15 = 597,91 \text{ Wt/(m}^2 \cdot K)$$

Yuqori samador trubalardan yasalgan issiqlik almashinish qurilma issiqlik utkazish koeffitsienti K ushbu formulalardan hisoblab topsa bo'ladi:

$$K_{hak} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{hak}}} = \frac{1}{\frac{1}{630,4} + \frac{0,002}{50,2} + \frac{1}{597,91}} = \frac{1}{3,3 \cdot 10^{-3}} = 303 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}$$

Jarayonni "nakatka" issiqlik almashinish trubalari yordamida intensivlash natijasida issiqlik almashinish yuzasining kamayish miqdori ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$F_{hak} = \frac{Q}{K_{hak} \cdot \Delta t} = \frac{820555,6}{303 \cdot 100} = 27,1 \text{ m}^2$$

Qurilmaga eltichlarning kirish va undan chiqish temperaturalarini, hamda uning issiqlik yuklamasini ($Q = 820555,6 \text{ Wt} = \text{const}$) o'zgarmas holda saqlab qolinsa, unda trubalar uzunligini quyidagi miqdorgacha kamaytirsa bo'ladi.

$$l_{nak} = \frac{F_{nak}}{\pi d_g n} = \frac{27,1}{3,14 \cdot 0,021 \cdot 240} = 1,71 \text{ m}$$

Tekis trubali issiqlik almashinish qurilma trubasining uzunligi

$$l = \frac{F}{\pi d_g n} = \frac{34,8}{3,14 \cdot 0,021 \cdot 240} = 2,19 \text{ m}$$

Ko`rinib turibdiki, nakatka qilingan trubalar jarayon samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Shuning uchun, tekis trubadan yasalgan isitkich trubasining uzunligi $l = 2,19 \text{ m}$, «nakatka» qilingan trubaniki esa $l = 1,71$. Demak, qurilmadagi har bir trubaning uzunligi $\Delta = 0,48 \text{ m}$ (22%) ga kamaytirilishi mumkin.

Demak, nakatkali trubadan yasalgan standart issiqlik almashinish qurilma trubasining uzunligi $l_{nak} = 1,56 \text{ m}$ qilib tayyorlansa ham bo`ladi.

Agarda, trubaning uzunligi $l = 2 \text{ m}$ ni o`zgartirmasak, unda isitkichning diametrini kamaytirish mumkin, chunki  $F = 27,1 \text{ m}^2$  yuza uchun  $N = 195$  dona nakatkali truba zarur, ya`ni 45 ta truba tejraladi. Natijada, isitkich diametri 20% ga kamayadi.

Eksergetik hisob

Atrof muhit temperaturasi $T_{atm} = 298 \text{ K}$ 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

$$\tau_{cn} = 1 - \frac{T_{atm}}{T_{cn}} = 1 - \frac{298}{323} = 0,0774$$

Suv uzatgan eksergiyani topamiz

$$E_v = Q \cdot \tau_{tekv} = 820555,6 \cdot 0,296 = 242884,5 \text{ Vt}$$

Etil spirti uzatgan eksergiya esa

$$E_v = Q \cdot \tau_{sp} = 820555,6 \cdot 0,0774 = 63511 \text{ Vt}$$

Eksergetik yo`qotilishlarni hisoblaymiz:

$$D_{tek} = E_v - E_{sp} = 179373,5 \text{ Vt}$$

Trubani “nakatka” tipida intensivlovchi makrog`adir-budurliklar qilish natijasida gidravlik qarshiliklari ortadi. Bunday bosimning yo`qotilishini topish uchun $\xi/\xi_{tek} = 1,08$ ekanligi inobatga olish zarur.

“Nakatka” li issiqlik almashinish trubalari uchun gidravlik qarshilik koeffistienti quyidagi tenglikdan topiladi:

$$\lambda_{nak} = 1,08 \cdot \lambda_{tek} = 1,08 \cdot 0,0503 = 0,05432$$

Bundan, ishqalanish qarshiligini engish jarayonida bosimning yo`qotilishi

$$\Delta p_{uk} = \lambda \cdot \left(\frac{n \cdot l}{d_g} \right) \cdot \Delta p_{mez} = 0,05432 \cdot \frac{240 \cdot 2}{0,021} \cdot 0,641 = 795,9 \text{ Pa}$$

Mahalliy qarshiliklar tufayli bosimning yo`qotilish qiymatlari o`zgarmasdir.

Unda, umumiy gidravlik yo`qotilishlar quyidagiga teng bo`ladi:

$$\Delta r_{um} = \Delta r_{mk} + \Delta r_{ik} = 795,5 + 3,2 = 799,1 \text{ Pa}$$

Ishqalanish qarshiligini engishda 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 konstrukstiyani tanlaymiz [5,128].

Mexanik hisoblashda quyidagi parametrlar aniqlanadi: bolt joylashtiriladigan aylana diametri; qistirmani siqish kuchi; boltni cho`zuvchi kuchlanish; bolt diametri; boltlar soni; flanestning tashqi diametri va qalinligi.

Boltlarni joylashtirish diametri:

$$D_b = 1,1 \cdot D_i^{0,933} = 1,1 \cdot 0,602^{0,933} = 0,625 \text{ m}$$

bu erda D_i – flanestning ichki diametri (odatda u qobiqning tashqi diametriga teng).

Zichlovchi qistirmani siqish kuchi (qistirma eni 0,02 m va ichki diametri 0,62 m):

$$R_q = \pi D_{qo} \cdot v \cdot k \cdot p = 3,14 \cdot 0,6125 \cdot 0,1 \cdot 2,5 \cdot 1,6 = 0,77$$

bu erda $\epsilon = \sqrt{\epsilon_0} = 3,16$; v_0 - qistirmaning haqiqiy eni, m.

$$D_{kyp} = \frac{2Du + 0,015}{2} = \frac{2 \cdot 0,605 + 0,015}{2} = 0,6125$$

Boltlarni cho`zuvchi kuchlanish:

$$p_{\sigma} = \frac{\pi D_{kyp}^2}{4} + P_K = \frac{3,14 \cdot 0,6125^2}{4} \cdot 1,6 + 0,77 = 1,25 \text{ MN}$$

bu erda $r = 1,6 \text{ MPa}$ – suvning ishchi bosimi.

Boltlar diametrini hisoblash.

$$d_{\sigma} = \frac{D_{\sigma} - D_r}{2} - 0,006 = \frac{0,685 - 0,612}{2} - 0,006 = 0,03 \text{ m}$$

bu erda D_G – flanestdagi payvandlash chokining tashqi diametri, m.

Rezbasining diametri M27x1,5 bo`lgan boltni tanlaymiz. Bolt rezbasining ichki diametri  $d = 23,5 \text{ mm}$  ga teng. Bolt ko`ndalang kesimining yuzasi (rezbaning ichki diametri bo`yicha)

$$F_{\delta} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,0235}{4} = 4,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Boltlar soni

$$z = \frac{p_{\delta}}{\sigma_d \cdot F_{\delta}} = \frac{1,25}{126 \cdot 4,34 \cdot 10^{-4}} = \frac{1,25}{0,055} = 22,72 \approx 24 \text{ dona}$$

Flanestning tashqi diametri

$$D_f = D_b + 1,83 \cdot d_b = 0,685 + 1,83 \cdot 0,03 = 0,74 \text{ m}$$

Ishchi jarayonida flanestga tushayotgan yuklama:

$$\begin{aligned} p &= \frac{D_{\phi}}{D_{\phi} - D_u} \left[p_{\delta} \frac{D_u}{D_{\delta}} \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\text{кyp}}} - 1 \right) + \frac{\pi D_{\text{кyp}}^2}{4} p \cdot \left(1 - \frac{D_u}{D_{\text{кyp}}} \right) \right] = \\ &= \frac{0,74}{0,74 - 0,602} \left[1,25 \frac{0,602}{0,685} \left(\frac{0,685}{0,6125} - 1 \right) + \frac{3,14 \cdot 0,6125^2}{4} 1,6 \cdot \left(1 - \frac{0,602}{0,6125} \right) \right] = \\ &= 5,36(0,13 + 0,471 \cdot 0,0171) = 0,74 \text{ MH} \end{aligned}$$

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 erda σ_T – ishchi temperaturada flanest materialining oquvchanlik chegarasi, MN/m² (St.3 va X18N10T po'latlar uchun $\sigma_T = 240$ MN/m² deb qabul qilsa bo'ladi); $\delta = 0,005$ - qobiq qalinligi, m; ψ_1, ψ_2 – koeffitsientlar, ularning son qiymati IV.2-rasmdan aniqlanadi [5,128]

$F > 1,13 \cdot A$ bo'lgani uchun flanest balandligini ushbu formuladan aniqlaymiz:

$$h = 0,43 \sqrt[3]{D_u (\Phi - 0,85A)} = 0,43 \sqrt[3]{0,602(0,0073 - 0,85 \cdot 0,00025)} = 0,0691 \text{ m}$$

Truba teshikli panjarasining o'rta qismidagi balandligi esa ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} h &= K \cdot D_u \sqrt{\frac{p}{\varphi_0 \cdot \sigma_{u.d.}}} + c_{\kappa} + c_{\text{якл}} = 0,47 \cdot 0,602 \sqrt{\frac{1,6}{0,265 \cdot 126}} + 0,001 + c_{\text{якл}} = \\ &= 0,03193 + 0,1 + c_{\text{якл}} = 0,06293 \approx 0,063 \text{ m} \end{aligned}$$

bu erda $K = 0,47$ – truba teshikli panjarasining konstrukstiyasiga bog'liq koeffitsient; $\sigma_{i.d.}$ – material uchun ruxsat etilgan egilish kuchlanishi, MN/m² (mo'rt bo'lmagan materiallar uchun $\sigma_{i.d.} = \sigma_{e.d.}$); φ_0 – truba mahkamlanadigan panjaraning teshiklar qilinishi natijasida mustahkamligini ifodalovchi koeffitsient. Ushbu, φ_0 koeffitsientni quyidagi formuladan topish mumkin:

$$\varphi_0 = \frac{D_{\kappa p} - \sum d_0}{D_{\kappa p}} = \frac{0,6125 - 0,41}{0,6125} = 0,265$$

bu erda $\sum d_0$ - truba mahkamlanadigan panjara diametridagi teshiklar diametrlarining yig'indisi quyidagicha topladi:

$$\sum d_0 = z \cdot d = 18 \cdot 0,025 = 0,45$$

Teshikli panjara diametridagi trubalar soni z qurilmadagi trubalarning umumiy soni n orqali ushbu formuladan topiladi:

$$z = 2\sqrt{\frac{n-1}{3}} + 0,25 = 2\sqrt{\frac{240-1}{3}} + 0,25 = 17,88 \approx 18 \text{ dona}$$

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 molekulyar 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 – konstantrostiyalar farqi.

5.1. Umumiy tushunchalar

Sanoat texnologiyalarida ishlatiladigan absorbstiya, ekstrakstiya («suyuqlik - suyuqlik», «qattiq texnologiya jism – suyuqlik sistemalarida»), adsorbstiya, quritish, kristallanishlarda massa almashinish jarayonlari sodir bo'ladi.

Absorbstiya – bu gaz aralashmasidan biror moddaning suyuq fazaga selektiv ravishda yutilish jarayonidir. Ya'ni, bu jaraenda modda bug'yoki gaz fazadan suyuq fazaga o'tishini kuzatishimiz mumkin.

Moddani o'ziga yutuvchi faza absorbent deb nomlanadi. Absorbstiya 2 xil bo'ladi: fizik absorbstiya – bu gazning suyuqlikda oddiy yutilishi; xemosorbstiya - bu gazning suyuqlikda yutilishi davrida kimyoviy birikma hosil bo'lishi.

Absorbstiyaga teskari jarayon, ya'ni yutilgan komponentlarni suyuqlikdan ajratib olish **desorbstiya** deb ataladi.

Suyuqliklarni haydash va rektifikastiya – bu suyuq va bug'fazalar orasida komponentlar o'zaro modda 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 (rektifikastiya). Shu alohida ta'kidlash kerakli, bunda modda suyuq fazadan bug'ga va bug'dan suyuq fazaga o'tadi

Ekstrakstiya – 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 komponent-

ning suyuq fazaga o'tishi **eritish jarayoni** deb nomlanadi.

Adsorbtsiya – bu gaz, bugʻyoki suyuq aralashmalardan bir yoki bir necha komponentlarni qattiq, gʻovakli jism bilan yutilish jarayonidir. Juda katta faol yuzaga ega qattiq jismlar **adsorbentlar** deb ataladi. Ushbu jarayon sanoatning turli sohalarida ishlatiladi va gaz, bugʻyoki suyuq aralashmalardan u yoki bu komponentni ajratib olish uchun xizmat qiladi.

Adsorbtsiya jarayonida suyuq yoki gaz fazadagi komponent qattiq jismga o'tadi.

Quritish – bu qattiq materiallar tarkibidagi namlikni bugʻshaklida ajratib olish jarayonidir. Ushbu jarayonda faol komponent - namlik qattiq fazadan gaz yoki bugʻfazasiga 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 ishtiroq 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:

$$\Phi + C = K + 2 \quad (5.1)$$

bu erda F – fazalar soni; S – erkinlik darajasi soni; K – sistemadagi komponentlar soni.

Bu qoidaga binoan, muvozanat holatlarini hisoblashda parametrlarining (bosim, temperatura, konstantriya) 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 konstantriyasi bo'lsin. Boshlang'ich davrda L fazada tarqaluvchi modda yo'q bo'lsa, unda fazadagi konstantriyasi $x = 0$.

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.

Lekin, ya'ni biror fursatdan so'ng, M moddaning to'g'ri va teskari o'tish tezliklari tenglashadi. Sistemaning bunday holati **fazaviymuvozanat** deyiladi. Muvozanat paytida x ning ma'lum qiymatiga boshqa fazadagi tegishli aniq bir qiymatli muvozanat konstantriyasi y_M to'g'ri keladi. Xuddi shunday, u ning ma'lum qiymatiga tegishli muvozanat konstantriyasi x_M mos keladi. Muvozanat paytida fazalardagi tarqaluvchi komponent konstantriyalari o'rtasida umumiy bog'liqlik quyidagi ko'rinishga ega:

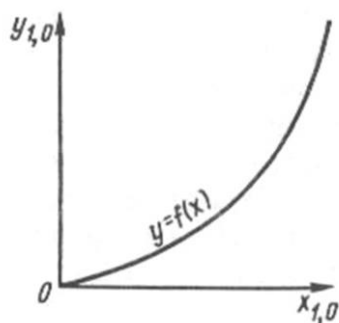
$$\bar{y}_p = f_1(\bar{x}); \quad \bar{x}_p = f_2(\bar{y}) \quad (5.2)$$

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 konstantriyasining suyuq fazadagi konstantriya bilan bog'liqligi berilgan.

Muvozanat paytidagi fazalar konstantriyalarining nisbati **tarqalish koeffitsienti** m deb nomlanadi.

$$m = \frac{y_M}{\bar{x}}$$

Odatda, ko'pchilik eritmalar uchun muvozanat chizig'i to'g'ri chiziqli shaklida bo'ladi. Tarqalish koeffitsientining qiymati



5.1-rasm. $P=\text{const}$ va $t=\text{const}$ bo'lgandagi muvozanat diagramma.

ko'pincha o'zgaras 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 konstantriastiyalar orasidagi farq massa almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuchi deb hisoblanadi.

Massa almashinish jarayonlarining tezlik koeffistienti va harakatga keltiruvchi kuchini hisolash 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 erda R – diffuzion qarshilik) deb belgilasak, ushbu tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\frac{dM}{F \cdot d\tau} = k\Delta \quad (5.3)$$

bu erda, M – bir fazadan ikkinchisiga o'tgan modda miqdora, kg; F – massa o'tkazish yuzasi, m^2 ; τ – jarayon davomligi, s; k – massa o'tkazish koeffistienti. Ko'rinib turibdiki, $dM/Fd\tau$ ajratib turuvchi yuza birligiga to'g'ri keladigan massa o'tkazish tezligidir.

Demak, agar $k=\text{const}$ bo'lsa, butun massa almashinish yuzasi uchun

$$M = k \cdot \Delta \cdot F \tau$$

$$M = K_y F \Delta y_{yp} \cdot \tau \quad \text{yoki} \quad M = K_x F \Delta x_{yp} \cdot \tau \quad (5.4)$$

(5.4) massa o'tkazish jarayonining asosiy tenglamasi deb nomlanadi. Ushbu tenglamaga binoan, bir faza yadrosidan ikkinchi faza yadrosiga uzatilgan massa miqdori fazalar yadrosidagi konstantriastiyalar farqi, ajratib turuvchi yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir.

Massa o'tkazish koeffistienti, 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 koeffistienti quyidagi o'lchov birligiga ega bo'ladi: m/s; kg/(h.k.k. b $\cdot m^2 \cdot s$); kmol/(h.k.k.b. $\cdot m^2 \cdot s$).

5.3. Massa almashinish jarayonining moddiy balansi

Bir xil yo'nalishli fazalar o'rtasida massa almashinish ro'y berayotgan elementar massa almashinish quril-

masining sxemasini ko'rib chiqamiz. Fazalarni ajratib turuvchi yuzaga nisbatan massaviy tezliklarini G va L (kg/soat), tarqaluvchi modda konstantriastiyalarini esa – u va x (kg/kg) deb belgilab olamiz (5.2-rasm).

Agar, $u > u_M$ deb faraz qilsak, tarqaluvchi modda G fazadan L fazaga o'tadi, ammo G fazada konstantriastiya $\bar{u}_b$ dan $\bar{u}_{ox}$ gacha kamayadi.

L fazada esa, mos ravishda konstantriastiya $\bar{x}_b$ dan $\bar{x}_{ox}$ gacha ortadi.

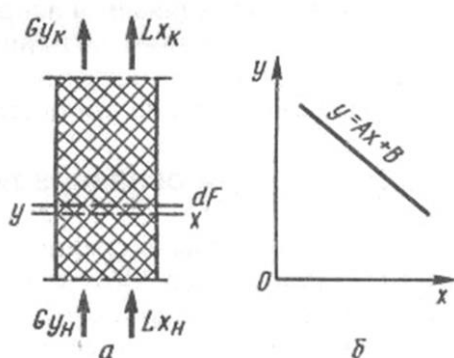
Qurilmaning cheksiz kichik dF yuzasi uchun:

$$dM = G(-d\bar{y}) = Ld\bar{x} \quad (5.5)$$

5.2-rasm. Jarayonning moddiy balansini tuzishga va ishchi chiziq tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

a- qurilmadagi oqimlar sxemasi;

b- y-x koordinatlarida ishchi chizig'ni tasvirlash.



Qurilmada tarqaluvchi modda konstantriastiyalari o'zgarishi chegarasida (5.5) tenglikni integrallab, quyidagi tenglamani olamiz:

$$M = -G(\bar{y}_{ox} - \bar{y}_\delta) = G(\bar{y}_\delta - \bar{y}_{ox}) = L(\bar{x}_{ox} - \bar{x}_\delta) \quad (5.6)$$

Bundan, fazalarning massaviy sarfini aniqlaymiz:

$$G = L \frac{\bar{x}_{ox} - \bar{x}_\delta}{\bar{y}_\delta - \bar{y}_{ox}}; \quad L = G \frac{\bar{y}_\delta - \bar{y}_{ox}}{\bar{x}_\delta - \bar{x}_{ox}} \quad (5.7)$$

(5.5) tenglamani boshlang'ich va oxirgi konstantrostiyalar oralig'ida integrallab quyidagi ifodani olamiz:

$$G(\bar{y}_\delta - \bar{y}) = L(\bar{x} - \bar{x}_\delta)$$

Bundan, joriy konstantrostiyalar orasidagi bog'liqlik topiladi:

$$\bar{y} = \frac{L}{G} \bar{x} + \frac{G\bar{y}_\delta - L\bar{x}_{ox}}{G} \quad (5.8)$$

yoki

$$\bar{y} = Ax + B \quad (5.9)$$

bu erda $A = L/G$; $B = (G\bar{y}_\delta - L\bar{x}_{ox})/G$.

(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) konstantrostiyalar 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 molekulyar diffuziya (Fikning 1- qonuni), massa berish (Nyuton – Shukarev qonuni) va massa o'tkazuvchanlik qonunlari hisoblanadi.

Molekulyar diffuziya qonuni (Fikning 1- qonuni). Molekula, atom, ion va kolloid zarrachalarning xotik harakati natijasida moddalarning tarqalishi **molekulyar diffuziya** deb nomlanadi. Ma'lumki, moddalar har doim konstantrostiyasi yuqori zonadan konstantrostiyasi past zonaga qarab tarqaladi. Ushbu qonunga binon, diffuziya yo'li bilan tarqalgan modda miqdori konstantrostiyalar gradienti, diffuzion oqim yo'nalishidagi perpendikulyar ajratuvchi yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir:

$$dM = -D \frac{\partial c}{\partial t} F d\tau \quad \text{yoki} \quad M = -D \frac{dc}{dn} F \tau \quad (5.10)$$

bu erda dM - diffuziya yo'li bilan tarqalgan massa miqdori; D – diffuziya koeffitsienti; $\partial c / \partial t$ konstantrostiyalar gradienti; F – diffuziya o'tayotgan yuza; $d\tau$ - diffuziya davomiyligi.

Diffuziya koeffitsienti, 1 m² ajratuvchi yuza orqali 1 soat davomida 1 m oralikdagi konstantrostiyalar farqi 1 ga teng bo'lganda tarqalgan modda miqdorini xarakterlaydi.

Tenglamadagi «minus» ishora molekulyar diffuziya jarayonida konstantrostiya kamayib borishini ifodalaydi.

(5.10) tenglamadagi diffuziya koeffitsientining o'lchov birligini aniqlaymiz:

$$[D] = \left[\frac{M \cdot dn}{dc \cdot F \cdot \tau} \right] = \left[\frac{kg \cdot m \cdot m^3}{kg \cdot m^2 \cdot s} \right] = \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Molekulyar diffuziya koeffitsienti o'zgaras fizik kattalik bo'lib, moddaning diffuziya yo'li bilan qo'zg'almas muhitga kirish qobiliyatini xarakterlaydi. Ushbu koeffitsient 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 koeffitsientining qiymatlari adabiyotlardan yoki quyidagi formulalardan aniqlanadi:

gazlar uchun:

$$D = 4,35 \cdot 10^{-2} \frac{T^2}{P(V_A^{0,33} + V_B^{0,33})} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (5.11)$$

suyuqliklar uchun:

$$D = \frac{8,2 \cdot 10^{-12} T}{\mu \cdot V_a^{0,33}} \left[1 + \left(\frac{3V_B}{V_A} \right)^{0,66} \right] \quad (5.12)$$

bu erda T – temperatura, K; R - bosim, Pa; V_A va V_V - jarayonda ishtirok etuvchi moddalar mol hajmi, sm^3/mol ; M_A va M_V - moddalarning molekulyar massasi, kg/kmol ; μ - dinamik qovushoqlik, $\text{mPa}\cdot\text{s}$; A va V – moddaning tabiatiga bog'liq tajribaviy konstanta;

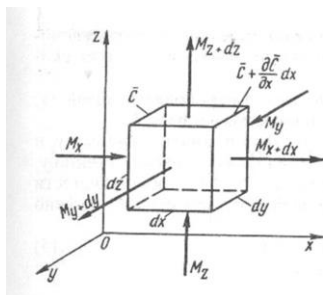
Diffuziya koeffitsienti sistemaning agregat holatiga bog'liq. Gazlar uchun D ning qiymatlari $(0,1 \dots 1,0) \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Suyuqliklarning diffuziya koeffitsienti to'rt darajaga past bo'ladi. Ma'lumki, temperatura ortishi bilan D ortadi, bosim oshishi bilan esa – kamayadi.

Gazlardagi diffuziya koeffitsienti konstantasiyaga umuman bog'liq emas. Lekin, suyuqliklarda esa, diffuziya koeffitsienti konstantasiyaga bog'liqligi bor. Paxta yog'ining normal sharoitda ekstrakstion benzindagi diffuziya koeffitsienti $D = 0,71 \cdot 10^{-5} \text{ sm}^2/\text{s}$; gazning boshqa bir gazdagi tarqalish diffuziya koeffitsienti $\sim 0,1 \dots 1,0 \text{ sm}^2/\text{s}$; gazning suyuqliklardagi diffuziya koeffitsienti $10^4 \dots 10^5$ marotaba kam bo'lib, taxminan $1 \text{ sm}^2/\text{sutkaga}$ teng.

Xulosa qilib aytganda, molekulyar 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:



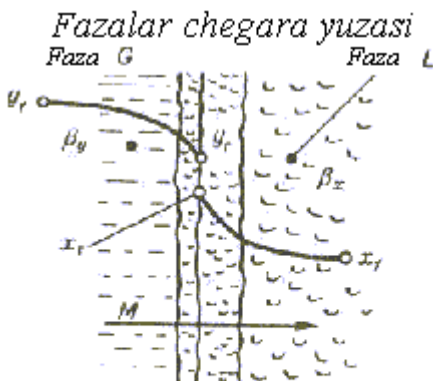
$$\text{yoki } M = -\varepsilon_D \frac{\partial C}{\partial n} F \cdot \tau \quad (5.13)$$

bu erda ε_D - turbulent diffuziya koeffitsienti (5.13) tenglamadan ε_D - aniqlaymiz

$$[\varepsilon_D] = \left[\frac{M \cdot dn}{dc \cdot F \cdot \tau} \right] = \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^2}{\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}} \right] = \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

5.3-rasm. Molekulyar diffuziyaning differentsial tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

Turbulent diffuziya koeffitsienti vaqt birligi ichida konstantasiya gradienti birga teng bo'lganda ajratuvchi yuza birligidan turbulent diffuziya yo'li bilan tarqalgan moddaning miqdorini bildiradi. Uning qiymati jarayonning gidrodinamik rejimiga bog'liq. Bu erda gidrodinamik rejim deganda oqimning tezligi va turbulentlik masshtabi nazarda tutiladi.



5.4-rasm. Massa berish tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

Molekulyar diffuziyaning differentsial tenglamasi (Fikning 2-qonuni). Biror fazaning oqimida ajratib

olgan 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).

Elementar kichik parallelepiped orqali molekulyar diffuziya yo'li bilan modda tarqalayotgan bo'lsin.

Agar, $dydz$, $dx dy$ va $dx dz$ 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 konstantasiyasi $(\partial C / \partial t) \partial \tau$ miqdorga ortadi. Fikning 1 - qonuniga binoan:

$$M_x = -D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} dydzd\tau$$

$$M_{x+dx} = -D \frac{\partial \left(\bar{C} + \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} dx \right)}{\partial x} dydzd\tau = -D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} dydzd\tau - D \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} dx dydzd\tau$$

demak:

$$M_x - M_{x+dx} = D \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} dx dydzd\tau$$

Xuddi shunday qilib parallelepipedning qolgan tomonlari uchun ham o'tgan moddalar farqini aniqlab olamiz.

Parallelepiped bilan yutilgan umumiy modda miqdori:

$$dM = D \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) dx dy dz d\tau \quad (5.14)$$

Ushbu modda miqdorini parallelepiped hajmini tarqalayotgan modda konstantrasiyasiyaning $\partial\tau$ vaqt ichida o'zgarishiga ko'paytirib ham topsa bo'ladi:

$$dM = dx dy dz \frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} d\tau \quad (5.15)$$

(5.14) va (5.15) larni tenglashtirib, ushbu ko'rinishdagi molekulyar diffuziyaning differensial tenglamasini olamiz:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) \quad (5.16)$$

(5.16) tenglama Fikning 2-qonuni deb yuritiladi. $\partial S / \partial \tau$ - fazoda olingan istalgan nuqtadagi konstantrasiyasiyaning 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 yunalishda massa berish yo'li bilan o'tgan modda miqdori fazalar konstantrasiyasi farqiga, fazaga va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir.

Diffuzion chegaraviy qatlam nazariyasiga asosan tarqaluvchi modda suyuqlik oqimi yadrosidan fazalarni ajratuvchi yuzaga suyuqlik konvektiv oqimlari va molekulyar diffuziya yo'li bilan o'tadi. Ko'rilyotgan 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 konstantrasiyasi o'zgarmas bo'ladi. Chegaraviy diffuzion qatlamga yaqinlashgan sari moddaning turbulent tarqalishi kamayadi va molekulyar diffuziya hisobiga massa berish ulushi ortadi.

Bunda, tarqaluvchi moddaning konstantrasiya gradienti hosil bo'ladi va fazalarni ajratuvchi chegaraga yaqinlashib borgan sari, uning qiymati oshib boradi. Shunday qilib, chegaraviy diffuzion qatlam atrofi—bu konstantrasiya gradienti hosil bo'lishi va o'sishi sohasidir. Undan tashqari, bu er — umumiy massa o'tkazishga molekulyar diffuziya tezligining ta'siri ko'payadigan sohadir.

G fazadan **L** fazaga tarqalayotgan modda miqdori **M** bo'lsin. Agar, fazalar yadrosidagi moddalar konstantrasiyasini y_f va x_f deb, fazalarni ajratib turuvchi yuzadagi konstantrasiyalarni esa — u_{ch} va x_{ch} deb belgilasak, unda massa berish jarayonida o'tgan modda miqdorlarini quyidagi tenglamalardan aniqlash mumkin:

$$dM = \beta_y (y_f - y_u) \cdot F d\tau; \quad dM = \beta_x (x_u - x_f) \cdot F d\tau \quad (5.17)$$

bu erda β_u, β_x – konvektiv va molekulyar oqimlar bilan modda uzatilishini xarakterlovchi massa berish koeffitsientlari; $u_{ch}=u_M$ va $x_{ch}=x_M$ deb qabul qilinadi.

Massa berish koeffitsientining 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 koeffitsienti 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 koeffitsienti fazalarning zichligi, qovushoqligi va boshqa xossalari, 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 koeffitsienti fizik ma'nosi bo'yicha massa o'tkazish koeffitsientidan farq qilsa ham, lekin bir xil o'lchov birligiga ega.

5.5. Qattiq jism ishtirokida massa almashinish

Bunday jarayonlarga adsorbstiya, desorbstiya, kristallanish, quritish, eritish, qattiq materiallardan ekstrakstiyalash 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 potentsiali gradienti 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, kapillyarlar shakli va kovakchalarni o'lchami bo'yicha taqsimlanishi bilan ajralib turadi.

Kapillyar-kovakli tuzilishiga qarab qattiq jismlar quyidagi sinflarga ajratiladi: yirik kovakli ($d_{kp} \leq 100 \mu m$); o'rtacha kovakli va ultramikrovakli 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 molekulyar 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:

$$D_{CH} = D \frac{1}{1 + a \left(\frac{r}{R} \right)} \quad (5.18)$$

bu erda D_{cu} – «siqiq diffuziya» koeffitsienti; D – molekulyar diffuziya koeffitsienti; r – tarqalayotgan molekula o'lchami; R – qattiq jism kovakchalarining 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 konstantastiyalar gradienti, oqim yo'nalishiga perpendikulyar yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni:

$$dM = -k \frac{\partial C}{\partial x} dF d\tau \quad (5.19)$$

bu erda k – massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti, m^2/s . Ushbu koeffitsient temperatura va qattiq jismda tarqalgan modda

konstentrastiyalariga 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 desorbstiyasi misolida massa almashinish jarayonini ko'rib chiqamiz (5.6-rasm).

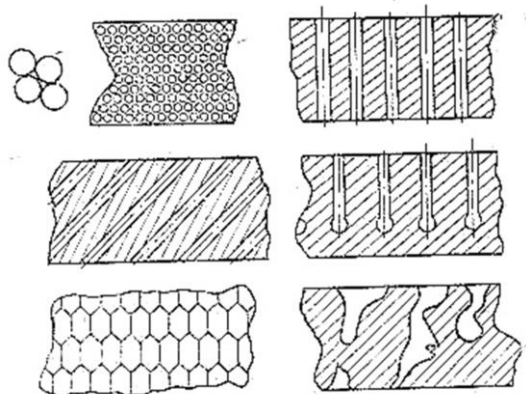
Boshlang'ich vaqt $\tau = \tau_0$ da plastinaning butun hajmida konstentrastiya o'zgarmas bo'ladi ($s=const$). Qattiq jism bilan massa almashinuvchi suyuqlik fazada tarqaluvchi moddaning konstentrastiyasi o'zgarmas va u_f ga tengdir. Dastlabki davrda, tarqalayotgan modda qattiq jismdan suyuqlikka qarab harakat qiladi.

Qattiq materialdan erkin bog'langan namlikning chiqib ketishi bilan jismning temperaturasi o'zgarmaydi va u ho'l termometr temperaturasi 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.

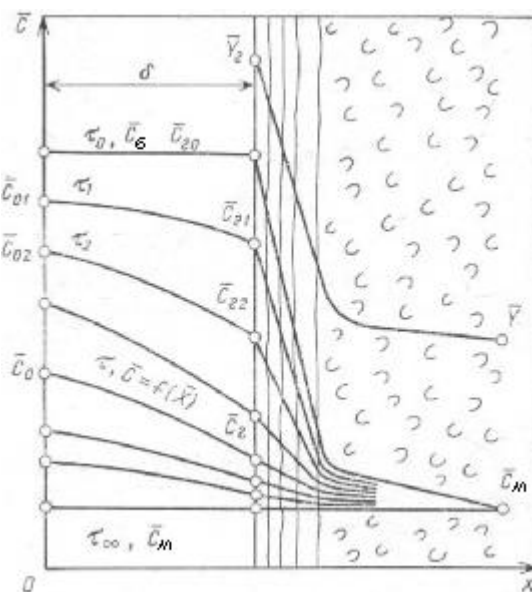
Vaqt o'tishi bilan jismning konstentrastiyasi uzluksiz ravishda pasayib boradi.

Qandaydir kritik konstentrastiya x_{kr} dan boshlab, bug'lanish zonasi jismning ichiga suriladi. Bu hol, albatta o'tkazish potentsiali gradientining kamayishiga va jarayonni sekinlashuviga olib keladi. Namlikni bug'lanishi na faqat 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.



5.5-rasm. G'ovaksimon jismlar tuzilishi modifikatsiyalari.



5.6-rasm. Kapillyar – g'ovakli jismda massa almashinish modeli.

Qattiqfazaishtiroketadiganmassaalmashinishjarayonlariningengmurakkabi - buquritishjarayonidir, chunki-bundamassavaissiqlikalmashinishjarayonlaribirvaqtdaro'yberadi.

Mas-

sao'tkazuvchanlikdifferenstialtenglamasiissiqliko'tkazuvchanlikdifferenstialtenglamasigao'xshashkeltiribchi qariladivauushbuko'rinishgaega:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} = k \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) \quad (5.20)$$

Ko'rinib turibdiki, massao'tkazuvchanlikkoefistientio'zgaruvchankattalikvaujarayonturi (adsorbstiya, quritish, eritish), qattiqjismtuzilishivamolekulyardiffuziyakoeffistientigata'siretuvchiparametrlargabog'liq.

(5.20) differentsial 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 taqqoslash mumkin. Tenglamalarning o'ng tomonlarini bir-biriga tenglab, ushbu ko'rinishga ega ifodani olamiz:

$$-k \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} = \beta \Delta \bar{y} \quad (5.21)$$

O'xshashlik nazariyasini qo'llab quyidagi o'lchamsiz kompleksni keltirib chiqaramiz:

$$Bi_{\mathcal{A}} = \frac{\beta \cdot l}{k} \quad (5.22)$$

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 Fure diffuzion kriteriysini keltirib chiqarish mumkin:

$$Fo_{\mathcal{A}} = \frac{k\tau}{l^2} \quad (5.23)$$

Fure 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_i va β koeffitsientlar hisobga olinadi.

Qattiq jismdan kerakli komponentni ajratib olish murakkab jarayondir. Bunda, qattiq jism ichida va atrof – muhitda konstantrostiyalar miqdori vaqt davomida yoki qurilmaning uzunligi bo'yicha o'zgartirib turadi (5.6-rasm).

Qattiq jismda konstantrostiyalar miqdorining o'zgarish tezligiga quyidagi omillar sababchi bo'ladi:

1. Qattiq jism va tarqalayotgan moddaning diffuziya xossalari, bu xossalari massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti D_i orqali ifodalanadi;
2. «Qattiq jism – suyuqlik» chegarasida massa o'tkazish sharoitlari;
3. Qattiq jism va suyuq fazalar miqdorlarining nisbati

$$\frac{C_{\sigma} - C_0}{C'_{\sigma} - C'_0} = n$$

bilan ifodalanadi.

bu erda S_b va C_0 – jarayonning boshlanish va oxirida suyuq fazadagi ekstraksiyalangan moddaning konstantrostiyalar; S_b va S_0 – jarayonning boshlanishi va oxirida qattiq fazadagi ekstraksiyalanishi zarur bo'lgan moddaning konstantrostiyasi; $n=W/N$ – o'zaro to'qnashish holatida bo'lgan suyuqlik miqdori W ning qattiq jism miqdori N ni 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:

$$\frac{C - C_M}{C_\delta - C_M} = f\left(Bi_\delta, Fo_\delta, \frac{x}{\delta}\right) \quad (5.24)$$

bu erda S – vaqt momenti τ da qattiq fazaning berilgan nuqtasidagi konstantasiyasi; S_b - qattiq fazadagi boshlang'ich konstantasiyasi; S_m - qattiq fazadagi ekstrakstiyalanayotgan moddaning muvozanat konstantasiyasi; δ - qattiq jismning aniqlovchi o'lchami; x - qattiq jismning berilgan nuqtasidagi koordinatasi. (5.24) tenglamaning echimi faqat eng oddiy shakldagi jismlar (shar, stilindr 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 koeffistienti ushbu formuladan hisoblanadi:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{1}{(\psi + n) \cdot km} \quad (5.25)$$

bu erda ψ - shakl koeffistienti, plastina uchun 1 ga, stilindr uchun 2 va shar uchun 3 teng; n – daraja ko'rsatkichi.

Tashqi diffuziya sohasida jarayon o'tkazilganda va $Bi_\delta \leq 3,0$ bo'lganda (5.25) formula ushbu ko'rinishni oladi:

$$K \approx \beta_y \quad (5.26)$$

Ushbu holatda jarayon tezligi faqat ichki diffuziya omillari bilan aniqlanadi.

Issiqlik va massa almashinish jarayonlari birgalikda sodir bo'lganda, issiqlik va massa berish koeffistientlarini topish uchun ushbu kriterial tenglama tavsiya etiladi:

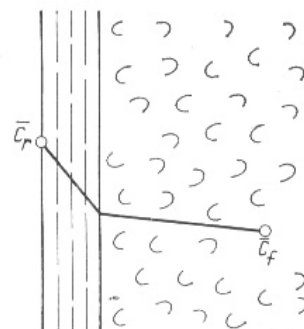
$$Nu = A \cdot Re^n \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,175} \quad (5.26)$$

bu erda Gu – adiabatik sharoitda suyuqlikning hajmiy bug'lanishini xarakterlovchi Guxman kriteriysi. Konstanta A va daraja ko'rsatkichi n qurilmadagi gidrodinamik rejimga bog'liq bo'ladi.

5.6. Konvektiv diffuziyaning differensial tenglamasi

Diffuzion chegaraviy qatlam nazariyasiga binoan, suyuqlik oqimi fazalarni ajratuvchi chegarasida tarqalayotgan modda molekulyar diffuziya va bevosita suyuqlik oqimi bilan uzatiladi (5.7-rasm). Ko'rilyotgan 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 konstantasiyasi o'zgarmasdir. Chegaraviy diffuzion qatlamga yaqinlashgan sari, turbulentlik darajasi pasayadi. Shuning uchun, fazalarni ajratuvchi chegarada moddaning tarqalishi asosan molekulyar diffuziya hisobiga o'tadi. Undan tash-qari, bu zonaga yaqinlashish bilan konstantasiyalar gradienti ham ortadi.

Shunday qilib, chegaraviy diffuzion qatlam – bu konstantasiya



5.7-rasm. Konvektiv diffuziya qonunini keltirib chiqarishga oid.

gradienti hosil bo'ladigan va ortadigan, hamda molekulyar diffuziya qiymatining minimumdan maksimumgacha ko'payadigan zonasidir.

Konvektiv diffuziya jarayonida fazaning elementar hajmida tarqaluvchi moddaning konstantrasiyasi ham molekulyar diffuziya, ham mexanik harakat ta'siri ostida o'zgaradi. Bunday hollarda, tarqalayotgan moddaning konstantrasiyasi x, u, z koordinatalar va vaqt τ ning funktsiyasi bo'lib qolmay, balki element siljish tezligi w_x, w_u va w_z larga ham bog'liq bo'ladi.

Molekulyar 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 konstantrasiyasining o'zgarishi substansional hosila orqali ifodalanadi:

$$\frac{D\bar{C}}{D\tau} = \frac{\partial\bar{C}}{\partial\tau} + \frac{\partial\bar{C}}{\partial x} w_x + \frac{\partial\bar{C}}{\partial y} w_y + \frac{\partial\bar{C}}{\partial z} w_z \quad (5.27)$$

Ushbu tenglamadagi qo'shiluvchilar yig'indisi $\frac{\partial\bar{C}}{\partial x} w_x + \frac{\partial\bar{C}}{\partial y} w_y + \frac{\partial\bar{C}}{\partial z} w_z$ - konstantrasiyaning konvektiv o'zgarishini, $\frac{\partial\bar{C}}{\partial\tau}$ esa - lokal o'zgarishini xarakterlaydi.

Molekulyar diffuziya hisobiga tarqalayotgan moddaning ortishi (5.16) tenglama yordamida aniqlanadi. Agar, (5.16) va (5.27) tenglamalarni tenglashtirsak va konstantrasiyaning lokal o'zgarishi $\frac{\partial\bar{C}}{\partial\tau}$ ni (5.27) dagi

to'liq $\frac{D\bar{C}}{D\tau}$ ga almashtirsak, konvektiv diffuziyaning differensial tenglamasini keltirib chiqarish mumkin:

$$\frac{\partial\bar{C}}{\partial\tau} + \frac{\partial\bar{C}}{\partial x} w_x + \frac{\partial\bar{C}}{\partial y} w_y + \frac{\partial\bar{C}}{\partial z} w_z = D \left(\frac{\partial^2\bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\bar{C}}{\partial z^2} \right) \quad (5.28)$$

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, molekulyar diffuziya (5.10) hisobiga amalga oshadi.

(5.10) va (5.17) tenglamalarni bir-biriga tenglashtirib, ushbu formulani olamiz:

$$\beta \Delta \bar{C} = -D \frac{\partial\bar{C}}{\partial x} \quad (5.29)$$

bu erda $\Delta \bar{S} = \bar{S}_{ch} - \bar{S}_f$ - 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 $\beta \Delta \bar{C} \partial x / D \partial \bar{C}$ kompleksni olamiz va ba'zi qisqartirishlardan so'ng Nusselt diffuzion kriteriysini hosil qilamiz:

$$Nu_{\Delta} = \frac{\beta \cdot l}{D} \quad (5.30)$$

bu erda β - massa berish koeffitsienti; l - aniqlovchi o'lcham; D - molekulyar diffuziya koeffitsienti.

(5.28) tenglamaning ikkala qismini $D \partial \bar{C} / \partial x$ ga bo'lib, ushbu o'lchamsiz kompleksni olish mumkin:

$$\frac{\partial\bar{C}}{\partial\tau} \cdot \frac{\partial x^2}{\partial^2\bar{C}} \quad \text{va} \quad \frac{\partial\bar{C}}{\partial x} \cdot \frac{w_x \cdot \partial x^2}{D \cdot \partial^2\bar{C}}$$

Bulardan esa Fure diffuzion kriteriysi:

$$Fo_{\Delta} = \frac{D\tau}{l^2} \quad (5.31)$$

va Pekle diffuzion kriteriysi:

$$Pe_{\Delta} = \frac{wl}{D} \quad (5.32)$$

keltirib chiqariladi. Bu erda τ - jarayon davomiyligi; w – oqim tezligi.

Fure 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 molekulyar diffuziyalar orqali o'tayotgan massalarning nisbatini ifodalaydi.

Pekle kriteriysini o'zgartirib, ushbu ko'rinishda yozamiz:

$$Pe = \frac{wl}{D} = \frac{wl}{\nu} \cdot \frac{\nu}{D} = Re \cdot Pr_D$$

bu erda

$$Pr_D = \frac{\nu}{D} \quad (5.33)$$

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:

$$f(Re, Gr, Nu_D, Pr_D, Fo_D) = 0 \quad (5.34)$$

Nusseltning diffuzion kriteriysi asosiy aniqlanuvchi kriteriy bo'lgani uchun (5.34) tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$Nu_D = f(Re, Gr, Pr_D, Fo_D) \quad (5.35)$$

(5.39)dagi Grasgof kriteriysi erkin konvekstiya paytida konvektiv diffuziyani xarakterlaydi.

Agar, jarayon turg'un bo'lsa, umumiy kriterial tenglamadan, Fure kriteriysi tushirilib qoldiriladi:

$$Nu_D = f(Re, Gr, Pr_D) \quad (5.36)$$

Suyuqlik oqimining majburiy harakati paytida erkin konvekstiyani hisobga olmasa bo'ladi. Bu holda (5.36) tenglamadan Grasgof kriteriysi tushirib qoladi:

$$Nu_D = f(Re, Pr_D) \quad (5.37)$$

Kriterial tenglamalardan aniqlangan Nusselt kriteriysi qiymatlaridan massa berish koeffitsientini hisoblab topish mumkin:

$$\beta = \frac{Nu \cdot D}{l} \quad (5.38)$$

Massa berish koeffitsientlarining qiymatlari yordamida massa o'tkazish koeffitsienti K ni topish mumkin.

Gidrodinamik o'xshashlik asosida massa berish koeffitsienti 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:

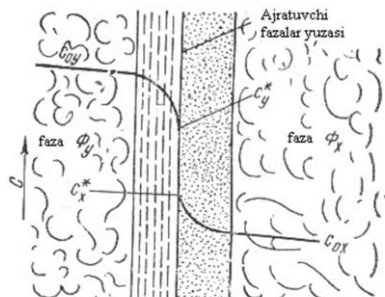
$$St_D = \frac{\beta}{w} = \frac{Nu_D}{Pe_D} = \frac{\beta \cdot l / D}{w \cdot l / D} \quad (5.39)$$

Stanton kriteriysi turbulent oqimlarda massa berish jarayonida konstanttrastiya 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. Massao'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 F_u (ammiakning havo bilan aralashmasi) dan suyuq faza F_x (suv) ga o'tmoqda. Shunday qilib, F_u faza yadrosidan fazalarni ajratib turuvchi yuzaga va ajratib turuvchi yuzadan F_x fazaning yadrosiga massa berish jarayoni sodir bo'ladi.

Ajraturvchi yuza qarshiligini (agar uning miqdori sezilarli bo'lsa) engib, 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 pulsatiya yordamida amalga oshadi va tarqaluvchi moddaning konstentratsiyasi, 5.8-rasmda ko'rsatilgandek, o'zgarib boradi. Chegaraviy qatlamda esa, turbulentlik asta - sekin so'nib, konstentratsiya esa o'zgarib boradi. Ajratuvchi yuzaga yaqinlashgan sari, konstentratsiya o'zgarishi keskinlashadi. Bevosita ajratuvchi yuzada moddaning tarqalish tezligi juda kichik bo'ladi va u molekulyar diffuziyaning tezligiga bog'liq bo'lib qoladi. Fazalararo ishqalanish va sirtiy taranglik kuchlari ta'sirida ajratuvchi yuza yaqinida konstentratsiya 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 molekulyar, 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, pulsatiya, tebranish, elektromagnit maydon yoki ultratovush kabi usullarni qo'llash mumkin.

5.6.2. Massa o'tkazish va berish koeffitsientlari o'rtasidagi bog'liqlik

Ishchi va muvozanat konstentratsiyalari 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:

$$dM = \beta \cdot y(y - y_q) \cdot dF$$

Fazalarni ajratuvchi chegaraviy yuzadan L faza yadrosiga berilgan modda miqdori esa quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$dM = \beta_x(x_q - x) \cdot dF$$

Muvozanat konstentratsiya $u_m = m \cdot x$ ekanligi ma'lum bo'lgani uchun, L fazadagi konstentratsiya x ni G fazadagi muvozanat konstentratsiyasi orqali ifodalasa mumkin:

$$dM = \beta_x(x_q - x) \cdot dF = \frac{\beta_x}{m}(y_{mq} - y_m) \cdot dF$$

bundan:

$$y_{m'} - y_m = \frac{dM \cdot m}{\beta_x dF}; \quad y - y_q = \frac{dM}{\beta_y dF}$$

Yuqorida keltirilgan oxirgi ikki tenglamalarning chap va o'ng tomonlarining yig'indisi, hamda $u_{ch} = u_{mch}$ ga tengligini hisobga olsak ushbu ko'rinishdagi tenglamani olamiz:

$$y - y_m = \frac{dM}{dF \left(\frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y} \right)} \quad (5.40)$$

Massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan:

$$y - y_m = \frac{dM}{dF} \cdot \frac{1}{K} \quad (5.41)$$

(5.40) va (5.41) tenglamalarni o'ng tomonlarini tenglashtirib, ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\frac{1}{K_y} = \frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y} \quad \text{yoki} \quad K_y = \frac{1}{\frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y}} \quad (5.42)$$

Xuddi shu usulda L faza uchun massa o'tkazish koeffitsientini aniqlash formulasini keltirib chiqaramiz:

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{m\beta_y} + \frac{1}{\beta_x} \quad \text{yoki} \quad K_x = \frac{1}{\frac{1}{m\beta_y} + \frac{1}{\beta_x}} \quad (5.43)$$

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_u va K_x koeffitsientlar $K_u = K_x/m$ tenglik bilan bog'liq bo'ladi. Massa o'tkazish koeffitsientlarning qiymati massa berish koeffitsientlarining son qiymatlari va muvozanat chizig'ining qiyalik burchagi bilan belgilanadi. Massa berish koeffitsientlari kriterial tenglamalardan aniqlanadi.

5.6.3. Massa almashinish jarayonlarining modellari

Massa berish mexanizmi bir vaqtda ham molekulyar, 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 tahminlar 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 molekulyar diffuziya usulida tarqaladi. Massa berishga qarshilikning hammasi yupqa qatlamda mujassamlashgan. Shuning uchun, konstantrostiyalar gradienti faqat chegaraviy yupqa qatlam ichida hosil bo'ladi, chunki fazalar yadrosida konstantrostiyalar o'zgarmas va son jihatidan o'rtacha konstantrostiyalarga tengdir.

Undan tashqari, yuqorida qabul qilingan tahminlar bu modelga ham taalluqli. Shunday qilib, ushbu model sxemasining 5.8-rasmdagidan farqi shundaki, chegaraviy qatlamda turbulent pulsastiyalar yordamida aralashtirish to'g'ri chiziq qonuniga bo'ysinadi.

Yupqa qatlamli modelga binoan, vaqt birligida tarqalgan massa miqdori quyidagi tenglamadan aniqlanishi mumkin:

$$M = \frac{D}{\delta_{\text{ef}}} (C_0 - C_u) \quad (5.44)$$

bu erda s_0 va s_{ch} – faza yadrosi va ularni ajratib turuvchi chegaradagi konstantriyalar; δ – chegaraviy yupqa qatlamning effektiv qalinligi; D/δ_{ef} – massa berish tezligini xarakterlovchi koeffitsient.

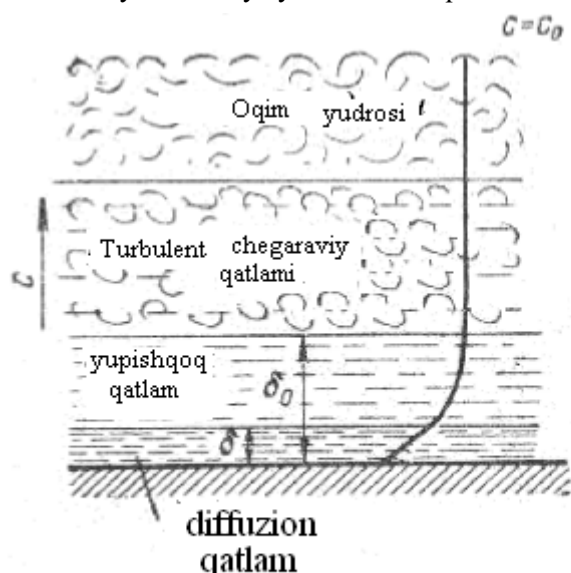
Ushbu modelda ajratuvchi yuza atrofidagi gidrodinamik sharoitlar ancha soddalashtirilgan. Molekulyar va turbulent diffuziyalarni ajratib turuvchi chegarasida turbulent pulsastiyalarning so'nishi, sistemaning fizik va geometrik kattaliklari hisobga olinmagan. Shu sabablarga ko'ra, ko'pchilik tajribalarda 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).

«Qattiq jism – suyuqlik» sistemasidagi nisbatan yuqori aniqlikka ega model rus olimlari Landau va Levich tomonidan yaratilgan. Ko'rinib turibdiki, faza yadrosida konstantriya o'zgaras ($S_0 = \text{const}$) bo'lib, turbulent chegaraviy qatlamda asta-sekin kamayib boshlaydi. Qovushoq qatlamga yaqinlashgan sari turbulent pulsastiyalar so'nib boradi. Lekin, qovushoq qatlamda konstantriya sezilarli darajada kamayadi. Bu qatlamda ishqalanish kuchlari katta bo'lgani uchun suyuqlik harakati laminar rejimga to'g'ri keladi. Natijada molekulyar diffuziya usulida tarqalayotgan moddaning ulushi ortib boradi.

Lekin, qovushoq qatlam δ_0 ning katta qismiga turbulent diffuziya usulida tarqaladigan massaning miqdori molekulyar diffuziyanikiga qaraganda nisbatan ko'p. Faqat diffuzion qatlam δ dagina massaning o'tishi butunlay molekulyar diffuziya yo'li bilan tarqaladi.



5.9-rasm. Fazadagi oqimning tuzili va kontsentratsiyaning o'zgarishi

Diffuzion qatlamda konstantriya 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:

$$\delta = \left(\frac{D}{\nu} \right)^{1/m} \cdot \delta_0 \quad (5.45)$$

δ ning qiymatini (5.44) ga qo'yib, ushbu tenglamani olamiz:

$$M = \frac{D^{m-1}}{\nu^{1/m} \delta_0} (C_0 - C_u) \quad (5.46)$$

bu erda 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 pulsastion 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 pulsastiyalarning 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 tahmin qilingan. Lekin, to'qnashish yuzasining yangilanish modeli (Dankverts va Kishinevskiyalar 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 molekulyar va turbulent diffuziya birgalikda boradi deb qabul qilinadi. Shuning uchun, bu modelda o'tayotgan massa miqdori quyidagi formuladan hisoblanadi:

$$M = 2 \sqrt{\frac{D + \varepsilon_D}{\pi \tau}} (C_0 - C_u) \quad (5.47)$$

bu erda τ - fazalarning to'qnashish vaqti; S_0-S_{ch} – fazalar chegarasi va yadrosidagi konstantriyalar farqi.

Dankvers modeliga binoan, fazalarni ajratuvchi yuzalar chegarasida moddaning tarqalishi faqat molekulyar 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:

$$M = \sqrt{Ds}(C_0 - C_y)$$

bu erda 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 konstantriyasi o'zgaradi. Bu hol esa o'z navbatida harakatga keltiruvchi kuchning o'zgarishiga olib ketadi. 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 $u^* = f(x)$;

2) fazalar sarflari o'zgarmas ($G = \text{sonst}$, $L = \text{const}$), ya'ni ishchi chiziq to'g'ri chiziq funkstiyasidir.

3) massa o'tkazish koeffistienti qurilmaning balandligi bo'yicha o'zgarmaydi, ya'ni $K_x = \text{const}$, $K_u = \text{const}$.

Massa o'tkazish jarayonida dF elementar yuzadan F_u fazaning konstantriyasi du ga kamayadi va tarqalgan massad M ning miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$dM = -Gdy$$

Tenglama o'ng tomonidagi manfiy ishora F_u fazadagi konstantriyaning kamayishini ifodalaydi.

Xuddi shu miqdordagi dM massa F_x fazaga o'tib, uning konstantriyasini dx qiymatga oshiradi. Unda, dF elementar yuza uchun massa o'tkazish tenglamasini ushbu ko'rinishda yozish mumkin:

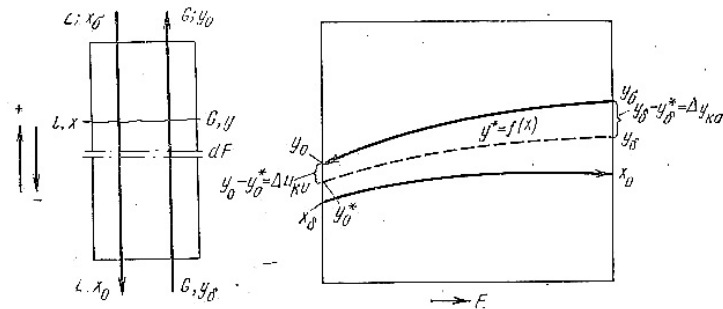
$$dM = -Gdy = K_y(y - y^*) \cdot dF \quad (5.48)$$

O'zgaruvchi u va F qiymatlarni ajratib (5.48) tenglamani integrallasak (konstantriya bo'yicha u_b dan u_{ox} gacha, to'qnashish yuzasi bo'yicha O dan F gacha), quyida tenglamani olamiz:

$$\int_{y_0}^{y_{ox}} \frac{dy}{y - y^*} = \int_0^F \frac{K_y}{G} dF$$

bundan

$$\int_{y_0}^{y_{ox}} \frac{dy}{y - y^*} = \frac{K_y}{G} F \quad (5.49)$$



5.10-rasm. Massa o'tkazish jarayonining o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchini aniqlashga oid.

Moddiy balans tenglamasiga binoan, butun qurilma uchun bir fazadan ikkinchisiga o'tgan modda massasi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$M = G \cdot (y_{\delta} - y_{ox})$$

Oxirgi ifodadagi G ning qiymatini (5.49) tenglamaga qo'ysak, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\int_{y_{ox}}^{y_{\delta}} \frac{dy}{y - y^*} = \frac{K_y \cdot F}{M} (y_{\delta} - y_{ox})$$

bundan:

$$M = K_y F \frac{y_{\delta} - y_{ox}}{\int_{y_{ox}}^{y_{\delta}} \frac{dy}{y - y^*}} \quad (5.50)$$

(5.50) tenglamani (5.4) bilan taqqoslab, (5.50) tenglamaning oxirgi ko'paytmasi massa almashinish jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchini ifoda etishini bilamiz:

$$\Delta y_{yp} = \frac{y_{\delta} - y_{ox}}{\int_{y_{ox}}^{y_{\delta}} \frac{dy}{y - y^*}} \quad (5.50a)$$

Xuddi shunday F_x fazadagi Δx_{or} ni quyidagich ifodalash mumkin:

$$\Delta x_{yp} = \frac{x_{ox} - x_{\delta}}{\int_{x_{\delta}}^{x_{ox}} \frac{dx}{x^* - x}} \quad (5.50b)$$

Muvozanat chizig'i to'g'ri chiziq ($u^* = mx$) funktsiyasi bo'lgan holda o'rtacha logarifmik yoki arifmetik kattalik sifatida aniqlash mumkin.

Shunday qilib, F_u fazasi uchun massa o'tkazishning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi ushbu tenglama bilan ifodalanadi:

$$\Delta y_{yp} = \frac{(y_{\delta} - y_{\delta}^*) - (y_{ox} - y_{ox}^*)}{\ln \frac{y_{\delta} - y_{\delta}^*}{y_{ox} - y_{ox}^*}} = \frac{\Delta y_{ka} - \Delta y_{ku}}{2,3 \lg \frac{\Delta y_{ka}}{\Delta y_{ku}}} \quad (5.51)$$

F_x fazasi uchun massa o'tkazishning o'rtacha logarifmik harakatga keltiruvchi kuchini esa quyidagi tenglama orqali topish mumkin:

$$\Delta x_{yp} = \frac{(x_{ox}^* - x_{ox}) - (x_{\delta}^* - x_{\delta})}{\ln \frac{x_{ox}^* - x_{ox}}{x_{\delta}^* - x_{\delta}}} = \frac{\Delta x_{ka} - \Delta x_{ku}}{2,3 \lg \frac{\Delta x_{ka}}{\Delta x_{ku}}} \quad (5.52)$$

Agar $\Delta y_{ka} / \Delta y_{ku} < 2$ bo'lgan sharoitda, texnik hisoblashlar uchun etarli aniqlikda, massa o'tkazishning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi, o'rtacha arifmetik qiymat sifatida topiladi:

$$\Delta y_{yp} = \frac{\Delta y_{\kappa a} + \Delta y_{\kappa u}}{2} \quad (5.53)$$

Xuddi shunday, F_x fazasi uchun:

$$\Delta x_{yp} = \frac{\Delta x_{\kappa a} + \Delta x_{\kappa u}}{2} \quad (5.54)$$

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:

$$n_{oy} = \int_{y_{ox}}^{y_{\delta}} \frac{dy}{y - y^*} \quad (5.55)$$

$$n_{ox} = \int_{x_{\delta}}^{x_{ox}} \frac{dx}{x^* - x}$$

(5.55) tenglamadan ko'rinib turibdiki, o'tkazish birligining soni va o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch o'rtasida ma'lum bog'liqlik bor:

$$n_{oy} = \frac{y_{\delta} - y_{ox}}{\Delta y_{yp}} \quad (5.56)$$

$$n_{ox} = \frac{x_{ox} - x_{\delta}}{\Delta x_{yp}}$$

Shunday qilib, o'tkazish birligi soni jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchiga teskari proporsionaldir.

O'tkazish birligining balandligi. Faraz qilaylik, F_u fazadan F_x ga massa o'tkazish jarayoni sodir bo'lib, o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch F_u faza konstantasiyasida ifodalanganda, tarqalgan modda M miqdori ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$M = G \cdot (y_{\delta} - y_{ox})$$

bu erda $G - F_u$ faza sarfi.

Undan tashqari, tarqalgan modda miqdori hajmiy massa o'tkazish koeffitsienti orqali ifodalangan massa berish tenglamasi yordamida topilishi mumkin:

$$M = K_y \cdot aSH\Delta y_{yp}$$

Agar, oxirgi ikki tenglamalarning o'ng tomonlarini tenglashtirsak, ushbu ifodani olamiz:

$$K_y \cdot aSH\Delta y_{yp} = G \cdot (y_{\delta} - y_{ox})$$

bundan, qurilmaning ishchi balandligi:

$$H = \frac{G}{K_y \cdot aS} \cdot \frac{y_{\delta} - y_{ox}}{\Delta y_{yp}} \quad (5.57)$$

(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:

$$h_{oy} = \frac{HG}{K_y aSH} = \frac{G}{K_y \cdot aS} \quad (5.58)$$

yoki

$$h_{ox} = \frac{L}{K_x \cdot aS}$$

$K_u \cdot a = K_v$ va $G/S = W$ – suyuqlik massaviy tezligi, bo'lgani uchun:

$$h_{oy} = \frac{W}{K_v}$$

yoki

$$h_{ox} = \frac{L}{K_v} \quad (5.59)$$

Shunday qilib, o'tkazish birligining balandligi bitta o'tkazish birligiga ekvivalent bo'lgan qurilma balandligini ifodalaydi. O'tkazish birligining balandligi massa o'tkazishning hajmiy koeffitsientiga 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 koeffitsienti. Massa almashinish jarayoni nuqtai 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 koeffitsienti** deb nomlanadi.

$$\varphi = \frac{y_{\bar{o}} - y_{ox}}{y_{\bar{o}} - y_{ox}^*} \quad (5.60)$$

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 parametрни hisoblash uchun suyuqlik sarfi tenglamasidan foydalaniladi:

$$V = F w_0$$

bu erda V – fazaning hajmiy sarfi; w_0 – fazaning sohta tezligi; F - qurilma ko'ndalang kesimining yuzasi.

Dumaloq ko'ndalang kesim yuzasi $F = \pi D^2 / 4$. Demak:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} w_0$$

Bundan qurilmaning diametri:

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi w_0}} \quad (5.62)$$

Odatda, V kattalik berilgan bo'ladi va qurilma diametrini aniqlash uchun tegishli fazaning sohta tezligini tanlash zarur. Faza tezligini tanlash quyidagi talablar asosida amalga oshiriladi: suyuqlik oqimining tezligi or-

tishi bilan massa o'tkazish koeffitsienti 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 sohta tezlikni hisoblab chiqish va uning maksimal qiymatini topish bilan chegaralanadi.

Qurilma balandligi. Massa almashinish qurilmasining balandligi jarayonda ishtirok etuvchi fazalar to'qnashuvchi 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 koeffitsienti orqali ifodalangan massa o'tkazish formulasi asosida hisoblash mumkin:

$$M = K_y \cdot a \cdot V \cdot \Delta y_{yp}$$

yoki

$$M = K_x \cdot a \cdot V \cdot \Delta x_{yp} \quad (5.63)$$

Qurilmaning ishchi hajmi:

$$V = FH$$

bu erda F - qurilma ko'ndalang kesimiyuzasi, m; N - qurilmaning ishchi balandligi, m.

Agar, V ning qiymatini (5.63) ga qo'yib, tenglamani N nisbatane chsak, qurilmaning balandligini topamiz:

$$H = \frac{M}{K_y \cdot a \cdot F \cdot \Delta y_{yp}} \quad (5.64)$$

yoki

$$H = \frac{M}{K_x \cdot a \cdot F \cdot \Delta x_{yp}}$$

(5.64) tenglamadan N ni aniqlashda solishtirma yuza a va massa o'tkazishning sirti koeffitsienti (K_u yoki K_x) ni yoki ushbu kattaliklarning ko'paytmasi bo'lmish hajmiy massa o'tkazish koeffitsienti 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

$$H = h_{ox} \cdot n_{ox} \quad (5.65)$$

Pog'onali to'qnashishli qurilmaning balandligi. Bunday turdagi qurilmalarning, shu jumladan, tarelkali kolonnalarning balandligi hajmiy massa o'tkazish koeffitsienti orqali ifodalanadi.

Lekin, K_v ni aniqlash uchun kerakli harakatchan faza hajmini topish juda qiyin. Shunday uchun, N ni hisoblashda qurilma pog'onalarining soni analitik yoki grafik usulda topilishi mumkin.

Qurilmaning ishchi balandligi pog'onalarining haqiqiy soni orqali aniqlanishi mumkin:

$$H = n_x \cdot h$$

bu erda h - pog'onalar orasidagi masofa.

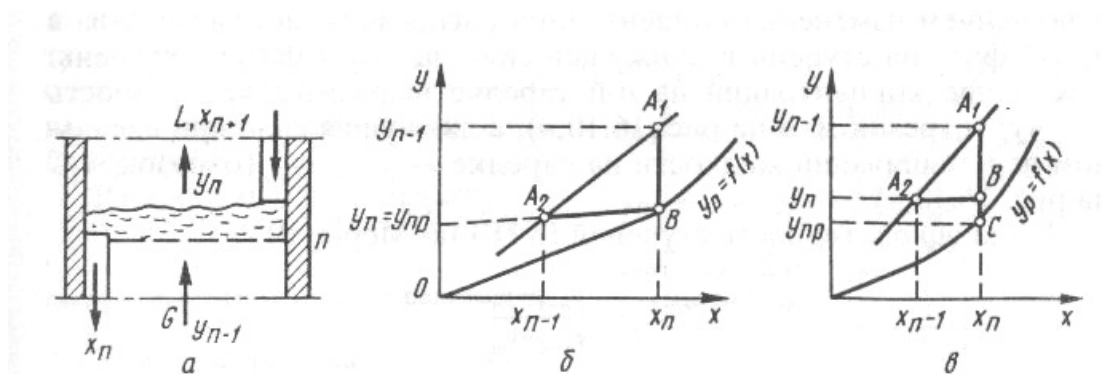
Pog'onalar sonini aniqlashning analitik usuli. n - pog'onali, qarama-qarshi yo'nalishli, kolonnali qurilmada massa almashinish jarayonini ko'rib chiqamiz (5.11-rasm).

Kolonna tarelkasiga u_{n-1} konstantastiyali G gaz faza va x_{n+1} konstantastiyali L suyuq faza uzatilmoqda.

Massa almashinish natijasida gaz fazaning konstantrasiyasi u_n miqdorgacha pasaysa, suyuq fazaniki x_n miqdorgacha ko'payadi. Tarelkadan chiqib ketayotgan gaz u_n va undan oqib tushayotgan suyuqlik x_n tarkiblarining muvozanat holati konstantrasiyalari muvozanat chizig'ida V nuqta bilan ifodalanadi (5.11-rasm).

Nazariy pog'onada gaz fazasi konstantrasiyasining o'zgarishiga A_1V vertikal chiziq to'g'ri keladi. Suyuq fazada konstantrasiyaning x_n dan x_{n+1} gacha o'zgarishi VA_2 gorizontal chiziq bilan ifodalanadi.

Shunday qilib, A_1VA_2 "pog'ona" nazariy tarelkada ikkala fazalar konstantrasiyalarining o'zgarishini tasvirlaydi. Kolonnali qurilmalarda nazariy tarelkalar sonini aniqlash uchun boshlang'ich va oxirgi konstantrasiyalar oraligida ketma-ket shunday "pog'onalar" quriladi.



5.11-rasm. Tarelkada massa almashinish (a) va jarayonni u-x koordinatlarida tasvirlash

b - tarelkada muvozanat bo'lgan sharoitda - ideal jarayon;
c - tarelkada muvozanat bo'lmagan sharoitda - haqiqiy jarayon.

Haqiqiy tarelkalar sonini topish uchun qurilmaning f.i.k. dan foydalaniladi. Ushbu koeffitsient haqiqiy tarelkadagi massa almashinish jarayonining real kinetikasini hisobga oladi va tarelkalar tuzilishiga qarab $\eta = 0,5 \dots 0,8$ oralikda bo'ladi.

F.i.k. hisobga olingan hollarda, tarelkalarining haqiqiy soni ushbu nisbatdan topiladi:

$$n_x = \frac{\eta_H}{\eta} \quad (5.66)$$

bu erda η_n - tarelkalarining haqiqiy 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 tahminiy usul bo'lib hisoblanadi. Bundan, faqat massa o'tkazish koeffitsienti 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 konstantrasiyalar o'zgarishini shu fazaning pog'onaga kirishdagi harakatga keltiruvchi kuchi nisbati bilan belgilanadi.

n - pog'ona tarelkasidagi konstantrasiyaning o'zgarishi $u_{n-1}-u_n$ farq bilan (5.11v-rasm, A_1V kesma), suyuqlikni ideal aralashtirish paytidagi harakatga keltiruvchi kuch esa, $u_{n-1}-u_{nr}$ (5.11v-rasm, A_1S kesma) farq bilan ifodalanadi.

Unda, pog'onalarining samaradorligi yoki f.i.k. quyidagicha hisoblanadi:

$$E_y = \frac{y_{n-1} - y_n}{y_{n-1} - y_{np}} \quad (5.67)$$

Qurilma balandligi esa ushbu nisbatdan topiladi:

$$H = \frac{n_x \cdot h_x}{\eta} \quad (5.68)$$

$y > y_p$ bo'lganda, n - tarelka uchun harakatga keltiruvchi kuch quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta y_{yp} = \frac{(y_{n-1} - y_{np}) - (y_n - y_{np})}{\ln \frac{y_{n-1} - y_{np}}{y_n - y_{np}}} = \frac{y_{n-1} - y_n}{\ln \frac{y_{n-1} - y_{np}}{y_n - y_{np}}} \quad (5.69)$$

O'tkazish birligining soni esa,

$$m_y = \ln \frac{y_{n-1} - y_{np}}{y_n - y_{np}} \quad (5.70)$$

bundan

$$e^{m_y} = \frac{y_{n-1} - y_{np}}{y_n - y_{np}} \quad (5.71)$$

5.11-rasmdan ko'rinib turibdiki, $e^{m_y} = AC/BC$ yoki $VS = AS e^{-m_y}$. Agar, e^{-m_y} ma'lum bo'lsa, VS kesma bo'yicha V , V_1 , V_2 nuqtalar o'rnini topish mumkin. V , V_1 , $V_2, \dots$ nuqtalarni birlashtirib, har bir tarelkadan chiqishdagi fazaning konstantrasiyasini ifodalovchi jarayonning kinetik chizig'ini olamiz.

Massa o'tkazish koeffitsienti β_u va β_x larni hisobga olgan holda aniqlanadi:

$$K_q = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}}$$

Shunday qilib, K_u va e^{-m_y} qiymatlarni, hamda SV kesmani hisoblab, kinetik chiziq o'rnini topish mumkin.

Pog'onalar samadorligi va o'tkazish birligining soni orasida esa quyidagi bog'liqlik bor:

$$e^{-m_y} = 1 - \frac{y_{n-1} - y_n}{y_n - y_{np}} = 1 - E_y \quad (5.72)$$

bundan

$$E_y = 1 - e^{-m_y} \quad (5.73)$$

Absorbsiya

5.8. Umumiy tushunchalar

Gaz yoki bug'li aralashmalardagi komponentlarining suyuqlikda yutilish jarayoni **absorbsiya** deb nomlanadi. Yutilayotgan gaz yoki bug' **absorbktiv**, yutuvchi suyuqlik esa – **absorbent** deb ataladi. Ushbu jarayon selektiv va qaytar jarayon bo'lib, gaz yoki bug' aralashmalarini ajratish uchun xizmat qiladi.

Absorbktiv va absorbentlarning o'zaro ta'siriga qarab, absorbsiya jarayoni 2 ga bo'linadi: fizik absorbsiya; kimyoviy absorbsiya (yoki xemosorbtsiya).

Fizik absorbsiya jarayonida gazning suyuqlik bilan yutilishi paytida kimyoviy reaktsiya yuz bermaydi, ya'ni kimyoviy birikma hosil bo'lmaydi. Agar, suyuqlik bilan yutilayotgan gaz kimyoviy reaktsiyaga kirishsa, bunday jarayon xemosorbtsiya deyiladi.

Ma'lumki, fizik absorbsiya ko'pincha qaytar jarayon bo'lgani sababli, ya'ni suyuqlikka yutilgan gazni ajratib olish imkoni bo'ladi. Bunday jarayon **desorbtsiya** deb nomlanadi. Absorbsiya va desorbtsiya 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.

Absorbsiyajarayoniishtiroketadigantexnologiyalarniqurilmalarbilanjihozlashmurakkabemas. 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 ($F=2$) 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 konstantasiya. Demak, «gaz-suyuqlik» sistemada ikkala fazaning bosimi r , temperaturasi t va konstantasiyasi x o'zgarishi mumkin. Absorbsiya jarayoni o'zgarmas bosim va temperaturada borayotgan bo'lsa, bir fazada tarqalayotgan moddaning har bir konstantasiyasiga, ikkinchi fazadagi aniq konstantasiya to'g'ri keladi.

O'zgarmas temperatura ($t=const$) va umumiy bosimli sharoitda muvozanat konstantasiyalari orasidagi bog'liqlik Genri qonuni bilan ifodalanadi. Bu qonunga binoan, biror temperaturada eritmadagi eritma ustidagi gaz parstial bosimi, uning mol ulushiga to'g'ri proporsionaldir:

$$p = Ex$$

yoki

$$x = \frac{p}{E} \quad (5.74)$$

bu erda r – muvozanat holatidagi eritmada x konstantasiyalari yutilayotgan gazning parstial bosimi; E – Genri konstantasi.

Genri konstantasi absorbtiv va absorbentlarning xossalriga, hamda temperaturaga bog'liq bo'ladi:

$$\ln E = -\frac{q}{RT} + C \quad (5.75)$$

bu erda q – gazning erish issiqligi, kJ/kmol; $R= 8,325$ kJ/(kmol·K) – universal gaz doimiysi; T – absolyut temperatura, K; S – 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 parstial bosimi, ushbu komponent mol ulushining umumiy bosimga ko'paytirilganiga tengdir, ya'ni:

$$p = P \cdot y \quad \text{va} \quad y = \frac{p}{P} \quad (5.76)$$

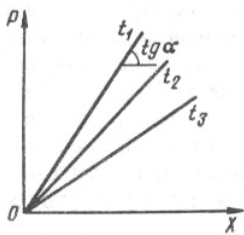
bu erda R – gaz aralashmasining umumiy bosimi; u – tarqalayotgan moddaning aralashmadagi konstantasiyasi; mol ulushi.

(5.74) va (5.76) tenglamalarini taqqoslab, quyidagi ifodaga kelimiz:

$$y = \frac{p}{P} = \frac{E}{P} x$$

yoki fazaviy muvozanat konstantasi E/R ni **morqali** belgilab, quyidagi ifodani olamiz:

$$y = m \cdot x \quad (5.77)$$



5.12-rasm. Turli temperaturalarda ($t_1 > t_2 > t_3$) gazning suyuqlikda erishi.

(5.77) tenglama, gaz aralashmasi va suyuqlikda tarqalayotgan moddalarning muvozanat konstantriyalari 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 konstantriyasi-

larda ham hisoblanishi mumkin. Bunda, gaz fazasining

suyuqlikdagi kichik konstantriyalari xda 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 konstantriyalari eritmalar va katta bosimlarda gaz bilan suyuqlikning o'zaro muvozanat holati Genri qonuniga bo'ysunmaydi, chunki fazalarning muvozanat konstantriyalari orasidagi bog'liqlik egri chiziq bilan ifodalanadi.

5.10. Adsorbsiyaning moddiy balansi va kinetik qonuniyatlari

Absorbsiya jarayonining moddiy balansi quyidagi ko'rinishdagi umumiy tenglama bilan ifodalanadi:

$$-G \cdot (dy) = L \cdot dx$$

Oxirgi tenglamani boshlang'ich va oxirgi konstantriyalar oraligida integrallagandan so'ng, undan absorbent sarfini (kmol/s) aniqlash mumkin:

$$L = G \frac{y_{\delta} - y_{ox}}{x_{ox} - x_{\delta}} \quad (5.78)$$

1 kmol inert gaz uchun zarur solishtirma sarf:

$$l = \frac{L}{G} \cdot \frac{y_{\delta} - y_{ox}}{x_{ox} - x_{\delta}} \quad (5.79)$$

Absorberda konstantriyaning o'zgarishi (5.8) va (5.9) tenglamalar bilan ifodalanadi. Jarayon ishchi chizig'i $u-x$ koordinatalarida to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'ladi. Uning qiyalik burchagi tangensi $I = L/G$.

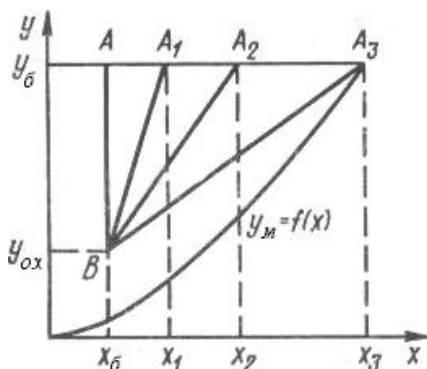
Absorbent solishtirma sarfining absorber o'lchamiga va suyuq fazada tarqalayotgan moddaning oxirgi konstantriyasiga ta'sirini ko'rib chiqamiz.

Absorberda fazalar yo'nalishi parallel deb qabul qilamiz.

$u-x$ koordinatalarning V nuqtasida aniqlanayotgan suyuq fazada tarqalayotgan moddaning boshlang'ich konstantriyasi x_b , gaz fazasidagi boshlang'ich konstantriya u_b , oxirgisi esa u_{ox} (5.13-rasm).

Fazalar muvozanat holati $u_m = f(x)$ 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 konstantriyalarni xarakterlaydi. Jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi ishchi va muvozanat chiziqlar o'rtasidagi farq bilan aniqlanadi, ya'ni $\Delta u = u - u_m$. Butun qurilma uchun o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch o'rtacha logarifmik qiymat sifatida topiladi. Agar, ishchi chiziq VA vertikal chiziq bilan ustma-ust tushsa, harakatga keltiruvchi

Birinchi holatda absorberning o'lchamlari minimal bo'ladi, chunki absorbentning cheksiz sarfida $\Delta u_{0,r}$ maksimal qiymatga egadir. Ikkinchi holatda esa, absorbentning sarfi minimal bo'lganda absorbentning o'lchamlari cheksiz bo'ladi.



$$\Delta p_{yp} = \frac{\Delta p_{ka} - \Delta p_{ku}}{2,3 \lg \frac{\Delta p_{ka}}{\Delta p_{ku}}}$$

$\Delta p_{ka} = p_{\sigma} - p_{ox}^*$ va $\Delta p_{ku} = p_{ox} - p_{\sigma}^*$ absorberning oxirgi qismlaridagi harakatga keltiruvchi kuchlar r_b va r_{ox} - absorberga kirayotgan va chiqayotgan gazning parstial bosimi; r_{ox}^* , r_b^* - absorberga kirayotgan va chiqayotgan gazning muvozanat parstial 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 molekulyar 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 $1/\beta_u$, gazdagi esa - m/β_x bo'lsa, massa o'tkazish koeffitsienti ushbu tenglamadan hisoblanadi.

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_x} + \frac{m}{\beta_y}} \quad (5.82)$$

$$K_x = \frac{1}{\frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y m}} \quad (5.83)$$

bu erda β_u - gaz oqimidan fazalarni ajratuvchi yuzasiga massa berish koeffitsienti; β_x - fazalarni ajratuvchi yuzadan suyuqlik oqimiga massa berish koeffitsienti; m - proporsionallik koeffitsienti, absorbtiv va absorbent xossalriga va temperaturaga bog'liq.

Koeffitsient m ning kattaligi massa o'tkazish tenglamasining tuzilishiga ham tasir etadi. Yaxshi eriydigan gazlar uchun m ning qiymati juda kichik bo'ladi. Shuning uchun, suyuqlik fazasidagi diffuzion qarshilik ham kichikdir. $1/\beta_u \gg m/\beta_x$ bo'lgani uchun, (5.82) tenglama quyidagicha yoziladi:

$$K_y \cong \beta_y$$

Qiyin eriydigan gazlar uchun proporsionallik koeffitsient m ning qiymati juda kattadir. Shuning uchun gaz fazasidagi diffuzion qarshilikni inobatga olmasa ham bo'ladi. $1/\beta_x \gg 1/\beta_u m$ bo'lgani uchun, (5.83) tenglama quyidagicha yoziladi:

$$K_x \cong \beta_x$$

yani, hamma diffuzion qarshilik suyuq fazada mujassamlangan bo'ladi.

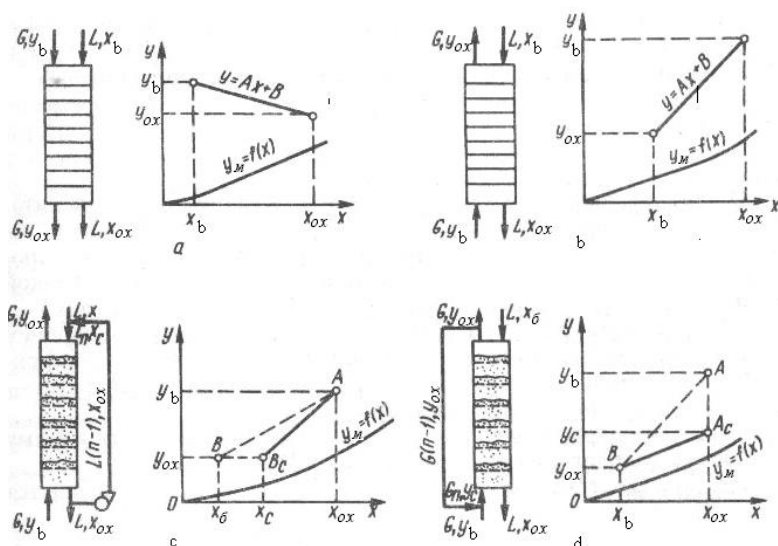
5.11. Absorbsiya jarayonini olib borish usullari

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 restirkulyastiyali;
- ko'p pog'onali, qisman restirkulyastiyali.

Parallel yo'nalishli sxema 5.15a-rasmda ko'rsatilgan. Bunda gaz oqim va absorbent parallel (bir xil) yo'nalishda harakatlanadi. Absorberga kirishda, absorbtiv konstantriyasi katta bo'lgan gaz faza, absorbtiv konstantriyasi past bo'lgan suyuq faza bilan kontaktda bo'lsa, qurilmadan chiqishda esa - absorbtiv konstantriyasi kichik bo'lgan gaz faza, absorbtiv konstantriyasi yuqori bo'lgan suyuqlik bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi.

Qarama - qarshi yo'nalishli sxema 5.15b-rasmda ko'rsatilgan.



5.15-rasm. Absorbtsiya shemalari va jarayonni y-x koordinatlarda tasvirlash.

a - parallel; b - qarama - qarshi; c - absorbent recirkulyatsiyasi bilan; d - absorbktiv recirkulyatsiyasibilan.

o'tkaziladi. Absorbent qurilmaning tepa qismiga uzatiladi va gaz fazasiga qarama - qarshi yo'nalishda harakatlanadi. Yangi, x_b konstantstratsiyali absorbent absorberdan chiqayotgan suyuq faza bilan aralashishi natijasida uning konstantstratsiyasi x_s ga ko'tariladi. Jarayonning ishchi chizig'i $u-x$ diagrammada AV to'g'ri chizig'i bilan ifodalanadi. Absorbktivning aralashtirishdan keyingi konstantstratsiyasi x_s ni moddiy balans tenglamasidan topish mumkin.

Agar, absorberga kirishdagi absorbent miqdorini yangi absorbent miqdoriga nisbatini n deb belgilasak, moddiy balans tenglamasi ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$G \cdot (y_o - y_{ox}) = L \cdot (x_{ox} - x_o) = Ln \cdot (x_{ox} + x_c)$$

bundan

$$x_c = \frac{x_{ox}(n-1) + x_o}{n} \quad (5.84)$$

Gaz fazasi restirkulyatsiyali absorbsiya sxemasi 5.15g-rasmda keltirilgan. Ishchi chiziq holati A_s (u_s, x_{ox}) va V (u_{ox}, x_b) nuqtalari bilan belgilanadi. u_s konstantstratsiya moddiy balans tenglamasidan aniqlanadi:

$$y_c = \frac{y_{ox}(n-1) + y_o}{n} \quad (5.85)$$

Absorbent harakat tezligi ortishi bilan massa berish koeffitsienti ko'payadi, bu esa o'z navbatida massa o'tkazish koeffitsientini o'sishiga olib keladi.

Qiyin eruvchan gazlarni absorbsiya qilish paytida absorbentni restirkulyatsiya qilish usulini qo'llash maqsadga muvofiqdir. Agar, absorbktiv restirkulyatsiya qilsa, gaz fazasida massa berish koeffitsienti ko'payadi. Bu usul yaxshi eriydigan gazlarni absorbsiya qilishda yuqori samara beradi.

5.12. Absorberlar konstruktsiyalari

Absorbsiya jarayoni fazalarni ajratuvchi yuzada sodir bo'ladi. Shuning uchun ham, suyuqlik va gaz fazalar to'qnashuv qiladigan 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.

Suyuqlik va gaz qarama - qarshi yo'nalishda harakatlantiriladi. 5.16 - rasmda gorizonta trubalardan tarkib topgan yuvilib turuvchi absorber tasvirlangan. Trubalar ichida - suyuqlik oqib o'tsa, unga teskari yo'nalishda gaz harakat qiladi. Trubalar ichidagi suyuqlik sathi ostonaga 3 yordamida bir xil balandlikda ushlab turiladi.

Ushbu sxemali absorberlarning bir uchida absorbtiv konstantstratsiyasi yuqori gaz va suyuqlik to'qnashuvda bo'lsa, ikkinchi uchida esa - konstantstratsiyalari past fazalar o'zaro ta'sirda bo'ladi.

Qarama - qarshi yo'nalishli sxemalarda parallel yo'nalishlarga qaraganda, absorbentdagi absorbtiv eng yuqori qiymatiga erishsa bo'ladi. Lekin, jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi parallel yo'nalishlarga nisbatan kam bo'lgani uchun, qarama - qarshi yo'nalishli absorberning gabarit o'lchamlari katta bo'ladi.

Absorbent yoki gaz fazaning restirkulyatsiyali sxemalari (5.15v,g - rasm). Bunday sxemalarda absorbent ko'p marta o'tadi.

5.15v - rasmda absorbent bo'yicha restirkulyatsiyali sxema keltirilgan. Bunda, gaz faza absorberning tepa qismidan kirib, past qismidan chiqib ketsa, suyuq faza esa qurilmadan bir necha marta qaytarib

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. Bu absorberlarda fazalarning to'qnashish yuzasi oqib tushayotgan suyuqlik yupqa qatlamli yordamida hosil bo'ladi. 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. Qolgan turdagi absorberlarda ham fazalarning harakat yo'nalishi trubali absorberlarnikiga o'xshashdir.

Trubali absorberlar tuzilishiga qarab qobiq - trubali issiqlik alma-shinish qurilmasiga o'xshaydi. Qurilmada hosil bo'lgan issiqlikni ajratib olish uchun trubalar ichiga suv yoki boshqa sovuqlik eltich yuboriladi.

5.17-rasmda tekis, parallel nasadkali absorber tasvirlangan.

Nasadkalar vertikal listlar ko'rinishida bo'lib, absorber hajmini bir nechta sekstiyaga 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 qatlamli pastga oqib tushishi yoki gaz oqimiga ilakishib, tepaga ham harakatlanishi mumkin. Agar, fazalar oqimining tezligi ko'paysa, massa berish koeffitsientining 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:

$$w_{yp} = \sqrt[3]{\frac{gL_c^2}{3\rho\mu}} \quad (5.86)$$

bu erda L_c - to'kish moslamasi perimetrining suyuqlik bilan solishtirma purkalish zichligi, kg/(m·s); ρ - suyuqlik zichligi, kg/m³; μ - suyuqlik dinamik qovushoqligi, Pa·s.

Yupqa qatlam yaqinidagi suyuqlikning tezligi:

$$w = 1,5 \cdot w_{yp} \quad (5.87)$$

Yupqa qatlamning qalinligi:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot L_c \cdot \mu}{g\rho^2}} \quad (5.88)$$

Yupqa qatlamning harakat tezligi Reynolds kriteriysidan aniqlanadi:

$$Re = \frac{w_{yp} \cdot d_e \cdot \rho}{\mu} \quad (5.88a)$$

bu erda d_e - yupqa qatlamning ekvivalent diametri, m.

Yupqa qatlamning ekvivalent diametri:

$$d_e = \frac{4\Pi \cdot \delta}{\Pi} = 4\delta \quad (5.89)$$

bu erda P - suyuqlik oqib chiqayotgan to'kish moslamasining perimetri, m.

Nasadkali absorberlar. Turli shaklli qattiq nasadkalar bilan to'ldirilgan vertikal stilindrsimon kolonnalarning tuzilishi sodda, ixcham va yuqori samarador bo'lgani uchun sanoatda ko'p ishlatiladi. Odatda, nasadkalar qatlamli teshikli panjaralarga joylashtiriladi. Gaz faza teshikli panjara ostiga yuboriladi va undan o'tib, qatlam orqali yuqoriga qarab harakatlanadi (5.18-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 xissa qo'shadi. Nasadkalar quyidagi talablarga javob berish 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 emirilmaydigan bo'lishi; engil va arzon bo'lishi kerak.

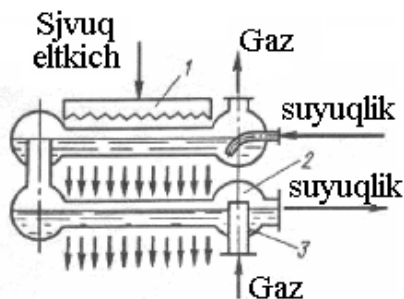
Sanoatda qo'llaniladigan nasadkalarining ba'zi bir turlari va ularni qurilmada joylash usullari 5.19-rasmda keltirilgan. Bu nasadkalarining ichida eng keng tarqalgan nasadka Rashig halqalaridir. Undan tashqari, keramik jism, koks, maydalangan kvarst, polimer halqa, metall to'r va panjara, shar, propeller va parrak, egar-

simon element va boshqa jismlar ishlatiladi.

Rashig halqalari 15x15x2,5; 25x25x3; 50x50x5 mm o'lchamli qilib yasaladi. Nasadkalarining geometrik xarakteristikasi bo'lib ekvivalent diametr hisoblanadi:

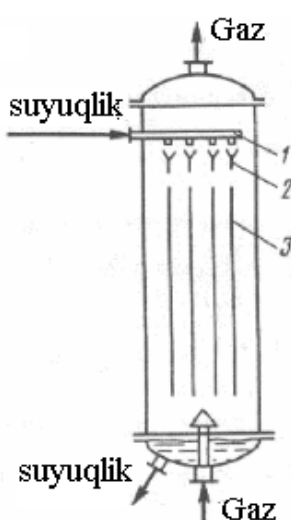
$$d_g = \frac{4V_{\delta x}}{a} \quad (5.90)$$

bu erda $V_{\delta x}$ – bo'sh hajm, m^3/m^3 ; a - solishtirma yuza, m^2/m^3 .



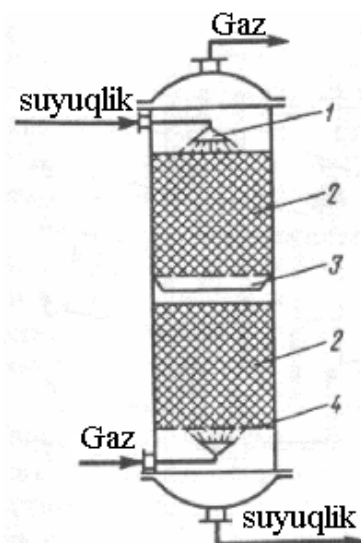
5.16-rasm. Sirti absorber.

1 - taqsimlagich; 2 - truba;
3 - ostona



5.17-rasm. Yupqa qatlamli absorber.

1 - truba; 2 - taqsimlash moslamasi; 3 - tekis parallel nasadka.



5.18-rasm. Nasadkali absorber.

1 - taqsimlagich; 2 - nasadka;
3 - suyuqlikni qayta taqsimlash moslamasi; 4 - teshikli panjara

Rashig halqalarining o'lchamlari kattalashishi bilan solishtirma yuzasi 300; 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.

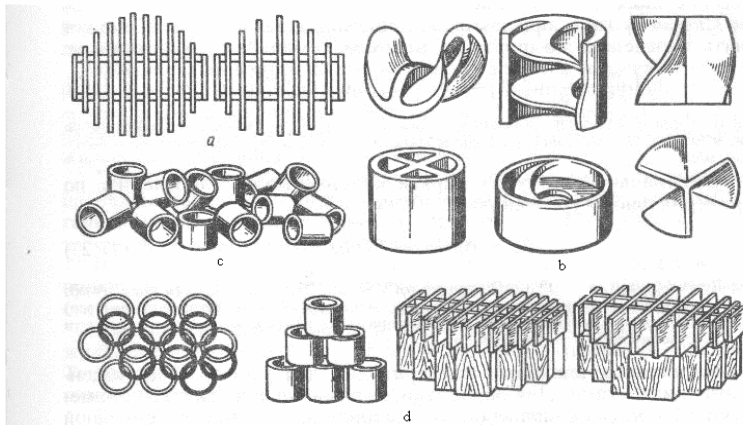
Nasadkali absorberlarda taqsimlovchi moslama orqali purkalayotgan suyuqlik, gazning kichik tezliklarida, nasadka ustida yupqa qatlam ko'rinishida oqadi. Nasadkaning ho'llangan yuzasi fazalarga to'qnashish yuza vazifasini bajaradi. Shuning uchun, nasadkali absorberlarni yupqa qatlamli qurilmalar deb qarash mumkin. Suyuq faza qurilmalar devori atrofida yig'ilib qolmasligi uchun nasadka bir necha sekstiyaga yuklanadi. Suyuqlikni bir tekisda taqsimlash uchun sekstiyalar 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 sohta 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.

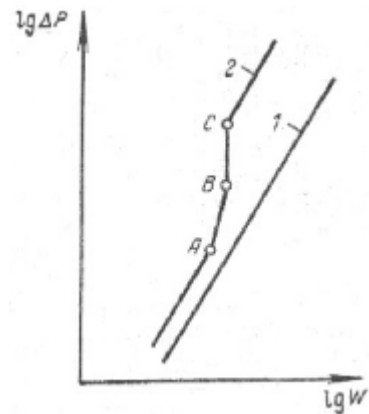
2 - rejim - **osilib turish rejimi**. Bunda fazalar qarama - qarshi yo'nalishi harakati tufayli gaz va suyuqlik orasidagi ishqalanish kuchlari ortadi. Bu hol suyuqlikni nasadkadan oqib tushish tezligini sekinlashtiradi, yupqa qatlam qalinligi va undagi suyuqlik miqdori ortadi. Shu bilan birga fazalar orasidagi to'qnashish yuzasi ko'payadi, jarayonning samaradorligi bir-muncha 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.



5.19-rasm. Nasadka turlari.

a - yassi parallel; b - keramik fasonli va ularni joylash usullari (v-betartib; g-tartibli).



5.20-rasm. Nasadka gidravlik qarshiligining kolonnadagi gaz tezligiga bog'liqligi.
1 - quruq nasadka; 2 - namlangan nasadka.

3 - rejim - **emulgastion 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 emulgastion rejim paydo bo'lib boshlaydi. Gaz uzatishni o'ta aniq rostlash yo'li bilan nasadka qatlamining butun balandligida emulgastion 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 emulgastion rejimda olib boriladi.

Emulgastion 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 ishlatilish maqsadga muvofiqdir.

Shunday qilib, har bir aniq, sharoit uchun eng optimal gidrodinamik rejim texnik – iqtisodiy hisoblashlar asosida topiladi.

Agar, gaz oqimi tezligini emulgastion 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:

$$\lg \left(\frac{w_r^2 \cdot a}{gV_{\delta x}^3} + \frac{\rho_r}{\rho} \mu^{0,16} \right) = 0,076 - 1,75 \left(\frac{L}{G} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho} \right)^{0,125} \quad (5.91)$$

bu erda a - nasadkaning solishtirma yuzasi, m^2/m^3 ; V_{bx} - nasadkaning bo'sh hajmi, m^3/m^3 ; L va G - suyuqlik va gazning massaviy sarflari; kt/s ; w_r - tiqilib qolish tezligi, m/s .

Kolonnadagi gaz yoki bug'ning optimal tezligini ushbu kriterial tenglamadan aniqlash mumkin:

$$Re = 0,045 \cdot Ar^{0,57} \cdot \left(\frac{G}{L} \right)^{0,43} \quad (5.92)$$

bu erda

$$Re = \frac{wd_e \cdot \rho_r}{\mu_r}; \quad Ar = \frac{gd_e^3 \rho_r}{\mu_r^2} (\rho - \rho_r) \rho_r$$

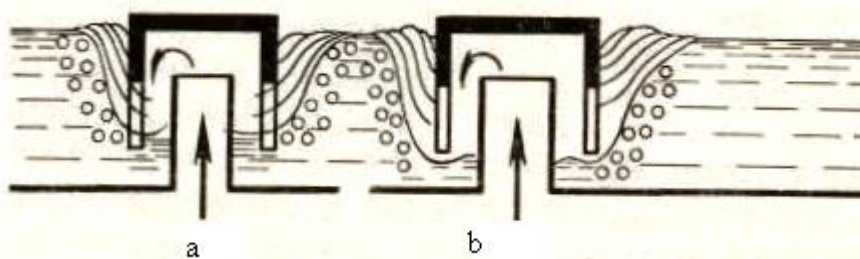
w - gaz (yoki bug') optimal tezligi; d_e - nasadkaning ekvivalent diametri; ρ va ρ_r - suyuqlik va gazning zichligi; μ_r - gaz (yoki bug') dinamik qovushoqligi; G va L - gaz (yoki bug') va suyuqlik massaviy tezliklari.

4 – rejim - **uchib chiqish rejimida** suyuq faza kolonnadan gaz oqimi bilan tashqariga chiqib 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 nasadkalarining 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 qiyin. Bunday



5.21-rasm. Barbotaj jarayoni shemalari.

a - kichik tezlikda qalpoqchali nasadkadan gazning chiqishi;
b - katta tezlikda qalpoqchali nasadkadan gazning chiqishi.

qurilmalardagi issiqlikni kamaytirish va nasadkalar ho'llanishini oshirish maqsadida suyuqlikni nasos yordamida restirkulyastiya 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.

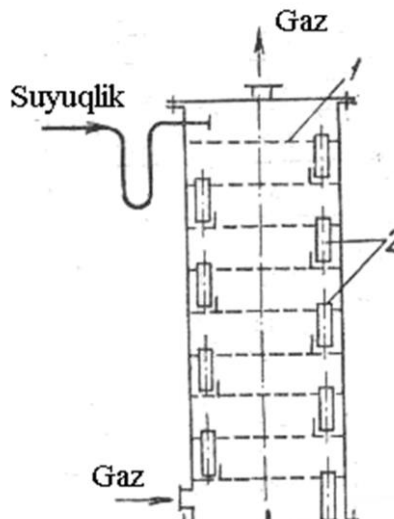
Tarelkali absorberlar samarali va eng keng tarqalgan qurilmalardan bo'lib, uning ichida butun balandligi bo'yicha bir xil masofada bir nechta tarelkalar o'rnatilgan. Teshikli tarelkalar orqali ham gaz, ham suyuqlik harakatlanadi va undan o'tish paytida bir fazadan ikkinchisiga massa o'tadi. Gaz fazaning 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.

Barbotaj 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 barbotayor tuzilishiga, suyuqlik va gaz xossalariga bog'liq.

Agar, gaz tezligi oshirib berilsa, oqimchali rejim paydo bo'ladi. Barbotayordan 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 elaksimontarelkali bo'ladi. Fazalarning bir tarelkadan ikkinchisiga o'tishiga qarab quyilish moslamali va quyilish moslamasiz absorberlarga bo'linadi.

5.22-rasmda quyilish moslamali, tarelkali absorber konstruktsiyasi tasvirlangan.



5.22-rasm. Quyilish moslamali, tarelkali absorber.

Ko'rinibturibdiki, quyilish trubasining pastki qismi quyidajoylashgan tarelka ustidagi ostonaga tushib turadigan gidravlik tambavazifasini 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 is-siqlik va massa berish jarayonlari yuz beradi. Absorbsiya jarayonida tozalangan gaz qurilmaning tepa qismidan chiqib ketadi. Tarelka, quyilishi trubasi va ostona shunday joylashtiriladiki, suyuq faza albatta qarama - qarshi yo'nalishda harakat qiladi.

Tarelkali absorberlar gidrodinamik rejimi malumki, istalgan konstruktsiyali tarelkalarning samara-dorligi uning gidrodinamik rejimlariga uzviy bog'liqdir.

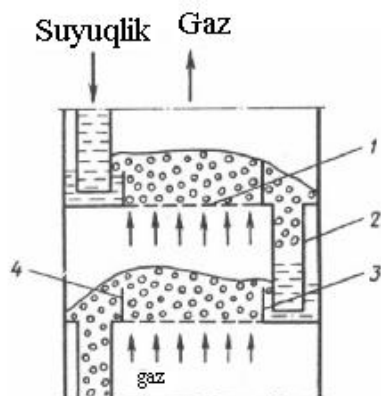
Gazning tezligiga va suyuqlikni purkash zichligiga qarab barbotajli tarelkalarning 3 ta asosiy gidro-dinamik rejimi bo'ladi: pufakchali, ko'pikli va oqimchali (yoki injekstion).

Pufakchali rejim. Gazning tezliklari juda kichik va suyuqlik qatlamidan alohida pufakchalar holatida o'tish davrida pufakchali rejimni kuzatish mumkin. Bu rejimda tarelkadagi fazalar kontakt 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 mi-qdordagi pufakchalarga ajrab ketadi. Natijada, "gaz – suyuqlik" dispers sistema, ya'ni ko'pik paydo bo'ladi.

Ushbu rejimda gaz va suyuq fazalar to'qnashishi pufak-chalar va gaz oqimchasi, hamda suyuq tomchilar sirtiga to'g'ri keladi. Ko'pikli rejimda barbotajli tarelkalarda fazalarning to'qnashishi yuzasi maksimal miqdorga egadir.

Oqimchali (injekstion 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 oraliklari uchun hisoblash yo'li bilan topiladi. So'ng esa, gazni ish-chi tezligi topiladi.



5.23-rasm. Elaksimontarelkali kolonna.

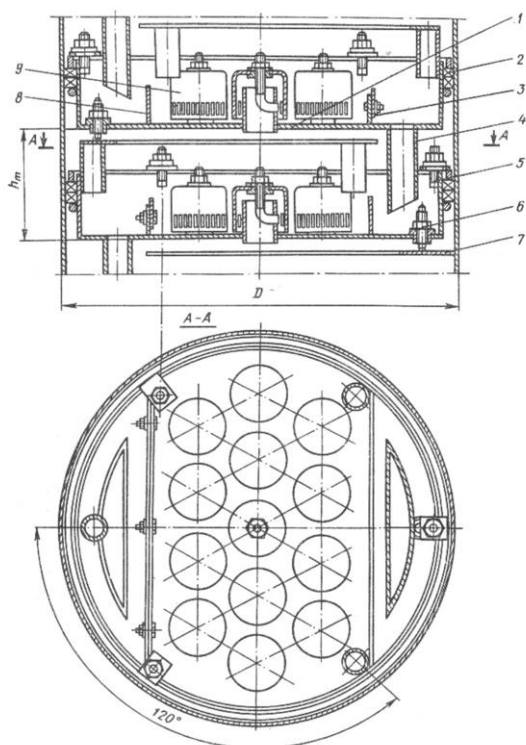
1 - tarelka; 2 - quyilish moslamasi;

Elaksimontarelkali absorber. Bu turdagi qurilma 5.23-rasmda tasvirlangan.

Bu kolonna gorizontaltarelka quyilishi va ostonalardan tarkib topgan bo'ladi.

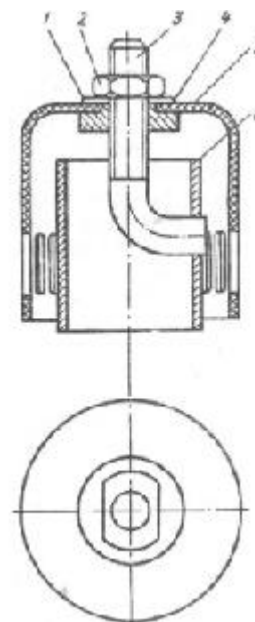
Odatda bu turdagi tarelka yuzasi 1...5 mm li teshiklardan iboratdir va tarelkadan tushayotgan ko'pikni parchalash uchun ostona tarelkadagi suyuqlik sathini bir xil balandlikda ushlab turish uchun esa, ostona 3 xizmat qiladi. Suyuq faza tepadagi tarelkaga uzatiladi va quyilishi moslamasi 2 dan, o'tib, qurilmaning pastki qismidan chiqib ketadi. Gaz faza har doim qurilmaning pastki qismiga kiritiladi va tarelkalardan pufakcha shaklida o'tib, yuqori qismidagi shtusterdan chiqadi.

Qalpoqcha tarelkali absorber. Bu turdagi qurilma 5.24-rasmdan keltirilgan bo'lib kapsula qalpoqcha va segment quyilish moslamasidan tarkib topgan. Tarelka ko'plab diskdan iborat bo'lib, tayanch halqaga qistirma yordamida boltlar bilan mahkamlanadi.



5.24-rasm. Qalpoqchali tarelka.

1-tarelka; 2-qistirma; 3-rostlovchi quyilish ostonasi; 4-quyilish patrubkasi; 5-bolt; 6-rostlovchi bolt; 7-qalqa; 8-quyilish ostonasi; 9-qalpoqcha.



5.25-rasm. Kapsulali qalpoqcha.

1 - shayba; 2- gayka; 3- bolt;
4- vtulka; 5- qalpoqcha;
6- patrubka.



5.26-rasm. Klapanli tarelka.

1 - klapan; 2 - kronshteyn cheklagich; 3 - tarelka.

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 chiqib boshlaydi.

Qalpoqchadagi havo teshiklari tishli bo'lib, to'g'ri uchburchak shaklida yasaladi. Suyuqlik qatlami orqali o'tayotgan gaz yoki bug' oqimi alohida-alohida pufakchalarga bo'linib ketadi. Tarelkalardan suyuqlik quyilishi 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.

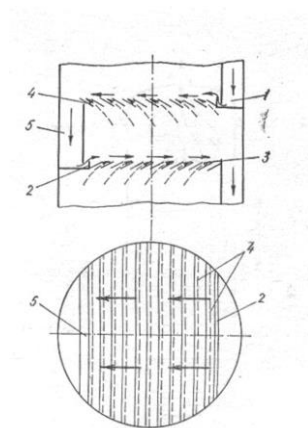
Tarelkada katta massa almashinish yuzasini barpo qilish uchun o'rnatiladigan qalpoqchalar soni ko'paytiriladi. Kapsulali qalpoqchani bo'yлама qirgimi 5.25 - rasmda keltirilgan. Tarelka va qalpoqchani pastki qismi orasidagi masofa vtulka 4 va gayka 2 yordamida amalga oshiriladi. Bu turdagi tarelkalar sanoatda keng ko'lamda qo'llaniladi. Elaksimontarelkali 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: konstruktiviyasi murakkab, qimmat va gidravlik qarshiligi yuqori. Undan tashqari, gaz faza sarfi kam bo'lganda, qurilma samaradorligi keskin ravishda kamayib ketadi.

Klapanli tarelkalar. Bu turdagi tarelkalar gaz fazasining tezligi tez o'zgarib turadigan jarayonlarda qo'llanishi maqsadga muvofiqdir.

Klapanli tarelkalar elaksimontarelkali va qalpoqchali tarelkalarining yaxshi xossalari 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...40 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 vertikal, tepaga siljiydi.

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.



5.27-rasm. Oqimchali tarelkalar.

1 - gidravlik tamba; 2 - quyiluvchi to'siq; 3 - tarelka; 4 - plastina; 5- quyilish moslamasi.

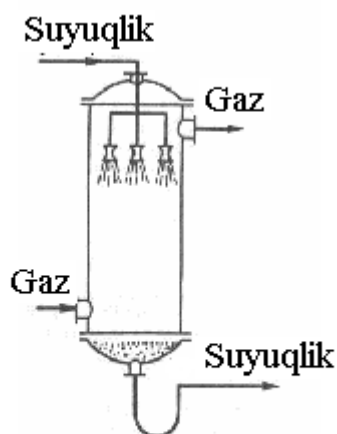
Oqimchali (yoki plastinali) tarelkalar. Bu turdagi tarelkalar qiya, parallel plastinalar ko'rinishida tayyorlanadi (5.27-rasm).

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.

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 tarelkalarining 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.



5.28-rasm. Purkovchi absorber.

Purkovchi absorberlar. Bu turdagi qurilmalar suyuq fazani – gaz oqimiga purkab berish usuli yordamida amalga oshiriladi. Purkovchi absorberlarga misol bo'la oladigan eng sodda konstruktsiyasi 5.28-rasm keltirilgan.

Bu absorber ichi bo'sh qobiq va suyuqlikni purkovchi mexanik forsunkadan tarkib topgan bo'ladi.

Suyuqlikni purkash paytida massa o'tkazish koeffitsienti 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 stilindrik qobiq ichida aylanadi. Natijada, disk yordamida suyuqlik mayda tomchilar shaklida atrofga sochiladi. Mexanik absorberlar

ixcham va yuqori samarali.

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 konstantriyalar, absorbentdagi gazning boshlang'ich konstantriyasi.

Absorbentning sarfi moddiy balans tenglamasi (5.7) dan topiladi.

Absorberning gidravlik qarshiligi qurilmaning konstruktsiyasi 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 (5.2) tenglamadan hisoblanadi.

Absorber balandligi esa, massa o'tkazishning modifikastiyalashgan 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:

$$\Delta p = \lambda \frac{H}{d_s} \frac{\rho w_H^2}{2}$$

bu erda λ - gidravlik qarshilik koeffitsienti; N – yupqa qatlam oqib tushayotgan yuzaning balandligi, m; d_e - gaz harakatlanayotgan kanalning ekvivalent diametri, m; $w_n = w + w_{yp}$ - gazning nisbiy tezligi, m/s; w_{ur} – yupqa qatlam harakatining o'rtacha tezligi, m/s; ρ - gaz zichligi, kg/m³.

Yupqa qatlam harakatining o'rtacha tezligi w_{ur} (5.86) tenglamadan aniqlanadi.

Gidravlik qarshilik koeffitsienti, gaz va yupqa qatlamlar, Reynolds kriteriyining qiymatiga bog'liq. Suyuqlik yupqa qatlamining harakat rejimini aniqlovchi Reynolds kriteriyasi (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:

$$n = \frac{G}{0,785 w d^2 \rho_r} \quad (5.93)$$

bu erda G - gazning massaviy sarfi, kg/s.

Trubalar soni ma'lum bo'lsa, ular orasidagi masofa $t = (1,25 \dots 1,5) d_t$ va trubaning qalinligi δ ni aniqlab, absorberning diametri sekundli sarf tenglamasidan aniqlanadi.

Trubalar balandligi hamma trubalarning ichki yuzalari orqali aniqlanadi:

$$H = \frac{F_m}{n \cdot \pi \cdot d_{uq}} \quad (5.94)$$

bu erda $F_m = n \pi d_{ich} \cdot H$.

Modifikastiyalashgan massa o'tkazish tenglamasi (5.63) ni hisobga olsak:

$$H = \frac{\mu}{n \pi d_{uq} \cdot K_{yv} \cdot \Delta y_{yp}}$$

Gaz fazasidagi massa berish koeffitsientini hisoblash uchun quyidagi kriterial tenglama taklif etiladi:

$$Nu_{\text{II}} = 0,023 \cdot Re_r^{0,83} \cdot Pr_{\text{II}}^{0,43} \quad (5.95)$$

bu erda Re_G - gaz oqimi uchun Reynolds kriteriyasi; Pr_{DG} - gaz uchun Prandtl kriteriyasi.

Ushbu tenglamada aniqlovchi o'lcham sifatida gaz oqimi harakatlanayotgan kanalning ekvivalent diametri qo'llaniladi.

Suyuq fazasidagi massa berish koeffitsientini ushbu tenglama yordamida hisoblash mumkin:

$$Nu_{\text{IC}} = 0,069 Re_c^{0,33} \cdot Pr_{\text{IC}}^{0,3} \cdot Ga^{0,167} \left(\frac{h}{d_s} \right)^{-0,5} \quad (5.96)$$

bu erda Re_s – suyuqlik yupqa qatlami uchun Reynolds kriteriyasi; Pr_s – suyuqlik uchun Prandtl kriteriyasi; Ga – Galiley kriteriyasi; 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:

$$\Delta p = \lambda \frac{H}{d_s} \frac{\rho_r w_r^2}{2}$$

Ma'lumki, naporning yo'qotilishi nasadka xarakteri, gaz tezligi va namlanish zichligiga bog'liq.

Yo'llangan nasadkaning qarshiligi prof. A.N.Planovskiy tomonidan taklif etilgan formula yordamida hisoblash mumkin:

$$\Delta p = \Delta p_{\kappa} \left[1 + 8,4 \cdot \left(\frac{L}{G} \right)^{0,4} \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho_c} \right)^{0,23} \right] \quad (5.97)$$

bu erda Δp_{κ} - quruq nasadka gidravlik qarshiligi.

Absorber diametri esa quyidagi formuladan topiladi:

$$D = \sqrt{\frac{G}{3600 \pi \rho_{\Gamma} \cdot w}}$$

bu erda G - gaz sarfi, kg/soat; ρ_{Γ} - gaz zichligi, kg/m³; w - kolonna bo'sh ko'ndalang kesimidagi tezlik, m/s. Gaz tezligi (5.92) tenglamadan hisoblab topiladi.

Absorber balandligini modifikastiyalashgan massa o'tkazish tenglamasi (5.65) dan aniqlash mumkin.

Gaz fazasidagi massa berish koeffitsientini hisoblash uchun quyidagi kriterial tenglamani qo'llash mumkin:

$$Nu_{\Delta T} = 0,407 Re_{\Gamma}^{0,655} Pr_{\Delta T}^{0,33} \left(\frac{h}{d_{\text{жк}}} \right)^{-0,47}$$

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 koeffitsientini hisoblash ushbu formulani qo'llash mumkin:

$$Nu_{\Delta C} = 0,00216 Re_c^{0,77} \cdot Pr_{\Delta C}^{0,5} \quad (5.98)$$

Formuladagi $Nu_{\Delta C}$ - aniqlash uchun yupqa qatlam keltirilgan qalinligida hisoblangan:

$$\delta_{\text{жк}} = \left(\frac{\mu_c^2}{g \rho_c^2} \right)^{0,33} \quad (5.99)$$

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:

$$w_k = 0,05 \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_{\Gamma}}} \quad (5.100)$$

Kolonna bo'sh ko'ndalang kesimidagi gazning tezligi $(0,8...0,9) \cdot w_k$ da teng deb qabul kilinadi.

Zamonaviy qurilmalardagi tarelkalar orasidagi masofa iloji boricha kam bo'lishi kerak.

Tarelkalar orasida kerakli gidravlik tamba hosil qiluvchi minimal masofa ushbu ifodadan topiladi (5.29-rasm).

$$h_T \geq h_{\Delta} + h_3 + h_0 \quad (5.101)$$

bu erda h_D - suyuqlik tezligini hosil qilish uchun quyilish patrubkasidagi suyuqlik ustunining balandligi, m²; h_Z - 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:

$$h_{\Delta} = \frac{w^2}{2g} (1 + \xi_1 + \xi_2) \quad (5.102)$$

bu erda w - quyilish patrubkasidagi suyuqlik tezligi, odatda 0,02...0,06 m/s oralikda bo'ladi; ξ_1 - patrubkadan chiqishdagi qarshilik koeffitsienti; ξ_2 - quyilish patrubkasining qarshiligini ifodalovchi koeffitsient.

Ushbu koeffitsientni quyidagi formuladan topish mumkin:

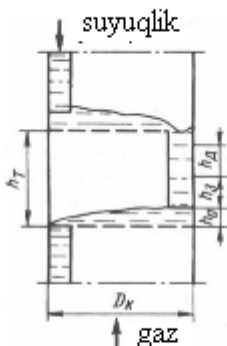
$$\xi_2 = \lambda \frac{l_k}{d_k}$$

bu erda λ - gidravlik qarshilik koeffitsienti; l_k - quyilish patrubkasi ishchi uzunligi, $(h_D + h_Z)$ m; d_k - quyilish patrubkasi diametri, m.

Suyuqlik ustunining balandligi h_3 tarelkalar orasidagi bosimni tenglashtirib turadi.

Elaksimontarelkaning gidravlik qarshiligi (Pa) quyidagi

tenglamadan aniqlanishi mumkin:



5.29-rasm. Tarelkalar orasidagi minimal masofani hisoblashga oid.

$$\Delta p = \Delta p_{\kappa} + \Delta p_a + \Delta p_c \quad (5.103)$$

bu erda Δr_k - quruq tarelka qarshiligi; Δr_a - sirtiy taranglik kuchlarini engish uchun zarur bosimlar farqi; Δr_s - tarelkadagi suyuqlik ustunining qarshiligi.

Δr_a suyuqlikning sirtiy taranglik kattaligiga qarab aniqlanadi:

$$\Delta p_a = \frac{4\sigma}{d_0} \quad (5.104)$$

bu erda σ - fazalar chegarasidagi sirtiy taranglik, N/m; d_0 - tarelka teshigining diametri, m.

Quruq tarelka Δr_q va undagi suyuqlik ustunining qarshiligi Δr_s lar prof. A.N. Planovskiy tavsiya etgan formulalardan hisoblab topilishi mumkin:

$$\Delta p_{\kappa} = 1,83 \frac{w_0^2 \cdot \rho_{\Gamma}}{2} \quad (5.105)$$

$$\Delta p_c = 1,3 k h + \sqrt[3]{k \cdot \Delta h} \quad (5.106)$$

bu erda 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;

$$\Delta h = \sqrt{\left(\frac{4}{\phi b}\right)^2} \quad (5.107)$$

bu erda L - suyuqlik massaviy sarfi, kg/soat; ϕ - quyilish to'sig'idan o'tayotgan suyuqlikning sarf koeffitsienti ($\phi=6400...10000$); b - quyilish to'sig'ining eni, m.

Qalpoqchali tarelkaning gidravlik qarshiligi ushbu tenglikdan aniqlanadi:

$$\Delta p = \Delta p_{\kappa} + \Delta p_{mup} + \Delta p_c \quad (5.108)$$

bu erda Δr_k - qalpoqchali tarelkadan gaz oqimi o'tishidagi bosimning yo'qotilishi, Pa; Δr_{tir} - qalpoqchali tarelka tirqishidan gaz o'tishi paytidagi bosimning yo'qotilishi, Pa; Δr_s - tarelkadagi suyuqlik ustunining qarshiligi, Pa.

Qalpoqchali tarelkaning gidravlik qarshiligi Δr_k ni, mahalliy qarshiliklarni engish paytidagi bosimlar yo'qotilishlarning yig'indisi orqali topish mumkin. Odatda qalpoqchanning hamma ko'ndalang kesimlarida gaz oqimi tezliklari teng bo'lsa, gidravlik qarshilik minimal bo'ladi:

$$\frac{\pi d_n^2}{4} = \pi d_n \cdot h_{\kappa} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\kappa}^2 - d_n^2) \quad (5.109)$$

bu erda d_p - patrubka diametri, m; d_k - 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 xarakteristikalariga ega.

Qalpoqchanning qarshiligi ushbu formuladan topilishi mumkin:

$$\Delta p_{\kappa} = \sum \xi \cdot \left(\frac{w^2 p_{\Gamma}}{2} \right)$$

bu erda w - patrubkadagi gaz tezligi, m/s; $\sum \xi$ - hamma qarshiliklar yig'indisi.

Qalpoqcha tirqishlarining qarshiligi esa:

$$\Delta p_{mup} = \xi_{mup} \left(\frac{w_{mup}^2 \cdot p_{\Gamma}}{2} \right) + \Delta p_a$$

bu erda $\xi_{tir}=1,5$ - tirqishdan gaz o'tishidagi mahalliy qarshilik koeffitsienti; w_{tir} - tirqishdagi gaz tezligi, m/s; Δr_a - sirtiy taranglik kuchlari tufayli hosil bo'lgan qarshilik.

Ushbu holatda:

$$\Delta p_a = \frac{4\sigma}{d_{\Gamma}}$$

bu erda d_g - tirqishning ochiq teshigining gidravlik diametri, m.

Suyuqlik ustunining qarshiligi (5.102) formuladan hisoblab topish ham mumkin.

Absorber da'iametri (5.62) tenglamadan hisoblanadi.

Agar, tarelkalar soni n va ular orasidagi masofa h_g ma'lum bo'lsa, absorberlar balandligi ushbu formuladan topiladi:

$$H = h_f n + h_g \quad (5.110)$$

bu erda h_f - eng yuqori tarelka va absorber qopqog'i orasidagi masofa, m.

Massa o'tkazish koeffitsientlari (5.82), (5.83) formulalardan aniqlanadi.

Tarelkali absorberlarda gaz fazasida massa berish koeffitsienti prof. G.P.Salamaxa tomonidan keltirib chiqarilgan tenglama orqali hisoblab topilishi mumkin:
qalpoqchali tarelkalar uchun:

$$Nu_{\Delta_z} = 0,265 \cdot Re_z \cdot Pr_{\Delta_z}^{0,5} \cdot We^{-0,32} \quad (5.111)$$

quyilish moslamali elaksimon tarelkalar uchun:

$$Nu_{\Delta_z} = 2,5 \cdot Re_z^{0,72} \cdot Pr_{\Delta_z}^{0,5} \cdot We^{-0,25} \quad (5.112)$$

plastinali va elaksimon tarelkalar uchun:

$$Nu_{\Delta_z} = 1,53 \cdot Re_z^{0,72} \cdot Pr_{\Delta_z}^{0,5} \cdot We^{-0,25} \quad (5.113)$$

bu erda $We = \sigma / g \rho_c h_{cm}^2$ - Veber kriteriysi. Bu erda σ - sirtiy taranglik, N/m; ρ_c - suyuqlik zichligi, kg/m³; h_{st} - tarelkadagi statik suyuqlik qatlamining balandligi, m.

Nu_{dg} va Re kriteriylarida chiziqli o'leham bo'lib kapillyar konstanta χ hisoblanadi va u $\chi = \sqrt{(\sigma / \rho_c \cdot g)}$ ifoda orqali aniqlanadi. Suyuq fazadagi massa berish koeffitsientini hisoblash uchun ushbu formula tavsiya etiladi:

$$Nu_{\Delta_z} = 540 \cdot Re_c^{0,33} \cdot Pr_{\Delta_z}^{0,45} \quad (5.114)$$

Tenglamadagi Re kriteriysini hisoblashda w parametr o'rniga kolonna bo'sh ko'ndalang kesimidagi

gazning tezligi qo'yiladi.

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 molekulyar 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 – konstantastiyalar farqi.

5.1. Umumiy tushunchalar

Sanoat texnologiyalarida ishlatiladigan adsorbtsiya, ekstraktsiya («suyuqlik - suyuqlik», «qattiq texnologiya jism – suyuqlik sistemalarida»), adsorbtsiya, quritish, kristallanishlarda massa almashinish jarayonlari sodir bo'ladi.

Absorbtsiya – bu gaz aralashmasidan biror moddaning suyuq fazaga selektiv ravishda yutilish ja-

rayonidir. Ya'ni, bu jaraenda modda bug'yoki gaz fazadan suyuq fazaga o'tishini kuzatishimiz mumkin.

Moddani o'ziga yutuvchi faza absorbent deb nomlanadi. Absorbtsiya 2 xil bo'ladi: fizik absorbtsiya – bu gazning suyuqlikda oddiy yutilishi; xemosorbtsiya - bu gazning suyuqlikda yutilishi davrida kimyoviy birikma hosil bo'lishi.

Absorbtsiyaga teskari jarayon, ya'ni yutilgan komponentlarni suyuqlikdan ajratib olish **desorbtsiya** deb ataladi.

Suyuqliklarni haydash va rektifikatsiya – bu suyuq va bug'fazalar orasida komponentlar o'zaro modda 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). Shu alohida ta'kidlash kerakli, bunda modda suyuq fazadan bug'ga va bug'dan suyuq fazaga o'tadi

Ekstraktsiya – 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.

Adsorbtsiya – 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.

Adsorbtsiya jarayonida suyuq yoki gaz fazadagi komponent qattiq jismga o'tadi.

Quritish – bu qattiq materiallar tarkibidagi namlikni bug'shklida ajratib olish jarayonidir. Ushbu jarayonda faol komponent - namlik qattiq fazadan gaz yoki bug'fazasiga o'tadi.

Kristallanish – bu suyuq eritmalar tarkibidagi qattiq fazani kristall shklida 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 ishtiroq 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:

$$\Phi + C = K + 2 \quad (5.1)$$

bu erda F – fazalar soni; S – erkinlik darajasi soni; K – sistemadagi komponentlar soni.

Bu qoidaga binoan, muvozanat holatlarini hisoblashda parametrlarining (bosim, temperatura, konstantriya) 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 konstantriyali bo'lsin. Boshlang'ich davrda L fazada tarqaluvchi modda yo'q bo'lsa, unda fazadagi konstantriyasi $x = 0$.

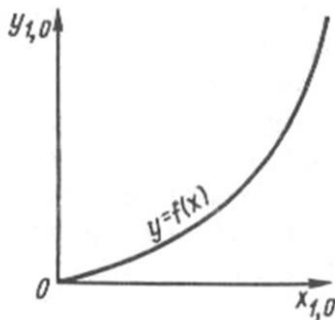
Agar, fazalarni aralashtirib yuboradigan bo'lsak, unda tarqaluvchi modda G fazadan L fazaga o'tadi. L fazada tarqaluvchi modda M bo'lishi bilan teskari o'tish boshlanadi, ya'ni L fazadan G fazaga. Ma'lum vaqtgacha, G fazadan L ga o'tayotgan tarqaluvchi modda zarrachalarining soni M , L fazadan G fazaga o'tayotgannikidan ko'proq bo'ladi.

Lekin, 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 konstantriyasi y_M to'g'ri keladi. Xuddi shunday, u ning ma'lum qiymatiga tegishli muvozanat konstantriyasi x_M mos keladi. Muvozanat paytida fazalardagi tarqaluvchi komponent

konstentrastiyalari o'rtasida umumiy bog'liqlik quyidagi ko'rinishga ega:

$$\bar{y}_p = f_1(\bar{x}); \quad \bar{x}_p = f_2(\bar{y}) \quad (5.2)$$

Ushbu tenglamalar grafikda muvozanat chizig'i bilan ifodalanadi va massa almashinish jarayonining turi ga qarab to'g'ri yoki egri chiziqli ko'rinishda bo'ladi. 5.1-rasmda gaz fazasidagi muvozanat konsten-trastiyasining suyuq fazadagi konstentrastiya bilan bog'liqligi berilgan.



5.1-rasm. $P=\text{const}$ va $t=\text{const}$ bo'lgandagi muvozanat diagramma.

Muvozanat paytidagi fazalar konstentrastiyalarining nisbati **tarqalish koeffitsienti** 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 koeffitsientining 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 konstentrastiyalar orasidagi farq massa almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuchi deb hisoblanadi.

Massa almashinish jarayonlarining tezlik koeffitsienti va harakatga keltiruvchi kuchini hisolash 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 erda R – diffuzion qarshilik) deb belgilasak, ushbu tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\frac{dM}{F \cdot d\tau} = k\Delta \quad (5.3)$$

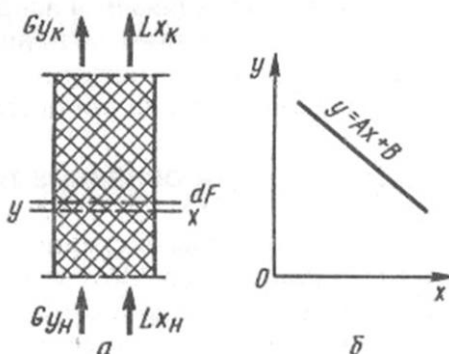
bu erda, M – bir fazadan ikkinchisiga o'tgan modda miqdora, kg; F – massa o'tkazish yuzasi, m^2 ; τ – jarayon davomligi, s; k – massa o'tkazish koeffitsienti. Ko'rinib turibdiki, $dM/Fd\tau$ ajratib turuvchi yuza birligiga to'g'ri keladigan massa o'tkazish tezligidir.

Demak, agar $k=\text{const}$ bo'lsa, butun massa almashinish yuzasi uchun

$$M = k \cdot \Delta \cdot F \tau$$

$$M = K_y F \Delta y_{yp} \cdot \tau \quad \text{yoki} \quad M = K_x F \Delta x_{yp} \cdot \tau \quad (5.4)$$

(5.4) massa o'tkazish jarayonining asosiy tenglamasi deb nomlanadi. Ushbu tenglamaga binoan, bir faza yadrosidan ikkinchi faza yadrosiga uzatilgan massa miqdori fazalar yadrosidagi konstentrastiyalar farqi, ajratib turuvchi yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir.



5.2-rasm. Jarayonning moddiy balansini tuzishga va ishchi chiziq tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

a- qurilmadagi oqimlar sxemasi;

b- y-x koordinatlarida ishchi chiziq'ni tasvirlash.

Massa o'tkazish koeffitsienti, 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 koeffitsienti quyidagi o'lchov birligiga ega bo'ladi: m/s; kg/(h.k.k. b $\cdot m^2 \cdot s$); kmol/(h.k.k.b. $\cdot m^2 \cdot s$).

5.3. Massa almashinish jarayonining moddiy balans

Bir xil yo'nalishli fazalar o'rtasida massa almashinish ro'y berayotgan elementar massa al-

mashinish qurilmasining sxemasini ko'rib chiqamiz. Fazalarni ajratib turuvchi yuzaga nisbatan massaviy tezliklarini G va L (kg/soat), tarqaluvchi modda konsentrastiyalarini esa – u va x (kg/kg) deb belgilab olamiz (5.2-rasm).

Agar, $u > u_M$ deb faraz qilsak, tarqaluvchi modda G fazadan L fazaga o'tadi, ammo G fazada konsentrastiya u_b dan u_{ox} gacha kamayadi.

L fazada esa, mos ravishda konsentrastiya $\bar{x}_b$ dan $\bar{x}_{ox}$ gacha ortadi.

Qurilmaning cheksiz kichik dF yuzasi uchun:

$$dM = G(-d\bar{y}) = Ld\bar{x} \quad (5.5)$$

Qurilmada tarqaluvchi modda konsentrastiyalari o'zgarishi chegarasida (5.5) tenglikni integrallab, quyidagi tenglamani olamiz:

$$M = -G(\bar{y}_{ox} - \bar{y}_{\delta}) = G(\bar{y}_{\delta} - \bar{y}_{ox}) = L(\bar{x}_{ox} - \bar{x}_{\delta}) \quad (5.6)$$

Bundan, fazalarning massaviy sarfini aniqlaymiz:

$$G = L \frac{\bar{x}_{ox} - \bar{x}_{\delta}}{\bar{y}_{\delta} - \bar{y}_{ox}}; \quad L = G \frac{\bar{y}_{\delta} - \bar{y}_{ox}}{\bar{x}_{ox} - \bar{x}_{\delta}} \quad (5.7)$$

(5.5) tenglamani boshlang'ich va oxirgi konsentrastiyalar oralig'ida integrallab quyidagi ifodani olamiz:

$$G(\bar{y}_{\delta} - \bar{y}) = L(\bar{x} - \bar{x}_{\delta})$$

Bundan, joriy konsentrastiyalar orasidagi bog'liqlik topiladi:

$$\bar{y} = \frac{L}{G} \bar{x} + \frac{G\bar{y}_{\delta} - L\bar{x}_{ox}}{G} \quad (5.8)$$

yoki

$$\bar{y} = Ax + B \quad (5.9)$$

bu erda $A = L/G$; $B = (G\bar{y}_{\delta} - L\bar{x}_{ox})/G$.

(5.8) va (5.9) lar ishchi chiziqli tenglamasini xarakterlaydi. Ulardan, massa almashinish qurilmalarini hisoblashda foydalaniladi.

Shunday qilib, muvozanat va ishchi chiziqli tenglamalaridan jarayonning yo'nalishini ham aniqlash mumkin.

Haqiqiy (ishchi) konsentrastiyalar orasidagi bog'liqlikni ifodalovchi to'g'ri chiziqli tenglamasi (5.9) **jarayonning ishchi chiziqli** 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 molekulyar diffuziya (Fikning 1- qonuni), massa berish (Nyuton – Shukarev qonuni) va massa o'tkazuvchanlik qonunlari hisoblanadi.

Molekulyar diffuziya qonuni (Fikning 1- qonuni). Molekula, atom, ion va kolloid zarrachalarning xaotik harakati natijasida moddalarning tarqalishi **molekulyar diffuziya** deb nomlanadi. Ma'lumki, moddalar har doim konsentrastiyasi yuqori zonadan konsentrastiyasi past zonaga qarab tarqaladi. Ushbu qonunga binoan, diffuziya yo'li bilan tarqalgan modda miqdori konsentrastiyalar gradienti, diffuzion oqim yo'nalishidagi perpendikulyar ajratuvchi yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir:

$$dM = -D \frac{\partial c}{\partial t} F d\tau \text{ yoki } M = -D \frac{dc}{dn} F \tau \quad (5.10)$$

bu erda dM - diffuziya yo'li bilan tarqalgan massa miqdori; D – diffuziya koeffitsienti; $\frac{\partial c}{\partial t}$ konstantriyalar gradienti; F – diffuziya o'tayotgan yuza; $d\tau$ - diffuziya davomiyligi.

Diffuziya koeffitsienti, 1 m^2 ajratuvchi yuza orqali 1 soat davomida 1 m oralikdagi konstantriyalar farqi 1 ga teng bo'lganda tarqalgan modda miqdorini xarakterlaydi.

Tenglamadagi «minus» ishora molekulyar diffuziya jarayonida konstantriya kamayib borishini ifodalaydi.

(5.10) tenglamadagi diffuziya koeffitsientining o'lchov birligini aniqlaymiz:

$$[D] = \left[\frac{M \cdot dn}{dc \cdot F \cdot \tau} \right] = \left[\frac{kg \cdot m \cdot m^3}{kg \cdot m^2 \cdot s} \right] = \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Molekulyar diffuziya koeffitsienti o'zgaras fizik kattalik bo'lib, moddaning diffuziya yo'li bilan qo'zg'almas muhitga kirish qobiliyatini xarakterlaydi. Ushbu koeffitsient 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 koeffitsientining qiymatlari adabiyotlardan yoki quyidagi formulalardan aniqlanadi: gazlar uchun:

$$D = 4,35 \cdot 10^{-2} \frac{T^2}{P(V_A^{0,33} + V_B^{0,33})} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (5.11)$$

suyuqliklar uchun:

$$D = \frac{8,2 \cdot 10^{-12} T}{\mu \cdot V_a^{0,33}} \left[1 + \left(\frac{3V_B}{V_A} \right)^{0,66} \right] \quad (5.12)$$

bu erda T – temperatura, K; R - bosim, Pa; V_A va V_B - jarayonda ishtirok etuvchi moddalar mol hajmi, sm^3/mol ; M_A va M_B - moddalarning molekulyar massasi, kg/kmol ; μ - dinamik qovushoqlik, $\text{mPa}\cdot\text{s}$; A va B – moddaning tabiatiga bog'liq tajribaviy konstanta;

Diffuziya koeffitsienti sistemaning agregat holatiga bog'liq. Gazlar uchun D ning qiymatlari $(0,1 \dots 1,0) \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Suyuqliklarning diffuziya koeffitsienti to'rt darajaga past bo'ladi. Ma'lumki, temperatura ortishi bilan D ortadi, bosim oshishi bilan esa – kamayadi.

Gazlardagi diffuziya koeffitsienti konstantriyaga umuman bog'liq emas. Lekin, suyuqliklarda esa, diffuziya koeffitsienti konstantriyaga bog'liqligi bor. Paxta yog'ining normal sharoitda ekstrakstion benzindagi diffuziya koeffitsienti $D = 0,71 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; gazning boshqa bir gazdagi tarqalish diffuziya koeffitsienti $\sim 0,1 \dots 1,0 \text{ m}^2/\text{s}$; gazning suyuqliklardagi diffuziya koeffitsienti $10^4 \dots 10^5$ marotaba kam bo'lib, taxminan $1 \text{ m}^2/\text{sutkaga}$ teng.

Xulosa qilib aytganda, molekulyar diffuziya juda sekin o'tadigan jarayondir.

Turbulent diffuziya. Turbulent tebranish ta'sirida oqimning harakatida bir fazadan ikkinchisiga moddaning tarqalishi **turbulent diffuziya** deb nomlanadi.

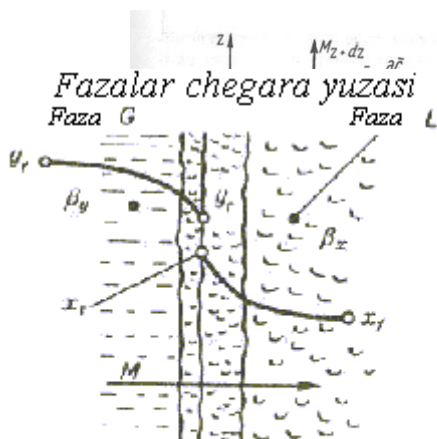
Turbulent diffuziya tezligi oqimning turbulentlik darajasiga, jarayonning gidrodinamik rejimida bog'liqdir. Istalgan fazada turbulent diffuziya yo'li bilan tarqalgan moddaning miqdori ushbu tenglamadan topiladi:

$$\text{yoki } M = -\varepsilon_D \frac{\partial c}{\partial n} F \cdot \tau \quad (5.13)$$

bu erda ε_D - turbulent diffuziya koeffitsienti (5.13) tenglamadan ε_D - aniqlaymiz

$$[\varepsilon_D] = \left[\frac{M \cdot dn}{dc \cdot F \cdot \tau} \right] = \left[\frac{kg \cdot m \cdot m^2}{s \cdot m^2 \cdot kg} \right] = \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Turbulent diffuziya koeffitsienti vaqt birligi ichida konstantriya gradienti birga teng bo'lganda ajratuvchi yuza birligidan turbulent diffuziya yo'li bilan tarqalgan moddaning miqdorini bildiradi. Uning qiymati jarayonning gidrodinamik re-



5.4-rasm. Massa berish tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

jimiga bog'liq. Bu erda gidrodinamik rejim deganda oqimning tezligi va turbulentlik masshtabi nazarda tutiladi.

Molekulyar diffuziyaning differentsial 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).

Elementar kichik parallelepiped orqali molekulyar diffuziya yo'li bilan modda tarqalayotgan bo'lsin.

Agar, $dydz$, $dx dy$ va $dx dz$ 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 konstantriyasi $(\partial C / \partial \tau) d\tau$ miqdorga ortadi. Fikning 1 - qonuniga binoan:

$$M_x = -D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} dydzd\tau$$

$$M_{x+dx} = -D \frac{\partial \left(\bar{C} + \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} dx \right)}{\partial x} dydzd\tau = -D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} dydzd\tau - D \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} dx dydzd\tau$$

demak:

$$M_x - M_{x+dx} = D \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} dx dydzd\tau$$

Xuddi shunday qilib parallelepipedning qolgan tomonlari uchun ham o'tgan moddalar farqini aniqlab olamiz.

Parallelepiped bilan yutilgan umumiy modda miqdori:

$$dM = D \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) dx dy dz d\tau \quad (5.14)$$

Ushbu modda miqdorini parallelepiped hajmini tarqalayotgan modda konstantriyasiyaning $d\tau$ vaqt ichida o'zgarishiga ko'paytirib ham topsa bo'ladi:

$$dM = dx dy dz \frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} d\tau \quad (5.15)$$

(5.14) va (5.15) larni tenglashtirib, ushbu ko'rinishdagi molekulyar diffuziyaning differentsial tenglamasini olamiz:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) \quad (5.16)$$

(5.16) tenglama Fikning 2-qonuni deb yuritiladi. $\partial S / \partial \tau$ - fazoda olingan istalgan nuqtadagi konstantriasiyaning 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 yunalishda massa berish yo'li bilan o'tgan modda miqdori fazalar konstantriyasi farqiga, fazaga va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir.

Diffuzion chegaraviy qatlam nazariyasiga asosan tarqaluvchi modda suyuqlik oqimi yadrosidan fazalarni ajratuvchi yuzaga suyuqlik konvektiv oqimlari va molekulyar 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 konstantriyasi o'zgarmas bo'ladi. Chegaraviy diffuzion qatlamga yaqinlashgan sari moddaning turbulent tarqalishi kamayadi va molekulyar diffuziya hisobiga massa berish ulushi ortadi.

Bunda, tarqaluvchi moddaning konstantriasiya gradienti hosil bo'ladi va fazalarni ajratuvchi chegaraga ya-

qinlashib borgan sari, uning qiymati oshib boradi. Shunday qilib, chegaraviy diffuzion qatlam atrofi–bu konstrastiya gradienti hosil bo'lishi va o'sishi sohasidir. Undan tashqari, bu er – umumiy massa o'tkazishga molekulyar diffuziya tezligining ta'siri ko'payadigan sohadir.

G fazadan L fazaga tarqalayotgan modda miqdori M bo'lsin. Agar, fazalar yadrosidagi moddalar konstrastiyasini y_f va y_u deb, fazalarni ajratib turuvchi yuzadagi konstrastiyalarni esa – u_{ch} va x_{ch} deb belgilasak, unda massa berish jarayonida o'tgan modda miqdorlarini quyidagi tenglamalardan aniqlash mumkin:

$$dM = \beta_y (y_f - y_u) \cdot F d\tau; \quad dM = \beta_x (x_u - x_f) \cdot F d\tau \quad (5.17)$$

bu erda β_u, β_x – konvektiv va molekulyar oqimlar bilan modda uzatilishini xarakterlovchi massa berish koeffitsientlari; $u_{ch}=u_M$ va $x_{ch}=x_M$ deb qabul qilinadi.

Massa berish koeffitsientining 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 koeffitsienti 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 koeffitsienti fazalarning zichligi, qovushoqligi va boshqa xossalriga, 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 koeffitsienti fizik ma'nosi bo'yicha massa o'tkazish koeffitsientidan farq qilsa ham, lekin bir xil o'lchov birligiga ega.

5.5. Qattiq jism ishtirokida massa almashinish

Bunday jarayonlarga adsorbtsiya, desorbtsiya, kristallanish, quritish, eritish, qattiq materiallardan ekstraktsiyalash 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 potentsiali gradienti 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, kapillyarlar shakli va kovakchalarni o'lchami bo'yicha taqsimlanishi bilan ajralib turadi.

Kapillyar-kovakli tuzilishiga qarab qattiq jismlar quyidagi sinflarga ajratiladi: yirik kovakli ($d_{kp} \leq 100 \mu m$); o'rtacha kovakli va ultramikrovakli 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 molekulyar 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:

$$D_{CH} = D \frac{1}{1 + a \left(\frac{r}{R} \right)} \quad (5.18)$$

bu erda D_{cu} – «siqiq diffuziya» koeffitsienti; D – molekulyar diffuziya koeffitsienti; r – tarqalayotgan molekula o'lchami; R – qattiq jism kovakchalarining 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 konstantriyalar gradienti, oqim yo'nalishiga perpendikulyar yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni:

$$dM = -k \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} dF d\tau \quad (5.19)$$

bu erda k – massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti, m^2/s . Ushbu koeffitsient temperatura va qattiq jismda tarqalgan modda konstantriyalariga bog'liqdir.

5.5-rasmda g'ovaksimon qattiq jismlarning tipik tuzilishlari keltirilgan. Ko'rinish turibdiki, bunday tuzilishli jismlarda jarayonning kinetikasi turlicha bo'lishi tabiiydir.

Qattiq jismdan namlikni desorbstiyasi misolida massa almashinish jarayonini ko'rib chiqamiz (5.6-rasm).

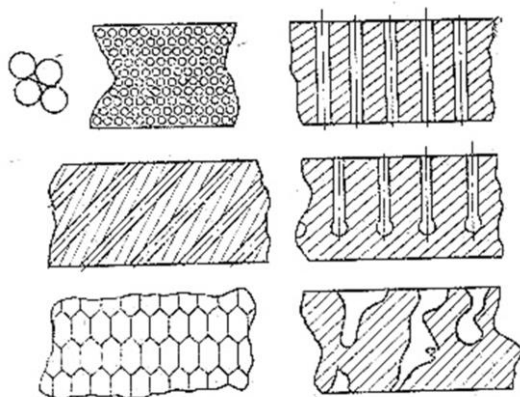
Boshlang'ich vaqt $\tau = \tau_0$ da plastinaning butun hajmida konstantriya o'zgarmas bo'ladi ($s = \text{const}$). Qattiq jism bilan massa almashinuvchi suyuqlik fazada tarqaluvchi moddaning konstantriyasi o'zgarmas va u_{fg} ga tengdir. Dastlabki davrda, tarqalayotgan modda qattiq jismdan suyuqlikka qarab harakat qiladi.

Qattiq materialdan erkin bog'langan namlikning chiqib ketishi bilan jismning temperaturasi o'zgarmaydi va u ho'l termometr temperaturasiiga 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.

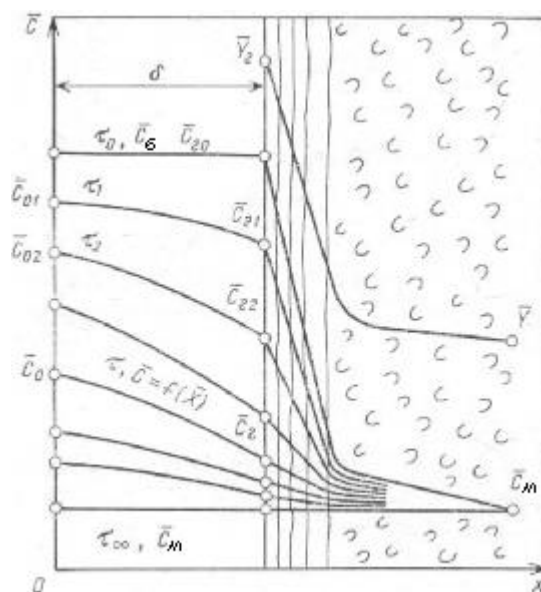
Vaqt o'tishi bilan jismning konstantriyasi uzluksiz ravishda pasayib boradi.

Qandaydir kritik konstantriya x_k dan boshlab, buglanish zonasi jismning ichiga suriladi. Bu hol, albatta o'tkazish potentsiali gradientining kamayishiga va jarayonni sekinlashuviga olib keladi. Namlikni buglanishi na faqat 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.



5.5-rasm. G'ovaksimon jismlar tuzilishi modifikatsiyalari.



5.6-rasm. Kapillyar – g'ovakli jismda massa almashinish modeli.

Qattiqfazaishtiroketadiganmassaalmashinishjarayonlariningengmurakkabi - buquritishjarayonidir, chunki bundamassavaissiqlikalmashinishjarayonlaribirvaqtdaro'yberadi.

Mas-

sao'tkazuvchanlikdifferenstia tenglamasi issiqlik o'tkazuvchanlikdifferenstia tenglamasi gao'xshashkeltiribchi qariladi va uushbuko'rinishga ega:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} = k \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) \quad (5.20)$$

Ko'rinish turibdiki, massa o'tkazuvchanlik koefitsient o'zgaruvchan kattalik va jarayon turi (adsorbsiya, quritish, eritish), qattiq jismlar tuzilish va molekulyar diffuziya koefitsientiga sirtuvchi parametrlar 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 $dM = \beta(y_q - y_M)F \cdot d\tau$ tenglama bilan taqqoslash mumkin. Tenglamalarning o'ng tomonlarini bir-biriga tenglab, ushbu ko'rinishga ega ifodani olamiz:

$$-k \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} = \beta \Delta \bar{y} \quad (5.21)$$

O'xshashlik nazariyasini qo'llab quyidagi o'lchamsiz kompleksni keltirib chiqaramiz:

$$Bi_{\mathcal{A}} = \frac{\beta \cdot l}{k} \quad (5.22)$$

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 Fure diffuzion kriteriysini keltirib chiqarish mumkin:

$$Fo_{\mathcal{A}} = \frac{k\tau}{l^2} \quad (5.23)$$

Fure 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 tezlik 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_i va β koefitsientlar hisobga olinadi.

Qattiq jismdan kerakli komponentni ajratib olish murakkab jarayondir. Bunda, qattiq jism ichida va atrof – muhitda konstantriyalar miqdori vaqt davomida yoki qurilmaning uzunligi bo'yicha o'zgartirib turadi (5.6-rasm).

Qattiq jismda konstantriyalar miqdorining o'zgarish tezligiga quyidagi omillar sababchi bo'ladi:

1. Qattiq jism va tarqalayotgan moddaning diffuziya xossalari, bu xossalari massa o'tkazuvchanlik koefitsienti D_i orqali ifodalanadi;
2. «Qattiq jism – suyuqlik» chegarasida massa o'tkazish sharoitlari;
3. Qattiq jism va suyuq fazalar miqdorlarining nisbati

$$\frac{C_{\delta} - C_0}{C'_{\delta} - C'_0} = n$$

bilan ifodalanadi.

bu erda S_b' va C_0' – jarayonning boshlanish va oxirida suyuq fazadagi ekstrakstiyalangan moddaning konstantrasiyalari; S_b va S_0 – jarayonning boshlanishi va oxirida qattiq fazadagi ekstrakstiyalanishi zarur bo'lgan moddaning konstantrasiyasi; $n=W/N$ – o'zaro to'qnashish holatida bo'lgan suyuqlik miqdori W ning qattiq jism miqdori N ni 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:

$$\frac{C - C_M}{C_{\delta} - C_M} = f\left(Bi_{\mathcal{A}}, Fo_{\mathcal{A}}, \frac{x}{\delta}\right) \quad (5.24)$$

bu erda S – vaqt momenti τ da qattiq fazaning berilgan nuqtasidagi konstantrasiyasi; S_b – qattiq fazadagi boshlang'ich konstantrasiya; S_m – qattiq fazadagi ekstrakstiyalanayotgan moddaning muvozanat konstantrasiyasi; δ – qattiq jismning aniqlovchi o'lchami; x – qattiq jismning berilgan nuqtasidagi koordinatasi. (5.24) tenglamaning echimi faqat eng oddiy shakldagi jismlar (shar, stilindr 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 koeffitsienti ushbu formuladan hisoblanadi:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{1}{(\psi + n) \cdot km} \quad (5.25)$$

bu erda ψ – shakl koeffitsienti, plastina uchun 1 ga, stilindr uchun 2 va shar uchun 3 teng; n – daraja ko'rsatkichi.

Tashqi diffuziya sohasida jarayon o'tkazilganda va $Bi_{\mathcal{A}} \leq 3,0$ bo'lganda (5.25) formula ushbu ko'rinishni oladi:

$$K \approx \beta_y \quad (5.26)$$

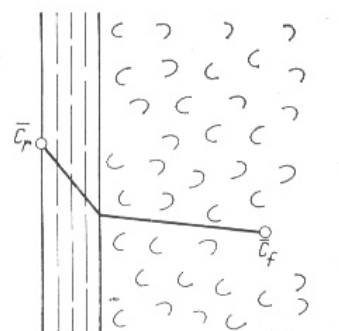
Ushbu holatda jarayon tezligi faqat ichki diffuziya omillari bilan aniqlanadi.

Issiqlik va massa almashinish jarayonlari birgalikda sodir bo'lganda, issiqlik va massa berish koeffitsientlarini topish uchun ushbu kriterial tenglama tavsiya etiladi:

$$Nu = A \cdot Re^n \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,175} \quad (5.26)$$

bu erda Gu – adiabatik sharoitda suyuqlikning hajmiy bug'lanishini xarakterlovchi Guxman kriteriysi. Konstanta A va daraja ko'rsatkichi n qurilmadagi gidrodinamik rejimga bog'liq bo'ladi.

5.6. Konvektiv diffuziyaning differensial tenglamasi



5.7-rasm. Konvektiv diffuziya qonunini keltirib chiqarishga oid.

Diffuzion chegaraviy qatlam nazariyasiga binoan, suyuqlik oqimi fazalarni ajratuvchi chegarasida tarqalayotgan modda molekulyar 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 qatlamlardan. 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 konstantrasiyasi o'zgarib qolmaydi. Chegaraviy diffuzion qatlamga yaqinlashgan sari, turbulentlik darajasi pasayadi. Shuning uchun, fazalarni ajratuvchi chegarada moddaning tarqalishi asosan molekulyar diffuziya hisobiga o'tadi. Undan tashqari, bu zonaga yaqinlashish bilan konstantrasiyalarning gradienti ham ortadi.

Shunday qilib, chegaraviy diffuzion qatlam – bu konstantrasiya gradienti hosil bo'ladigan va ortadigan, hamda molekulyar diffuziya qiymatining minimumdan maksimumgacha ko'payadigan zonasidir.

Konvektiv diffuziya jarayonida fazaning elementar hajmida tarqaluvchi moddaning konstantrasiyasi ham molekulyar diffuziya, ham mexanik harakat ta'siri ostida o'zgaradi. Bunday hollarda, tarqalayotgan moddaning konstantrasiyasi x, u, z koordinatalar va vaqt τ ning funktsiyasi bo'lib qolmay, balki element siljish tezligi w_x, w_u va w_z larga ham bog'liq bo'ladi.

Molekulyar 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 konstantrasiyasining o'zgarishi substansional hosila orqali ifodalanadi:

$$\frac{D\bar{c}}{D\tau} = \frac{\partial \bar{c}}{\partial \tau} + \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} w_x + \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} w_y + \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} w_z \quad (5.27)$$

Ushbu tenglamadagi qo'shiluvchilar yig'indisi $\frac{\partial \bar{c}}{\partial x} w_x + \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} w_y + \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} w_z$ - konstantrasiyaning konvektiv o'zgarishini, $\frac{\partial \bar{c}}{\partial \tau}$ esa – lokal o'zgarishini xarakterlaydi.

Molekulyar diffuziya hisobiga tarqalayotgan moddaning ortishi (5.16) tenglama yordamida aniqlanadi.

Agar, (5.16) va (5.27) tenglamalarni tenglashtirsak va konstantrasiyaning lokal o'zgarishi $\frac{\partial \bar{c}}{\partial \tau}$ ni (5.27) dagi

to'liq $\frac{D\bar{c}}{D\tau}$ ga almashtirsak, konvektiv diffuziyaning differensial tenglamasini keltirib chiqarish mumkin:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial \tau} + \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} w_x + \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} w_y + \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} w_z = D \left(\frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial z^2} \right) \quad (5.28)$$

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, molekulyar diffuziya (5.10) hisobiga amalga oshadi.

(5.10) va (5.17) tenglamalarni bir-biriga tenglashtirib, ushbu formulani olamiz:

$$\beta \Delta \bar{c} = -D \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \quad (5.29)$$

bu erda $\Delta \bar{c} = \bar{c}_{ch} - \bar{c}_f$ - jarayonni harakatga keltiruvchi kuch.

Konvektiv diffuziyaning kriterial tenglamalari. Bunday formulalar (5.28) va (5.29) tenglamalardan keltirib chiqariladi. Diffuzion kriteriyalarni olish uchun o'xshashlik nazariyasidan foydalanamiz. (5.29) tenglamadan o'lchamsiz $\beta \Delta \bar{c} / D \frac{\partial \bar{c}}{\partial x}$ kompleksni olamiz va ba'zi qisqartirishlardan so'ng Nusselt diffuzion kriteriysini hosil qilamiz:

$$Nu_{\beta} = \frac{\beta \cdot l}{D} \quad (5.30)$$

bu erda β - massa berish koeffitsienti; l - aniqlovchi o'lcham; D – molekulyar diffuziya koeffitsienti.

(5.28) tenglamaning ikkala qismini $D \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} / \Delta \bar{c}$ ga bo'lib, ushbu o'lchamsiz kompleksni olish mumkin:

$$\frac{\frac{\partial \bar{c}}{\partial \tau} \cdot \partial x^2}{\partial \tau \cdot \partial^2 \bar{c}} \quad \text{va} \quad \frac{\frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \cdot w_x \cdot \partial x^2}{\partial x \cdot D \cdot \partial^2 \bar{c}}$$

Bulardan esa Fure diffuzion kriteriysi:

$$Fo_D = \frac{D\tau}{l^2} \quad (5.31)$$

va Pekle diffuzion kriteriysi:

$$Pe_D = \frac{wl}{D} \quad (5.32)$$

keltirib chiqariladi. Bu erda τ - jarayon davomiyligi; w – oqim tezligi.

Fure 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 molekulyar diffuziyalar orqali o'tayotgan massalarning nisbatini ifodalaydi.

Pekle kriteriysini o'zgartirib, ushbu ko'rinishda yozamiz:

$$Pe = \frac{wl}{D} = \frac{wl}{\nu} \cdot \frac{\nu}{D} = Re \cdot Pr_D$$

bu erda

$$Pr_D = \frac{\nu}{D} \quad (5.33)$$

Prandtl kriteriysi fizik kattaliklar maydonlarining o'xshashligini xarakterlaydi va moddalar fizik xossalari nisbatining o'zgarishini ifodalaydi.

Massa berish jarayonini xarakterlovchi o'xshashlik kriteriylari aniqlangandan so'ng, konvektiv diffuziyaning umumiy kriterial tenglamasi tuzilishi mumkin:

$$f(Re, Gr, Nu_D, Pr_D, Fo_D) = 0 \quad (5.34)$$

Nusseltning diffuzion kriteriysi asosiy aniqlanuvchi kriteriy bo'lgani uchun (5.34) tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$Nu_D = f(Re, Gr, Pr_D, Fo_D) \quad (5.35)$$

(5.35)dagi Grasgof kriteriysi erkin konvekstiya paytida konvektiv diffuziyani xarakterlaydi.

Agar, jarayon turg'un bo'lsa, umumiy kriterial tenglamadan, Fure kriteriysi tushirilib qoldiriladi:

$$Nu_D = f(Re, Gr, Pr_D) \quad (5.36)$$

Suyuqlik oqimining majburiy harakati paytida erkin konvekstiyani hisobga olmasa bo'ladi. Bu holda (5.36) tenglamadan Grasgof kriteriysi tushirib qoladi:

$$Nu_D = f(Re, Pr_D) \quad (5.37)$$

Kriterial tenglamalardan aniqlangan Nusselt kriteriysi qiymatlaridan massa berish koeffitsientini hisoblab topish mumkin:

$$\beta = \frac{Nu \cdot D}{l} \quad (5.38)$$

Massa berish koeffitsientlarining qiymatlari yordamida massa o'tkazish koeffitsienti K ni topish mumkin.

Gidrodinamik o'xshashlik asosida massa berish koeffitsienti 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:

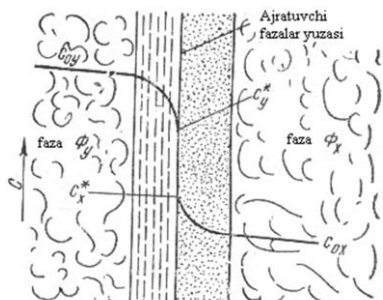
$$St_D = \frac{\beta}{w} = \frac{Nu_D}{Pe_D} = \frac{\beta \cdot l / D}{w \cdot l / D} \quad (5.39)$$

Stanton kriteriysi turbulent oqimlarda massa berish jarayonida konstentrastiya 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. Massao'tkazish jarayonida fazalarda kontsentratsiyalar taqsimlanish sxemasi

Fazalar bir - biriga nisbatan turbulent rejimga oid tezlikda harakat qilmoqda va ular o'rtasida ajratuvchi yuza mavjud.

Tarqaluvchi modda massasi M faza F_u (ammiakning havo bilan aralashmasi)dan suyuq faza F_x (suv) ga o'tmoqda. Shunday qilib, F_u faza yadrosidan fazalarni ajratib turuvchi yuzaga va ajratib turuvchi yuzadan F_x fazaning yadrosiga massa berish jarayoni sodir bo'ladi.

Ajratuvchi yuza qarshiligini (agar uning miqdori sezilarli bo'lsa) engib, 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 pulsastiya yordamida amalga oshadi va tarqaluvchi moddaning konstentrastiyasi, 5.8-rasmda ko'rsatilgandek, o'zgarmas bo'ladi. Chegaraviy qatlamda esa, turbulentlik asta - sekin so'nib, konstentrastiya esa o'zgarib boradi. Ajratuvchi yuzaga yaqinlashgan sari, konstentrastiya o'zgarishi keskinlashadi. Bevosita ajratuvchi yuzada moddaning tarqalish tezligi juda kichik bo'ladi va u molekulyar diffuziyaning tezligiga bog'liq bo'lib qoladi. Fazalararo ishqalanish va sirtiy taranglik kuchlari ta'sirida ajratuvchi yuza yaqinida konstentrastiya 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 molekulyar, 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, pulsastiya, tebranish, elektromagnit maydon yoki ultratovush kabi usullarni qo'llash mumkin.

5.6.2. Massa o'tkazish va berish koeffitsientlari o'rtasidagi bog'liqlik

Ishchi va muvozanat konstentrastiyalari 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:

$$dM = \beta \cdot y(y - y_u) \cdot dF$$

Fazalarni ajratuvchi chegaraviy yuzadan L faza yadrosiga berilgan modda miqdori esa quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$dM = \beta_x (x_u - x) \cdot dF$$

Muvozanat konstantasiya $u_m = m \cdot x$ ekanligi ma'lum bo'lgani uchun, L fazadagi konstantasiya x ni G fazadagi muvozanat konstantasiyasi orqali ifodalasa mumkin:

$$dM = \beta_x (x_u - x) \cdot dF = \frac{\beta_x}{m} (y_{m_u} - y_m) \cdot dF$$

bundan:

$$y_{m_u} - y_m = \frac{dM \cdot m}{\beta_x dF}; \quad y - y_u = \frac{dM}{\beta_y dF}$$

Yuqorida keltirilgan oxirgi ikki tenglamalarning chap va o'ng tomonlarining yig'indisi, hamda $u_{ch} = u_{mch}$ ga tengligini hisobga olsak ushbu ko'rinishdagi tenglamani olamiz:

$$y - y_m = \frac{dM}{dF \left(\frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y} \right)} \quad (5.40)$$

Massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan:

$$y - y_m = \frac{dM}{dF} \cdot \frac{1}{K} \quad (5.41)$$

(5.40) va (5.41) tenglamalarni o'ng tomonlarini tenglashtirib, ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\frac{1}{K_y} = \frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y} \quad \text{yoki} \quad K_y = \frac{1}{\frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y}} \quad (5.42)$$

Xuddi shu usulda L faza uchun massa o'tkazish koeffitsientini aniqlash formulasini keltirib chiqaramiz:

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{m\beta_y} + \frac{1}{\beta_x} \quad \text{yoki} \quad K_x = \frac{1}{\frac{1}{m\beta_y} + \frac{1}{\beta_x}} \quad (5.43)$$

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_u va K_x koeffitsientlar $K_u = K_x/m$ tenglik bilan bog'liq bo'ladi. Massa o'tkazish koeffitsientlarning qiymati massa berish koeffitsientlarining son qiymatlari va muvozanat chizig'ining qiyalik burchagi bilan belgilanadi. Massa berish koeffitsientlari kriterial tenglamalardan aniqlanadi.

5.6.3. Massa almashinish jarayonlarining modellari

Massa berish mexanizmi bir vaqtda ham molekulyar, 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 tahminlar 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 molekulyar diffuziya usulida tarqaladi. Massa berishga qarshilikning hammasi yupqa qatlamda mujassamlashgan. Shuning uchun, konstantasiyalar gradienti faqat chegaraviy yupqa qatlam ichida hosil bo'ladi, chunki fazalar yadrosida konstantasiyalar o'zgarmas va son jihatidan o'rtacha

konstentrastiyalarga tengdir.

Undan tashqari, yuqorida qabul qilingan tahminlar bu modelga ham taalluqli. Shunday qilib, ushbu model sxemasining 5.8-rasmdagidan farqi shundaki, chegaraviy qatlamda turbulent pulsastiyalar yordamida aralashtirish to'g'ri chiziqli qonuniga bo'ysinadi.

Yupqa qatlamli modelga binoan, vaqt birligida tarqalgan massa miqdori quyidagi tenglamadan aniqlanishi mumkin:

$$M = \frac{D}{\delta_{\text{ef}}} (C_0 - C_u) \quad (5.44)$$

bu erda s_0 va s_{ch} – faza yadrosi va ularni ajratib turuvchi chegaradagi konstentrastiyalar; δ – chegaraviy yupqa qatlamning effektiv qalinligi; D/δ_{ef} – massa berish tezligini xarakterlovchi koeffitsient.

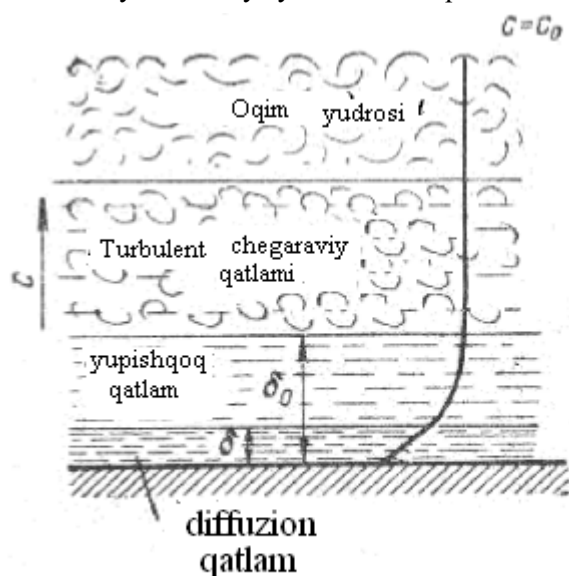
Ushbu modelda ajratuvchi yuza atrofidagi gidrodinamik sharoitlar ancha soddalashtirilgan. Molekulyar va turbulent diffuziyalarni ajratib turuvchi chegarasida turbulent pulsastiyalarning so'nishi, sistemaning fizik va geometrik kattaliklari hisobga olinmagan. Shu sabablarga ko'ra, ko'pchilik tajribalarda 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).

«Qattiq jism – suyuqlik» sistemasidagi nisbatan yuqori aniqlikka ega model rus olimlari Landau va Levich tomonidan yaratilgan. Ko'rinib turibdiki, faza yadrosida konstentrastiya o'zgarish ($S_0 = \text{const}$) bo'lib, turbulent chegaraviy qatlamda asta-sekin kamayib boshlaydi. Qovushoq qatlamga yaqinlashgan sari turbulent pulsastiyalar so'nib boradi. Lekin, qovushoq qatlamda konstentrastiya sezilarli darajada kamayadi. Bu qatlamda ishqalanish kuchlari katta bo'lgani uchun suyuqlik harakati laminar rejimga to'g'ri keladi. Natijada molekulyar diffuziya usulida tarqalayotgan moddaning ulushi ortib boradi.

Lekin, qovushoq qatlam δ_0 ning katta qismiga turbulent diffuziya usulida tarqaladigan massaning miqdori molekulyar diffuziyanikiga qaraganda nisbatan ko'p. Faqat diffuzion qatlam δ dagina massaning o'tishi butunlay molekulyar diffuziya yo'li bilan tarqaladi.



5.9-rasm. Fazadagi oqimning tuzili va kontsentratsiyaning o'zgarishi

Diffuzion qatlamda konstentrastiya keskin o'zgaradi va bu o'zgarish to'g'ri chiziqli bo'yicha boradi.

Qovushoq qatlam qalinligi va δ_0 diffuzion qatlam qalinligi δ o'rtasida quyidagi bog'liqlik bor:

$$\delta = \left(\frac{D}{\nu} \right)^{1/m} \cdot \delta_0 \quad (5.45)$$

δ ning qiymatini (5.44) ga qo'yib, ushbu tenglamani olamiz:

$$M = \frac{D^{m-1}}{\nu^{1/m} \delta_0} (C_0 - C_u) \quad (5.46)$$

bu erda 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 pulsastion 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 pulsastiyalarning 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 tahmin qilingan. Lekin, to'qnashish yuzasining yangilanish modeli (Dankverts va Kishinevskiylar tomonidan yaratilgan) da massa almashinish ja-

rayoni 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 molekulyar va turbulent diffuziya birgalikda boradi deb qabul qilinadi. Shuning uchun, bu modelda o'tayotgan massa miqdori quyidagi formuladan hisoblanadi:

$$M = 2\sqrt{\frac{D + \varepsilon_d}{\pi\tau}}(C_0 - C_q) \quad (5.47)$$

bu erda τ - fazalarning to'qnashish vaqti; S_0-S_{ch} – fazalar chegarasi va yadrosidagi konstantriyalar farqi.

Dankvers modeliga binoan, fazalarni ajratuvchi yuzalar chegarasida moddaning tarqalishi faqat molekulyar 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:

$$M = \sqrt{Ds}(C_0 - C_q)$$

bu erda 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 konstantriyasi o'zgaradi. Bu hol esa o'z navbatida harakatga keltiruvchi kuchning o'zgarishiga olib ketadi. 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 $u^* = f(x)$;

2) fazalar sarflari o'zgarmas ($G = \text{sonst}$, $L = \text{const}$), ya'ni ishchi chiziq to'g'ri chiziq funkstiyasidir.

3) massa o'tkazish koefstienti qurilmaning balandligi bo'yicha o'zgarmaydi, ya'ni $K_x = \text{const}$, $K_u = \text{const}$.

Massa o'tkazish jarayonida dF elementar yuzadan F_u fazaning konstantriyasi du ga kamayadi va tarqalgan massadM ning miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$dM = -Gdy$$

Tenglama o'ng tomonidagi manfiy ishora F_u fazadagi konstantriyaning kamayishini ifodalaydi.

Xuddi shu miqdordagi dM massa F_x fazaga o'tib, uning konstantriyasini dx qiymatga oshiradi. Unda, dF elementar yuza uchun massa o'tkazish tenglamasini ushbu ko'rinishda yozish mumkin:

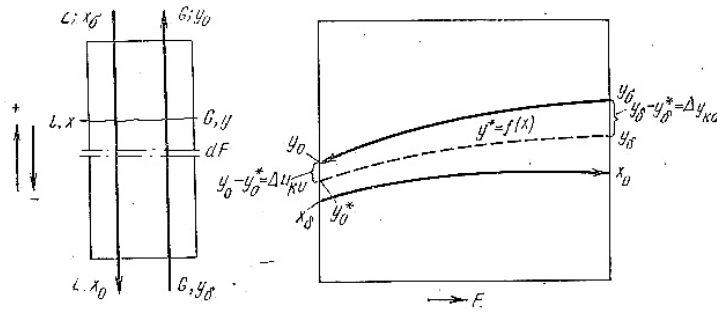
$$dM = -Gdy = K_y(y - y^*) \cdot dF \quad (5.48)$$

O'zgaruvchi u va F qiymatlarni ajratib (5.48) tenglamani integrallasak (konstantriya bo'yicha u_b dan u_{ox} gacha, to'qnashish yuzasi bo'yicha O dan F gacha), quyida tenglamani olamiz:

$$\int_{y_0}^{y_{ox}} \frac{dy}{y - y^*} = \int_O^F \frac{K_y}{G} dF$$

bundan

$$\int_{y_{ox}}^{y_{\bar{o}}} \frac{dy}{y - y^*} = \frac{K_y}{G} F \quad (5.49)$$



5.10-rasm. Massa o'tkazish jarayonining o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchini aniqlashga oid.

Moddiy balans tenglamasiga binoan, butun qurilma uchun bir fazadan ikkinchisiga o'tgan modda massasi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$M = G \cdot (y_{\bar{o}} - y_{ox})$$

Oxirgi ifodadagi G ning qiymatini (5.49) tenglamaga qo'ysak, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\int_{y_{ox}}^{y_{\bar{o}}} \frac{dy}{y - y^*} = \frac{K_y \cdot F}{M} (y_{\bar{o}} - y_{ox})$$

bundan:

$$M = K_y F \frac{y_{\bar{o}} - y_{ox}}{\int_{y_{ox}}^{y_{\bar{o}}} \frac{dy}{y - y^*}} \quad (5.50)$$

(5.50) tenglamani (5.4) bilan taqqoslab, (5.50) tenglamaning oxirgi ko'paytmasi massa almashinish jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchini ifoda etishini bilamiz:

$$\Delta y_{yp} = \frac{y_{\bar{o}} - y_{ox}}{\int_{y_{ox}}^{y_{\bar{o}}} \frac{dy}{y - y^*}} \quad (5.50a)$$

Xuddi shunday F_x fazadagi $\Delta x_{o'r}$ ni quyidagich ifodalash mumkin:

$$\Delta x_{yp} = \frac{x_{ox} - x_{\bar{o}}}{\int_{x_{\bar{o}}}^{x_{ox}} \frac{dx}{x^* - x}} \quad (5.50b)$$

Muvozanat chizig'i to'g'ri chiziq ($u^* = mx$) funkstiyasi bo'lgan holda o'rtacha logarifmik yoki arifmetik kattalik sifatida aniqlash mumkin.

Shunday qilib, F_u fazasi uchun massa o'tkazishning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi ushbu tenglama bilan ifodalanadi:

$$\Delta y_{yp} = \frac{(y_{\bar{o}} - y_{\bar{o}}^*) - (y_{ox} - y_{ox}^*)}{\ln \frac{y_{\bar{o}} - y_{\bar{o}}^*}{y_{ox} - y_{ox}^*}} = \frac{\Delta y_{ka} - \Delta y_{ku}}{2,3 \lg \frac{\Delta y_{ka}}{\Delta y_{ku}}} \quad (5.51)$$

F_x fazasi uchun massa o'tkazishning o'rtacha logarifmik harakatga keltiruvchi kuchini esa quyidagi tenglama orqali topish mumkin:

$$\Delta x_{yp} = \frac{(x_{ox} * -x_{ox}) - (x_{\delta} * -x_{\delta})}{\ln \frac{x_{ox} * -x_{ox}}{x_{\delta} * -x_{\delta}}} = \frac{\Delta x_{ka} - \Delta x_{ku}}{2,3 \lg \frac{\Delta x_{ka}}{\Delta x_{ku}}} \quad (5.52)$$

Agar $\Delta y_{ka} / \Delta y_{ku} < 2$ bo'lgan sharoitda, texnik hisoblashlar uchun etarli aniqlikda, massa o'tkazishning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi, o'rtacha arifmetik qiymat sifatida topiladi:

$$\Delta y_{yp} = \frac{\Delta y_{ka} + \Delta y_{ku}}{2} \quad (5.53)$$

Xuddi shunday, F_x fazasi uchun:

$$\Delta x_{yp} = \frac{\Delta x_{ka} + \Delta x_{ku}}{2} \quad (5.54)$$

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:

$$n_{oy} = \int_{y_{ox}}^{y_{\delta}} \frac{dy}{y - y *}$$

$$n_{ox} = \int_{x_{\delta}}^{x_{ox}} \frac{dx}{x * - x}$$

(5.55) tenglamadan ko'rinib turibdiki, o'tkazish birligining soni va o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch o'rtasida ma'lum bog'liqlik bor:

$$n_{oy} = \frac{y_{\delta} - y_{ox}}{\Delta y_{yp}} \quad (5.56)$$

$$n_{ox} = \frac{x_{ox} - x_{\delta}}{\Delta x_{yp}}$$

Shunday qilib, o'tkazish birligi soni jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchiga teskari proporsionaldir.

O'tkazish birligining balandligi. Faraz qilaylik, F_u fazadan F_x ga massa o'tkazish jarayoni sodir bo'lib, o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch F_u faza konstantasiyasida ifodalanganda, tarqalgan modda M miqdori ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$M = G \cdot (y_{\delta} - y_{ox})$$

bu erda $G - F_u$ faza sarfi.

Undan tashqari, tarqalgan modda miqdori hajmiy massa o'tkazish koeffitsienti orqali ifodalangan massa berish tenglamasi yordamida topilishi mumkin:

$$M = K_y \cdot aSH\Delta y_{yp}$$

Agar, oxirgi ikki tenglamalarning o'ng tomonlarini tenglashtirsak, ushbu ifodani olamiz:

$$K_y \cdot aSH\Delta y_{yp} = G \cdot (y_{\delta} - y_{ox})$$

bundan, qurilmaning ishchi balandligi:

$$H = \frac{G}{K_y \cdot aS} \cdot \frac{y_{\delta} - y_{ox}}{\Delta y_{yp}} \quad (5.57)$$

(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:

$$h_{oy} = \frac{HG}{K_y aSH} = \frac{G}{K_y \cdot aS} \quad (5.58)$$

yoki

$$h_{ox} = \frac{L}{K_x \cdot aS}$$

$K_u \cdot a = K_v$ va $G/S = W$ – suyuqlik massaviy tezligi, bo'lgani uchun:

$$h_{oy} = \frac{W}{K_v}$$

yoki

$$h_{ox} = \frac{L}{K_v} \quad (5.59)$$

Shunday qilib, o'tkazish birligining balandligi bitta o'tkazish birligiga ekvivalent bo'lgan qurilma balandligini ifodalaydi. O'tkazish birligining balandligi massa o'tkazishning hajmiy koeffitsientiga 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 koeffitsienti. Massa almashinish jarayoni nuqtai 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 koeffitsienti** deb nomlanadi.

$$\varphi = \frac{y_{\delta} - y_{ox}}{y_{\delta} - y_{ox}^*} \quad (5.60)$$

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 parametрни hisoblash uchun suyuqlik sarfi tenglamasidan foydalaniladi:

$$V = Fw_0$$

bu erda V – fazaning hajmiy sarfi; w_0 – fazaning sohta tezligi; F – qurilma ko'ndalang kesimining yuzasi.

Dumaloq ko'ndalang kesim yuzasi $F = \pi D^2 / 4$. Demak:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} w_0$$

Bundan qurilmaning diametri:

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi w_0}} \quad (5.62)$$

Odatda, V kattalik berilgan bo'ladi va qurilma diametrini aniqlash uchun tegishli fazaning sohta tezligini tanlash zarur. Faza tezligini tanlash quyidagi talablar asosida amalga oshiriladi: suyuqlik oqimining tezligi ortishi bilan massa o'tkazish koeffitsienti 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 sohta tezlikni hisoblab chiqish va uning maksimal qiymatini topish bilan chegaralinadi.

Qurilma balandligi. Massa almashinish qurilmasining balandligi jarayonda ishtirok etuvchi fazalar to'qnashuvchi 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 koeffitsienti orqali ifodalangan massa o'tkazish formulasi asosida hisoblash mumkin:

$$M = K_y \cdot a \cdot V \cdot \Delta y_{yp}$$

yoki

$$M = K_x \cdot a \cdot V \cdot \Delta x_{yp} \quad (5.63)$$

Qurilmaning ishchi hajmi:

$$V = FH$$

bu erda F - qurilmako'ndalang kesimiyuzasi, m; N - qurilmaning ishchi balandligi, m.

Agar, V ning qiymatini (5.63) ga qo'yib, tenglamani N ga nisbatanechsak, qurilmaning balandligini topamiz:

$$H = \frac{M}{K_y \cdot a \cdot F \cdot \Delta y_{yp}} \quad (5.64)$$

yoki

$$H = \frac{M}{K_x \cdot a \cdot F \cdot \Delta x_{yp}}$$

(5.64) tenglamadan N ni aniqlashda solishtirma yuza a va massa o'tkazishning sirtiy koeffitsienti (K_u yoki K_x) ni yoki ushbu kattaliklarning ko'paytmasi bo'lmish hajmiy massa o'tkazish koeffitsienti 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

$$H = h_{ox} \cdot n_{ox} \quad (5.65)$$

Pog'onali to'qnashishli qurilmaning balandligi. Bunday turdagi qurilmalarning, shu jumladan, tarelkali kolonnalarning balandligi hajmiy massa o'tkazish koeffitsienti orqali ifodalanadi.

Lekin, K_v ni aniqlash uchun kerakli harakatchan faza hajmini topish juda qiyin. Shunday uchun, N ni

hisoblashda qurilma pog'onalarining soni analitik yoki grafik usulda topilishi mumkin.

Qurilmaning ishchi balandligi pog'onalarining haqiqiy soni orqali aniqlanishi mumkin:

$$H = n_x \cdot h$$

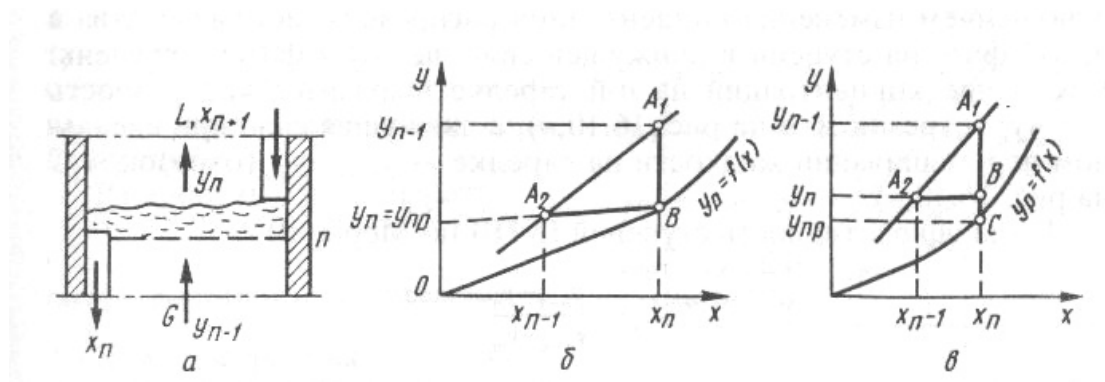
bu erda h – pog'onalar orasidagi masofa.

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 u_{n-1} konstanttrastiyali G gaz faza va x_{n+1} konstanttrastiyali L suyuq faza uzatilmoqda. Massa almashinish natijasida gaz fazaning konstanttrastiyasi u_n miqdorgacha pasaysa, suyuq fazaniki x_n miqdorgacha ko'payadi. Tarelkadan chiqib ketayotgan gaz u_n va undan oqib tushayotgan suyuqlik x_n tarkiblarining muvozanat holati konstanttrastiyalari muvozanat chizig'ida V nuqta bilan ifodalanadi (5.11-rasm).

Nazariy pog'onada gaz fazasi konstanttrastiyasining o'zgarishiga A_1V vertikal chiziq to'g'ri keladi. Suyuq fazada konstanttrastiyaning x_n dan x_{n+1} gacha o'zgarishi VA_2 gorizontaal chiziq bilan ifodalanadi.

Shunday qilib, A_1VA_2 "pog'ona" nazariy tarelkada ikkala fazalar konstanttrastiyalarining o'zgarishini tasvirlaydi. Kolonnali qurilmalarda nazariy tarelkalar sonini aniqlash uchun boshlang'ich va oxirgi konstanttrastiyalar oraligida ketma-ket shunday "pog'onalar" quriladi.



5.11-rasm. Tarelkada massa almashinish (a) va jarayonni u - x koordinatlarida tasvirlash

b - tarelkda muvozanat bo'lgan sharoitda - ideal jarayon;
c - tarelkada muvozanat bo'lmagan sharoitda - haqiqiy jarayon.

Haqiqiy tarelkalar sonini topish uchun qurilmaning f.i.k. dan foydalaniladi. Ushbu koeffitsient haqiqiy tarelkadagi massa almashinish jarayonining real kinetikasini hisobga oladi va tarelkalar tuzilishiga qarab $\eta = 0,5 \dots 0,8$ oralikda bo'ladi.

F.i.k. hisobga olingan hollarda, tarelkalarining haqiqiy soni ushbu nisbatdan topiladi:

$$n_x = \frac{\eta_H}{\eta} \quad (5.66)$$

bu erda η_n - tarelkalarining haqiqiy 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 tahminiy usul bo'lib hisoblanadi. Bundan, faqat massa o'tkazish koeffitsienti 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 konstanttrastiyalar o'zgarishini shu fazaning pog'onaga kirishdagi harakatga keltiruvchi kuchi nisbati bilan belgilanadi.

n - pog'ona tarelkasidagi konstanttrastiyaning o'zgarishi $u_{n-1} - u_n$ farq bilan (5.11v-rasm, A_1V kesma), suyuqlikni ideal aralashtirish paytidagi harakatga keltiruvchi kuch esa, $u_{n-1} - u_{nr}$ (5.11v-rasm, A_1S kesma) farq bilan ifodalanadi.

Unda, pog'onalarining samaradorligi yoki f.i.k. quyidagicha hisoblanadi:

$$E_y = \frac{y_{n-1} - y_n}{y_{n-1} - y_{np}} \quad (5.67)$$

Qurilma balandligi esa ushbu nisbatdan topiladi:

$$H = \frac{n_x \cdot h_x}{\eta} \quad (5.68)$$

$y > y_p$ bo'lganda, n – tarelka uchun harakatga keltiruvchi kuch quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta y_{yp} = \frac{(y_{n-1} - y_{np}) - (y_n - y_{np})}{\ln \frac{y_{n-1} - y_{np}}{y_n - y_{np}}} = \frac{y_{n-1} - y_n}{\ln \frac{y_{n-1} - y_{np}}{y_n - y_{np}}} \quad (5.69)$$

O'tkazish birligining soni esa,

$$m_y = \ln \frac{y_{n-1} - y_{np}}{y_n - y_{np}} \quad (5.70)$$

bundan

$$e^{m_y} = \frac{y_{n-1} - y_{np}}{y_n - y_{np}} \quad (5.71)$$

5.11-rasmdan ko'rinib turibdiki, $e^{m_y} = AC/BC$ yoki $VS = AS e^{-m_y}$. Agar, e^{-m_y} ma'lum bo'lsa, VS kesma bo'yicha V , V_1 , V_2 nuqtalar o'rnini topish mumkin. V , V_1 , $V_2, \dots$ nuqtalarni birlashtirib, har bir tarelkadan chiqishdagi fazaning konstantasiyasini ifodalovchi jarayonning kinetik chizig'ini olamiz.

Massa o'tkazish koeffitsienti β_u va β_x larni hisobga olgan holda aniqlanadi:

$$K_q = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}}$$

Shunday qilib, K_u va e^{-m_y} qiymatlarni, hamda SV kesmani hisoblab, kinetik chiziq o'rnini topish mumkin.

Pog'onalar samadorligi va o'tkazish birligining soni orasida esa quyidagi bog'liqlik bor:

$$e^{-m_y} = 1 - \frac{y_{n-1} - y_n}{y_n - y_{np}} = 1 - E_y \quad (5.72)$$

bundan

$$E_y = 1 - e^{-m_y} \quad (5.73)$$

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 **engil uchuvchan**, past uchuvchanlikka ega komponent **qiyin uchuvchan** deb nomlanadi. Demak, engil uchuvchan komponent qiyin uchuvchanga qaraganda pastroq temperaturada qaynaydi. Shuning uchun ham, ular past va yuqori temperaturada **qaynaydigan komponent-**

lar deb ataladi.

Haydash yoki rektifikatsiya jarayonida boshlang'ich aralashma engil uchuvchan komponenti bilan boyitilgan **distillyat** va qiyin uchuvchan komponent bilan boyitilgan **kub qoldig'iga** ajraladi. haydash jarayonida hosil bo'lgan bug` kondensator - deflegmatorga kondensastiyalash 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 erda K - komponentlar soni; F - fazalar soni.

Sistema holatini uchta bir - biriga bog'liq bo'lmagan parametr belgilaydi: bosim r , temperatura t va konstantriya x . Agar, istalgan ikkita parametr tanlansa, uchinchisini aniqlash qiyin emas. Demak, muvozanat chizig'ini istalgan ikkita o'zgaruvchi parametr orqali ifodalash mumkin, ya'ni r va x , t va x , r va t , x va u .

Malumki, suyuqlik aralashmalari o'zlarining fizik-kimyoviy xarakteristikalarini 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.

Engil uchuvchan A va qiyin uchuvchan V komponentli binar, suyuq aralashmani ko'rib chiqamiz. A va V toza komponentlar to'yingan bug'larining bosimini R_A va R_V deb belgilaymiz.

Malumki, ideal aralashmalar Raul qonuniga bo'ysinadi. Ushbu qonunga binoan, suyuqlik ustidagi toza komponentning bug' bosimi uning suyuqlikdagi mol ulushiga proporsionaldir:

$$p_A = P_A \cdot x ; \quad p_B = P_B(1-x) \quad (5.115)$$

bu erda r_A, r_V - A va V komponentlarning parstial bosimi; $x, (1-x)$ - suyuq aralashmadagi A va V komponentlarning mol ulush.

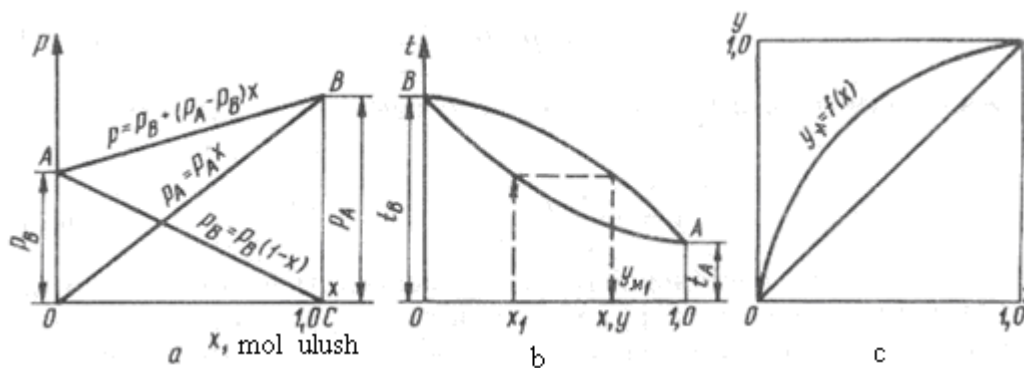
Dalton qonuniga binoan sistemadagi umumiy bosim, parstial bosimlar yig'indisiga teng:

$$P = P_A \cdot x + P_B(1-x) = P_B + (P_A - P_B) \cdot x \quad (5.116)$$

Bundan

(5.115) va (5.116) tenglamalardan ko'rinib turibdiki, bir xil o'zgarmas temperaturada suyuqlik aralashmasi ustidagi komponentlar parstial va bug'larning umumiy bosimi engil uchuvchan komponentning mol ulushi x bilan to'g'ri chiziqli bog'liqlikda bo'ladi.

5.30-rasmda komponentlar parstial bosimi va umumiy bosim izotermalari tasvirlangan.



5.30-rasm. Ideal aralashmalar uchun suyuqlik-bug' muvozanat diagrammasi.

a - aralashma ustidagi komponent parstial bosimi va umumiy bosim izotermalari;

b - t - x , y diagrammalari; c - y - x diagramma.

$$x = \frac{P - P_B}{P_A - P_B}$$

OV va **SA** to'g'ri chiziqlar komponentlar parstial bosimi (r_A va r_V) ni, **AV** esa - suyuqlik ustidagi umumiy bosim o'zgarishini ifodalaydi. **OA** va **SV** vertikal kesmalar toza komponentlar to'yingan bug' i bosimi (R_A va R_V) ni ko'rsatadi.

Dalton qonuniga ko'ra, bug'dagi komponentning parstial bosimi, undagi shu komponent mol ulushiga proporsionaldir:

$$p_A = P \cdot y ; \quad p_B = P \cdot (1 - y) \quad (5.117)$$

bu erda **R** - sistema umumiy bosim; **u**, (**1-u**) - bug' aralashmasidagi **A** va **V** komponentlar mol ulushi.

Muvozanat sharoiti uchun:

$$P_A \cdot x = P_A \cdot y ; \quad P_B(1 - x) = P \cdot (1 - y) \quad (5.118)$$

bundan

$$y = \left(\frac{P_A}{P} \right) x \quad \text{yoki} \quad 1 - y = \left(\frac{P_B}{P} \right) \cdot (1 - x) \quad (5.119)$$

Odatda, haydash va rektifikatsiya jarayonlari izobarik jarayonda o'tkaziladi. Shuning uchun, **R = 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**, **u** kattaliklari hisoblab topilsa, sistemadagi muvozanatni ifodalovchi diagrammani qurish mumkin. Diagrammadagi pastki chiziq (5.30b-rasm) suyuq aralashmaning qaynash temperaturasi, yuqori chiziq esa - bug' aralashmani kondensastiyalash temperaturasi ifodalaydi. **x = 0** va **x = 1,0** da ordinata o'qlaridagi kesmalar, qiyin va engil uchuvchan komponentlar qaynash temperaturasi ko'rsatadi.

Suyuqlikning ma'lum tarkibi **x₁** bo'yicha bug' tarkibini aniqlash uchun suyuqlik konstantstrastiyasiga tegishli absstissa o'qidagi nuqtadan qaynash chizig'i bilan kesishguncha vertikal chiziq o'tkaziladi. So'ng esa, kesilish nuqtasidan bug' kondensastiyalanish chizig'i bilan kesishguncha gorizontall chiziq o'tkaziladi. Kesilish nuqtasining absstissa o'qidagi qiymati bug'ning muvozanat tarkibi **u₁** ni beradi.

5.30b-rasmda ko'rinib turibdiki, bir xil qaynash temperaturasida bug'dagi engil uchuvchan komponent konstantstrastiyasi uning suyuqlik bug'lari muvozanat konstantstrastiyasidan 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 ushlaydi, 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 **u - x** diagrammadan foydalanish qulaydir (5.30v-rasm).

u_m = f(x) funktsiya quyidagi tenglamaga mos keladi

$$y = \frac{P_A \cdot x}{P} = \frac{P_A \cdot x}{P_B + (P_A - P_B) \cdot x} \quad (5.120)$$

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.

$$y = \frac{\alpha \cdot x}{1 + (\alpha - 1) \cdot x} \quad (5.121)$$

Faqat engil 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 diagonal va muvozanat egri chizig'i suyuq va bug' fazalarning mavjud bo'lish soHalarini chegaralaydi.

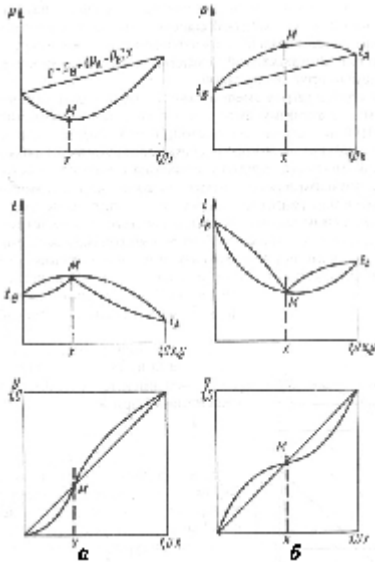
Haqiqiy suyuqlik aralashmalari. Bunday aralashmalardan komponentlar ajratib olinganda issiqlik ajrab chiqadi, hajmi o'zgaradi va ko'pchilik hollarda Raul qonuniga bo'ysunmaydi.

Undan tashqari, bu aralashmalar bug` fazasining molekulari 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`ishda esa - kichik bo`ladi.

Musbat og`ishda umumiy bosim chizig`i ideal eritmanikidan yuqori, manfiy og`ishda - pastroqdan o`tadi.

Parstial bosimlarning konstentrastiyaga bog`liqligi botiq yoki bo`rtiq chiziqlar orqali tasvirlanadi (5.31-rasm);



5.31-rasm. Haqiqiy eritmalarining fazaviy diagrammalari.

a - manfiy og`ish; b - musbat og`ish

b) bug` uchuvchanligi maksimumga ega bo`lgan eritmalarining temperaturasi (yoki bosimi) oshirilganda, azeotrop eritmalarida bug`lanishi uchun katta energiya talab etuvchi komponentning nisbiy qiymati ortadi. Bug`ning uchuvchanligi minimum bo`lganda, eritmaning qaynash temperaturasi oshirilganda azeotrop eritmada bug`lanishi uchun kam energiya talab qiluvchi komponentning nisbiy miqdori ko`payadi.

Vrevskiy qonuniga binoan, azeotrop eritmalarini ajratish uchun bosimni o`zgartirib haydash yoki rektifikasiya qilish jarayonlaridan foydalanish mumkin.

Bir-birida erimaydigan yoki qisman eriydigan suyuqlik aralashmalari. Agar, A va V komponentlar bir-birida to`liq erisa, komponentlar molekularining o`zaro tortishish kuchlari nolga teng bo`ladi. Bunda, har bir komponent o`zini mustaqil tutadi va quyidagi bosimda qaynaydi:

$$P = P_A + P_B$$

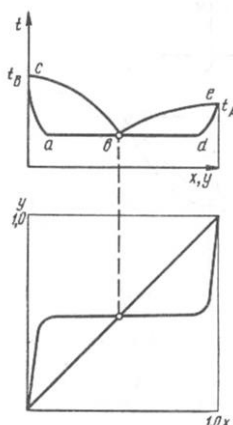
Agar, aralashma komponentlari bir - birida erimasa, istalgan komponent parstial bosimi, uning o`sha temperaturada to`yingan bug` bosimiga teng.

Aralashmaning qaynash temperaturasi t_{ar} suyuq aralashmaning tarkibiga bog`liq emas (5.32-rasm **avd** 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 kondensastiyalanish temperaturasi **sb** va **eb** chiziqlari bo`ylab o`zgaradi. Diagrammadagi **b** nuqtada  $u_0 = R_a/R = \text{const}$  tarkibli bug` kondensastiyalanadi.



5.32-rasm. Qisman eriydigan aralashmalarining fazaviy diagrammalari.

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 hollard-

agina qo'llash maqsadga muvofiq va yuqori samara beradi.

Oddiy haydash quyidagi usullarda amalga oshiriladi: frakstiyali haydash; deflegmastiya bilan haydash; suv bug'i bilan haydash; molekulyar haydash.

Frakstiyali haydash Bu usul haydash kubidagi eritmani asta-sekin bug'latish yo'li bilan olib boriladigan ajratish jarayonidir (5.33-rasm).

Jarayon davomida hosil bulayotgan bug' kondensator 2 ga uzatiladi va u erda kondensastiyalanib, distillyat holatida yig'gich 3 ga yuboriladi. Jarayon tugagandan so'ng, kub 1 dagi kub qoldig'i chiqarib tashlanadi. Kub 1 to'yingan suv bug'i yoki tutun gazlari bilan qizdiriladi.

Eritmani haydash jarayonida kub qoldig'ida engil uchuvchan komponent miqdori va distillyat tarkibidagi miqdori maksimal qiymatdan minimalgacha kamayadi. Shuning uchun, har xil tarkibli distillyat frakstiyalari turli yig'gichlarga ajratib olinadi. har xil tarkibli mahsulot olishga mo'ljallangan eritmalarini ajratib olish usuli **frakstiyali haydash** deb nomlanadi.

Oddiy haydash davrida hosil bulayotgan bug' kubdan chiqarib olinadi va har bir onda kubda qolgan eritma bilan muvozanatda bo'ladi.

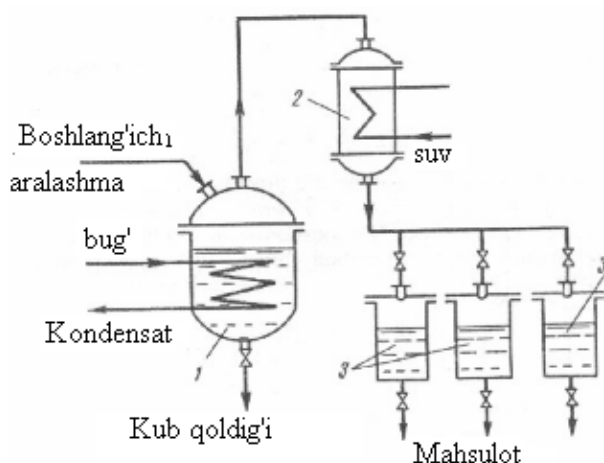
Bu usulda haydash atmosfera yoki vakuum ostida olib boriladi. Vakuum ostida haydash usuli issiqlikka chidamsiz eritmalarini ajratish imkoniyatini yaratadi, chunki bu usulda qaynash temperaturasi pasayadi. Shuning uchun ham bu usulda haydash davrida past temperaturali suv bug'laridan foydalaniladi.

Distillyatning o'rtacha tarkibi moddiy balans tenglamasidan aniqlanadi:

$$Fx_f = Wx_w + (F - W)x_{dyp}$$

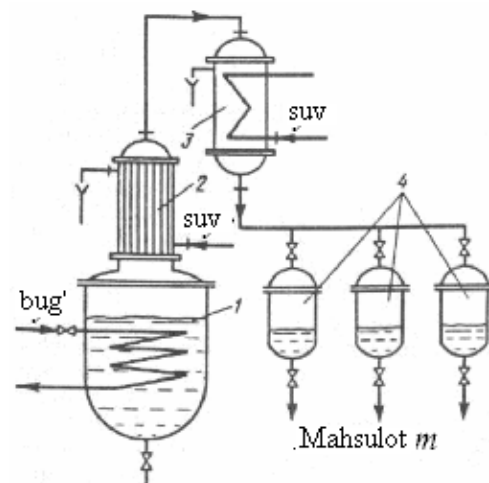
bundan

$$x_{dyp} = \frac{Fx_f - Wx_w}{F - W} \quad (5.122)$$



5.33-rasm. Oddiy haydash qurilmasi.

1 - kub; 2 - kondensator;
3 - distillyat yig'gichlar.



5.34-rasm. Deflegmatsiyali oddiy haydash qurilmasi

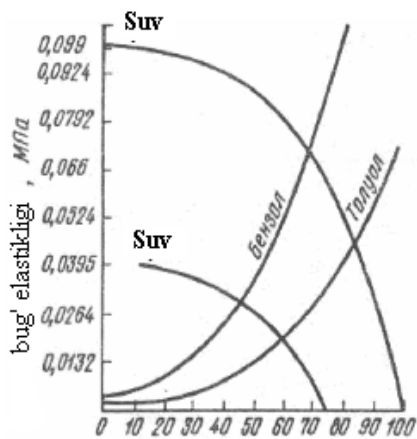
1 - kub; 2 - deflegmator; 3 - kondensator; 4 - yig'gichlar.

bu erda F - boshlang'ich eritma miqdori; x_f - boshlang'ich eritma konsentratsiyasi; W - kub qoldig'i miqdori; x_w - kub qoldig'i konsentratsiyasi.

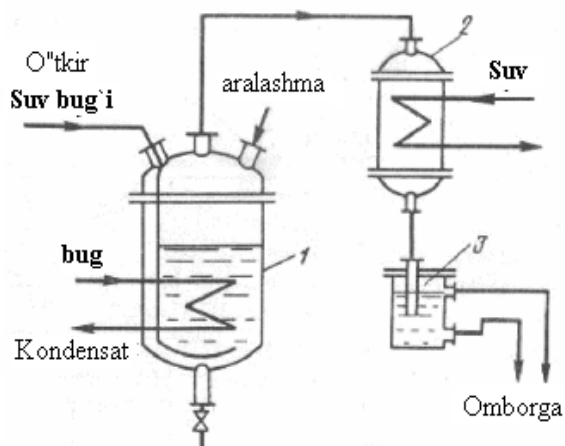
Deflegmatsiyabilan haydash. Bu usul eritmalarini ajratish darajasini ko'tarish uchun qo'llaniladi (5.34-rasm).

Bu usulda, kub 1 da hosil bo'lgan bug'lar deflegmator 2 ga uzatiladi va u erda qisman kondensastiyalanadi. Qisman kondensastiyalanish 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'sirida buladi.

Engil uchuvchan komponent miqdori yuqori bo'lgan bug'lar kondensatorga yo'naltiriladi. Kondensastiyalanish natijasida hosil bo'lgan distillyat yig'gich 4 ga tushadi. Kub qoldig'ining konsentratsiyasi o'rnatilgan x_w qiymatiga etganda so'ng, kubdan chiqarib yuboriladi.



5.35-rasm. Suv bug'i bilan haydash paytida qaynash temperaturasi aniqlash diagrammasi



5.36-rasm. Suv bug'i bilan oddiy haydash qurilmasi

1 - kub; 2 - kondensator;
3 - separator.

Suv bug'i bilan haydash. Eritmalar qaynash temperaturasi pasaytirish uchun jarayonni vakuum ostida tashkil etish usuli oldindan ma'lum edi. Lekin, eritmalar suv bug'i bilan haydash usulida ham qaynash temperaturasi pasaytirish mumkin. Ayniqsa, bu usul qaynash temperaturasi 100°S 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.

5.35-rasmda suv bug'i bilan oddiy haydash davrida qaynash temperaturasi aniqlash diagrammasi keltirilgan. Bu diagrammada qaynash temperaturasi 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 $69,5^{\circ}\text{S}$, bosim $r = 0,0395 \text{ MPa}$ da 46°S atrofida, bosim $r = 0,1 \text{ MPa}$ da toluol uchun esa -85°S .

5.36-rasmda aralashmalarni suv bug'i bilan haydash qurilmasining sxemasi keltirilgan.

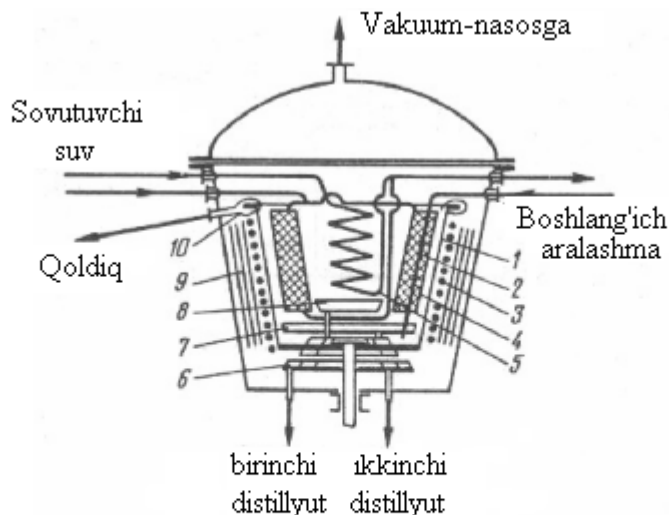
Boshlang'ich eritma kub 1 ga yuklanadi va uning g'ilofiga suv bug'i yuboriladi. So'ng, kub ichidagi eritmaga barboter orqali kuchli suv bug'i haydaladi. Eritmaning qaynash paytida hosil bo'lgan bug'lar kondensator 2 ga uzatiladi va undan keyin separator 3 da kondensat ajratiladi. Separatoridan suv chiqariladi, suvda erimaydigan engil uchuvchan komponent esa maxsus idishga yig'iladi. Odatda bu usul muvozanat bo'lmagan sharoitlarda amalga oshiriladi.

Molekulyar haydash. Bu usul yuqori temperaturada qaynaydigan va issiqlikka chidamsiz eritmalar ajratish uchun qo'llaniladi.

Ushbu jarayon o'ta past vakuumda, ya'ni bosim $1,31 \dots 0,131 \text{ Pa}$ bo'lgan oralikda olib boriladi.

Molekulyar haydash eritmani tashqi yuzasidan bug'latish orqali amalga oshiriladi. Jarayon bir - biriga yaqin o'rnatilgan bug'latish va kondensastiyalash yuzalarida ro'y beradi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, ular orasidagi masofa odatda $20 \dots 30 \text{ mm}$, ya'ni molekulalarning erkin harakati uzunligidan kam bo'lishi kerak. Bunday holatda issiq yuzadan ko'tarilayotgan engil uchuvchan komponent molekulalari sovuq yuzaga urilishi bilan kondensastiyalanadi. Bug'lanish va kondensastiyalanish yuzalari o'rtasidagi temperaturalar farqi 100°S atrofida.

5.37-rasmda molekulyar haydash qurilmasining sxemasi keltirilgan.



5.37-rasm. Molekulyar haydash qurilmasi.

1 - rotor; 2 – boshlang'ich eritmani uzatish trubasi; 3 - elektr isitgich; 4,5 - kondensatorlar; 6 - halqasimon yig'gich; 7,8 -kondensator tagligi; 9 - koncentrik izolyacion plita; 10 - tarmoqli nov.

Boshlang'ich eritma qurilmaga truba 2 orqali rotor 1 ning tubiga uzatiladi. Rotordagi eritma markazdan qochma kuch tasirida konus yuzasi bo'ylab yupqa qatlam holida tarqaladi. Bug'lanish yuzasidan ajralib chiqkan molekularlar kondensastiyalanish yuzasiga qarab yunaladi.

Uchuvchanligi past komponent bug'lari kondensator 4 yuzalarida kondensastiyalansa, uchuvchanligi yuqori komponent bug'lari esa kondensator 5 yuzasida kondensastiyalanadi. Birinchi fraktsiya kondensator 4 dan taglik 8 ga, ikkinchisi esa zmeevikda kondensastiyalanib taglik 7 ga oqib tushadi. Eritmaning bug'lanmagan qismi esa markazdan qochma kuch tasirida rotor chetidan tarmoqli nov 10 ga toshib o'tadi va qurilmadan chiqarib yuboriladi. Ajratib olingan distillyat, taglik 8 chekkasidagi sekstiya orqali halqasimon yig'gichga, taglik 7 dan esa markaziy sekstiya orqali chiqarib olinadi.

5.17. Rektifikatsiya

Suyuqlik aralashmalarini tashkil etuvchi komponentlarga bir necha marta qisman bug'latish va bug'larni kondensastiyalash natijasida ajratishga **rektifikatsiya** deyiladi.

Odatda, eritmalarini 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' kondensastiyalansa, eritma esa bug'ning kondensastiyalanish issiqligi hisobiga qisman bug'lanadi.

Shunday qilib, bug' engil 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 engil uchuvchan, kub qoldig'i esa - qiyin uchuvchan komponentdan tarkib topgan bo'ladi.

Rektifikatsiya jarayonini hisoblashda quyidagi taHminlar qabul qilinadi:

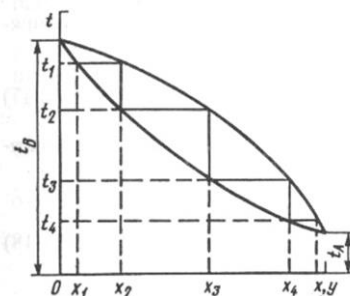
a) 1 kmol bug' kondensastiyalanish davrida 1 kmol suyuqlik bug'lanadi. Demak, rektifikastion kolonnaning istalgan ko'ndalang kesimida harakatlanayotgan bug'ning miqdori bir xildir;

b) deflegmatorda kondensastiyalanayotgan bug'ning tarkibi o'zgarmaydi. Demak, rektifikastion kolonnadan chiqib ketayotgan bug'ning tarkibi distillyatnikiga teng ($u_d = x_d$) bo'ladi;

v) 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 (5.38-rasm).

Konstentrastiyasi x_1 bo'lgan boshlang'ich eritma qaynash temperaturasi t_1 gacha qizdirilganda, suyuqlik bilan muvozanatdagi bug' olinadi va u kondensastiyalanganda engil uchuvchan komponentga boyitilgan x tarkibli suyuqlik hosil bo'ladi. Ushbu suyuqlik yana qizdirilsa va uning temperaturasi t_2 gacha etkazilsa, hosil bo'lgan bug'ning kondensastiyalanishi natijasida x_3 tarkibli suyuqlikni olamiz. Shunday qilib, bug'lanish va kondensastiyalash jarayoni ko'p marta qaytarilsa, boshlang'ich eritmani toza, engil va qiyin uchuvchan komponentlarga ajratish mumkin.



5.38-rasm. $t - x, y$ - diagramma.

5.17.1. Rektifikatsiya jarayonining moddiy va issiqlik balanslari

Jarayonning prinsipial sxemasi asosida rektifikatsiyaning moddiy va issiqlik balanslari tuziladi (5.39-rasm). Rektifikatsion kolonnaga uzatilgan boshlang'ich eritma distillyat va kub qoldig'iga ajratiladi.

Kolonnadan chiqayotgan bug'lar deflegmator 4 da kondensastiyalanadi va ajratuvchi idish 3 ga tushadi. Bu erda suyuqlik ikki qismga, ya'ni flegma F va distillyatga ajratiladi. Flegma kolonnada purkatilish uchun yo'naltiriladi.

Jarayon moddiy balansi ushbu ko'rinishga ega:

$$G_f = G_d + G_w \quad (5.123)$$

Engil uchuvchan komponent bo'yicha esa:

$$G_f \cdot x_f = G_d \cdot x_d + G_w \cdot x_w \quad (5.124)$$

bu erda 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 engil uchuvchan komponentning konstantastiyalari, mol ulushlar.

(5.123) va (5.124) tenglamalardan distillyat va kub qoldig'ining massalari aniqlanadi:

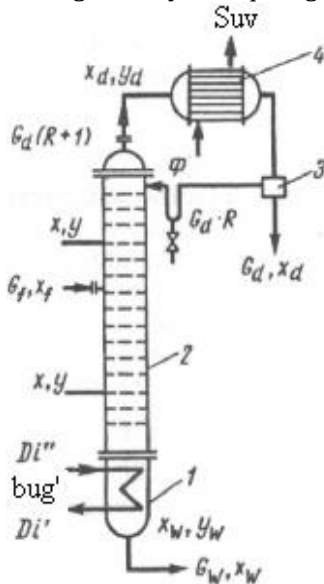
$$G_d = G_f \frac{x_f - x_w}{x_d - x_w} \quad (5.125)$$

$$G_w = G_f \frac{x_d - x_f}{x_d - x_w} \quad (5.126)$$

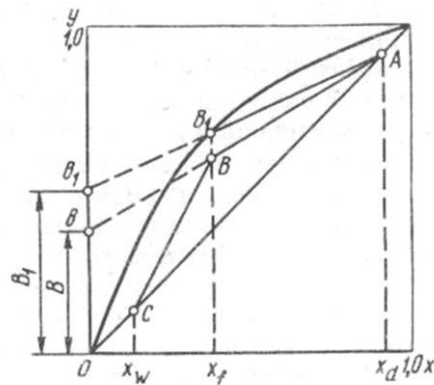
Boshlang'ich eritma, kub qoldig'i va flegmalarning 1 kmol distillyatga nisbatlarini quyidagicha belgilab olamiz:

$$\frac{G_f}{G_d} = F; \quad \frac{G_w}{G_d} = W; \quad \frac{\Phi}{G_d} = R$$

Flegma miqdorining distillyat miqdoriga nisbati **flegma soni** deb nomlanadi.



5.39-rasm. Rektifikatsiya jarayonining moddiy va issiqlik balanslarini tuzishga oid.



5.40-rasm. Rektifikatsiya jarayoni ishchi chizig'ining tasviri.

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:

$$G \cdot dy = L \cdot (-dx) \quad (5.127)$$

bu erda $L = R \cdot G_d$ - kolonna yuqori qismida oqib tushayotgan suyuqlik miqdori.

Kolonna bo'ylab yuqoriga ko'tarilayotgan bug' miqdori:

$$G = G_d + \Phi = G_d + RG_d = G_d(1 + R) \quad (5.128)$$

Kolonnaning yuqori qismi uchun:

$$(R + 1) \cdot dy = R \cdot (-dx) \quad (5.129)$$

Pastki qismi uchun:

$$(R + 1) \cdot dy = (F + R) \cdot (-dx) \quad (5.130)$$

Konstentrastiyalari x, u bo'lgan kolonna yuqori qismining istalgan ko'ndalang kesimi va konstentrastiyalari x_d, u_d bo'lgan kolonnaning yuqori qismi uchun (5.129) tenglamani yozamiz: ($x_d = u_d$ deb qabul qilingan holda)

$$(R + 1) \cdot (y_d - y) = (R + 1) \cdot (x_d - y) = R \cdot (x_d - x)$$

Bundan

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_d}{R+1} \quad (5.131)$$

Konstentrastiyasi x, u bo'lgan kolonnaning pastki qismi va konstentrastiyalari x_w, u_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

$$y = \frac{R+F}{R+1}x - \frac{F-1}{R+1}x_w \quad (5.132)$$

Ko'rinib turibdiki (5.131) va (5.132) tenglamalar to'g'ri chiziqni ifodalaydi. (5.131) tenglamadagi $R/(R+1) = \tan \alpha$ - ishchi chiziqning absstissa o'qiga og'ish burchagi tangensi $x_d/(R+1) = B$ chiziq $u - x$ diagramma ordinata o'qida ajratgan kesmasi (5.40-rasm).

Shunday qilib, (5.131) va (5.132) tenglamalar rektifikastion 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:

$$(R + 1) \cdot (x_d - y_f) = R \cdot (x_d - x_f) \quad (5.133)$$

bundan

$$R = \frac{x_d - y_f}{y_f - x_f} \quad (5.134)$$

5.17.2. Uzlaksiz ishlaydigan rektifikastion kolonnaning issiqlik balansi

Bu turdagi qurilmalarning issiqlik balansi quyidagi tenglik bilan ifodalanadi (5.39-rasm).

$$Q_1 + G_f c_f t_f + R \cdot G_d c_d t_d = G_d (R + 1) \cdot (r_d - c_d t_d) + G_w c_w t_w + Q_{uyk} \quad (5.135)$$

bu erda Q_1 - kubdagi issiqlik sarfi, J/soat; c_f, c_d, c_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_{uyk} - atrof muhitga issiqlikning yo'qotilishi, J/soat.

Rektifikastion kolonna kubdagi issiqlik sarfini (5.135) tenglamadan topamiz:

$$Q_1 = G_d (R + 1) \cdot r_d + G_d c_d t_d + G_w c_w t_w + G_f c_f t_f + Q_{uyk} \quad (5.136)$$

Agar, qaynatgich suv bug'i bilan isitilayotgan bo'lsa, jarayonni o'tkazish uchun sarflanayotgan bug' sarfi ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$D = \frac{Q_1}{i'' - i'} \quad (5.136)$$

bu erda i' , i'' - suv bug'i va kondensatning entalpiyalari, kJ/kg.

Ishchi chiziqni u – x diagrammada tasvirlash. Eritma tarkibini xarakterlovchi x_w , x_f , x_d konstentrasiya qiymatlari absstissa o'qiga quyiladi (5.40-rasm). Agar, $x_d = u_d$ ekanligini hisobga olsak, x_d nuqtadan perpendikulyar chiqarib, diagonal chiziq bilan kesishgan, koordinatlari $x_d = u_d$ bo'lgan, **A** nuqtasi topiladi.

Flegma soni **R** ma'lum bo'lsa, $V = x_d/(R+1)$ kesma aniqlanadi va u diagrammaning ordinata o'qiga qo'yiladi. So'ng, **V** kesmaning uchi bo'lmish nuqta **b** va **A** lar birlashtiriladi. Boshlangich eritma konstentrasiya-siga oid x_f nuqtasidan **Ab** chizig'i bilan **V** nuqtada kesishguncha vertikal chiziq o'tkaziladi. **AV** to'g'ri chiziq kolonna yuqori qismining ishchi chizig'ini ifodalaydi. Keyin, x_w nuqtasidan perpendikulyar chiqarilib, diagonal bilan kesishgan **S** nuqtani topamiz. **S** va **V** nuqtalarni birlashtirib, kolonna pastki qismining ishchi chizig'ini topamiz. Diagrammadan ko'rinib turibdiki, **V** nuqta ikkala ishchi chiziq uchun umumiy bo'lib, ta'minlovchi tarelkadagi bug' va suyuqlikning ishchi konstentrasiyalarini xarakterlaydi.

Eritma konstentrasiyalari x_w , x_f , x_d bo'lganda, ishchi chiziqning holati kesma **V** ning qiymatiga bog'liq. O'z navbatida **V** kesma ishchi flegma soni **R** ning kattaligi bilan aniqlanadi. Agar, flegma soni kamaysa, kesma **V** ning qiymati ortadi. Bunda ishchi va muvozanat chiziqlarining **V_I** nuqtasida kesishganda, ishchi chiziq o'zining maksimal yuqori holati - **Ab** ga intiladi. Ushbu nuqtada jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi $\Delta u = u_m - u = 0$ bo'ladi. Demak, rektifikastion kolonnaning fazalar to'qnashish yuzasi cheksiz katta bo'lishi kerak.

Haqiqatan ham, bunday holatda konstentrasiyalar 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:

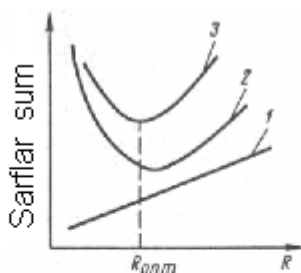
$$R_{\min} = \frac{x_d - y_{f_m}}{y_{f_m} - x_f} \quad (5.137)$$

Ishchi chizig'ining quyi chegaraviy holatiga cheksiz katta flegma soni to'g'ri keladi va u grafikda **V=0** kesma bilan ifodalanadi. Bu holda ikkala ishchi chiziq diagonal bilan ustma-ust tushadi. Cheksiz katta flegma soniga maksimal harakatga keltiruvchi kuch $\Delta u_{\min} = u_m - u$ va o'z navbatida konstentrasiya o'zgarish nazariy pogonalarining 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 rektifikastion kolonna o'lchamlari va issiqlik eltichlar sarfi o'zgaradi. Kolonnalarni ishlatish uchun zarur sarflar va kapital harajatlar, hamda energetik sarflar flegma soniga bog'liq.

5.41-rasmda haqiqiy flegma sonining rektifikatsiya jarayoni sarflariga bog'liqligi tasvirlangan.



5.41-rasm. Rektifikatsiya jarayoniga bog'liq bo'lgan sarflarning flegma soniga bog'liqligi.

- 1- ekspluatatsion sarflar;
- 2- kapital sarflar;
- 3- umumiy sarflar.

Ko'rinib turibdiki, flegma soni ortishi bilan 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:

$$R_x = \beta_R R_{\min} \quad (5.138)$$

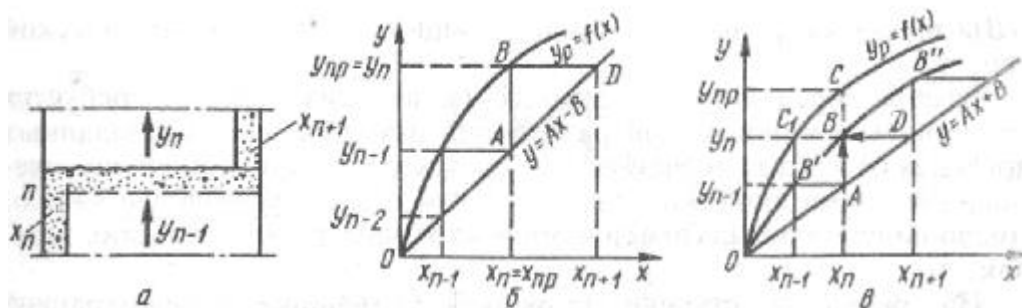
bu erda β_R - flegma ortiqchaligini ifodalovchi koeffitsient. Ko'pchilik hollarda ushbu koeffitsient quyidagi oralikda bo'ladi - $\beta = 1,04 \dots 1,5$.

5.17.4. Rektifikastion kolonna ishchi balandligi va tarelkalar sonini hisoblash

Odatda ushbu parametrlarni aniqlash konstantriastiyalar 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 (5.42-rasm).

Agar, konstantriastiyasi x_{n+1} bo'lgan suyuqlik yuqoridan n - tarelkaga oqib tushsa, pastdagi tarelkadan konstantriastiyasi y_{n-1} bo'lgan bug' ko'tariladi. Massa almashinish natijasida suyuqlikdagi engil uchuvchan komponent bug'ga o'tsa, qiyin uchuvchan esa - bug'dan suyuqlikka o'tadi. Bug'dagi engil uchuvchan komponent konstantriastiyasi y_n gacha ortsa, suyuqlikda esa x_{n+1} dan x_n gacha kamayadi.



5.42-rasm. Tarelkalar sonini aniqlashga oid.

a - tarelkada bu? va suyuqlikning o'zaro ta'siri; b - bu? va suyuqlik muvozanatga erishish jarayonini u-h diagrammada tasvirlash; c - bu? va suyuqlik muvozanatga erishmagan jarayonini y-x diagrammadagi tasviri.

Jarayonni ta'hlil qilishda quyidagi ta'hminlarni qabul qilamiz: tarelkadagi suyuqlik ideal aralashtirilgan va uning konstantriastiyasi o'zgarmas x_n ga teng; ideal siqib chiqarish rejimidagi suyuqlik qatlamida bug'ning konstantriastiyasi y_{n-1} dan y_n gacha o'zgaradi.

Bug' konstantriastiyasi y_{n-1} dan $y_n = u_{pr}$ gacha o'zgarishi davrida muvozanatga erishishi vertikal AV kesma bilan tasvirlansa, konstantriastiyasining x_{n+1} dan x_n gacha o'zgarishi esa, BD kesma bilan xarakterlanadi (5.42b-rasm). Shunday qilib, AVD pog'ona bitta nazariy tarelkada sodir bo'layotgan jarayonni ifodalaydi.

Rektifikastion kolonnada o'rnatish zarur bo'lgan nazariy tarelkalar sonini aniqlash uchun ishchi va muvozanat egri chiziqlarining A va S nuqtalari orasiga pog'onalar quriladi.

Kolonnaning haqiqiy tarelkasida hech qachon muvozanat konstantriastiyasiga erishib bo'lmaydi, ya'ni $y_n < u_{pr}$ (5.42v-rasm).

Kolonnadagi haqiqiy tarelkalar sonini aniqlash uchun foydali ish koeffitsienti qo'llaniladi. Odatda uning kattaligi tajribaviy usul bilan topiladi. Rektifikatsiya jarayonida massa berish koeffitsientini hisoblash uchun quyidagi tenglamalar tavsiya etiladi:

suyuq fazada:

$$Nu_{\Delta C} = 540 \cdot Re_c^{0,33} \cdot Pr_{\Delta C}^{0,45} \quad (5.139)$$

elaksimon tarelkalarda gaz fazasi uchun:

$$Nu_{\Delta T} = 2,5 \cdot Re_r^{0,72} \cdot Pr_{\Delta T}^{0,5} \cdot We^{-0,25} \quad (5.140)$$

qalpoqchali tarelkalarda gaz fazasi uchun:

$$Nu_{\Delta T} = 0,265 \cdot Re_r \cdot Pr_{\Delta T}^{0,5} \cdot We^{-0,25} \quad (5.141)$$

(5.140) va (5.141) tenglamalardagi $Nu_{\Delta g}$ va Re_g kriteriyalarda aniqlovchi o'lcham sifatida kapillyar konstanta $\chi = \sqrt{\sigma / \rho_c g}$ Hisoblanadi. Veber kriteriysi $We = (\sigma / p_c) h_{cm}^2 g$,

bu erda σ - sirtiy taranglik, N/m; h_{st} - tarelkadagi suyuqlik qatlamining statik balanligi, m.

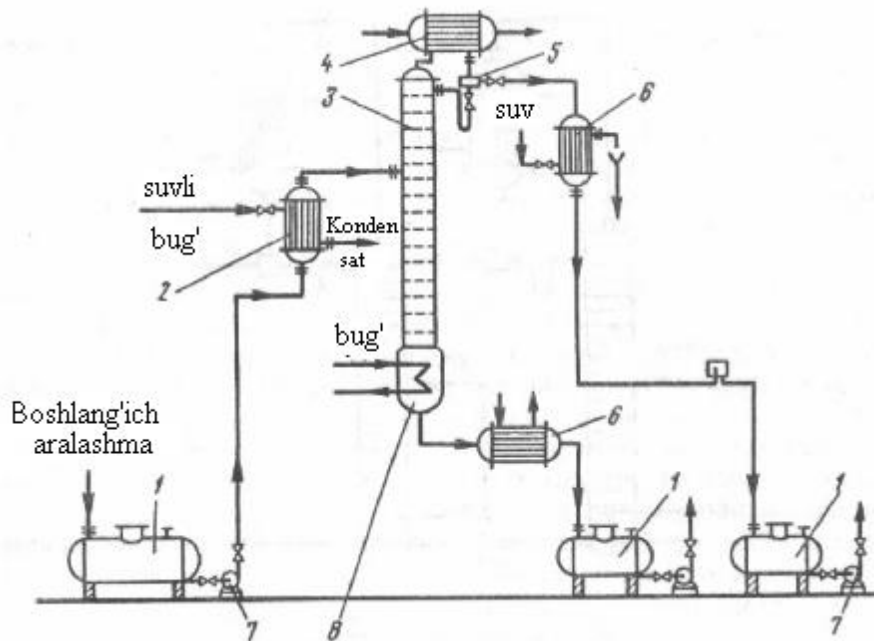
5.18. Rektifikatsiya jarayonini tashkil etish usullari

Istalgan rektifikastion sxema tarkibida kolonna (tarelkali yoki nasadkali) va qaynatgich bo'ladi. Odatda, qobiq - trubali yoki zmeevikli 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 rektifikastion kolonnaning prinsipial sxemasi 5.43-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 kondensastiyalanadi. Agar bug' to'la kondensastiyalansa, hosil bo'lgan distillyat ajratuvchi moslama 5 da ikki qismiga bo'linadi.



5.43-rasm. Uzlüksiz ishlaydigan rektifikacion kolonna.

1 – yig'gich; 2 - isitkich; 3 - rektifikacion kolonna; 4 - deflegmator; 5 - ajratuvchi moslama; 6 - sovutkich; 7 - nasoslar; 8 - qaynatkich.

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 kondensastiyalansa, ular kondensator-sovutkich orqali o'tkaziladi, u erda kondensastiyalanadi va sovutiladi. Jarayon mobaynida hosil bo'layotgan kub qoldig'i uning qimmatligi va zarurligiga qarab yoki yig'gichda to'planadi, yoki oqava suv sifatida utilizastiyaga yo'naltiriladi.

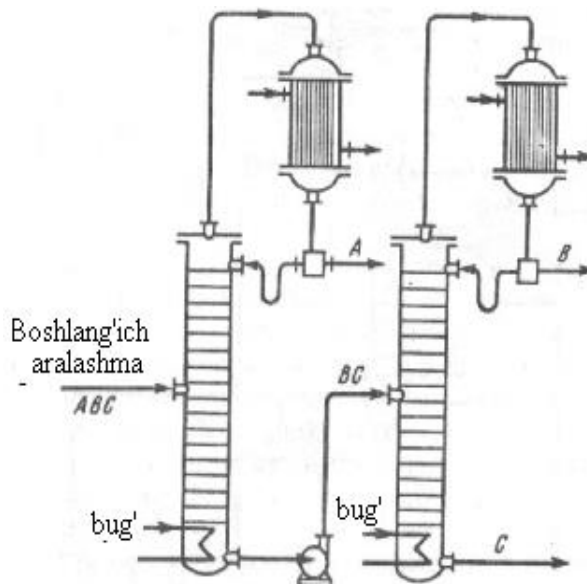
Odatda, sanoat miqyosida boshlang'ich eritma uch va undan ko'p qismlarga ajratiladi.

Ko'p komponentli eritmalar ni rektifikatsiya qilish sxemasi 5.44-rasmda tasvirlangan. Ushbu sxema ko'p kolonnali bo'lib, boshlang'ich eritmani uzluksiz ravishda uch qism, ya'ni A, V va S komponentlarga ajratishga mo'ljallangan.

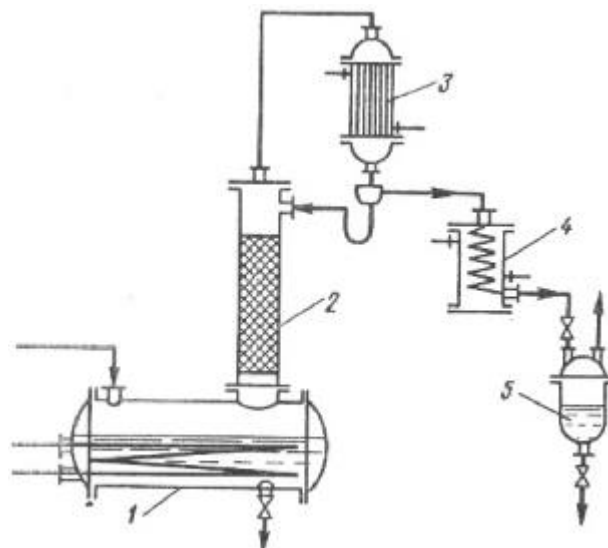
Birinchi kolonna aralashmani A+VS yoki AV+S qismlarga ajratadi. Aralashmani n qismga ajratish uchun $n-1$ rektifikastion kolonnalardan tarkib topgan rektifikastion sxema zarur bo'ladi.

Davriy ishlaydigan rektifikastion kolonnaning prinistipial sxemasi 5.45-rasmda keltirilgan.

Boshlang'ich aralashma bug' bilan isitilayotgan qaynatkichga uzatiladi. Qaynash temperaturasigacha isitilgan aralashmaning bug'lari rektifikastion kolonnaning pastki qismiga yuboriladi. Kolonna bo'ylab tepaga ko'tarilayotgan bug'lar engil uchuvchan komponent bilan boyib boradi, so'ng esa deflegmatorga tushadi. U erda kondensastiyalanadi. 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.



5.44-rasm. Ko'p komponentli aralashmalarni ajratish rektifikatsion shemasi.



5.45-rasm. Davriy ishlaydigan rektifikatsion kolonna shemasi.

1 - qaynatkich; 2 - kolonna; 3 - deflegmator; 4 - sovutkich; 5 – yig'gich.

5.19. Rektifikatsion kolonnalarni hisoblash

Ma'lumki, halq xo'jaligining turli sohalarida rektifikatsiya jarayoni juda ko'p ishlatiladi. Bu jarayonni amalga oshirishda tarelkali kolonnalardan keng ko'lamda foydalaniladi.

Misol tariqasida etil spirti-suv aralashmasini ajratish uchun uzluksiz ishlaydigan rektifikatsion kolonnani (tarelkali) hisoblashni ko'rib chiqamiz. Etil spirti-suv aralashmasining massaviy sarfi $G=800$ kg/soat etil spirtining boshlang'ich eritmadagi konstantrastiyasi $a_f=20\%$ (mass); etil spirtning distillyatdagi konstantrastiyasi $a_d=91\%$ (mass); etil spirtining kub qoldig'idagi konstantrastiyasi $a_w=2,6\%$ (mass); flegmaning ortiqchalik koeffitsienti $\beta_R=1,3$; $\eta=0,5$; tarelkalar orasidagi masofa $h=200$ mm; isituvchi bug' bosimi $p_b=0,3$ 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.

Moddiy balans (5.125) formuladan hosil bo'layotgan distillyat miqdorini aniqlaymiz:

$$G_d = G_f \frac{a_f - a_w}{a_d - a_w} = 800 \frac{20 - 2,6}{91 - 2,6} = 157,4 \text{ кг / coam}$$

(5.123) formuladan esa kub qoldig'ining miqdori topiladi:

$$G_w = G_f - G_d = 800 - 157,4 = 642,4 \text{ кг / coam}$$

Rektifikatsiya jarayonini **u-x** koordinatlarida qurish uchun boshlang'ich aralashma, distillyat va kub qoldiqlari tarkibidagi engil uchuvchan komponent konstantriyasini 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 erda **M_a** va **M_B**- engil spirt va qiyin suv uchuvchan komponentlarning molekulyar massalari:

$$x_f = \frac{20 / 46}{20 / 46 + (100 - 20) / 18} = \frac{0,434}{0,434 + 0,44} = 0,089;$$

$$x_d = \frac{91 / 46}{91 / 46 + (100 - 91) / 18} = \frac{1,978}{1,978 + 0,5} = 0,798$$

$$x_w = \frac{2,6 / 46}{2,6 / 46 + (100 - 2,6) / 18} = \frac{0,056}{0,056 + 5,41} = 0,01$$

Tajriba malumotlari asosida **u - x** kordinatlarida boshlang'ich aralashma uchun muvozanat chizig'ini qo`ramiz.

(5.137) formula yordamida minimal flegma sonini aniqlaymiz:

$$R_{\min} = \frac{x_d - y_{fm}}{y_{fm} - x_f} = \frac{0,798 - 0,44}{0,44 - 0,089} = 1,25$$

bu erda **y_{fm}** - boshlang'ich aralashma tarkibidagi engil uchuvchan komponent bilan muvozanatda bo'lgan bug'dagi engil uchuvchan komponent konstantriyasi.

Kolonna yuqori qismi uchun ishchi chizig'ini qurish uchun (5.138) formuladan haqiqiy flegma sonini hisoblaymiz:

$$R = \beta_R R_{\min} = 1,3 \cdot 1,25 = 1,629$$

Kesma **V** ning uzunligini topamiz (5.46-rasm):

$$B = \frac{x_d}{R + 1} = \frac{0,798}{0,629} = 0,3$$

So`ng, ordinata o`qida **V=0,3** kesmani o`lchab, uni **A** nuqta (**x_d = u_d** koordinatli) bilan birlashtiramiz va kolonnaning yuqori qismi uchun ishchi chiziqli olamiz. Pastki qism uchun ishchi chiziqli esa, **V** nuqtani (**x_f, u_f** - kordinatli) **S** nuqta (**x_w = y_w** koordinatli) bilan birlashtirib aniqlanadi.

Kolonna pastki va yuqori qismlaridagi konstantriya o`zgarishi pog'onalarining soni (**n**) ni aniqlaymiz. Buning uchun muvozanat va ishchi chiziqlari orasiga **A** nuqtadan **S** gacha pog'onali chiziqlar o`tkazamiz. Tarelka soni (5.66) formula yordamida topiladi, yani:

$$n_x = \frac{n}{\eta} = \frac{16}{0,5} = 32$$

Kolonnaning haqiqiy balandligi esa

$$H = h \cdot (u_x - 1) = 0,2 \cdot 31 = 6,2 \text{ m}$$

bu erda h – tarelkalar orasidagi masofa, m.

Qurilma diametri ushbu formuladan hisoblanadi:

$$D_K = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w_u}}$$

bu erda V - kolonnadagi bug` sarfi;  $w_u$ - bug`ning ishchi tezligi.

$$V = \frac{G_d(R+1) \cdot (273 + t_{yp}) \cdot 22,4}{3600 \cdot M_a \cdot 273} = \frac{157,4 \cdot 2,629 \cdot 360 \cdot 22,4}{3600 \cdot 46 \cdot 273} = 0,0738 \text{ m}^3 / \text{c}$$

bu erda $t_{yp} = 87^\circ\text{S}$ - kolonnadagi bug`larning o`rtacha temperaturasi.

Kolonnadagi bug`ning tezligi quyidagicha aniqlanadi:

$$w_{np} = 0,05 \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_o}}$$

bu erda ρ_c, ρ_o - suyuqlik va bug`ning o`rtacha zichliklari.

Bug`ning o`rtacha zichligi:

$$\rho_o = \frac{\rho_{ow} + \rho_{od}}{2} = \frac{0,596 + 1,59}{2} = 1,09 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Kubdan chiqayotgan bug`ning zichligi (bug` faqat toza suvdan iborat deb taHmin qilinganda),

$$\rho_{ow} = \frac{M_B \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t_w)} = \frac{18 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 95)} = 0,596 \text{ kg} / \text{m}^3$$

bu erda $t_w = 95^\circ\text{S}$ - kubdagi aralashma qaynash temperaturasi.

Deflegmatorga kirayotgan bug`ning zichligi (bug` faqat toza spirt dan iborat deb taHmin qilinganda),

$$\rho_{od} = \frac{M_a \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t_d)} = \frac{46 \cdot 273}{22,4 \cdot 351,0} = 1,59 \text{ kg} / \text{m}^3$$

bu erda $t_d = 78^\circ\text{S}$ - spirtning qaynash temperaturasi.

Kolonnadagi suyuqlikning o`rtacha zichligini  $78^\circ\text{S}$  li spirt zichligi va kubda suvning qaynash temperaturalarining o`rtacha qiymati deb topamiz:

$$\rho_c = \frac{\rho_{cw} + \rho_{cd}}{2} = \frac{958 + 735}{2} = 846,5 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Unda

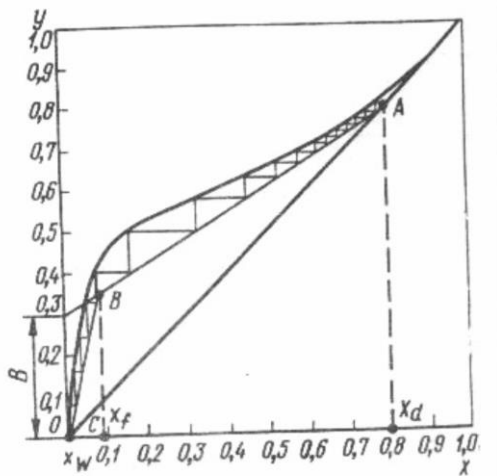
$$w_{np} = 0,05 \sqrt{\frac{846,5}{1,09}} = 1,393 \text{ m} / \text{c}$$

Ishchi tezlikni ruxsat etilgan chegaraviy tezlikdan 20% ga kam miqdorda qabul qilamiz, yani

$$w_u = 0,8 \cdot 1,393 = 1,11 \text{ m} / \text{c}$$

Unda, kolonnaning diametri

$$D = \sqrt{\frac{0,0738}{0,785 \cdot 1,11}} = 0,291 \text{ m}$$



5.46-rasm. Rektifikacion kolonna tarelkalarining sonini grafik usulda aniqlash.

Issiqlikning umumiy sarfi rektifikatsion kolonnaning issiqlik balansidan aniqlanadi:

$$Q = G_d(R + 1) \cdot r_d + G_w c_w t_w - G_f c_f t_f - R G_d c_d t_d$$

bu erda $r_d = 850$ kJ/kg aralashmaning issiqlik hosil qilish issiqligi; $c_f = 4310$, $c_d = 3600$, $c_w = 4190$ J/(kg·K) solishtirma issiqlik sig'ımlar; $t_f, t_d, t_w - x_f, x_d, x_w$ 5.46-rasmdagi egri chiziqlaridan topiladigan qaynash temperaturalari; $t_f = 87^\circ\text{S}$, $t_d = 78^\circ\text{S}$, $t_w = 95^\circ\text{S}$ ga teng deb qabul qilamiz.

Atrof muhitga issiqlikning yo'qotilishi umumiy issiqlik sarfidan 3...5% deb qabul qilinadi, yani

$$Q_{iyyk} = 0,03 \cdot Q = 7066,3 \text{ kJ/soat}$$

Issiqlik sarfi:

$$Q = 157,4 \cdot 2,629 \cdot 850 + 642,6 \cdot 4,19 \cdot 95 - 800 \cdot 4,31 \cdot 87 - 1,629 \cdot 157,4 \cdot 3,6 \cdot 78 = 235546,4 \text{ kJ/soat}$$

Isituvchi bug' sarfi:

$$D = \frac{Q_{ym}}{i'' - i'} = \frac{242612,7}{2730 - 558,9} = 111,75 \text{ kg/soat}$$

bu erda $i'' = 2730$ kJ/kg - isituvchi bug' entalpiyasi; $i' = 558,9$ kJ/kg - kondensat entalpiyasi. Isituvchi bug' va kondensatlarning entalpiyalari to'yingan suv bug'i bosimi bo'yicha jadvaldan aniqlanadi.

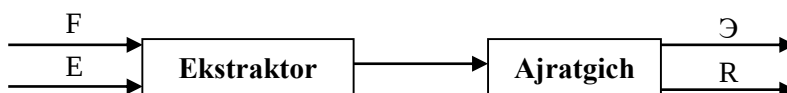
«Suyuqlik - suyuqlik» sistemasida ekstraksiyalash

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 5.47-rasmda keltirilgan.



5.47-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 erda ekstrakt (E) va rafinat (R) ga ajratiladi.

Suyuq aralashmani ekstrakt va rafinatga ajratish uchun tindirish, separatsiyalash, stentrifugalash yoki boshqa mexanik jarayonlar g'o'llaniladi.

Ekstrakt tarkibidagi zarur komponent (mahsulot) ajratib olinadi, rafinatdan esa ekstragent qayta tiklanadi.

Ekstraksiya jarayoni turli xil konstruktsiyali 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'g'. 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 etarli darajada farq qilishi va kam bo'lishi kerak.

Ekstraksiya jarayonidan kimyo, neftni qayta ishlash, neft kimyosi, oziq - ovqat, farmastevtika 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 sohalarida ishlatiladi. Jarayonning asosiy afzalligi shundaki, u past temperaturada o'tadi va termolabil moddalari bor elementlarni ajratish imkonini yaratadi.

Ekstraksiya jarayoni kamchiliklardan holi emas, yani qo'shimcha erituvchi ishlatiladi, erituvchini g'ayta

tiklash texnologik sxemani murakkablashtiriladi va qo'shimcha qurilma talab etadi, hamda jarayonni qimmatlashishiga olib keladi.

Ko'pchilik xollarda ekstraksiya va rektifikatsiya jarayonlari ko'pincha birgalikda qo'llaniladi. Bunga sabab, boshlang'ich eritma konstantriyasi 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 potentsiallar tenglashgunga qadar. Faraz qilaylik, jarayonda uchta komponent ($K = 3$) va ikkita faza ($F = 2$) qatnashmoqda. Unda, fazalar qoidasiga binoan erkinlik darajasi $S = 3$. 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 konstantriyasiga, ikkinchi fazadagi ma'lum bir konstantriya to'g'ri keladi.

Ekstraksiya jarayonidagi muvozanat tarqalish koeffitsienti φ bilan xarakterlanadi, yani ekstrakt va rafinatlardagi tarqaluvchi modda muvozanat konstantriyalarning nisbatiga teng.

Bertlo-Nernst qonuniga bo'ysinadigan suyultirilgan eritma uchun o'zgaras temperaturada tarqalish koeffitsienti φ , tarqaluvchi modda konstantriyasiga bog'liq emas va $\varphi = u_m/x$, bu erda u_m , x - ekstrakt va rafinatdagi tarqaluvchi moddaning muvozanat konstantriyalari. Bunday hollarda muvozanat to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'ladi:

$$y_m = \varphi \cdot x \quad (5.142)$$

Odatda, sanoat qurilmalarining tarqalish koeffitsienti tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

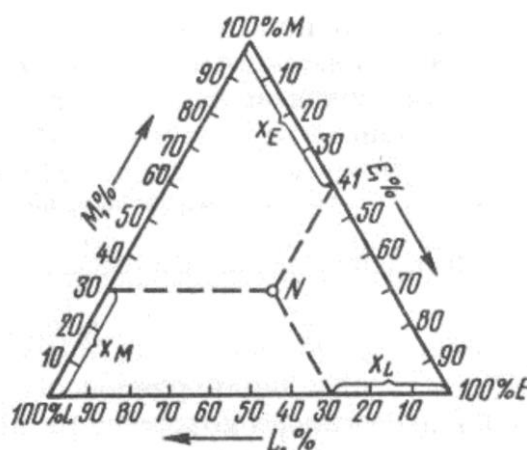
Agar, ikkala suyuqlik fazalar bir - birida erimasa, har bir fazani ikki komponentli eritma deb hisoblash bo'ladi. Bunday holatlarda ekstraksiya jarayoni boshqa massa almashinish jarayonlari kabi $u - x$ koordinatalarida tasvirlash mumkin.

Ammo, suyuqlik fazalar bir-birida g'isman erisa, har bir fazani uch komponentli eritma deb hisoblash bo'ladi. Uch komponentli aralashmalar tarkibi uchburchakli koordinatalar sistemasida tasvirlanadi (5.48-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



5.48-rasm. Uchburchakli diagramma.

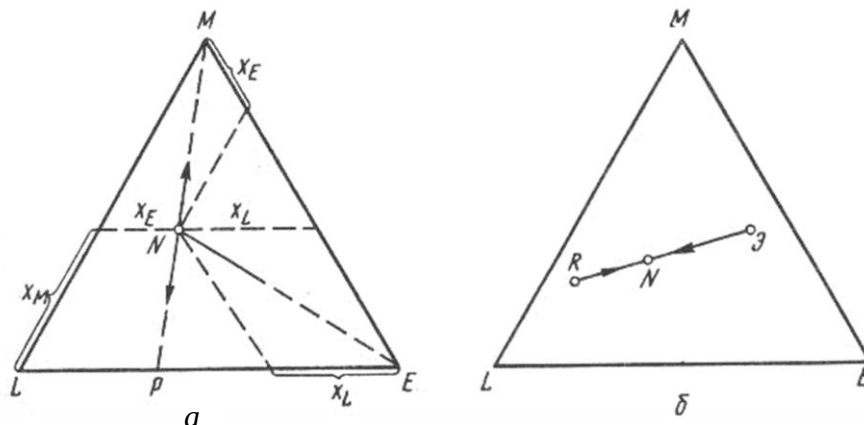
$E = 40\%$ va tarqaluvchi modda $M = 30\%$.

Uchburchakli diagrammadan uch komponentli aralashma tarkibida sodir bo'layotgan o'zgarishlar tasvirlanadi. Agar, N nuqta bilan xarakterlanadigan eritmaga tarqaluvchi modda M g'o'shilsa, E va L komponentlar miqdori o'zgarmaydi. Lekin, M komponentning qo'shilish miqdoriga qarab, aralashma tarkibini aniqlovchi mig'dor NM g'irrada bo'ladi va uchburchakni M cho'g'g'isiga yaqinlashib boradi (5.49a-rasm).

Aralashma N dan tarqaluvchi modda M ni ajratib olish jarayonida va olingan mahsulot tarkibiga oid

nuqta **RM** kesmada yotadi. Lekin, eritma qancha ko'p suyultirilgan bo'lsa, u uchburchakning **LE** g'irrasiga shuncha yaqin joylashadi.

Tarkibi **N** bo'lgan aralashmani ekstragent **E** bilan suyultirish **NE** chizig'i bilan xarakterlanadi.



5.49-rasm. Uch komponentli aralashma tarkibi o'zgarishini uchburchakli diagrammada tasvirlash.

Agar boshlang'ich aralashma mig'dori va tarkibi (**N** nug'ta) va uni ekstrakt (**E** nug'ta) va rafinat (**R** nuqta) ga ajratgandan keyingi tarkiblari ma'lum bo'lsa, uchburchakli diagramma yordamida fazalarning miqdorlarini (5.49b-rasm) moddiy balans tenglamasidan aniqlash mumkin:

$$R + \mathfrak{Z} = N$$

bu erda **R**, **E**, **N** - rafinat, ekstrakt va boshlan-g'ich aralashma massalari, kg.

Richag qonuniga binoan:

$$\frac{\mathfrak{Z}}{R} = \frac{RN}{\mathfrak{Z}N} \quad (5.143)$$

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 (5.49-rasm).

Bir jinsli ikki komponentli M va L, hamda M va E eritmalar tarkibi diagrammaning LM va EN g'irralarida nuqtalar bilan ifodalanadi. L va E erituvchilar faqat LR va EE bo'laklardagina bir jinsli eritmalar hosil

qiladi. RE oralikda erituvchilar aralashmasi bir jinsli, ikki komponentli to'yingan eritmalar qatlamiga ajratiladi: R (E va L ning to'yingan eritmasi) va E (L va E ning to'yingan eritmasi). O'ar 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 **N₁** nuqta bilan xarakterlanadigan uch fazali aralashma hosil bo'ladi.

N₁ tarkibli aralashma **R₁** va **E₁** tarkibli **E₁N₁/(R₁N₁)** nisbatda ikki fazaga ajraladi. Agar, aralashmaga yana **M₂, M₃,...** tarqaluvchi moddalar qo'shilsa, **N₂, N₃,...** tarkibidagi uch fazali aralashmalar hosil bo'ladi va ular muvozanat tarkibli **R₂** va **E₂**, **R₃** va **E₃** va h. fazalari g'atamlarga ajraladi. Biror **N₄** tarkibda fazalarning biri yo'g' bo'lib ketgan holgacha muvozanat sarflar nisbati o'zgarib boradi. Undan keyin esa, tarqaluvchi modda **M** ning yana qo'shilishi bilan **N₅** tarkibli bir jinsli, uch fazali aralashmalar hosil bo'ladi.

Agar, **R₁** va **E₁**, **R₂** va **E₂**, ... lar to'g'ri chiziq bilan birlashtirilsa, muvozanat tarkibga oid **R₁E₁, R₂E₂,...** muvozanat xordalarini hosil qilamiz. Muvozanat xordalari kritik deb nomlanadigan **K** nug'tada birlashadi. Muvozanat xordalarining og'ish burchagi komponent tabiati va fazalar tarkibi bilan belgilanadi. Agar, muvozanat tarkiblar **R, R₁, R₂,...** va **E, E₁, E₂,...** ni ifodalovchi nuqtalarni ravon, silliq chiziq bilan tutashtirsak **muvozanat egri chizig'ini** (binodal egri chiziqni) hosil qilamiz. **RK** chiziq **L** erituvchi fazalarining muvozanat tarkibini, **EK** 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.

5.49v-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'g'iga yaqinlashadi va **RKE** chiziq ostidagi yuza kamayadi (5.49v-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 molekulyar va konvektiv diffuziya yo'li bilan ro'y beradi. Tomchi ichida stirkulyastiya hisobiga konvekstiya 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, yani dispersion (yaxlit) va dispers fazalardagi diffuzion qarshiliklarni inobatga olmaslikni iloji bo'lmaganda, massaning ikkala fazada tarqalishi hisobga olinadi.

Massa berish koeffitsientlarini hisoblashda ushbu formuladan foydalanish mumkin:

$$M = \beta_c \cdot \Delta x_{yp} \cdot F \quad (5.144)$$

$$M = \beta_d \cdot \Delta y_{yp} \cdot F$$

bu erda β_s va β_d - dispersion va dispers fazalardagi massa berish koeffitsienti.

Ushbu koeffitsientlar quyidagi kriterial formulalardan topiladi:

$$Nu_c = 1,13 \cdot Pe_d^{0,5}$$

$$Nu_d = 3,75 \cdot 10^{-3} \cdot Pe_d \quad (5.145)$$

(5.145) bu erda $Ni_s = \beta_s \cdot d / D_c$ - dispersion faza uchun Nusselt kriteriysi; $Re_s = wd / D_c$ - dispersion faza uchun Pekle kriteriysi; D_c - dispersion fazadagi diffuziya koeffitsienti, m^2/s ; d - tomchi diametri, m; w - tomchining dispersion fazadagi tezligi, m/s; $Ni_d = \beta_d \cdot d / D_d$ - dispers faza uchun Nusselt kriteriysi; D_d - dispers fazadagi diffuziya koeffitsienti, m^2/s .

Massa o'tkazish koeffitsientlari quyidagi tenglamalardan aniqlanadi:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_d} + \frac{\varphi}{\beta_c}} ; \quad K_x = \frac{1}{\frac{1}{\varphi \beta_d} + \frac{1}{\beta_c}} \quad (5.146)$$

Agar, hamma diffuzion qarshilik faqat dispersion fazada mujassam bo'lsa, (5.146) tenglama $K_x = \beta_s$ ko'rinishga kelib qoladi.

Agar, hamma diffuzion qarshilik faqat dispers fazada bo'lsa, yani tomchining ichida, (5.146) tenglama $K_u = \beta_d$ ko'rinishni oladi.

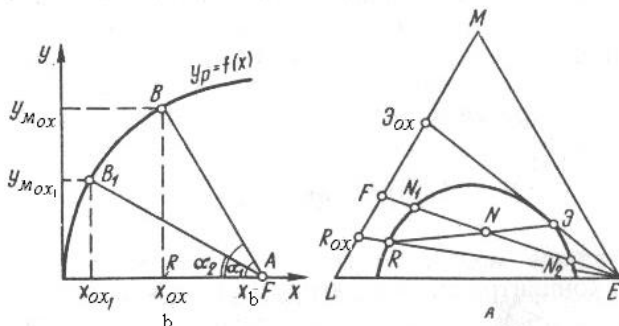
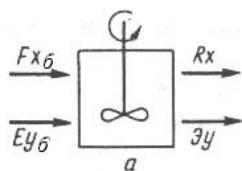
Unda, massa o'tkazishning asosiy tenglamasini quyidagi yozish mumkin:

$$M = K_x \cdot \Delta x_{yp} \cdot F \quad M = K_y \cdot \Delta y_{yp} \cdot F \quad (5.147)$$

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 koeffitsientining qiymati juda katta bo'lgan hollarda ishlatiladi. Bu sxema davriy yoki uzluksiz bo'lishi mumkin (5.50a-rasm).



5.50-rasm. Bir pog'onali ekstraktsiya (a) va jarayonni u-h koordinatlarida (b) va uchburchakli (v) diagrammada tasvirlash.

Aralashtirgichli qurilmaga boshlangich eritma F , konsentratsiyasi x_δ bo'lgan L (kg) miqdordagi erituvchi va ekstragent E yuklanadi. So'ng, aralashtirgich yordamida ular aralashtiriladi va ikki qatlamga ajratiladi, ya'ni ekstrakt E va rafinat R ga.

Emulsiyalarni ajratish uchun tindirgich va qiyin ajratiladigan emulsiyalar uchun esa, separatorlar ishlatiladi.

Bir pog'onali ekstraktsiya jarayonini uchburchakli va to'g'ri burchakli diagrammalarda ko'rib chiqamiz (5.50b,v-rasm).

Boshlang'ich eritma aralashtirganda uch komponentli aralashma hosil bo'ladi va uning tarkibi aralashtirish chizig'i FE da joylashgan N nuq'ta bilan xarakterlanadi. Aralashma ajrati natijasida ekstrakt va rafinatga bo'linadi. Ularning tarkibi N nuq'ta org'ali o'tadigan, muvozanat xordasida yotuvchi R va E nuq'talar bilan belgilanadi. Ekstragent modulini richag

g'oidasiga binoan topish mumkin:

$$\frac{E}{F} = \frac{\overline{FN}}{\overline{EN}}$$

Rafinat mig'dorini esa,

$$R = \frac{N\overline{EN}}{\overline{RN}}$$

Ekstrakt miqdorini esa:

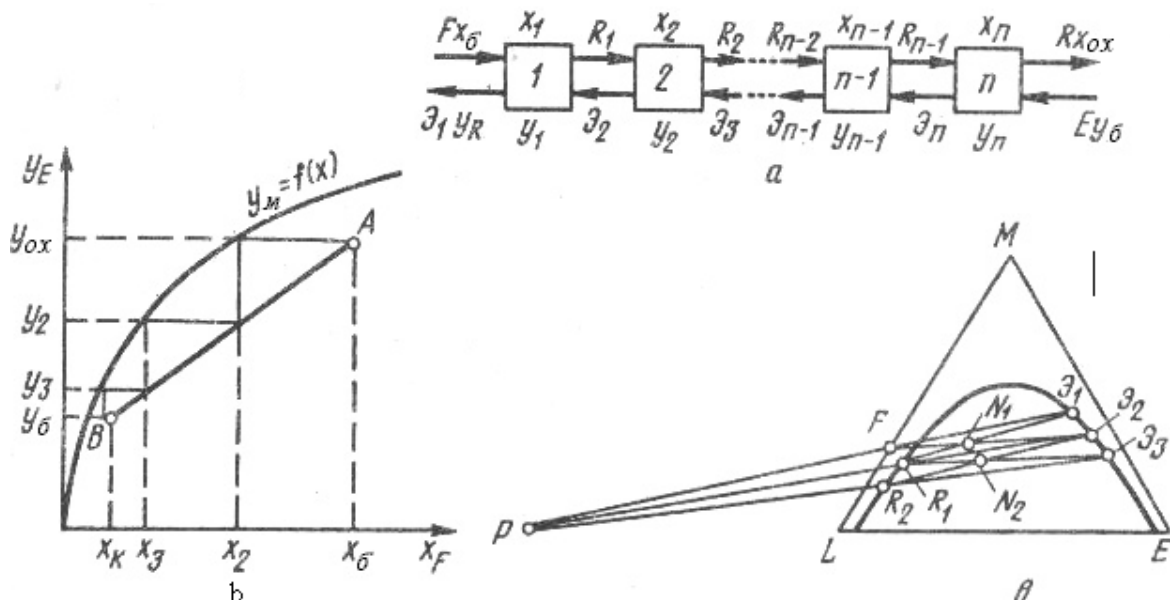
$$\mathcal{O} = N - R = N \cdot \left(\frac{\overline{RN}}{\overline{RN}} \right)$$

Rafinat tarkibini uchburchakning LM tomonidagi nuq'ta R_k , ekstraktnikini esa - E_k belgilaydi.

Agar, fazalar bir-birida erimaydigan bo'lsa, bir pog'onali ekstraktsiya jarayoni $u-x$ diagrammada AV to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi. Ushbu to'g'ri chiziq og'ish burchagining tangensi boshlang'ich eritma va erituvchi og'irliklari nisbatiga tengdir:

$$\frac{L}{E} = \frac{\overline{BR}}{\overline{RF}} = \tan \alpha$$

Agar, erituvchi miqdori oshirilsa, istalgan tozalik darajali rafinat olish mumkin. Lekin, ekstraktning to'yinish chegarasi u_{ox} bilan belgilanadi.



5.51-rasm. Ko'p pog'onali ekstraktsiya(a) va jarayonni u - h (b) va uchburchakli (v) diagrammada tasvirlash.

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 sanoat korxonalarida keng qo'llanilmaydi.

Jarayon samaradorligini oshirish uchun uni bir necha marta g'aytarish 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 kombinastiyalashgan bo'lishi mumkin.

Jarama – qarshi yo'nalishli ekstraksiya jarayoni turli sxemalarda amalga oshirilishi mumkin (5.51a-rasm).

Ko'p pog'onali ekstraksiya qurilmalarida boshlang'ich eritma F va ekstragent E qurilmaning qarama-qarshi uchlaridan yuboriladi. Tarqaluvchi komponent konstantrasiyasi to'yinishga yaqin bo'lgan ekstrakt birinchi pog'onada x_b konstantrasiyalik F boshlang'ich eritma bilan o'zaro to'qnashuvda bo'ladi. Bu komponentli aralashma birinchi pog'onada ajratilganda so'ng, $u_1 = u_{ox}$ konstantrasiyalik ekstrakt va x_1 konstantrasiyalik rafinat olinadi.

Tarkibi x_1 bo'lgan rafinat qurilmaning ikkinchi pog'onasida E_3 tarkibli ekstrakt bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. Ajratilgandan so'ng, R_2 tarkibli rafinat va E_2 ekstrakt hosil bo'ladi. Ekstraktorning n - pog'onasida konstantrasiyasi x_{n-1} bo'lgan R_{n-1} rafinat yangi $u_b = u_n$ konstantrasiyalik, ya'ni nolga yaqin ekstragent E bilan to'qnashishda bo'ladi. Jurilmadan chiqishda tozalangan eritma olinadi. Ko'p pog'onali ekstraksiya jarayoni $u - x$ diagrammada ko'rsatilgan.

Ekstraksiya jarayonining moddiy balansi ushbu ko'rinishga ega:

$$L \cdot (x_{\bar{o}} - x_{ox}) = E \cdot (y_{ox} - y_{\bar{o}}) \quad (5.148)$$

($n-1$) - seksiya uchun

$$L \cdot (x_{\bar{o}} - x_{n-1}) = E \cdot (y_{ox} - y_n)$$

Bundan, qarama-qarshi yo'nalishli jarayon ishchi chizig'ining tenglamasini keltirib chiqarish mumkin:

$$y_n = \frac{L}{E} (x_{n-1} - x_{\bar{o}}) + y_{ox} \quad (5.149)$$

Ushbu tenglama og'ish burchagining tangensi bo'lib, to'g'ri chiziqni ifodalovchi tenglamadir:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{L}{E}$$

Fazalar to'qnashish pog'onalarining soni $A (x_b u_{ox})$ va $V (x_o x_{ub})$ nuqtalari orasidagi pog'onalar soni bilan aniqlanadi.

Kinetik chiziq o'rni qurilmadagi gidrodinamik holat va ajratib olish koeffitsienti bilan belgilanadi.

Ekstraksiya jarayonining tasviri 5.51v-rasmda keltirilgan.

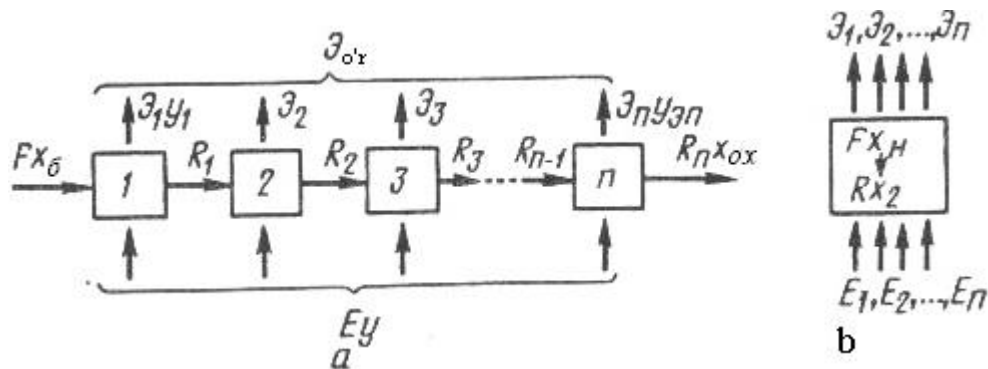
Ekstraksiya qurilmasining birinchi seksiyasida boshlang'ich eritma F ikkinchi pog'onadan tushayotgan ekstrakt E_2 bilan o'zaro to'qnashuvda bo'ladi. Natijada, uch fazali N_1 nuqtali aralashma hosil bo'ladi. Ushbu aralashma separatorda ajratilishi tufayli muvozanatda bo'lmagan tarkibli ekstrakt E_1 va rafinat R_1 lar olinadi.

Ikkinchi pog'onadagi rafinat R_1 uchinchi pog'onadan tushayotgan ekstrakt E_3 bilan o'zaro ta'sirda bo'lib, uch fazali N_2 aralashma hosil qiladi. O'z navbatida u R_2 va E_2 ajraladi.

Fazalarni seksiyaga kirishi va chiqishidagi tarkiblariga oid ikki nuqtalarni FE , $R_1 E_2$, $R_2 E_3$ va hokazo chiziqlar bilan birlashtirib, ularning kesilish nuqtasi R ni topamiz.

Ekstraktorning boshqa seksiyalarida ham xuddi shunday jarayonlar sodir bo'ladi. Natijada, boshlang'ich eritma qurilmaning oxirgi n - seksiyasidan x_{ox} , ekstragent esa - u_{ox} konstantrasiya bilan chiqadi.

Oqimlar yo'nalishi o'zaro kesishgan ekstraksiya jarayonida bir seksiyada davriy (5.52a-rasm) yoki bir necha seksiyada uzluksiz (5.52b-rasm) amalga oshirilishi mumkin.



5.52-rasm. Ko'p pog'onali, oqimlar yo'nalishi o'zaro kesishgan ekstraksiyalash sxemasi.

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 E_1 lar hosil bo'ladi. Keyin, rafinat R_1 ikkinchi seksiyaga o'tadi va u erda yana yangi ekstragent E bilan g'ayta ishlanadi. E_1 va E_2 ekstraktlar qurilmadan chig'ariladi, R_2 tarkibli rafinat esa keyingi seksiyaga o'tadi va jarayon yana g'aytariladi. Natijada, zarur tarkibli rafinat R_n va o'zgaruvchan tarkibli $E_1, E_2, \dots, E_n$ ekstrakt olinadi.

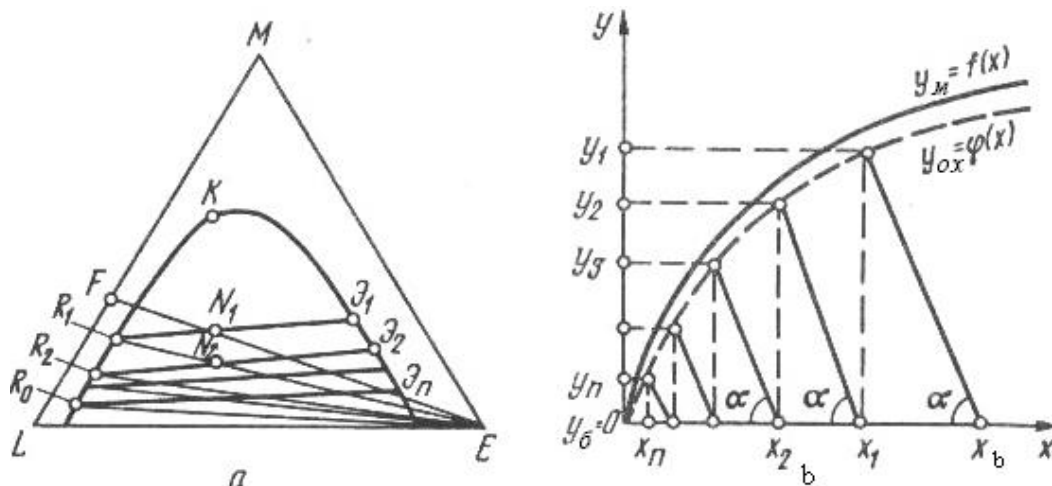
Uzluksiz, ko'p marotabalik ekstraksiyalash jarayoni 5.53-rasmda keltirilgan.

Boshlang'ich eritma va ekstragent aralashtirilishi natijasida uch fazali aralashma (N_1 nuqta) hosil bo'ladi va u birinchi seksiyada rafinat R_1 va ekstrakt E_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 E_2 larga ajraladi. So'ng, rafinat keyingi seksiyaga o'tadi.

Tozalangan, x_{ox} konstantirastiyali eritma qurilmaning oxirgi seksiyasidan chiqariladi va texnologik jarayonning keyingi bosg'ichiga uzatiladi. Ekstrakt esa, g'ayta tiklanadi yoki oqava suv sifatida **utilizastiya** qilinadi.

Jarama - 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.

Jurilmaning tepa va pastki qismlaridagi o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch tenglashishi hisobiga eritma tarkibidan komponentni to'laroq ajratib olishga erishiladi. Undan tashqari, ekstraktion modul qiymati kamayadi, lekin bir xil tozalash darajasiga erishish uchun kerakli pog'onalar soni ko'payadi.



5.53-rasm. O'zaro kesishgan yo'nalishli ko'p pog'onali ekstraksiya jarayonini uchburchakli diagramma (a) va u-h koordinatlarda (b) tasvirlash.

5.24. Ekstraktorlar konstrukstiyalari

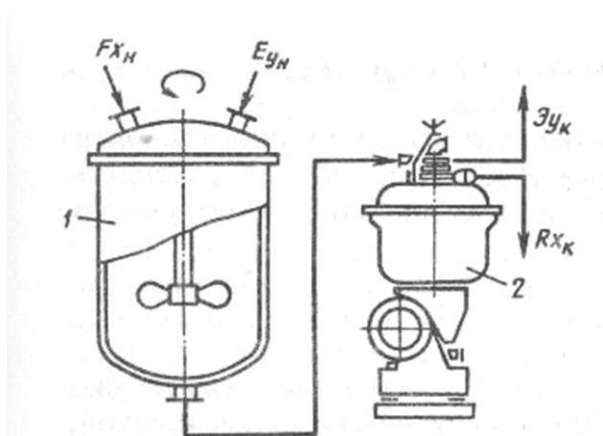
Ma'lumki, ekstraksiyalash jarayonlarida massa o'tkazishning samaradorligi massa berish yuzasi va o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchga to'g'ri proporsional. Ekstraktorlarda massa almashinish yuzasini oshirish maqsadida suyuq fazalardan biri tomchi holida purkaladi. Dispers va dispersion fazalar o'rtasida 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; differentsial 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 engil faza ham yoki og'ir faza ham bo'lishi mumkin.



5.54-rasm. Aralashtirib - tindiruvchi ekstrakcion qurilma.

1 - ekstraktor; 2 - separator.

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 5.54-rasmda keltirilgan.

Bir nechta aralashtirib - tindiruvchi qurilmalarni seksiyalarga ulash natijasida turli ekstrakstion qurilmalarni hosil qilish mumkin.

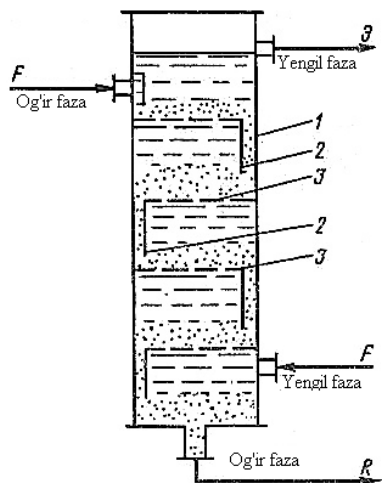
Lekin, ushbu sxemaning bir qator kamchiliklari bor: g'o'pol, ko'p joy egallaydi, metall va energiya sarfi ko'p.

Differentsial – kontaktli ekstraktorlar fazalar o'rtasidagi to'qnashishni uzluksiz va ulardagi konstantriastiyalarning 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.

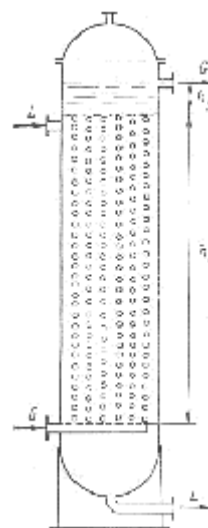
Undan tashqari, suyuq fazani purkash uchun ham energiya safrlanishi zarur. Ekstraktorda energiya safrlanish turiga qarab, tashqi energiya hisobiga va bunday energiyasiz qurilmalarga bo'linadi. O'zaro ta'sirda bo'lgan fazalarga tashqi energiya aralashtirgich, tebratgich va pulsatorlar yordamida uzatiladi.

Pog'onali (seksiyali) ekstraktorlar alohida seksiyalardan tarkib topgan bo'lib, ularda fazalar konstantriastiyalari notekis, sakrab-sakrab o'zgaradi. Ayrim hollarda har bir seksiyada konstantriastiyalar 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, pulsastion va rotor - diskli bo'lishi mumkin.



5.55-rasm. Tarelkali ekstraktor.
1 - silindrik qobiq; 2 - quyilish moslamasi;
3 - elaksimon tarelka.



5.56-rasm. Ichi bo'sh (purkovchi) ekstraktor.

Tarelkali ekstraktorlar turli konstruktsiyadagi elaksimon tarelka va iuyilish moslamasi bor kolonnali iurilmadir (5.55-rasm). Qazaro 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.

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. Jurilmani sekstiyalash, 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 bo`liq, ya'ni:

$$w_{kp} = \frac{4,4}{d_0} \quad (5.150)$$

Turlun oqimchali rejimda ekstraktor samarali ishlashi uchun tezlik kritik tezlikdan 20% ko`p bo`lishi kerak.

Dispers fazadagi massa berish koeffitsientini aniqlash uchun quyidagi formulani tavsiya etish mumkin:

$$Nu_0 = 0,064 Re^{0,84} \cdot Pr_0^{0,5} \quad (5.151)$$

bu erda $Nu_0 = \beta d_e / D_d$ - diffuzion Nusselt kriteriysi (β - dispers fazadagi massa beri koeffitsienti); d_e - tomchining ekvivalent diametri; D_d - dispers fazadagi diffuziya koeffitsienti); $Re = w_{max} d_e / \nu_s$ - tomchi uchun Reynolds kriteriysi (w_{max} - yaxlit fazadagi tomchining nisbiy tezligi; ν_s - yaxlit fazaning kinematik iovushoiligi); $Rr_0 = \nu_d / D_d$ - dispers faza uchun Prandtl kriteriysi (ν_d - dispers fazaning kinematik iovushoiligi).

Ichi bo'sh (purkovchi) kolonnalar. Bu turdagi ekstraktorlar olir suyuqlik L bilan to`ldiriladi va u biror  $w_c$  tezlik bilan qurilmada harakatlanib, to`kish shtusteridan chiqib ketadi (5.56-rasm). Engil faza G iurilmaga 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 shtusteri orali chiqib ketadi.

Tomchining nisbiy harakat tezligi w_0 ni rejimga qarab cho`kish tezligi tenglamasi (3.21) orqali topish mumkin. Jurilma devoriga nisbatan tomchilar siljishining tezligi nisbiy w_0 tezlik va yaxlit faza harakatining chiziqli tezligi w_c ning farqi sifatida aniqlash mumkin:

$$w_d = w_0 - w_c$$

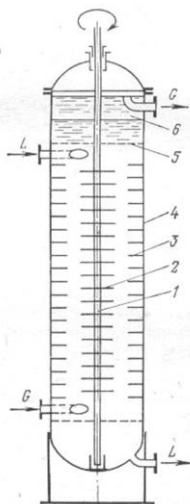
Agar, dispers (yaxlit) faza bo`yicha qurilmaning yuklamasi ortib ketsa, tomchilar tezligi  $w_d = 0$  bo`lgan hol sodir bo`lishi mumkin. Bunday hollarda qurilmada dispers faza yililib qoladi. Ekstraktorning ishchi zonasida dispers fazaning yililishi, uning o`tish yo`lini torayishiga olib keladi. Natijada, ushbu fazaning tezligi ortib ketadi va u ishchi zonadan dispers faza tomchilarini olib chiqa boshlaydi. Fazalarning qarama-qarshi harakati buzuladi va ekstraktor tiilib boshlaydi.

Mexanik aralashtirgichli, kolonnali ekstraktorlar. Agar, dispers va dispersion fazalar zichliklarining farqi juda kam ($< 100 \text{ kg/m}^3$) va fazalar orasidagi sirtiy taranglik katta bo`lsa, rotor - diskli ekstraktorlar

io'llaniladi (5.57-rasm).

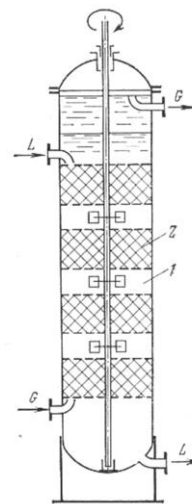
Mexanik aralashtirgich diskli, turbinali, parrakli va hokazo bo'lishi mumkin. Lekin, kimyo va oziq – ovqat mashinasozligida asosan rotor - diskli ekstraktorlar ishlab chiqariladi.

Bu turdagi ekstraktorning o'ii bo'ylab rotor - o'q 1 aylanadi va unga aylanuvchi disk 2 lar o'rnatilgan



5.57-rasm. Rotor - diskli ekstraktor.

1-o'q; 2- aylanuvchi disk;
3- qo'zg'almas xalqsimon to'siqlar; 4- qobiq; 5-teshikli
panjara; 6- ajratuvchi kamera.



5.58-rasm. Aralashtirgichli va ajratuvchi zonal, kolonnali aralashtirib - tindiruvchi ekstraktor.

1- aralashtirgich; 2- tindirgich.

bo'ladi. O'q 1 ning aylanishi natijasida fazalar yaxshi aralashadi. Xalqsimon to'siqlar kolonna 3 ni bir nechta sekstiyalarga bo'ladi. Disklar har bir sekstiyaning o'rtasida aylanadi.

Jarama - qarshi yo'nalishda harakatlanayotgan L va G fazalar aylanuvchi disk 2 lar yordamida kolonna balandligi bo'ylab aralashtiriladi va halqsimon 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 engil faza yaxlit fazadan to'liq ajraladi. So'ngra, ajralgan faza tegishli shtuster orqali tashqariga chiqariladi. Og'ir faza esa, kolonnaning pastki qismidan olinadi.

Fazalarga ajratish jarayonining samaradorligini oshirish uchun 5.58-rasmda ko'rsatilgan ekstraktorlar ishlatiladi.

Bunday qurilmalarning aralashtirish sekstiyalari 1 oraligida tindirish zonolari 2 joylashgan bo'ladi. Ikki fazali oqimni ajratish jarayonini jadallash uchun zona 2 simli to'r, nasadka yoki konstantrik stilindr bloklari bilan to'ldiriladi. Bu turdagi kolonnalar vertikal yoki ma'lum o'lish burchagi ostida o'rnatilishi mumkin.

Mexanik aralashtirgichli, kolonnali ekstraktorlar diametri quyidagi formuladan topiladi:

$$D = \sqrt{\frac{G / \rho_G + L / \rho_L}{900 \pi (q_d + q_a)_{onm}}} \quad (5.152)$$

bu erda q_d, q_a - dispers va yaxlit faza bo'yicha solishtirma yuklama, $m^3/(m^2 \cdot s)$.

Lekin, ushbu formulaga qurilmaning ko'ndalang kesimiga tushayotgan yuklamalar yig'indisini ham kiritish uning anig'ligini oshiradi.

Jurilmaning balandligi esa ushbu formuladan anig'lanadi:

$$H = h_s \cdot N = \frac{h_s \cdot m_y}{m_{y3}} \quad (5.153)$$

bu erda h_s - seksiya balandligi, m; N - qurilmadagi sekstiyalar soni; m_{y3} - bitta sekstiyaning yzlash birligi soni.

Aralashmani ekstrakt va rafinatga sifatli ajratish uchun ekstraktorning yuqori va pastki qismlarida separastion (tindirish) sekstiyalari bor.

Nasadkali, elaksimon va boshqa turdagi ekstraktorlar samaradorligini oshirish uchun qarama - qarshi yo'nalgan oqimlarga bo'ylama tebranish ta'sir ettirish kerak. Tebranish (pulsastiya) larning amplitudasi va chastotasi etarli miqdorda bo'lsa, suyuqlik o'ta kichik tomchilar o'lchamida purkaladi va ikkala fazalar aralashish intensivligi ortadi. Tebranishlar asosan pulsastiya va vibrastiyali usullarda tashkil etish mumkin.

5.59 a-rasmda pulsastiyali ekstraktor sxemasi ko'rsatilgan. Bunda engil fazaning kirish yo'ligi

gidravlik yoki pnevmatik pulsator o'rnatilgan. Suyuqlik oqimiga ilgariqlama - qaytma harakat berish uchun klapanisiz porshen, plunjer yoki membranali nasosdan, hamda maxsus pnevmatik moslamadan foydalanish mumkin.

Pulsastiya 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.

Pulsastiyali ekstraktorning ishlash rejimi pulsastiyalar intensivligiga bog'liq bo'lib, amplitudaning chastotaga ko'paytmasi bilan xarakterlanadi.

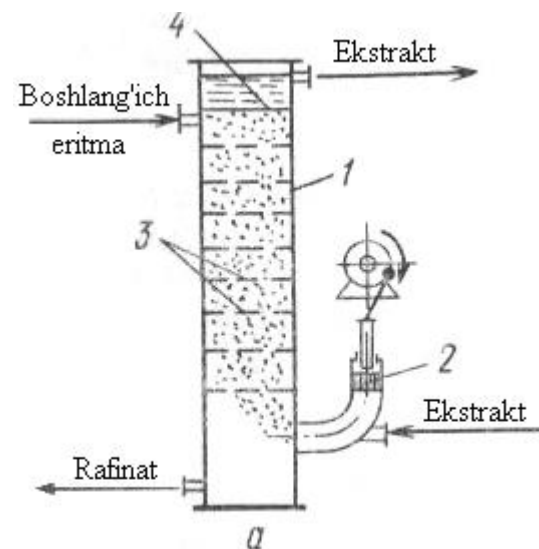
Agar, pulsastiya intensivligi kichik bo'lsa, engil faza og'ir fazada yoki og'ir faza engilda galma-gal tarqaladi. Agar, pulsastiya intensivligi katta bo'lsa, kolonnaning ishchi zonasi yaxlit fazaga qarama - qarshi yo'nalishda harakat qilayotgan mayda tomchilar bilan bir tekisda to'lib turadi. Bunday rejim pulsastiyali ekstraktorning optimal rejimi hisoblanadi.

Tebranishlar amplitudasi siqilgan havoning bosimi bilan belgilanadi. Pulsastiyalar chastotasi odatda minutiga 30...250, amplitudasi esa - 2...25 mm ni tashkil etadi.

Agar, pulsastiyalar intensivligi yanada oshirilsa, ekstraktorda tiqilib qolish hodisasi ro'y beradi.

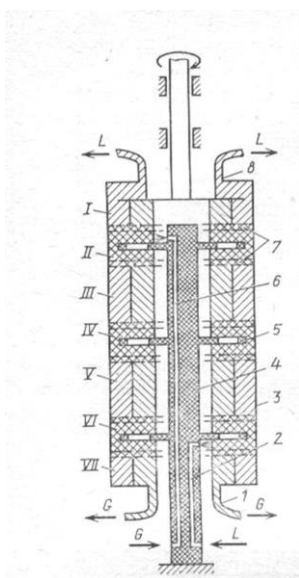
Pulsastiyali ekstraktorlar kolonnasidagi butun suyuqlikni tebratish uchun energiya sarfi katta, ko'ndalang kesim bo'yicha oqim tezliklar bir xil emasligi va kavitatsiya hodisa hosil bo'lishi mumkinligi, hamda qurilmaning ayrim bo'laklarida havfli kuchlanishlar barpo bo'lishi - bu turdagi ekstraktorning kamchiliklaridir.

Bir dasta elaksimon tarelkalar vibratsiyasi tufayli kolonnadagi suyuqlikka tebranish berish, pulsastiyali usulga nisbatan samarasi yuqori bo'lib chiqdi (5.59b-rasm).



5.59-rasm. Pulsatsiyali (a) va vibratsiya tarelkali

- a) 1 - kolonna; 2 - porshenli pulsator; 3 - tarelka; 4 - tindirish zonas
b) 1,2 - olir fazaning kirish va chiqish shtutserlari; 3,4 - engil fazani
5 - elaksimon tarelka; 6 - shtok.



5.60-rasm. Trubali markazdan iochma ekstraktor shemasi.

- 1,8 - engil va og'ir fazalarni to'kish silindrlari; 2,6 - og'ir va engil fazalar kirish kanallari; 3 - silindrik baraban; 4 - qo'zg'almas silindr; 5 - teshikli aralashtiruvchi disk; 7 - teshikli iaytaruvchi to'siq; I, III, V, VII - separatsion zonalar; II, IV, VI - ekstraksion zonalar.

Bu turdagi qurilmalarda tarelka 5 lar shtok 6 da o'rnatiladi va shtok ilgariqlama - qaytma harakat qiladi. Bunday harakat suyuqlikka tebranishlar beradi va jarayon intensivlashadi.

Pulsastiya va vibratsiyali ekstraktorlarda massa almashinish intensivligi rotor - diskli qurilmanikiga g'araganda ancha yuqori. Bunga sabab, massa berish va o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchning kattaligidir. Undan tashqari, solishtirma yuklama 30...80 m³/(m²·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, pulsastiya 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.

Bu turdagi ekstraktorlar - trubali, kamerali va yupqa qatlamli bo'ladi. 5.60-rasmda trubali, markazdan qochma ekstraktor sxemasi keltirilgan.

Ekstraktor stilindrik baraban 3 dan iborat bo'lib, ichiga qaytaruvchi disk 7 lar o'rnatilgan bo'ladi. Jaytaruvchi disklar barabanni separastion (I, III, V, VII) va ekstrakstion (II, IV, VI) zonalarga bo'ladi. Og'ir faza *L* kanal 2 va qo'zg'almas stilindr 4 orqali ekstraktorning VI zonasiga uzatiladi. U erdan og'ir faza barabanning pastki qismidan yuqoriga ko'tariladi va halqasimon to'kish kanali 8 orqali chiqariladi. Engil faza *G* esa, kanal 6 orqali yuqori ekstrakstion 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 ekstrakstion 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 separastion 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 $V_x = 0,001389 \text{ m}^3/\text{s};$
- suvdagi fenolning boshlang'ich konstantrastiyasi $S_{xb} = 0,3 \text{ kg/m}^3;$
- suvdagi fenolning oxirgi konstantrastiyasi $S_{xo} = 0,009 \text{ kg/m}^3 (97\%);$
- ekstragent tarkibidagi fenolning boshlang'ich konstantrastiyasi $S_{un} = 0,01 \text{ kg/m}^3;$
- ekstraktordagi temperatura $t = 25^\circ\text{S}.$

$$V_y = V_d = 0,002778 \text{ m}^3 / \text{c}; \quad m = 2,22; \quad m_o = 0;$$

$$\rho_c = 997 \text{ kg} / \text{m}^3; \quad \rho_d = 874 \text{ kg} / \text{m}^3; \quad \Delta\rho = 123 \text{ kg} / \text{m}^3;$$

$$\mu_c = 0,894 \text{ mPa} \cdot \text{c}; \quad \mu_d = 0,6 \text{ mPa} \cdot \text{c}; \quad D_c = 1,05 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{c};$$

$$D_d = 2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{c}; \quad \sigma = 0,0341 \text{ H} / \text{m}; \quad \Phi_s = 0,382.$$

Bunday ajratib olish darajasi bo'lganda benzoldagi fenolning oxirgi konstantrastiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$C_{y.o.} = C_{y.\phi.} + \left(\frac{V_x}{V_y} \right) \cdot (C_{x.\phi.} - C_{x.o.}) =$$

$$= 0,01 + \left(\frac{0,001389}{0,002778} \right) \cdot (0,3 - 0,009) = 0,1555 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Rotor-diskli ekstraktorlarni hisoblashda faqat kolonnaning diametri va ishchi qismining balandligini aniqlash etarli 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 5.61 - rasmda keltirilgan sxemadagi uslubdan foydalaniladi:

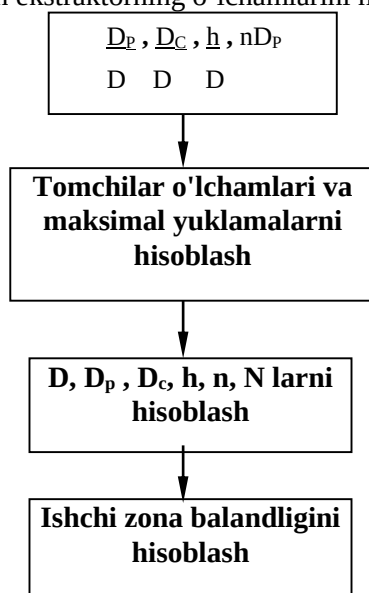
Ushbu uslubga binoan D_p/D , D_c/D , h/D , hamda nD_p nisbatlar boshlang'ich ma'lumotlardir. Bu erda D – kolonna diametri; D_p – disk diametri; D_c – stator halqasining ichki diametri; h – seksiya balandligi; n – rotor aylanishining chastotasi.

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:

$$\frac{D_p}{D} = \frac{2}{3}; \quad \frac{D_c}{D} = \frac{3}{4}; \quad \frac{h}{D} = \frac{1}{3}$$

va $nD_p = 0,2$ m/s sharoitda ishlayotgan ekstraktorning o'lchamlarini hisoblaymiz.



5.61- rasm. Rotor-diskli ekstraktor o'lchamlarini hisoblash sxemasi.

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:

$$d = 16,7 \cdot \frac{(0,894 \cdot 10^{-3})^{0,3} \cdot (0,0341)^{0,5}}{0,2^{0,9} \cdot 997^{0,8} \cdot 9,81^{0,2} \cdot 20^{0,28}} = 0,00203 \text{ m} = 2,03 \text{ mm}$$

Bilqillab qolish davrida fazalarning umumiy sohta tezligi.

Mayda tomchilarning erkin cho'kish tezligini topish uchun Adamarning tenglamasidan foydalansa bo'ladi:

$$w_u = \frac{\Delta \rho \cdot g \cdot d^2 \cdot (\mu_d + \mu_c)}{6 \cdot \mu_c \cdot (2 \cdot \mu_c + 3 \cdot \mu_d)}$$

bu erda w_{ch} – erkin cho'kish tezligi; $\Delta \rho$ - fazalar zichliklarining farqi; μ_d va μ_c – dispersion va dispers fazalar qovushoqliklari.

Yirik tomchilarni erkin cho'kish tezligini hisoblash uchun quyidagi empirik formuladan foydalanamiz:

$$2 \leq T \leq 70 \text{ da} \quad Q = (0,75 \cdot T)^{0,78}$$

$$T > 70 \text{ булганда} \quad Q = (22 \cdot T)^{0,42}$$

bu erda

$$Q = 0,75 + \frac{Re}{p^{0,15}}$$

$$T = \frac{4 \cdot \Delta \rho \cdot g \cdot d^2 \cdot \rho^{0,15}}{3 \cdot \sigma}$$

$$P = \frac{\rho_c^2 \cdot \sigma^3}{\Delta \rho \cdot g \cdot \mu_c^4}$$

bu erda 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;

$$\left(\frac{D_c}{D}\right)^2 = \left(\frac{3}{4}\right)^2 = 0,562; \quad 1 - \left(\frac{D_p}{D}\right)^2 = 1 - \left(\frac{2}{3}\right)^2 = 0,556;$$

$$\left(\frac{D_C + D_P}{D}\right) \cdot \left[\left(\frac{D_C - D_P}{D}\right)^2 + \left(\frac{h}{D}\right)^2\right]^{0,6} = \left(\frac{3}{4} + \frac{2}{3}\right) \cdot \left[\left(\frac{3}{4} - \frac{2}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2\right]^{0,6} = 0,485$$

Demak, $\alpha = 0,485$ va tomchilarning xarakteristik tezliklari quyidagiga teng bo'ladi:

$$w_{xap} = \alpha \cdot w_o = 0,485 \cdot 5,73 = 2,78 \text{ cm/c}$$

Bilqillab qolish davridagi fazalarning sohta umumiy tezligi ushbu formuladan topiladi:

$$\begin{aligned} (w_c + w_d)_\phi &= (1 - 4 \cdot \Phi_\phi + 7 \cdot \Phi_\phi^2 - 4 \cdot \Phi_\phi^3) \cdot w_{xap} = \\ &= (1 - 4 \cdot 0,382 + 7 \cdot 0,382^2 - 4 \cdot 0,382^3) \cdot 2,78 = 0,756 \text{ cm/c} \end{aligned}$$

Kolonnaning diametri va ichki uskunalarining o'lchamlari.

Ushbu shart-sharoitda kolonnaning ruxsat etilgan minimal diametri quyidagi qiymatga teng:

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 \cdot (V_d + V_c)}{\pi \cdot (w_d + w_c)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (0,001389 + 0,002778)}{3,14 \cdot 0,00756}} = 0,84 \text{ m}$$

Kolonnaning ichki diametrini 1 m ga teng deb olamiz. Bunday kolonnada fazalarning sohta tezliklari:

$$w_y = w_d = 0,354 \text{ cm/c}; \quad w_x = w_c = 0,177 \text{ cm/c} \quad \text{ga tengdir.}$$

Fazalar tezliklarining yig'indisi ularning bilqillab qolish davridagi umumiy tezlikning 69% ni tashkil qiladi.

Ekstraktor ichki uskunalarining asosiy o'lchamlari:

$$D_p = D \cdot \left(\frac{D_p}{D}\right) = 1 \cdot \frac{2}{3} = 0,667 \text{ m};$$

$$D_c = D \cdot \left(\frac{D_c}{D}\right) = 1 \cdot \frac{3}{4} = 0,75 \text{ m};$$

$$h = D \cdot \left(\frac{h}{D}\right) = 1 \cdot \frac{1}{3} = 0,333 \text{ m};$$

Aylanish chastotasi

$$n = \frac{n \cdot D_p}{D_p} = \frac{0,2}{0,667} = 0,3 \text{ c}^{-1}$$

Fazalar to'qnashish joyining solishtirma yuzasi.

Fazalarning sohta tezliklarining va xarakteristik tezliklar qiymatlarini quyidagi tenglamaga

$$\Phi^3 - 2 \cdot \Phi^2 - \left(1 + \frac{w_d}{w_{om}} - \frac{w_c}{w_{om}}\right) \cdot \Phi - \frac{w_d}{w_{xap}}$$

g'o'yib, kubik tenglamani olamiz:

$$\Phi^3 - 2 \cdot \Phi + 1,06 \cdot \Phi - 0,127 = 0$$

Ushbu tenglamani echib, ushlab qolish qobiliyati $F = 0,169$ ekanligini topamiz. Unda, fazalarning solishtirma to'qnashish yuzasi

$$a = \frac{6 \cdot \Phi}{d} = \frac{6 \cdot 0,169}{2,03 \cdot 10^3} = 500 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}$$

Kolonnaning ishchi zonasining balandligi.

Dispersion E_s va dispers E_D fazalarning bo'ylama aralashish koeffitsientlari quyidagi empirik tenglamalardan topish mumkin:

$$E_x = E_c = 0,5 \cdot \frac{w_c \cdot h}{1 - \phi} + 0,09 \cdot \left(\frac{D_p}{D}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{D_c}{D}\right)^2 - \left(\frac{D_p}{D}\right)^2\right] \cdot nD_p \cdot h =$$

$$= 0,5 \cdot \frac{0,177 \cdot 10^{-2} \cdot 0,333}{1 - 0,169} + 0,09 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{3}{4}\right)^2 - \left(\frac{2}{3}\right)^2\right] \cdot 0,2 \cdot 0,333 = 6,59 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{c}$$

$$E_y = E_d = 0,5 \cdot \frac{w_d \cdot h}{\phi} + 0,09 \cdot \left(\frac{D_p}{D}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{D_c}{D}\right)^2 - \left(\frac{D_p}{D}\right)^2\right] \cdot nD_p \cdot h =$$

$$= 0,5 \cdot \frac{0,354 \cdot 10^{-2} \cdot 0,333}{0,169} + 0,09 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{3}{4}\right)^2 - \left(\frac{2}{3}\right)^2\right] \cdot 0,2 \cdot 0,333 = 38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{c}$$

Massa berish koeffitsientini aniqlash uchun Reynolds kriteriysi va tomchilarning nisbiy tezliklarini topish kerak:

$$w_{nuc} = \frac{w_d}{\Phi} + \frac{w_c}{1 - \Phi} = \frac{0,177}{0,169} + \frac{0,354}{1 - 0,169} = 2,3 \text{ cm/c}$$

$$Re = \frac{\rho_c \cdot w_{nuc} \cdot d}{\mu_c} = \frac{997 \cdot 0,023 \cdot 2,03 \cdot 10^{-3}}{0,894 \cdot 10^{-3}} = 52,2$$

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 tahminda

$$H = N \cdot h$$

deb qabul qilamiz. Unda uning balandligi $H = 20 \cdot 0,333 = 6,66 \text{ m}$ ga teng bo'ladi.

Massa berish koeffitsienti quyidagicha hisoblanadi:

$$Nu_c^i = 0,6 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,5} = 0,6 \cdot 52,5^{0,5} \cdot 854^{0,5} = 127$$

$$\beta_x = \beta_c = Nu_c^i \cdot \frac{D_c}{D} = 127 \cdot \frac{1,05 \cdot 10^{-9}}{2,03 \cdot 10^{-3}} = 0,657 \cdot 10^{-4} \text{ m/c}$$

$$\tau = \frac{\Phi \cdot H}{w_d} = \frac{0,169 \cdot 6,66}{0,00354} = 318 \text{ c}$$

$$Fo_d^i = \frac{4 \cdot D_d \cdot \tau}{d^2} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^{-9} \cdot 318}{(2,03 \cdot 10^{-3})^2} = 0,617$$

$$Nu_d^i = 31,4 \cdot (Fo_d^i)^{-0,34} \cdot (Pr_d^i)^{-0,125} \cdot We^{0,37} =$$

$$= 31,4 \cdot 0,617^{-0,34} \cdot 343^{-0,125} \cdot 0,0314^{0,37} = 4,96$$

bu erda

$$Pr_c^i = \frac{\mu_c}{\rho_c \cdot D_c} = \frac{0,894 \cdot 10^{-3}}{997 \cdot 1,05 \cdot 10^{-9}} = 854$$

$$Pr_d^i = \frac{\mu_d}{\rho_d \cdot D_d} = \frac{0,6 \cdot 10^{-3}}{874 \cdot 2 \cdot 10^{-9}} = 343$$

$$\beta_y = \beta_o = Nu_o^i \cdot \frac{D_o}{d} = 4,96 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-4}}{2,03 \cdot 10^{-3}} = 0,0488 \cdot 10^{-4} \text{ m/c}$$

Ideal siqib chiqarish rejimiga to'g'ri keladigan suv fazasida massa o'tkazish koeffitsienti va o'tkazish birligi balandligini hisoblaymiz:

$$K_x = \left(\frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{m \cdot \beta_y} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{0,657 \cdot 10^{-4}} + \frac{1}{2,22 \cdot 0,0488 \cdot 10^{-4}} \right)^{-1} = 0,93 \cdot 10^{-5} \text{ m/c}$$

$$H_{ox} = \frac{w_x}{K_x \cdot a} = \frac{0,00177}{0,93 \cdot 10^{-5} \cdot 500} = 0,381 \text{ m}$$

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:

$$n_{ox} = \frac{m \cdot V_y / V_x}{m \cdot V_y / V_x - 1} \cdot \ln \frac{m \cdot c_{x0} + m_o - c_{yox}}{m \cdot c_{x0} + m_o - c_{yox}}$$

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

$$H = n_{ox} \cdot H_{ox} = 5,08 \cdot 0,381 = 1,93 \text{ m}$$

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 koeffitsientlar qiymatlarini aniqlaymiz:

$$f_y = \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-Pe_y)]^{-1}}{Pe_y} \right\}^{-1} = \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-6,2)]^{-1}}{6,2} \right\}^{-1} = 1,192$$

$$f_x = \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-Pe_x)]^{-1}}{Pe_x} \right\}^{-1} = \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-17,6)]^{-1}}{17,6} \right\}^{-1} = 1,06$$

Olingan natijalar ushbu formulaga

$$H'_{ox} = H_{ox} + \frac{E_d}{w_x \cdot f_x} + \left(\frac{V_x}{m \cdot V_y} \right) \cdot \left(\frac{E_y}{w_y \cdot f_y} \right) = 0,381 + \frac{660 \cdot 10^{-9}}{0,00177 \cdot 1,06} + 0,2252 \frac{38 \cdot 10^{-4}}{0,00354 \cdot 1,192} = 0,941$$

mbu erda

$$\frac{V_x}{m \cdot V_y} = \frac{1}{2,22 \cdot 2} = 0,2252$$

$H'_{ox} = 0,941 \text{ m}$ g'iyomatga kolonnaning

$$H = H'_{ox} \cdot n_{ox} = 0,941 \cdot 5,08 = 4,78 \text{ m}$$

balandligi to'g'ri keladi. Hisoblash natijasida olingan N va $\dot{I}_{ig}$ lar yordamida Pekle kriteriysi, f_y va f_x koeffitsientlarning aniqrog' g'iyomatlarini topamiz:

$$Pe_y = \frac{0,00354 \cdot 4,78}{38 \cdot 10^{-4}} = 4,45$$

$$Pe_y = \frac{0,00177 \cdot 4,78}{6,69 \cdot 10^{-4}} = 12,6$$

$$f_y = \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-Pe_y)]^{-1}}{Pe_y} \right\}^{-1} - \left(1 - \frac{V_x}{m \cdot V_y} \right) \cdot \frac{F_y}{w_y \cdot H_{ox}^i} =$$

$$= \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-4,45)]^{-1}}{4,45} \right\}^{-1} - (1 - 0,2252) \cdot \frac{38 \cdot 10^{-4}}{0,00354 \cdot 0,941} = 0,401$$

$$f_x = \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-Pe_x)]^{-1}}{Pe_x} \right\}^{-1} + \left(1 - \frac{V_x}{m \cdot V_y} \right) \cdot \frac{F_x}{w_x \cdot H_{ox}^i} =$$

$$= \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-12,6)]^{-1}}{12,6} \right\}^{-1} + (1 - 0,2252) \cdot \frac{6,69 \cdot 10^{-4}}{0,00177 \cdot 0,941} = 1,4$$

Ikkinchi ketma-ket yag'inlashuvda zohiriy o'tkazish sonining birligi g'uyidagi g'iyamatga teng bo'ladi:

$$H_{ox}^i = 0,381 + \frac{6,69 \cdot 10^{-4}}{0,00177 \cdot 1,4} + 0,2252 \cdot \frac{38 \cdot 10^{-4}}{0,00354 \cdot 0,401} = 1,25 \text{ m}$$

$H_{ox}' = 1,25 \text{ m}$ g'iyamatida kolonnaning zarur balandligi $N = 1,25 \cdot 5,08 = 6,35 \text{ m}$ ga tengdir.

H_{ox}' va N larni hisoblashni bir necha marta ushbu parametrlarning oxirgi ikki iterastiyasining son qiymatlari teng bo'lguncha o'tkazamiz va

$$H_{ox}' = 1,15 \text{ m}; \quad N = 5,84 \text{ m}$$

ekanligini aniqlaymiz.

Disklar orasidagi masofa 0,33 deb qabul qilganimiz uchun $N = 5,84 \text{ m}$ li kolonna disklarining soni

$$\frac{5,84}{0,333} = 17,5 \text{ ma}$$

Disklar sonini 18 ta desak, ishchi zonaning balandligi quyidagi qiymatga teng bo'ladi.

$$N = 18 \cdot 0,333 = 6 \text{ m}$$

Miqdori 20 ga teng deb olingan edi. Agarda quyidagi tenglamaga:

$$d = 16,7 \cdot \frac{\mu_c^{0,3} \cdot \sigma^{0,5}}{(n \cdot D_p)^{0,9} \cdot \rho_c^{0,8} \cdot g^{0,2} \cdot N^{0,23}}$$

$N = 11$ g'o'ysak, tomchilarning o'rtacha o'lchami $d = 2,08 \text{ mm}$ ligini bilamiz va bu o'lcham $N = 20$ dagi d g'iyamatidan 25% ga farq qiladi. Tomchilarning o'lchami va ekstraktorning qolgan boshqa gidrodinamik parametrini qaytadan hisoblashga o'rin yo'g', chunki bunday chetga chiqish yuqorida keltirilgan tenglamaning aniqlik doirasida joylashgan. Kolonnaning balandligiga bog'liq bo'lgan dispers yuzadagi modda berish koeffitsienti ham mutlaqo o'zgarmaydi. Agar hisoblash natijasida ekstraktorning balandligi boshida olingan qiymatdan farq qilganda, xamma 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 ($Re \text{ g' } 10^5$) uchun aylanayotgan diskni quvvat kriteriysi tahminan $K_N = 0,03$. Bizning misol uchun

$$Re_c = \frac{\rho_m \cdot \pi \cdot d_p^2}{\mu_m} = \frac{997 \cdot 0,3 \cdot 0,667^2}{0,894 \cdot 10^{-3}} = 149000$$

Aralashtirilayotgan muhitning o'rtacha zichligi

$$\rho = \Phi \cdot \rho_d + (1 - \Phi) \cdot \rho_m = 0,169 \cdot 874 + (1 - 0,169) \cdot 997 = 976 \text{ kg / m}^3$$

Bitta disk yordamida aralashtirish uchun kerakli energiya sarfi quyidagiga teng bo'ladi:

$$N = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D_p^5 = 0,03 \cdot 976 \cdot 0,3^3 \cdot 0,667^5 = 0,1 \text{ Bm}$$

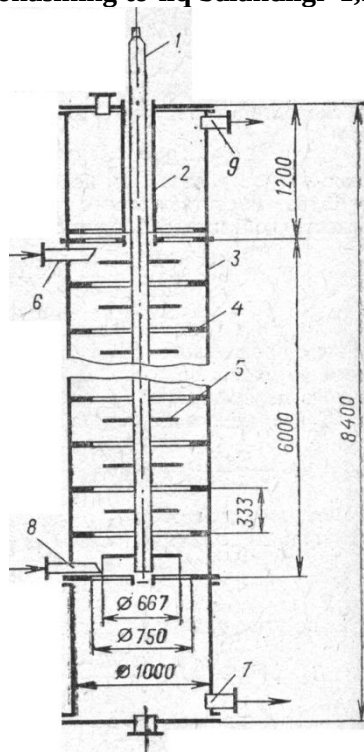
Ko'rinib turibdiki, aralashtirish uchun quvvat sarfi ko'p emas va hamma disklar uchun 2 Vt ni tashkil etadi. Demak, elektr yuritkich quvvatini mexanik hisoblar asosida tanlash kerak. Uning quvvati ishqalanish kuchlari va ishga tushirish onlarini engish uchun etarli bo'lishi zarur.

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 koalenstenstiya bo'lishi uchun zarur vaqti

$$\tau_{\text{koal}} = 1,32 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{\mu_m \cdot d}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{H}{d} \right)^{0,18} \cdot \left(\frac{\Delta \rho \cdot g \cdot d^2}{\sigma} \right)^{0,32}$$

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 zonalaridan. Yuqorida aytilganlarni hisobga olsak, cho'ktirish zonasining to'liq balandligi 1,2 m ga teng bo'ladi.



5.62-rasm. Rotor-diskli ekstraktor.

5.62-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 g'iyamlari uchun bajarilishi kerak va olingan natijalardan optimal varianti tanlanishi zarur.

«Qattiq jism - suyuqlik» sistemasida ekstrakstiyalash

5.26. Umumiy tushunchalar

G'ovaksimon qattiq jism tarkibidan bir yoki bir necha komponentlarni ajratib olish jarayoni **ekstrakstiyalash** deb ataladi.

Qattiq jismdan bir yoki bir necha komponentni selektivlik qobiliyatiga ega bo'lgan erituvchi yordamida ajratib olish jarayoni **eritish** deb nomlanadi. Ushbu jarayon ekstrakstiyalash jarayonining xususiy holidir.

Kimyo, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda juda ko'p kapillyar-g'ovakli jismlar eritish jarayoni yordamida qayta ishlanadi. Ekstrakstiyalash ishqor, kislota, tuzlar, qand, o'simlik moylar, sharbatlar, vitaminlar, turli dori-lar, rangli va nodir metallar va hokazolarni olishda ishlatiladi. Ekstrakstiyalash 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, ekstrakstiyalash va eritish jarayonlari «qattiq jism - suyuqlik» sistemasida olib boriladi. Ekstrakstiyalash 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 ekstrakstiyalashga qaraganda ancha tez boradi.

Sanoat texnologik jarayonlarida erituvchilar sifatida quyidagi suyuqliklar ishlatiladi: suv - qand lavlagi-dan shakarni, hamda kofe, choyni ekstrakstiyalash uchun; spirt va spirt-suvli aralashmalar liker - aroq damla-masi va pivo - alkogolsiz ichimliklar ishlab chiqarish sanoatida; benzin, trixloretan, dixloretan - yog' va efir moylarini ishlab chiqarishda. Undan tashqari, suv va ayrim noorganik kislotalarning eritmaları ham, erituvchi sifatida ishlatiladi. Bunday jarayonlar **ishqorlanish** deb nomlanadi. Ishqorlanish mineral xom - ashyolarni 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 potentsiali va uning qattiq jismdagi kimyoviy potentsialiga tenglashganda erish jarayoni muvozanat holiga keladi. To'yinish holatiga oid eritmaning konstantastiyasi **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 konstantastiyasi to'yingan eritma konstantastiyasi $u_{to'y}$ 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: kapillyar shakli va o'lchami (5.63b-rasm), zarrachalar kimyoviy tarkibiga katta ta'sir ko'rsatadi (5.63a-rasm). Qattiq jismning ichki tuzilishi massa o'tkazish tezligiga ham katta ta'sir etadi.

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. Ekstrakstiya jarayonida maqsadli komponentning hajmi sistematik ravishda kamayib boradi (5.64-rasm).

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 kapillyarlari orqali fazalarni ajratuvchi yuzaga ekstrakstiyalanayotgan 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 ikkitasining qaraganda ancha yuqoridir.

Shunday qilib, massa almashinish jarayonining umumiy diffuziya qarshiligi qattiq jism va erituvchilarning ichki diffuzion qarshiliklari yig'indisidan iborat.

Kapillyar - g'ovak jism ichidan moddaning diffuziya tezligi ushbu tenglama bilan ifodalanadi:

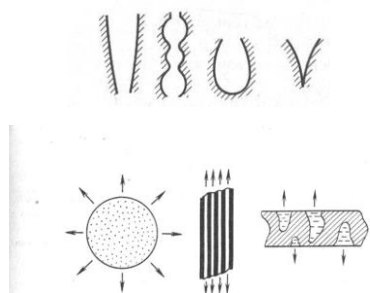
$$i = -\frac{dM}{Fd\tau}$$

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:

$$Bi = \frac{\beta \cdot l}{D}$$

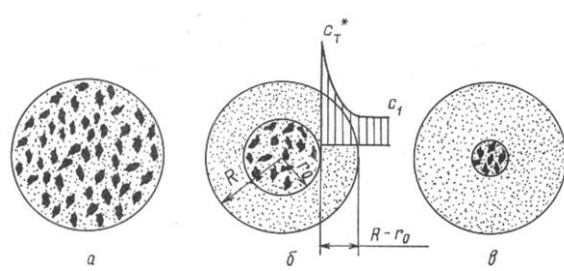
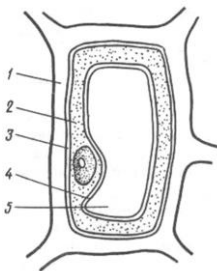
Ayniqsa, kapillyar - g'ovak jismlarda massa o'tkazuvchanlik tezligi juda kichik bo'ladi.

5.63v-rasmda o'simlik hujayrasining tuzilishi ko'rsatilgan.



5.63-rasm. Fovaksimon qattiq jism tuzilishi (a), kovaklar turi (b) va o'simlik hujayrasi (c).

1 - hujayra qobig'i; 2 - protoplazmalar;
3,4 - o'tkazuvchan membranalar;
5 - vakuol.



5.64-rasm. Qattiq g'ovaksimon jismning ekstrakciya jarayonida tuzilishi-ning o'zgarishi.

Massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti qattiq jismning ichki tuzilishiga, ekstragentning fizik xossalari, ekstrakstiyalanayotgan moddaning konstantriyasi va jarayon temperaturasi bog'liq. Massa o'tkazuvchanlik koeffitsientining 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 ekstrakstiyalanuvchi modda konstantriyasi $u_{ch}=u_{uy}$ va uning ekstragentdagi o'rta konstantriyasi u_{ur} larning farqi hisoblanadi.

Ushbu holatda jarayonning tezligi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\frac{dM}{Fd\tau} = \beta_y (y_{myu} - y_{yp}) \quad (5.154)$$

bu erda β_u - suyuqlik fazadagi massa berish koeffitsienti.

Qalinligi δ bo'lgan chegaraviy qatlamdagi molekulyar diffuziya tezligi Fikning 1-qonuni yordamida topiladi:

$$\frac{dM}{Fd\tau} = D \frac{(y_{myu} - y_{yp})}{\delta} \quad (5.155)$$

bu erda D - molekulyar diffuziya koeffitsienti.

Qattiq jismni eritish jarayoni uchun prof. A.N. Shukarev tomonidan ushbu formula keltirib chiqarilgan:

$$\frac{M}{\tau} = \left(\frac{D}{\delta} \right) F_{yp} (y_{myu} - y_{yp}) = \beta_y \cdot F_{yp} (y_{myu} - y_{yp}) \quad (5.156)$$

bu erda $\beta_u = D/\delta$ Tajribaviy usul bilan $\delta \approx D^{0,33}$ ekanligi aniqlangan.

(5.154) tenglamadan β_u massa berish koeffitsienti $D^{0,66}$ ga proporsionalligi ko'rinib turibdi. Yuqorida keltirilgan tenglamalarni inobatga olgan holda va tajriba natijalarini umumlashtirish natijasida, ishqorlab ajratish jarayonida massa berish koeffitsienti β_u ni ushbu tenglama yordamida topish mumkin:

$$Nu_d = 0,8 Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \quad (5.157)$$

bu erda $Nu_d = \beta_u d/D$ - 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, koeffitsient 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 jadallashishga olib keladi.

Ma'lumki, qattiq jismlarni maydalash, massa almashinish yuzasining ortishiga va material ichidan kapillyarlar orqali ekstrakstiyalanayotgan komponent diffuziya yo'li kapayishiga olib keladi. Temperatura ortishi bilan massa o'tkazuvchanlik koeffitsient ko'payganligi uchun ishqorlab ajratish jarayoni ekstragentning qaynash temperaturasi yaqin temperaturalarda tashkil etiladi. Bunday holatda eritmaning to'yinish konstantasi u_{uy} ortadi, bu esa o'z navbatida eritish va ishqorlab ajratish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuchning 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 konstruktsiyalari

Ekstraktsiya, 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'zgarimas, mexanik aralashtirgichi bo'lgan va mavhum qaynash qatlamli ekstraktorlar bo'ladi.

Ekstraktorlarni tanlashda qattiq faza fizik-mexanik xossalari va ajrab chiqadigan ekstrakt konstantasi 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 ekstrakstiyalash 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 talab quyidagilardan iborat:

- qurilma hajmi birligiga to'g'ri kelgan ekstraktning miqdori, ya'ni solishtirma ish unumdorligi katta bo'lishi zarur;

- hosil bo'layotgan eritma konstantasi iloji boricha yuqori bo'lishi kerak;

- energiya sarfi kam bo'lishi zarur.

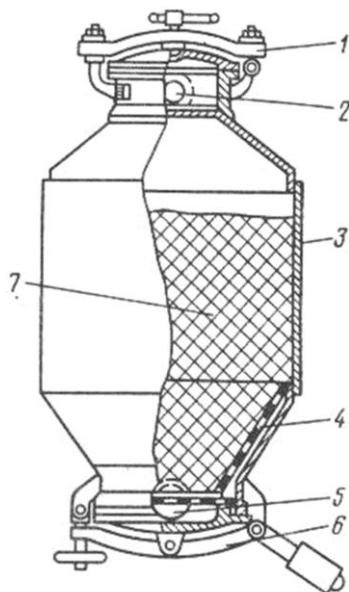
Perkolyator - bu davriy ishlaydigan, qo'zg'almas qatlamli ekstraktor (5.65-rasm). U konussimon tubli va yassi qopqoqli stilindrik qurilma bo'lib, tubida teshikli panjara o'rnatilgan. Ushbu panjaraga tepa lyukdan maydalangan qattiq material qatlami yuklanadi.

Ishqorlab ajratish jarayoni tugagandan so'ng, material pastki ko'tarma lyukdan chiqarib yuboriladi.

Perkolyatorlar ketma-ket ulanib batareyalar hosil qilinadi. Batareyaga ulanadigan perkolyatorlar soni 4 ta dan 15 ta gacha bo'lishi mumkin. Erituvchi perkolyatorning past qismidan yuqoriga nasos yordamida haydaladi. Batareyalarda oqimlar yo'nalishi har doim qarama-qarshi bo'ladi. Istalgan perkolyatorda ajratish darajasi belgilangan darajaga etishi bilan ishlatib bo'lingan materialni to'kish uchun batareya o'chiriladi va yangi xomashyo yuklanadi. Odatda, qurilmadan material bosim ostida to'kiladi.

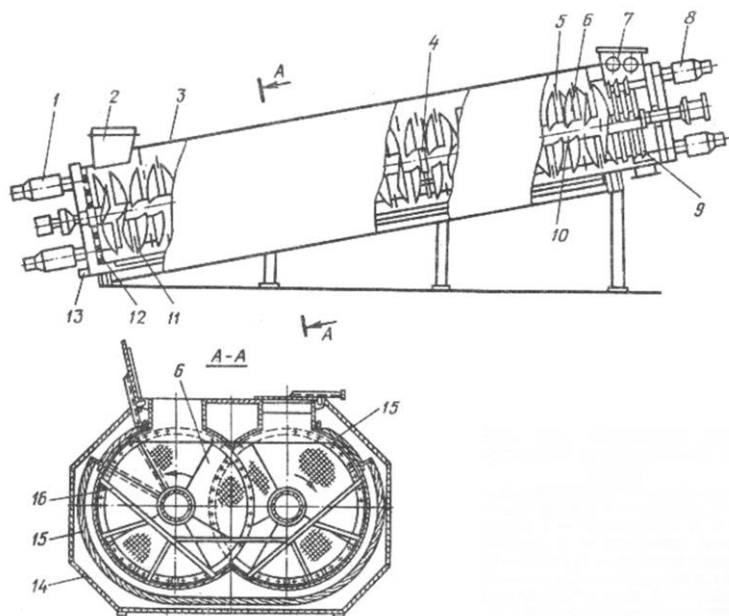
Uzluksiz ishlaydigan diffuzion qurilmalar kimyo, tog'-kon, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda juda ko'p ishlatiladi. Ayniqsa, qand lavlagidan shakar olishda va uning turpini chiqarib tashlashda bu turdagi qurilmalar juda samarali qo'llanilmoqda.

Ikki shnekli, og'ma diffuzion qurilma odatda $8...11^\circ$ burchak ostida ishlatiladi. Qurilmaning tepa qismida qand lavlagi qirindilarini yuklash uchun bunker va hosil bo'layotgan turpini (jomni) chiqarish uchun shneklar o'rnatilgan (5.66-rasm).



5.65-rasm. Perkolyator.

1-qopqoq; 2,5-erituvchi uchun
shtucerlar; 3-qobiq; 4-teshikli
panjara; 6-ko'tarma lyuk.



5.66-rasm. Ikki shnekli, og'ma diffuzion qurilma

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 shneklariga nisbatan to'g'ri burchak ostida o'rnatilgan va ularga qarama - qarshi yo'nalishda aylanadi. Ekstrakstiyalanayotgan 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. Ushbu qobiq maxsus tayanchlari bilan og'ir poydevorga o'rnatiladi.

Qurilma qobig'i ayrim stargalardan tarkib topgan bo'lib, qattqlik qovurg'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.

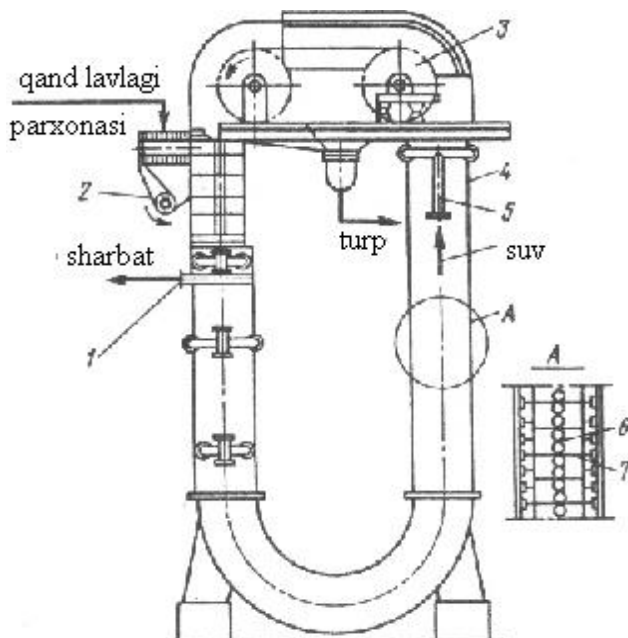
Xom - ashyo qurilmaga panjarasimon konveyer va rotastion uloqtirgich yordamida yuklanadi. Isitilgan sharbat qurilmaga soplolar yordamida purkaladi.

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 shtusteriga 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.

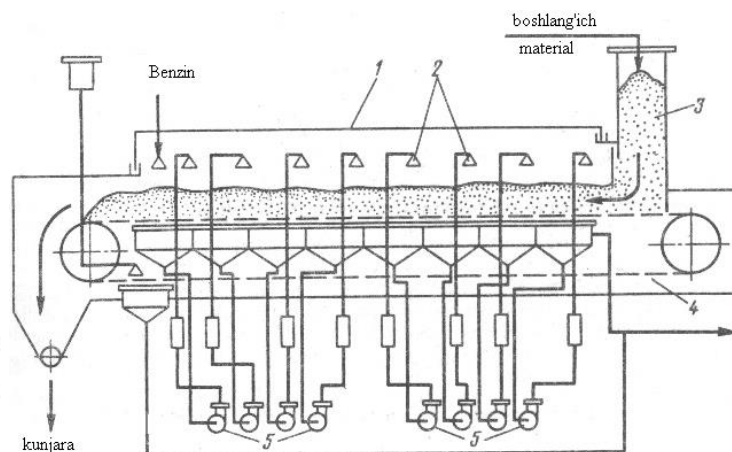
Lekin, materialni uzatish uchun romcha yoki kovsh zanjirli moslamalarni qo'llash, qattiq jismlarning zichlanishiga sababchi bo'ladi. Ma'lumki, zichlangan materialni ekstrakstiyalash ancha qiyin.

Parrakli va kontrparrakli diffuzion qurilmalarda qirindi ancha maydalanadi, bu esa diffuzion sharbatning filtrlanishini qiyinlashtiradi. Natijada, ekstrakstiyalash jarayonining tezligi ham kamayadi.



5.67-rasm. Ikki kolonnali diffuzion qurilma.

1,5 - shtuserlar; 2 – rotatsion uloqtirgich; 3 - baraban;
4 -qobiq; 5 - zanjir; 6 - romcha.



5.68-rasm. Lentali ekstraktor.

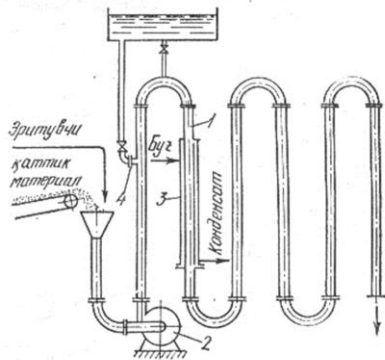
1 - qobiq; 2 - soplolar; 3 - yuklovchi shahta;
4 - uzatuvchi transport moslamasi; 5 – nasoslar.

Lentali ekstraktorlar ko'pincha tarkibida yog' bor materiallardan (pista, chigit va h.) yog'ni ekstrakstiyalash uchun qo'llaniladi (5.68-rasm).

Maydalangan qattiq faza (pista) lentada yupqa qatlam holida uzatilsa, ekstragent - benzin yoki geksan esa nasoslar yordamida lentadagi xom - ashyoga purkaladi. Qattiq material va ekstragentlarning o'zaro harakati kombinastiyalangan, 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, ekstrakstiyalash jarayoni juda kichik tezlikda kechadi. Demak, xom - ashyodan yog'ni to'la ajratib olish uchun ekstrakstiya jarayoni bir necha pog'onali qurilmada olib borish kerak.

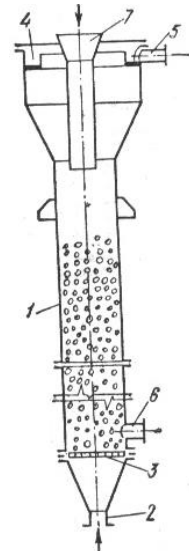
Mavhum qaynash qatlamli ekstraktorlar. Bu turdagi qurilmalarda qattiq material zarrachalar yuzasi butun jarayon mobaynida turbulent oqim bilan yuvilib turadi, ya'ni to'qnashuvda bo'ladi. Natijada ekstrakstiyalash va eritish jarayonlari intensivlashadi.

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.



5.69-rasm. Trubali ekstraktor.

1 - truba; 2 - nasos; 3 - bug' qobig'i; 4 - yuvuvchi suv kiradigan shtutser.



5.70-pasm. Mavhum qaynash qatlamli ekstraktor

1 - kolonna; 2 - eritma kirish shtuceri; 3 - taqsimlovchi teshikli panjara; 4 - halqasimon tarnov; 5 - koncentrlangan eritma chiqadigan shtuceri; 6 - qattiq qoldiqni to'kish shtuceri; 7 - qattiq materialni yuklash trubasi.

Ushbu qurilmalarda ekstrakstiyalash 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.

Mavhum qaynash qatlamli ekstraktor. Stilindrsimon kolonna 1 ga pastki shtuster 2 orqali eritma uzluksiz ravishda uzatiladi. Shtuster 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 konstantastiyali eritma olish mumkin. Konstantrlangan eritma halqasimon tarnovga tushadi va shtuster 5 orqali tashqariga chiqariladi. Hosil bo'layotgan qattiq qoldiq taqsimlovchi panjara 3 dan ozgina yuqorida joylashgan shtuster 6 orqali uzluksiz ravishda chiqarib turiladi.

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 ekstrakstiyalash jarayonining zonali usuli, noturg'un massa o'tkazuvchanlik masalasini echishga asoslangan. To'g'ri, geometrik shakldagi jismlarni ekstrakstiyalash jarayonining davomiyligini hisoblash uchun ushbu formulani qo'llash mumkin:

$$\tau_i = \sum_i^n \frac{\ln \prod_1^S \frac{\rho_{j,i}}{\bar{E}_i}}{k_i \sum_{j=1}^n \frac{\mu_{j,i}}{R_j^2}}$$

bu erda $\mu_{j,i}$ va $\beta_{j,i} - j$ yo'nalishidagi jism shakliga va namlik o'zgarishi i oraligidagi Bim kattaliklarga bog'liq koeffitsientlar.

Lekin, massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti bo'yicha tajriba ma'lumotlari etarli bo'lmagani uchun, ushbu usulning amaliyotda qo'llanilishi ma'lum qiyinchiliklarga duch kelmoqda.

Shuning uchun ekstraktorlarni hisoblash usuli konstanttrastiya o'zgarishida nazariy pog'onalar sonini aniqlashga asoslangan usul keng qo'lamda ishlatiladi. Hisoblash usuliga f.i.k. ning kiritilishi ko'p pog'onali qurilmalarning haqiqiy pog'onalar soni yoki uzunligini topish imkonini beradi.

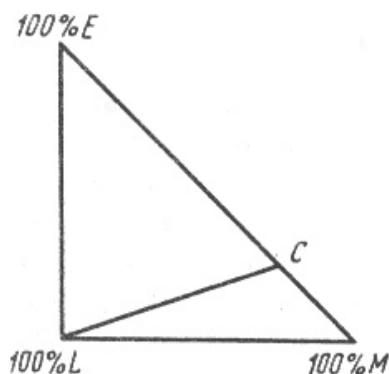
Nazariy pog'onalar sonini uchburchakli diagrammadan foydalanib grafik usulda aniqlashni ko'rib chiqamiz (5.71-rasm).

Hisoblashlar qulay bo'lishi uchun teng tomonli uchburchak o'rniga diagrammani to'g'ri burchakli

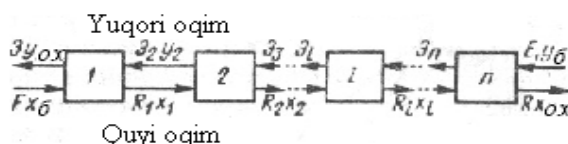
uchburchak ko`rinishida chizamiz.

Boshlang`ich qattiq material erimaydigan  $L$  va eriydigan  $M$  komponentdantarkib topgan bo`lsin va suyuqlik ekstragent E yordamida ajratib olinsin. Ekstrakstiyalash 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.



5.71-rasm. "Qattiq jism-suyuqlik" sistemasi uchun uchburchakli diagramma.



5.72-rasm. Ko'p sekciyalı qarama-qarshi yo'nalishli ekstrakciyalash.

Agar, ekstragent E dagi M modda to`yingan eritmasining tarkibi gipotenuzasidagi  $S$  nuqta orqali ifodalanisa, 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 sekciyalı qurilmada qarama - qarshi yo`nalishli ekstrakstiyalash jarayonini uchburchakli diagrammada ko`rib chiqamiz (5.72-rasm).

Ekstrakstiyalash qurilmasi n pog`onadan iborat bo`lsin.

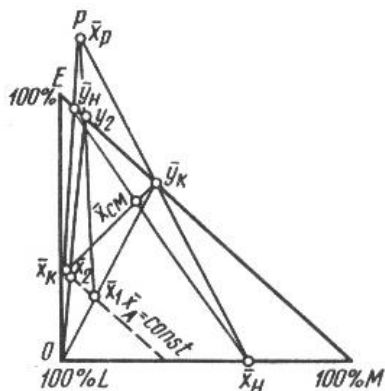
Konstentrastiyasi $\bar{x}_b$ (mass.ulush) bo`lgan  $F$  (kg/s) miqdordagi boshlang`ich aralashma ekstrakstion qurilmaning birinchi pog`onasiga uzatiladi. Qurilmaning boshqa uchidan  $n$  - pog`onaga $\bar{u}_b$ konstentrastiyali E (kg/s) miqdorda ekstragent yuboriladi. Ekstrakstiya jarayonida hosil bo`layotgan  $\bar{u}_{ox}$  konstentrastiyali ekstrakt  $E$  (kg/s) va  $\bar{x}_{ox}$  konstentrastiyaga ega bo`lgan rafinat R (kg/s) qurilmadan uzluksiz ravishda chiqarib turiladi.

Jarayonning moddiy balansini ushbu ko`rinishda yozish mumkin:

$$F + E = R + \mathcal{O} \quad (5.158)$$

$$Fx_o + Ey_o = Rx_{ox} + \mathcal{O}y_{ox} \quad (5.159)$$

Qattiq fazadagi ekstrakstiyalanayotgan modda konstentrastiyasi $\bar{x}_b$ absstissa o`qiga  $\bar{u}_b$  konstentrastiyani uchburchakli diagrammaning gipotenuzasiga qo`yamiz va ushbu nuqtalarni birlashtiramiz (5.73-rasm).



5.73-rasm. Uchburchakli diagramma.

Hosil bo`lgan chiziqni  $E/F$  nisbatga qarab bo`lsak, $\bar{x}_{ar}$ 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 ($x_1 = \text{const}$) parallel qilib o`tkazamiz va unga  $\bar{x}_{ox}$  nuqtani qo`yamiz.

(5.158) va (5.159) tenglamalarga binoan $\bar{x}_{ox}$, $\bar{x}_{ar}$ va $\bar{u}_{ox}$ nuqtalar bitta chiziqda yotishi kerak. Shu bilan birga, ekstrakt tarkibini (M va E moddalar aralashmasi) ifodalovchi $\bar{u}_{ox}$ nuqta gipotenuzada yotadi.

Shuning uchun, $\bar{u}_{ox}$ nuqtani $\bar{x}_{ox}$ va $\bar{x}_{ar}$ nuqtalaridan o`tkazilgan to`g`ri chiziqning gipotenuza bilan kesishgan joyi sifatida aniqlanadi.

Biror j - pog`ona uchun moddiy balans tenglamasi ushbu ko`rinishda ega:

$$F + \mathcal{O}_{j+1} = R_j + \mathcal{O} \quad (5.160)$$

bundan

$$F - \mathcal{O} = R_j - \mathcal{O}_{j+1} \quad (5.161)$$

Ekstrakstiyalanayotgan modda bo'yicha moddiy balans esa:

$$F\bar{x}_\theta - \mathcal{O}\bar{y}_{ox} = R_j\bar{x}_j - \mathcal{O}_{j+1}\bar{y}_{j+1} \quad (5.162)$$

Agar, boshlang'ich qattiq aralashma va ekstrakt sarflarining farqini $F - E = R$ deb belgilasak, unda:

$$F\bar{x}_\theta - \mathcal{O}\bar{y}_{ox} = P\bar{x}_m$$

yoki

$$P = F - \mathcal{O} = R_1 - \mathcal{O}_2 = K = R - E \quad (5.163)$$

$$P\bar{x}_m = F\bar{x}_\theta - \mathcal{O}\bar{y}_{ox} = F_1\bar{x}_1 - \mathcal{O}_2\bar{y}_2 = K = R\bar{x}_{ox} - E\bar{y}_{ox} \quad (5.164)$$

(5.163) va (5.164) tenglamalaridan ko'rinib turibdiki, R qutbning holati ikki to'g'ri chiziq, ya'ni $\bar{x}_b$ va $\bar{u}_{ox}$ nuqtalar, hamda $\bar{x}_{ox}$ va $\bar{u}_b$ nuqtalar orqali o'tgan chiziqlar kesishishida hosil bo'lgan nuqta bilan belgilanadi.

Agar, R qutbning holati topib olinsa, grafik usulda konstantrostiya o'zgarishining nazariy pog'onalar sonini aniqlash mumkin. Buning uchun $\bar{u}_{ox}$ nuqtani koordinatalar boshi (nuqta 0) bilan birlashtiramiz va $\bar{x}_A = \text{const}$ chiziqda kesishish nuqtasi $\bar{x}_1$ topamiz.

(5.163) va (5.164) tenglamalardan ma'lumki,

$$P = R_1 - \mathcal{O}_2$$

$$P\bar{x}_m = R_1\bar{x}_1 - \mathcal{O}_2\bar{y}_2$$

Shuning uchun, $\bar{u}_2$ 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 $\bar{u}_2$ nuqtani koordinatalar boshi bilan birlashtirish kerak. Ushbu $\bar{x}_2$ nuqta o'tkazilgan chiziq va $\bar{x}_A = \text{const}$ chiziqlarning kesilish joyida yotadi. Xuddi shunday qurishlar rafinat konstantrostiyasi $\bar{x}_{ox}$ qiymatiga teng bo'lmaguncha davom ettiriladi. Koordinatalar boshini $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_{ox}$ nuqtalar bilan birlashtiradigan chiziqlar ekstrakstiya jarayonining nazariy pog'onalar sonini xarakterlaydi.

ADSORBSIYA

5.30. Umumiy tushunchalar

Gaz aralashmalari gaz yoki bug'larni yoki eritmalaridan erigan moddalarni qattiq, g'ovaksimon jism yordamida yutish jarayoni **adsorbtsiya** deb nomlanadi. Yutilayotgan modda **adsorbktiv**, yutuvchi modda esa – **adsorbent** deb ataladi.

Adsorbtsiya jarayonining o'ziga xosligi shundaki - u selektiv va qaytar jarayondir. Jarayonning qaytar bo'lishligi tufayli adsorbent yordamida bug' – gaz aralashmalaridan bir yoki bir necha komponentlarni yutish, so'ng esa maxsus sharoitda ularni adsorbentdan ajratib olish mumkin.

Adsorbtsiyaga teskari jarayon **desorbtsiya** deb nomlanadi. Adsorbtsiya jarayoni xalq xo'jaligining turli sohalarida keng tarqalgan bo'lib, gazlarni tozalash va qisman quritish, eritmalarini tozalash va tindirish, bug' - gaz aralashmalarini ajratish uchun ishlatiladi.

Kimyo sanoatda adsorbtsiya quyidagi jarayonlarni: gazlar va eritmalarini tozalash va quritishda, eritmalaridan qimmatbaho moddalarni ajratib olishda, neft va neft mahsulotlarini tozalashda, neftni qayta ishlashda hosil bo'ladigan gaz aralashmalaridan aromatik uglevodorodlarni (etilen, vodorod, benzin fraktsiyalaridan aromatik uglevodorodlarni) ajratib olishda ishlatiladi.

Oziq - ovqat sanoatida esa qand qiyomi va diffuzion sharbatlarni tozalashda, pivo va mevalar sharbatlarini tindirish, vino, konyak, aroq va spirlarni organik va boshqa birikmalardan tozalash, kraxmal-

patoka sanoatida qiyomlarni tozalashda qo'llaniladi.

Adsorbtsiya jarayon 2 xil bo'ladi, ya'ni fizik va kimyoviy adsorbtsiya. Agar, adsorbent va adsorbktiv molekulalarining o'zaro tortishishi Van-der-Vaals kuchlari ta'siri ostida sodir bo'lsa, bunday jarayon **fizik adsorbtsiya** deb nomlanadi.

Fizik adsorbtsiya jarayonida adsorbent va adsorbktivlar o'rtasida kimyoviy o'zaro ta'sir bo'lmaydi.

Adsorbtsiya jarayonida bug'larning yutilishi paytida ular kondensastiyalanadi, ya'ni adsorbent kovaklari suyuqlik bilan to'lib qoladi. Boshqacha qilib aytganda, adsorbentda kapillyar kondensastiya ro'y beradi.

Kimyoviy adsorbtsiya yoki **xemosorbtsiya** adsorbent va yutilgan modda molekulalari orasida kimyoviy bog'lar hosil bo'lishi bilan xarakterlanadi. Bu albatta kimyoviy reakstiyaning natijasidir. Undan tashqari, xemosorbtsiya jarayonida kimyoviy reaktsiya tufayli katta miqdorda issiqlik ajralib chiqadi. Odatda adsorbtsiya jarayonida ajralib chiqadigan issiqlik **adsorbtsiya issiqligi** (J/kg) deb nomlanadi va u tajribaviy usulda yoki quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$r = \frac{19,16 \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \quad (5.165)$$

bu erda p_1 va p_2 - tegishli absolyut temperaturalar T_1 va T_2 larda adsorbent ustidagi yutilayotgan moddaning muvozanat bosimlari.

Shunday qilib, xemosorbtsiya jarayoni yuqori temperaturada kichik tezliklarda sodir bo'ladi.

Adsorbtsiya jarayonining selektivligi adsorbent va yutilayotgan komponentning konstentrastiyasiga 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, xalk 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, silikagellar, alyumogellar, seolitlar, stellyuloza, 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 ichidagi kapillyar kanallari o'lchamiga qarab 3 guruhga bo'linadi, ya'ni makrokovakli ($>2 \cdot 10^{-4}$ mm), oraliq kovakli ($6 \cdot 10^{-6} \dots 2 \cdot 10^{-4}$ mm) va mikrokovakli ($2 \cdot 10^{-6} \dots 6 \cdot 10^{-6}$ mm) bo'ladi. Shuni ta'kidlash kerakki, adsorbtsiya jarayonining xarakteri ko'p jihatdan kovaklar o'lchamiga bog'liq.

Adsorbent yuzasida yutilayotgan komponent molekulalarining miqdoriga qarab bir molekuli qatlam (monomolekulali adsorbtsiya) va ko'p molekuli qatlam (polimolekulali adsorbtsiya) 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 adsorbktiv o'tkazish yo'li bilan aniqlanadi.

Adsorbentlarning komponent yutish qobiliyati temperatura, bosim va yutilayotgan modda konstentrastiyasiga 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°S dan ortiq temperaturada havosiz termik ishlov beriladi. Bunda, material kovaklaridagi smolalar ekstragent yordamida ekstraktsiya qilib olinadi.

Faollangan ko'mirlarning solishtirma yuzasi - 600...1750 m²/g, to'kma zichligi - 250...450 kg/m³, mikrokovaklar hajmi - 0,23...0,7 sm³/g. Undan tashqari, ular tarkibida juda kam miqdorda (<8%) kul bo'ladi. Yana shuni ta'kidlash kerakki, havoda 300°S temperaturada faollangan ko'mir yonadi.

Faollangan ko'mirning mayda kukunlari 200°S ga yaqin temperaturada yonadi va konstentrastiyasi

17...24 g/sm³ bo'lganda havo tarkibidagi kislorod bilan portlovchi birikma hosil qiladi.

Adsorbtsiya jarayonida tozalashning samaradorligi adsorbentning g'ovaksimon tuzilishiga bog'liq bo'lib, bunda mikrokovak asosiy rol o'ynaydi. Faollangan ko'mirlar adsorbtsion bo'shlig'ining chegaraviy hajmi 0,3 sm³/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-aropq ishlab chiqarish sanoatida oq qayin BAU, buk kabi yog'ochlardan olingan faollangan ko'mir, spirt-rektifikatlarni aldegid, keton, murakkab efir, karbon kislotalar va yuqori molekulyar 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 - dekolalar 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 m²/g, to'kma zichligi esa - 100...800 kg/m³. Silikagel granulari 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 erimlarda erimaydi. Sun'iy seolit kovaklari o'lchami sorbstiyanayotgan molekula o'lchamiga yaqin bo'lgani uchun, kovaklarga kiriyotgan molekulyarlarni adsorbtsiya qila oladi. Bu turdagi seolitlar molekulyar elaklar deb nomlanadi. Seolitlarning ayrim turlari sharbatlarni konstantlash 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, askanit, murakkab kimyoviy tarkibli yuqori dispers sistemalar SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, MgO va boshqa metall oksidlari kiradi. Tabiiy tuproqlar faolligini oshirish uchun ular sulfat va xlorid kislotalar bilan qayta ishlanadi. Natijada kalstiy, magniy, temir, alyuminiy va boshqa metal oksidlari chiqarib yuborilishi tufayli qo'shimcha kovaklar hosil bo'ladi.

Bu tuproqlar solishtirma yuzasi 20...100 m²/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 na faqat tozalaydi va mo'tadillaydi, balki uni etilish jarayonini tezlashtiradi va muddatini qisqartiradi.

5.32. Adsorbtsiya jarayoni muvozanati

Adsorbtsion kuchlar tabiatidan qat'iy 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 konstantriastiyalari o'rtasida quyidagi bog'liqlik bor:

$$\bar{x}_m = f_1(\bar{y}) \quad \text{yoki} \quad \bar{x}_m = f_2(p) \quad (5.166)$$

bu erda $\bar{x}_m$ - adsorbentda yutilgan modda (adsorbktiv) konstantriastiyasi, ya'ni gaz yoki suyuqlik fazalaridagi adsorbktivning muvozanat konstantriastiyasi, kg adsorbktivning 1 kg adsorbentga nisbati; $\bar{y}$ - bug' yoki suyuqlik fazadagi adsorbktiv konstantriastiyasi, kg adsorbktivning 1 kg inert qismiga nisbati; p - bug'-gaz aralashmadagi adsorbktivning muvozanat bosimi, N/m².

(5.166) tenglama bilan ifodalanuvchi bog'liqliklar **adsorbtsiya izotermalari** deb nomlanadi.

Kimyoviy termodinamika asosida adsorbtsiya izotermalarining aniq ifodalari topiladi:

Lengmyur izotermalari

$$x_m = \frac{abp}{1 + ap} \quad (5.167)$$

yoki Freydlis izotermalari

$$x_m = k \cdot p^{\frac{1}{n}} \quad (5.167a)$$

bu erda 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, adsorbtsiya jarayoni tezlashadi.

Adsorbtsiya izotermasining turi ko'pgina omillarga: adsorbentning solishtirma yuzasi, kovaklar hajmi, adsorbent tuzilishi, yutilayotgan modda xossalari va jarayon temperaturasiga bog'liq.

5.74-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 polimolekulyar adsorbtsiya va kapillyar kondensatsiya belgilaydi. 3 va 5 egri chiziqlar botiq qismi "adsorbent-adsorbktiv" sistemada adsorbktiv bilan adsorbent molekularining o'zaro ta'sir kuchlari adsorbktiv molekularining o'zaro ta'sir kuchlaridan kam bo'lgan holatini xarakterlaydi. Bu turdagi izotermalar juda kam uchraydi.

Adsorbtsiya jarayonida bug' yoki suyuqlik fazadan bir necha modda adsorbtsiyalanayotganda, hamma moddalar yutilishi aniqlangan. Lekin, har bir moddaning muvozanat konsentratsiyasi har bir moddani alohida adsorbtsiyalashdagi konsentratsiyasiga qaraganda kam bo'ladi.

Adsorbtsiya 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 adsorbtsiya jarayoni mikrokovaklarni adsorbktiv bilan to'ldirilishi deb qaraladi. Juda katta temperaturalar oralig'ida gaz va bug'lar adsorbtsiyasi uchun keltirib chiqarilgan tenglamalar adsorbktiv muvozanat konsentratsiyasining adsorbent kovaklari tuzilishiga bog'liqligini xarakterlaydi. Bunday tenglamalar murakkabdir.

Prof. Dubinin M.M. tomonidan olingan tenglamalardan biri quyidagi ko'rinishga ega:

$$x_m = \frac{V}{V_c} \exp \left[-B \frac{T^2}{\beta_a^2} \lg \left(\frac{P}{p} \right)^2 \right] \quad (5.168)$$

bu erda 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 affinitet koeffitsienti; R - adsorbktiv to'yinish bug'ining bosimi; r - adsorbtsiya temperaturasidagi adsorbktiv bug'ining parzial bosimi.

Adsorbtsiya jarayonida boshlang'ich aralashmada yutilayotgan modda bug'ining bosimi kamayadi va issiqlik ajralib chiqadi. Shuning uchun Le-Shatele prinsipiga binoan, temperatura pasayishi va bosim ortishi bilan adsorbtsiyalanayotgan modda miqdori ko'payib boradi. Shunday qilib, bosim pasayishi va temperatura ortishi teskari - desorbtsiya jarayonini tezlashtiradi.

Adsorbtsiya 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. Adsorbtsiya statikasi va kinetikasi

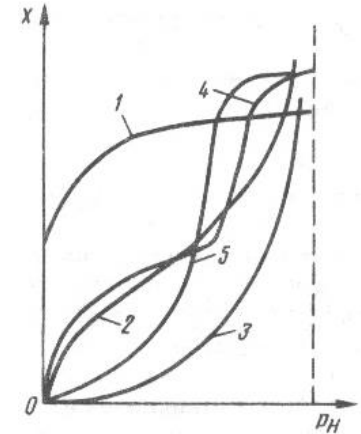
Adsorbtsiya jarayoni boshqa qattiq fazali sistemalarda massa almashinish jarayonidan (mexanizmi) farq qilmaydi.

Umumiy holatda adsorbentda yutilayotgan moddaning diffuziya jarayoni (5.24) kriterial tenglamasi yordamida ifodalanadi:

$$\frac{x - x_m}{x_\infty - x_m} = f \left(Bi_\delta, Fo_\delta, \frac{z}{\delta} \right)$$

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.



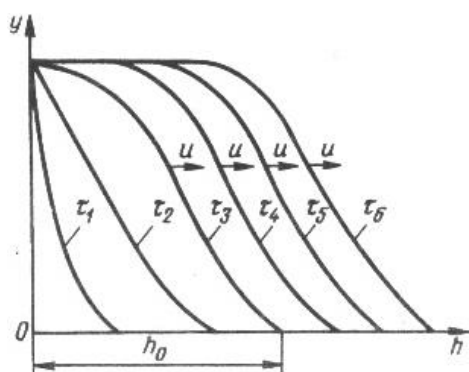
5.74 rasm. Izotermalarning asosiy turlari

Ma'lum vaqt o'tgandan so'ng, adsorbent qatlaminig boshlang'ich qismi tezda to'yinadi va adsorbtivni adsorbtsiya qilishi to'xtaydi. Natijada, yutilayotgan modda konstentrastiyasi o'zgarmas qatlamning boshlang'ich qismidan o'tib ketadi va adsorbtsiya zonasi yuqoriga qarab ko'tarilib boradi. Adsorbent qatlami balandligi bo'yicha adsorbtivning tarqalishi ravon va adsorbtsiya ko'lami hosil bo'ladi (5.75-rasm). Ushbu rasmda $\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots \tau_n$ vaqtlarda adsorbent qatlami balandligi h bo'yicha adsorbtiv nisbiy konstentrastiyasining taqsimlanish egri chiziqlari keltirilgan. Shuni ta'kidlash kerakki $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3 < \dots < \tau_n$ bu erda τ_n -jarayon boshlanishidan o'tgan vaqt.

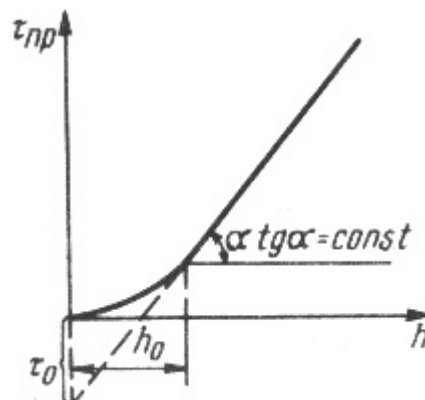
Jarayon davomida biror vaqt o'tishi bilan adsorbtsiya ko'lami o'zgarmaydi. Adsorbtsiya jarayonida adsorbtiv qatlaminig to'yinish paytigacha ishlash vaqti, adsorbtsiya ko'laminig tashkil etish davri deb nomlanadi. Adsorbentning butun qatlami bo'yicha adsorbtsiya zonasi vaqt o'tishi bilan qatlamda adsorbtiv konstentrastiyasi ravon o'zgaradi. Natijada, adsorbtsiya ko'lami qandaydir o'zgarmas tezlik bilan siljiydi. Adsorbtivning "o'tib ketishiga" to'g'ri keladigan vaqtdan boshlab adsorbent qatlaminig adsorbtsion yoki himoyalovchi ta'siri tamom bo'ladi.

Adsorbent qatlamidan adsorbtivning "o'tib ketish" vaqtiga mos keladigan o'rtacha konstentrastiyasi qatlamning dinamik faolligi deb ataladi.

Adsorbtsiya 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.



5.75-rasm. Adsorbtsiya ko'laminig o'zgarish shemasi.



5.76-rasm. Himoyalovchi ta'sir davomiyligining adsorbent qatlami balandligiga bog'liqligi.

Yutilayotgan modda konstentrastiyasi boshlang'ichdan "o'tib ketish" konstentrastiyasigacha o'zgarayotgan adsorbent qatlaminig h_0 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 adsorbtsiya ko'laminig siljishini ifodalash uchun tegishli formulasi keltirib chiqarilgan. Adsorbtsiya yoki himoyalovchi ta'sir vaqtini ushbu tenglamadan topish mumkin:

$$\tau = kh - \tau_0 = \frac{h}{u} - \tau_0 \quad (5.169)$$

bu erda $k=1/u$ - qatlamni himoyalovchi ta'sir koeffitsienti; τ_0 - qatlamni himoyalovchi ta'sir vaqtining yo'qotilishi.

(5.169) tenglamadagi kattaliklar tajribaviy yo'l bilan aniqlanadi va ularning grafik tasviri 5.76-rasmda ko'rsatilgan. Egri chiziq to'g'ri qisminig qiyalik burchak tangensi ($tg \alpha = k$) qatlamning himoyalovchi ta'siri koeffitsientiga teng. Ordinata o'qi davomi bilan egri chiziqning to'g'ri qisminig kesishgan joyidagi kesma esa, himoyalovchi ta'sir vaqti yo'qotilishi τ_0 ga tegishli.

Adsorbtsiya ko'laminig siljish tezligini hisoblash uchun quyidagi tenglama tavsiya etiladi:

$$u = w_0 \frac{y_\delta}{\varepsilon \cdot y_\delta + x_m} \quad (5.170)$$

bu erda $w_0 = w'/\varepsilon$ - oqimning soxta tezligi (w' adsorbent zarrachalari orasidagi kanallarda oqimning tezligi; ε - adsorbent qatlaminig g'ovakliligi); x_m - oqimdagi adsorbtivning hajmiy konstentrastiyasi u_n bilan muvozanatdagi adsorbent qatlamidagi adsorbtiv konstentrastiyasi.

Adsorbent qatlami balandligi h_0 massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan aniqlanadi:

$$h_0 = \frac{u \cdot m_y}{K_{yv}} \quad (5.171)$$

bu erda $m_y=0,9 u_b/\Delta u_{uv}$ - gaz yoki suyuqlik faza o'tkazish birligining umumiy soni; K_{uv} - massa o'tkazish koeffitsientining hajmiy koeffitsienti.

Massa o'tkazishning hajmiy koeffitsienti ushbu formuladan aniqlanadi:

$$K_{yv} = \frac{1}{1/\beta_{yv} + m/\beta_{xv}} \quad (5.172)$$

bu erda β_{uv} va β_{xv} - suyuq va qattiq fazalarda hajmiy massa berish koeffitsientlari; m - muvozanat chizig'i qiyalik burchagining o'rtacha tangensi.

Adsorbtsiya jarayonining tezligi adsorbtsiya izotermalari shakli, adsorbent va qatlamli tabiati va geometrik xarakteristikalarini, adsorbtsiya konstantasini, suyuqlik fazasi tezligi, hamda massa berishning tashqi tezligi (gaz yoki suyuqlik fazasidagi massa berish koeffitsienti) yoki ichki massa o'tkazish qarshiligining tezligi bilan belgilanadi.

Adsorbtsiya 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, adsorbtsiya jarayonining tezligiga bu ikkala fazaviy diffuziya tezliklari har birini ta'sirini miqdoriy jihatdan alohida aniqlash qiyin.

Donador adsorbent qatlamining massa berish koeffitsientini aniqlash uchun quyidagi formulalardan foydalanish mumkin:

laminar rejimda ($Re < 30$):

$$Nu_D = 0,883 Re^{0,47} \cdot Pr_D^{0,33} \quad (5.173)$$

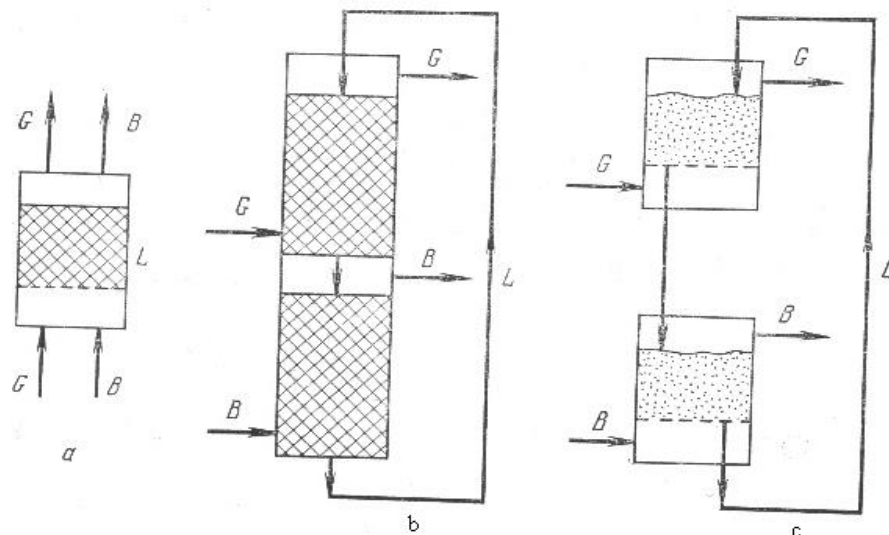
turbulent rejimda esa ($Re = 30 \dots 150$):

$$Nu_D = 0,53 \cdot Re^{0,54} \cdot Pr_D^{0,33} \quad (5.174)$$

(5.173) va (5.174) tenglamalardagi Nu_D va Re kriteriylarida aniqlovchi geometrik o'lcham sifatida ekvivalent diametr d_e hisoblanadi. $Nu_D = \beta_{uv} d_e / D$ - Nusselt diffuzion kriteriysi; $Re = w_0 d_e / \nu$ - Reynolds kriteriysi; $Pr_D = \nu / D$ - Prandtl diffuzion kriteriysi; D - gaz yoki suyuqlik fazadagi diffuziya koeffitsienti; w_0 - oqimning sohta tezligi; ν - oqimning kinematik qovushoqligi.

5.34. Adsorbtsiya jarayonini tashkil etish usullari

Adsorbtsiya jarayonini tashkil etish sxemalari 5.77-rasmda keltirilgan. Donador adsorbentlar uchun qo'zg'almas (a) va harakatchan (b, v) qatlamli sxemalar ishlatiladi.



5.77-rasm. Adsorbtsiya jarayonining principal shemalari.

- a - qo'zg'almas donador adsorbentli;
- b - harakatchan donador adsorbentli;
- c - sirkulyatsiyali, mavhum qaynash qatlamli.

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 V 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 stirkulyastiya qiladi (5.77b-rasm); adsorbentning to'yinishi qurilmaning yuqori - adsorbtsion - zonasida, qayta tiklanish esa - pastki desorbtsion zonasida yuz beradi.

Agar, adsorbent kukun, changsimon ko'rinishda bo'lsa, stirkulyastiyali, mavhum qaynash qatlamli sxema qo'llaniladi (5.77.c-rasm).

5.35. Desorbsiya

Ma'lumki, adsorbtsiya 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 adsorbtsiv va suv bug'i aralashmasi kondensatorga yo'llaniladi. Unda, mahsulot suvdan cho'ktirish usulida ajratib olinadi.

Sanoatda desorbsiyaning bir necha usuli qo'llaniladi.

a) adsorbentga yutilgan komponentlar yutiluvchi moddalarga nisbatan yuqori adsorbtsion 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 adsorbtsiya jarayonida hosil bo'lgan smola va boshqa mahsulotlarni tozalash uchun ushbu komponentlar kuydiriladi.

Desorbsiyaning u yoki bu usulini ko'llash texnik-iqtisodiy maqsaddan kelib chiqqan holda tanlanadi. Ikkala usul ham amaliyotda keng ishlatiladi va ko'pincha birgalikda qo'llaniladi.

Adsorbtsiya 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 kondensastiyalanadi.

Adsorbent qatlamidagi desorbsiyalangan moddalar dinamik bug` yordamida puflab chiqarilayui. Dinamik bug` adsorbentda kondensastiyalanmaydi va qurilmadan desorbsiyalangan moddalar bilan birga uchib chiqadi.

Tahminiy 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 adsorbstiya kabi qo`zg`almas, harakatchan va mavhum qaynash qatlamlarida olib boriladi.

5.36. Adsorberlar konstrukstiyalari

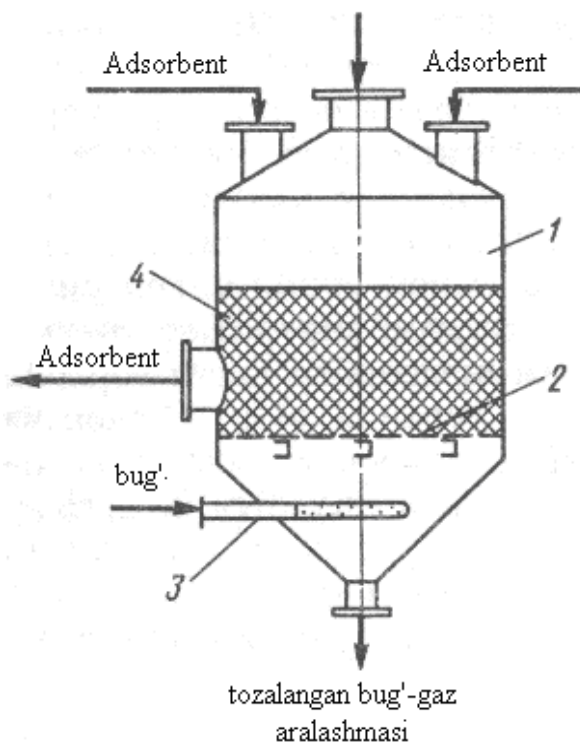
Jarayonni tashkil etish bo`yicha adsorberlar 2 guruhga bo`linadi: davriy va uzluksiz.

Davriy adsorberlar qo`zg`almas va mavhum qaynash qatlamli bo`ladi.

Vertikal stilindrik adsorber - davriy ishlaydigan adsorberlarning eng ko`p tarqalgan konstrukstiyasidir (5.78-rasm).

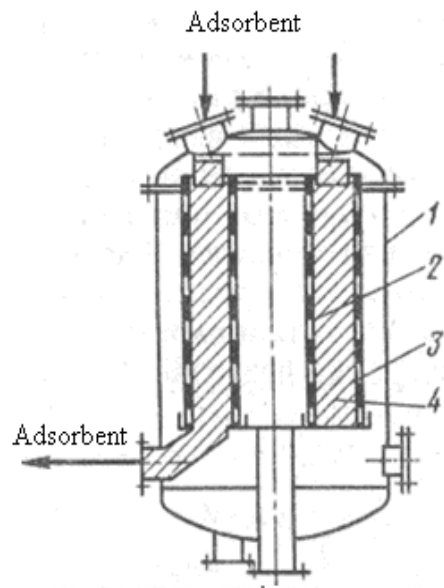
Kolosnikli panjara 2 ga qurilma tepa qismidagi lyuklar orqali adsorbent granulari yuklanadi. Qurilmaning pastki qismidagi lyuklar orqali esa, ishlatib bo`lingan adsorbent to`kiladi. Bu turdagi adsorberlar bug`-gaz aralashma va suyuqlik eritmalarini tozalash uchun ishlatiladi. Boshlang`ich aralashma va o`tkir bug`ni uzatish uchun adsorberda tegishli shtusterlar 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.

bug'-gaz aralashmasi



5.78-rasm. Qo'zg`almas qatlamli adsorber.

1-qobiq; 2-kolosnikli panjara; 3- halqasimon truba; 4-adsorbent



5.79-rasm. Halqasimon adsorbent qatlamli adsorber.

1-qobiq; 2,3-ichki va tashqi cilindrsimon panjara; 4-adsorbent

Bu turdagi adsorberlarda adsorbstiya jarayoni 4 bosqichda o`tadi: adsorbstiya, 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 birdaniga ikkita masala echiladi: adsorbentni qayta tiklash va moddani ajratib olish.

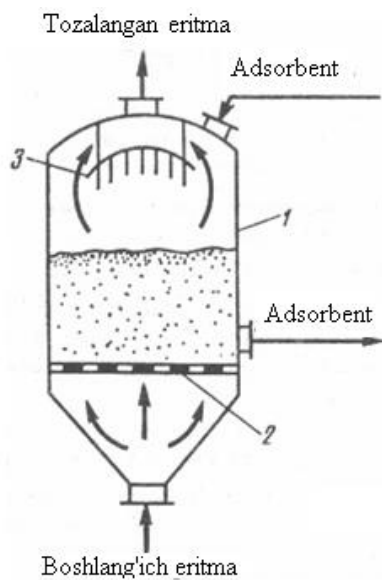
Desorbsiyalashning asosiy usuli bu to`yingan suv bug`i yordamida adsorbentdan yutilgan komponentni siqib chiqarish. Desorbsiya jarayoni tezligini oshirish uchun jarayon yuqori temperaturalarda o`tkaziladi.

Vertikal, qo`zg`almas halkasimon adsorbent qatlamli adsorber - bug`-gaz aralashmasidan komponentlarni yutish uchun mo`ljallangan (5.79-rasm). Adsorber vertikal qobiq 1 dan iborat bo`lib, uning ichida ichki 2 va tashqi 3 panjaralar orasiga adsorbent 4 joylashgan bo`ladi. Adsorbstiya 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 patrubbkadan chiqib ketadi. Desorbsiyalash bosqichida suv bug`i adsorberning markaziy patrubbkasi orqali uzatiladi. Desorbsiyalangan komponent va suv bug`larining aralashmasi qurilmaning pastki qismidagi shtuster orqali chiqariladi.

Adsorbentni quritish uchun issiq, sovutish uchun esa - sovuq havo yuboriladi. Adsorbent sovutilgandan so'ng stikl yana qaytadan takrorlanadi. Adsorbentni yuklash qurilmaning tepasidagi lyuk, to'kish esa-pastki techka orqali amalga oshiriladi.

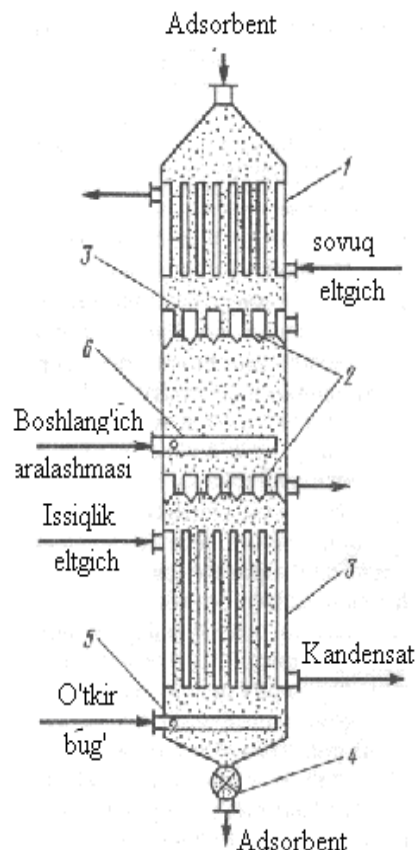
Mavhum qaynash qatlamli adsorber – mayda, donador adsorbent bilan to'ldirilgan bo'ladi (5.80-rasm).

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. Adsorbent jarayonini mavhum qaynash qatlamida o'tkazish massa almashinish jarayonini intensivlashga va jarayon davomiyligini qisqarishga olib keladi.



5.80-rasm. Mavhum qaynash qatlamli adsorber.

1-qobiq; 2-taqsimlovchi teshikli panjara; 3-separator.



5.81-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.

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 erda suspenziya komponentlarga ajratiladi. Ishlatib bo'lingan adsorbent qayta tiklash uchun desorberga yo'naltiriladi. Adsorbent qurilmalar davriy ishlaydigan bir nechta adsorberdan iborat bo'ladi. Bir nechta adsorber adsorbent bosqichida ishlasa, qolganlari esa - adsorbentni qayta tiklash bosqichida ishlatiladi.

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.

5.81-rasmda bug'-gaz aralashmasini tozalash va taqsimlovchi tarelkalardan tarkib topgan. Bu turdagi adsorberda adsorbent uzluksiz stirkulyastiya qilib turadi va gazdagi yutiluvchi komponent adsorbentga o'tadi.

Adsorbentning birinchi sekstiyasi bo'lmish sovutkichda qayta tiklangan adsorbent sovutiladi. Ushbu sekstiya qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi ko'rinishida yasalgan. Sovuqlik eltich sovutkichning trubalararo bo'shlig'iga uzatilsa, adsorbent esa - trubalar ichida harakatlanadi.

Ikkinchi sekstiya adsorber vazifasini bajaradi. Bu erda adsorbent bug'-gaz aralashmasi bilan to'qnashuvda bo'ladi. Birinchi sekstiyadan ikkinchisiga adsorbent patrubka va taqsimlovchi tarelkalar orqali o'tadi. Qayd etilgan moslamalar adsorbent qurilma ko'ndalang kesimi bo'yicha bir xilda taqsimlash va ikkala sekstiya orasida tamba va ajratib turuvchi vosita sifatida xizmat qiladi. Undan keyin, ishlatib bo'lingan adsorbent

desorbsiya sekstiyasiga o'tadi va u erda desorbsiyalovchi eltqich (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.

Bir pog'onali, mavhum qaynash qatlamli adsorber konstrukstiyasi 5.82-rasmda keltirilgan. Bunday qurilmalarda adsorbent mavhum qaynash holatida bo'ladi va u uzluksiz ravishda tegishli panjara ustiga uzatilib turiladi.

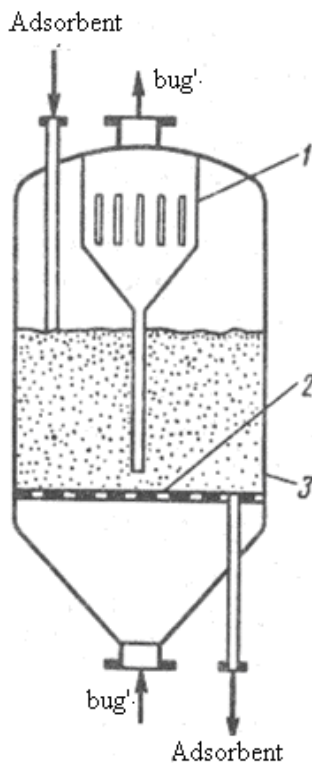
Adsorber vertikal stilindr qobiqdan va uni ichiga o'rnatilgan separator va gaz taqsimlovchi panjaradan iborat. Separator chang ushlar vazifasini bajaradi. Adsorbent qurilmaning tepasidagi truba orqali yuklanadi va stilindrik qobiqning past qismida o'rnatilgan shtusterdan chiqariladi. Boshlang'ich bug'-gaz aralashmasi qurilmaning konussimon tubidagi shtusterdan 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 separatoridan o'tib, tepa qismidagi shtusterdan 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 konstantrostiyaga mos keladigan muvozanat holidagi konstantrostiyadan kam bo'lgan adsorbentning konstantrostiyasiga erishish ancha murakkab.

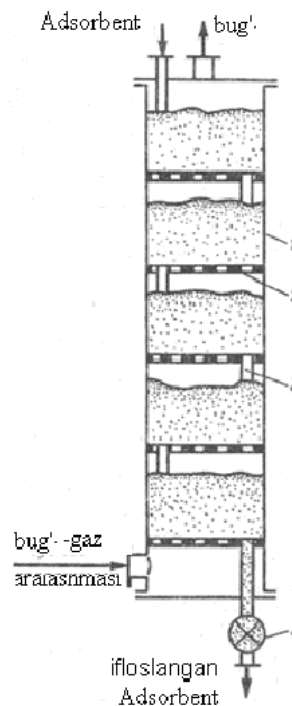
Bir pog'onali adsorber kamchiliklari ko'p pog'onali, qarma-qarshi yo'nalishli qurilmalarda bartaraf qilingan.

Ko'p pog'onali, mavhum qaynash qatlamli adsorber 5.83-rasmda tasvirlangan. Bu qurilma kolonna tipida bo'lib, ichida quyilish patrulkali gaz taqsimlovchi tegishli panjaralar joylashtirilgan. Quyilish patrulkalari bir vaqtning o'zida tamba vazifasini o'taydi, ya'ni gaz oqimini o'zidan o'tkazmaydi. Adsorbent qurilmaning tepasidagi shtusterdan eng yuqori tarelkaga uzatiladi va undan so'ng pastda o'rnatilgan tarelkalarga quyilish patrulkasi orqali birin-ketin o'tadi. Eng pastdagi tarelkadan shlyuzli tamba orqali tashqariga chiqarib yuboriladi.



5.82-rasm. Uzluksiz ishlaydigan, bir pog'onali mavhum qaynash qatlamli adsorber.

1 - qobiq; 2 - gaz taqsimlagich;
3 - chang yig'gich.



5.83-rasm. Ko'p pog'onali, mavhum qaynash qatlamli adsorber.

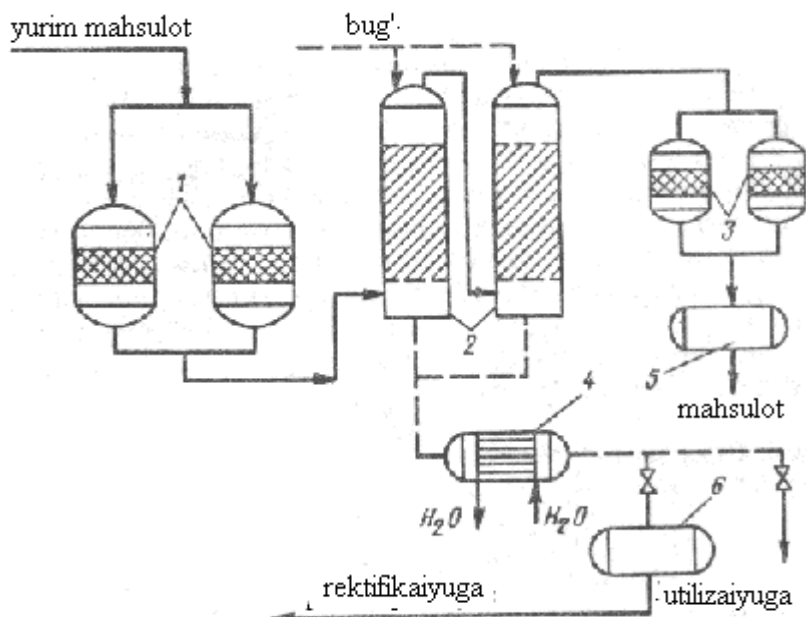
1 - qobiq; 2 - gaz taqsimlovchi teshikli panjara; 3 - quyilish patrulkasi; 4 - shlyuzli tamba.

Boshlang'ich bug'-gaz aralashma esa adsorberning pastki qismidagi shtusterdan 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 chikarish sxemasida ishlaydi. Bu hol adsorbtsiya jarayonini fazalar qarama-qarshi yo'nalishida olib borish imkonini yaratadi.

Faollangan ko'mir qo'zg'almas qatlamda suv-spirt aralashmasini tozalash sxemasi 5.84-rasmda keltirilgan. Avval suv-spirt aralashmasi qumli yoki keramik filtrda tozalanadi, so'ng esa adsorberlarda tindiriladi. Bitta stilindrik 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.



5.84-rasm. Qo'zg'almas faollangan ko'mir qatlamida suv-spirt aralashmasini tozalash qurilmasining shemasi.

1,3-filtrlar; 2-adsorberlar; 4,6-idishlar;

5-kondensator-sovutkich.

Yangi yoki qayta tiklangan adsorbentli adsorberga suv-spirt aralashmasi aroqning naviga qarab 30...60 dal/g miqdorga uzatiladi. Ekspluatatsiyadagi adsorber adsorbentni qayta tiklash rejimiga bir yilda 3...4 marta o'tkaziladi. Ishlatib bo'lingan faollangan ko'mir adsorberda 115°S 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 kurilmaning 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°S temperaturada olib boriladi. Kuydirish jarayonida faollangan ko'mirning yo'qotilishi 20% ni tashkil etadi.

Qand qiyomini adsorbtsion tozalovchi, ikki pog'onali qurilma 5.85-rasmda keltirilgan. Qand qiyomlarini mayda, donador suyak ko'mirlari yordamida tozalanadi, rangsizlash - qandni tozalashning oxirgi bosqichidir.

Suv va qand isitiluvchi avtoklavda aralashtirilishi natijasida qand eriydi va uning qiyomi hosil bo'ladi. Eritmaning dastlabki rangsizlantirishi adsorber 2 da 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. Adsorbtsiya jarayoni 30 minutga yaqin davom etadi. Suspenziya filtrpress 3 da fazalarga ajratiladi. Filtrlangan qand qiyomi adsorbtsion tozalashga uzatiladi. Adsorber 4 ga 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. Stilindrik 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°S 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.

Rafinat va mahsulot qiyomlarini tozalash adsorbstion qurilmasi 5.85-rasmda ko'rsatilgan. Ushbu qurilmada eritmalar bo'yovchi modda va erigan tuzlardan tozalanadi.

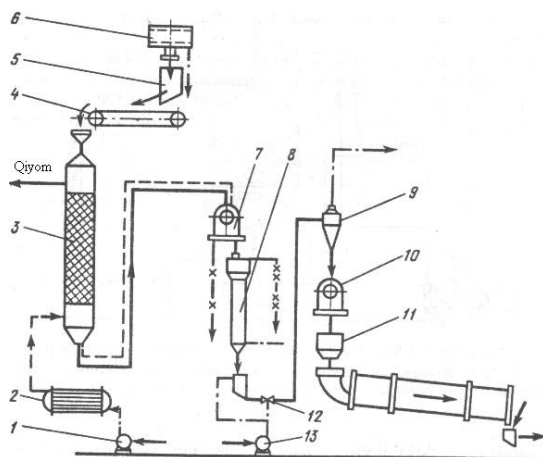
Filtrlangan qiyom nasos 1 yordamida issiqlik almashinish qurilmasida qizdirilib, adsorberning pastki qismiga yuboriladi. Ko'mir esa tebranma elakdan o'tib adsorberga tushadi va u erda tozalangan qiyom bilan ho'llanadi. Adsorbent harakatiga qarma-qarshi yunalishda uzluksiz qand qiyomi yuboriladi va qurilmaning 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 - kurilmaga uzatiladi va u erda qandli moddalardan to'la ajratiladi. Ishlatib bo'lingan adsorbent ikkinchi kolonnada yutilgan komponentlardan yuvib tozalanadi.

Gidrostiklon 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.

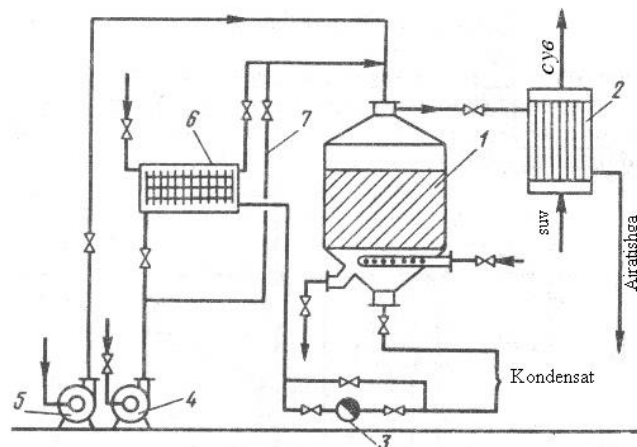
Bug` - havoli aralashmani organik moddalardan tozalash adsorbstion qurilmasi 5.86-rasmda tasvirlangan.

Ushbu sxemaning asosiy qurilmasi adsorberlar bo'lib, ular galma-gal ishlaydi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, bitta qurilmada adsorbstiya, ikkinchisida esa - desorbsiya jarayoni kechadi. Adsorberga kirishda avval bug`-havoli aralashma changlardan tozalash uchun filtrlanadi. Portlash havfini bartaraf qilish maqsadida, filtrdan keyin yong'in to'sqich va saqllovchi membrana o'rnatiladi. Ushbu moslamada bosim miqdori ruxsat etilgandan oshib ketmasligini ta'minlab beradi.



5.85-rasm. Qiyomlarni 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-gidrociklon; 12-injektor.



5.86-rasm. Bug`-havo aralashmasini tozalash uchun adsorbstion qurilma shemasi.

1-adsorber; 2-sovutkich; 3-kondensat chiqargich; 4,5-ventilyatorlar; 6-issiqlik almashinish qurilmasi; 7- aylanma liniyalari.

Adsorberga bug`-havo aralashmasi ventilyator yordamida uzatiladi va adsorbent qatlamining tepa qismidan kirib, pastidan chiqib ketadi.

Desorbsiya jarayonida o'tkir bug` adsorberning pastki qismiga yuboriladi. Adsorberdan chiqayotgan bug`lar kondensastiyalanadi va kondensat ajratish uchun separatorga yoki rektifikastiyaga uzatiladi. Adsorbentni quritish uchun issiqlik almashinish qurilmasidagi isitilgan havo adsorberga yuboriladi. Adsorbentni sovitish uchun ventilyator 1 yordamida aylanma liniya 7 orqali sovuq havo haydaladi.

Agar, adsorbstion 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 konstantriyasi u_b bo'lgan aralashmaning konstantriyasini u_{ox} gacha tushirish uchun zarur adsorbent miqdori moddiy balansdan topiladi:

$$G \cdot (y_{\delta} - y_{ox}) = V_a (x_{ox} - x_{\delta}) \quad (5.175)$$

bu erda G va V_a - gaz (yoki suyuqlik) aralashmasi va adsorbentning massalari, kg; x_b , x_{ox} - adsorbentiv va adsorbent konsentrastiyalari, g/kg.

Agar, $x = 0$ va $x_{ox} \rightarrow x_m$ deb qabul qilsak, ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$V_a = G \frac{y_{\delta} - y_{ox}}{x_{ox}} \quad (5.176)$$

yoki aralashmadagi adsorbentivning oxirgi konsentrastiyasi quyidagi tenglamadan aniqlanishi mumkin:

$$y_{ox} = -\left(\frac{V_a}{G}\right) \cdot x_{ox} + y_{\delta} \quad (5.177)$$

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:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w_0}} \quad (5.178)$$

Adsorbent balandligi esa:

$$H = \frac{V_a}{0,785 \cdot D^2 \cdot \rho_T}$$

yoki

$$H = u \cdot (\tau - \tau_0) \quad (5.179)$$

bu erda ρ - adsorbentning to'kma zichligi, kg/m³.

Adsorbtsiya jarayonining davomiyligi:

$$\tau = \frac{V_a (x_{ox} - x_{\delta})}{w_0 \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho \cdot (y_{\delta} - y_{ox})} \quad (5.180)$$

Adsorbtsiya ko'lamining siljish tezligini (5.170) tenglamadan topish mumkin.

Qatlamning himoyalash tasir vaqti yo'qotilishi τ_0 ni quyidagi tenglamadan taxminan hisoblash mumkin:

$$\tau_0 = \frac{0,5 \cdot h_0}{u} \quad (5.181)$$

bu erda 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:

$$H = \frac{V_a}{0,785 \cdot D^2 \cdot \rho_T}$$

qurilmaning ishchi hajmi esa:

$$V_a = L \frac{x_{ox}}{\Delta y_{yp}} \cdot \frac{1}{K_y \sigma} \quad (5.182)$$

bu erda L - adsorbent sarfi, kg/s; σ - jarayon paytidagi adsorbentning solishtirma yuzasi, m²/kg; Δu_{ur} - o'rtacha harakatlantiruvchi kuch bo'lib, ushbu tenglamadan topiladi:

$$\Delta y_{yp} = \frac{y - y_{ox}}{\int_{y_o}^{y_{ox}} \frac{dy}{y - y_m}}$$

bu erda u_b , u_{ox} - gaz aralashmadagi adsorbentning boshlang'ich va oxirgi konsentrastiyalari; u_m - muvozanat konsentrastiyasi.

Agar, $\tau = V_a/L$ ekanligini inobatga olsak, adsorbentning adsorberda bo'lish vaqti:

$$\tau = \frac{1}{K_y \sigma} \cdot \frac{x_{ox}}{\Delta y_{yp}} \quad (5.183)$$

Mavhum qaynash qatlamli adsorberlardagi tarelkalar soni ushbu tenglamadan topiladi:

$$n = \frac{H}{h_\tau} \quad (5.184)$$

bu erda h_τ tarelkadagi adsorbent qatlamining balandligi (odatda $h_\tau = 50$ mm deb qabul qilsa bo'ladi).

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 eritmalaridan 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 stanstiyalari uchun suvni tayyorlashda, atom elektr stanstiyalarining oqava suvlarini tozalashda ham, ion almashinish jarayonidan foydalaniladi.

Oziq-ovqat sanoatining tuli 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 kalstiy va temirni ajratib olishda, sutni kalstiy va boshqa metal ionlaridan tozalashda, yog'-moy sanoatida o'simlik moylarini tozalashda, qimmatbaho metallarni ajratib olishda, medistina, metallurgiyada ionitlar juda katta samara beradi. Texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari bo'yicha ion almashinish jarayoni ekstrakstiya, rektifikastiya 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 ionizastiya darajasiga qarab kationitlar quyidagi guruhlariga bo'linadi: kuchli va kuchsiz kislotali.

Anionitlar esa, yuqori va past asosli guruhlariga bo'linadi.

Fovaklilik 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, ionitlarning tabiati va unda bo'ladigan o'zaro ta'sirlarni hisobga olmagan muvozanat holatidagi xossalari ko'rib chiqiladi.

Ion almashinish jarayonini xarakterlovchi ionitlarning muvozanat xossalari 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 muayan holatda mahkamlangan ion bo'lib, manfiy yoki musbat zaryadlar olib keladi;

v) ionlar ionit - eritma fazalar chegarasini kesib o'tolmaydi;

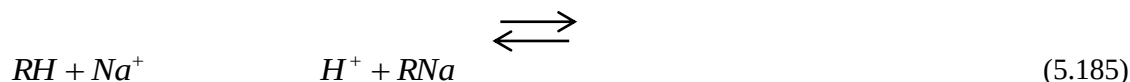
g) ionit fazasi tarkibida antiionlar bo'ladi va ular ionit - eritma fazalarni ajratuvchi chegarani kesib o'ta oladi;

d) muvozanat holatidagi eritma ionit fazasida boshqa zarrachalar ham bo'lishi mumkin, masalan, erituvchi molekullari.

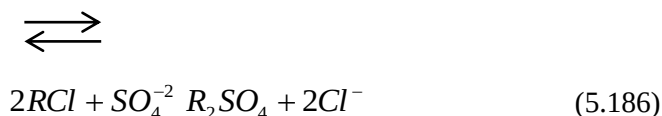
Ion almashinish jarayoni boshlanishi uchun muvozanat o'ng tomonga siljilishi kerak, ya'ni ion almashinish reaksiyalarining kimyoviy muvozanat konstantasi birdan ancha katta bo'lishi kerak.

Ion almashinish jarayonini geterogen kimyoviy reaksiya deb qarash va misol tariqasida quyidagi tenglamalarni keltirish mumkin:

a) kationli almashinish:



b) anionli almashinish:



Kationit va anionitlar orasidagi oraliq holatni amfolitlar egallaydi. Uning tarkibida kislotali va asosiy ionogen guruhlari bo'lib, kationit va anionit vazifalarini bajaradi.

Ionit - eritma sistemaning muvozanati muvozanat koeffitsienti bilan xarakterlanadi. Koeffitsientning kattaligi tashqi omillarga bog'liq, ya'ni muvozanatdagi eritma konsentratsiyasi, temperaturasi va bosimga.

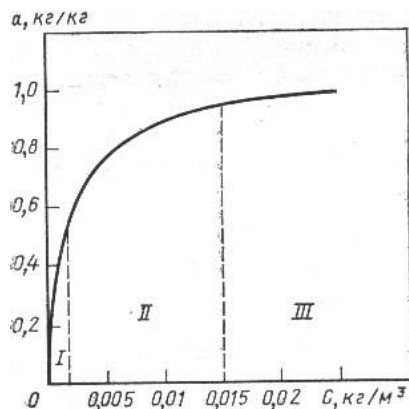
Ion almashinish jarayonida muvozanat. Muvozanat izotermalari ionitlarning muvozanat almashinish hajmi va uning tanlovchanligi to'g'risida ma'lumot beradi. Ion almashinish jarayonidagi muvozanat nisbatlari Lengmyur (5.187) yoki Freyndlix (5.188) formulalari bilan ifodalanishi mumkin:

$$a = \frac{Kac}{1 + kc} \quad (5.187)$$

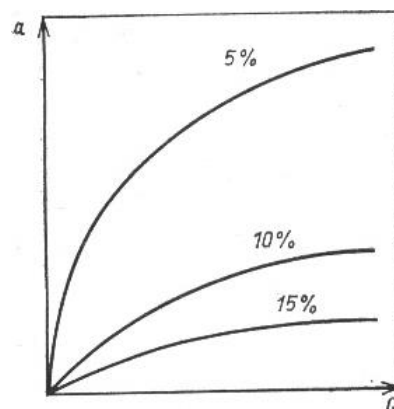
$$a = \beta c^{1/p} \quad (5.188)$$

Odatda, muvozanat izotermalari jarayonni harakatga keltiruvchi kuchini aniqlashda qo'llaniladi.

(5.187) tenglamani ifodalovchi eritmalarning tipik sorbstiyalash izotermalari 5.87-rasmda keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, muvozanat konsentratsiyalar qismi 3 ta zonaga ajratilish mumkin. Birinchi zona past konsentratsiyalar zonasi bo'lib, u to'g'ri chiziqli ikkinchi zona - Lengmyur tenglamalari va uchinchi esa - eritma konsentratsiyasiga bog'liq bo'lmagan va to'yinish holatlarini ifodalaydi:



5.87-rasm. EDE - 10P anionitda limon kislotasining muvozanat izotermalari.



5.88-rasm. Turli miqdordagi divinilbenzol sulfopolistirolli smola uchun muvozanat izotermari.

Muvozanat holatiga ionit va yutilayotgan ionlar tabiati, temperatura va elektrolit eritmasining rN miqdoriga ta'sir ko'rsatadi.

Masalan, sulfopolistiroli smolasidagi divinilbenzolning miqdori izoterma holatiga yuqori darajada bog'liq (5.88-rasm).

Eritmaning rN miqdori muvozanat holatga turlicha ta'sir etadi: rN 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.

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 tahmin qilinadi. Ion almashinish kinetikasi quyidagi tenglama orqali ifodalanishi mumkin:

$$\frac{dM}{Vd\tau} = \beta_v (c - c_m) \quad (5.189)$$

bu erda β_v - massa berish koeffitsienti, 1/s

Massa berish koeffitsientini hisoblash uchun $10 < Re < 100$ oralikda ushbu tenglama tavsiya etiladi:

$$\beta = 1,85 \frac{w}{\varepsilon} \left(\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \right)^{0,33} \cdot Re_m^{-0,56} \cdot Pr^{0,66}$$

yoki

$$Nu_\phi = 28,4 \cdot Re^{0,41} \quad (5.190)$$

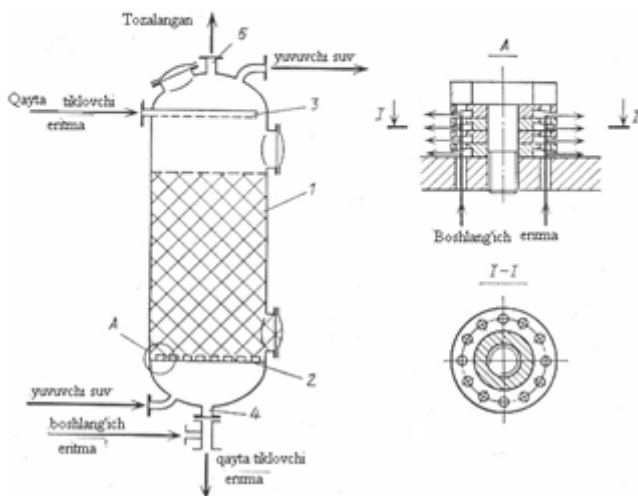
bu erda w - suyuqlik tezligi; $Re_m = w d_0 \rho / (1 - \varepsilon) \mu$ - modifikastiyalashgan Reynolds kriteriysi; d_0 - ionit granulasi diametri, m; ρ - suyuqlik faza zichligi, kg/m³; ε - g'ovaklilik; μ - dinamik qovushoqlik, Pa·s; Pr - Prandtl kriteriysi.

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.

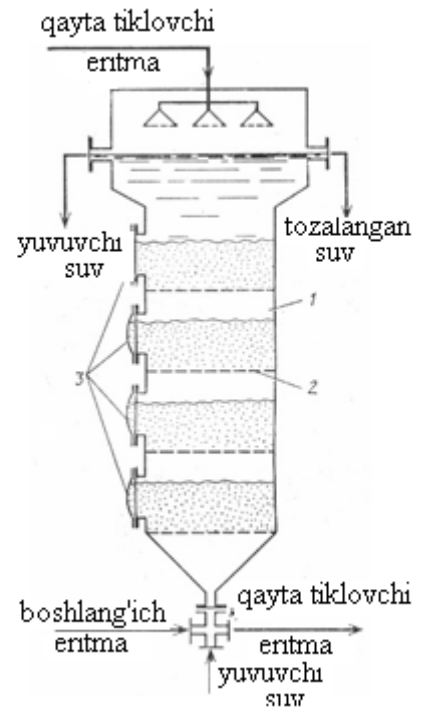
Uzluksiz ishlaydigan qurilmalar harakatchan ionit qatlamli va pog'onalarda mavhum qaynash qatlamli bo'ladi.

Davriy ishlaydigan, qo'zg'almas ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi 5.89-rasmda keltirilgan. Qurilma stilindrik 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.



5.89-rasm. Qo'zg'almas 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.



5.90-rasm. Davriy ishlaydigan sekciyalı, mavhum qaynash ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi.

1 - qobiq; 2 - teshikli panjara; 3 - lyuklar.

Qayta ishlanadigan eritma esa, qurilma pastki qismidagi shtuster 4 orqali uzatiladi va gaz taqsimlovchi teshikli panjaradan ionit qatlamiga o'tadi. Qurilmaning tepa (bo'sh) qismida tozalangan eritma to'planadi va yuqoridagi shtuster 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.

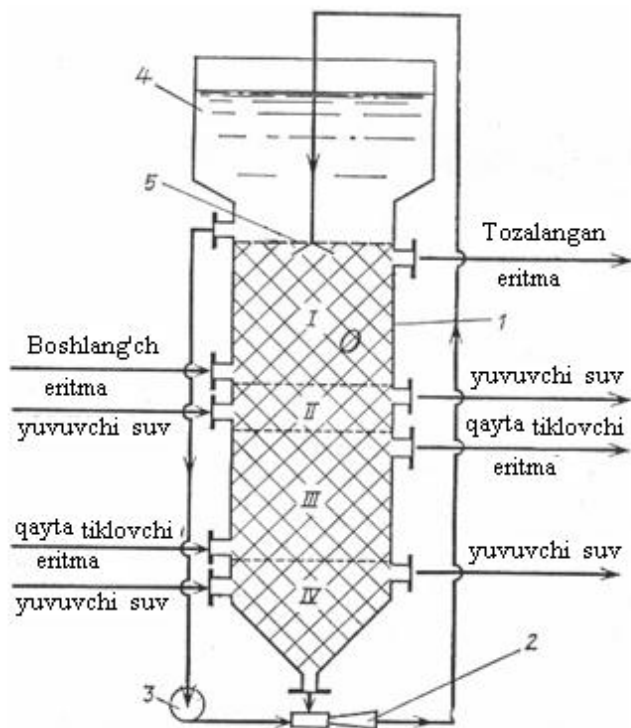
Shunday so'ng qurilma keyingi ion almashinish stikliga tayyor bo'ladi.

Davriy ishlaydigan sekciyalı, mavhum qaynash ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi 5.90-rasmda ko'rsatilgan. Ion almashinish qurilmasi kolonna 1 va uni bir necha sekciyaga ajratuvchi teshikli panjara 2 lardan tarkib topgan. Qurilmani sekciyalash 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.

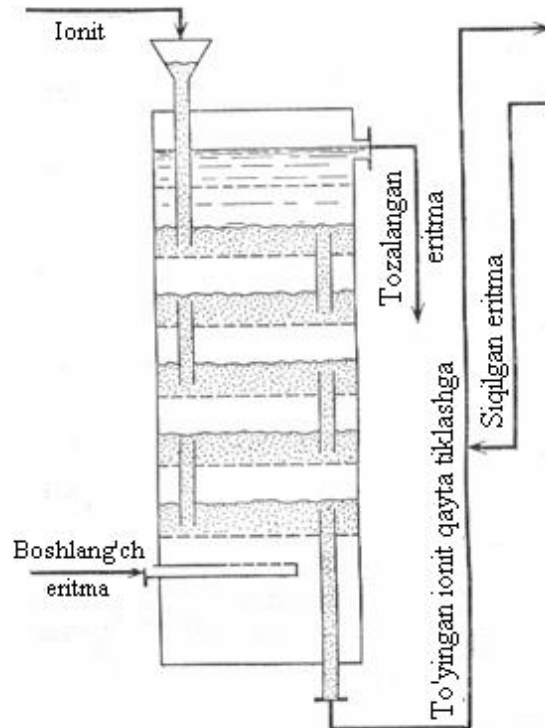
Uzluksiz ishlaydigan, harakatchan ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi 5.91-rasmda tasvirlangan.

U quyilish patrubkalari bilan to'rt sekciyaga bo'lingan kolonna 1 tipidagi qurilmadir. Qayta tiklangan ionit qurilmaning pastki qismidan injektor 2 ga tushadi. U erga nasos 3 yordamida qurilmaning cho'ktirish qismi 4 dan ishlatib bo'lingan eritma ham haydaladi. Hidrotransportlovchi suyuqlik vazifasini bajaruvchi suyuqlikning bu qismi, restirkulyastiya sistemasiga ulangan. Ionit pulpasi injektor 2 dan sorbstiyalash sekciyasi 1 ga uzatiladi. Undan tashqari, shu sekciyaga 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 sorbstiyalash sekciyasining I quyilish tarelkasidan yuvilish sekstiya II ga o'tadi. U erda ionit suv bilan yuviladi. Undan keyin, xuddi shunday qilib, ionit III sekciyaga o'tadi va qayta tiklovchi eritma bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. So'ng, qayta tiklangan ionit yuvish sekciyasi IV ga o'tadi, u erda eritmadan tozalanadi va injektor 2 ga yo'naltiriladi va stikl qaytadan takrorlanadi.



5.91-rasm. Uzlüksiz ishlaydigan, harakatchan ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi.

1 - qobiq; 2 - injektor; 3 - nasos; 4 - cho'ktirgich; 5 - filtr to'siq; I, II - ionit sorbcialash va qayta tiklash zonalari; III, IV - ionitni suv bilan yuvish zonalari.



5.92-rasm. Uzlüksiz ishlaydigan, ko'p pog'onali mavhum qaynash ionitqatlamliqurilmassxemasi.

Uzlüksiz ishlaydigan, ko'p pog'onali mavhum qaynash ionit qatlamli qurilma sxemasi 5.92-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 sorbstiya 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.

QURITISH

Quritish jarayoni haqida 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, stentrifugalash va h.);
2. Fizik-kimyoviy (suvni o'ziga tortib oluvchi moddalar yordamida (kalstiy 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 olish **quritish jarayoni** deyiladi.

Nam materiallarni issiqlik yordamida quritish - sanoatda eng keng tarqalgan usul. Ushbu usul kimyo, 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 kombinastiyalashgan usuli iqtisodiy jihatdan samaralidir.

Sanoatda nam materiallarni quritish 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 modda (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 majmuasidir.

Qattiq, nam materialga issiqlik ta'sir etish usuliga qarab quritish quyidagi turlarga bo'linadi:

1) **konvektiv** quritish - bunda nam material bilan qurituvchi eltkichbevosita o'zaro ta'sirda bo'ladi. Odatda, qurituvchi eltkich sifatidaqizdirilgan havo yoki tutun gazlari ishlatiladi;

2) **kontaktli** quritish - issiqlik tashuvchi eltkich va nam materialorasida ajratuvchi devor bo'ladi. Materialga issiqlik shu devor orqaliuzatiladi;

3) **radiation** quritish- nam materialga issiqlik infraqizil nurlarorqali uzatiladi;

4) **dielektrik** quritish - nam material yuqori chastotali tok maydonida uzatiladi;

5) **sublimation** 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.

2. 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 temperaturalar, parstial bosim kabi parametrlar bilan xarakterlanadi.

Absolyut namlik deb 1 m^3 nam havo hajmidagi suv bug'i (kg) miqdoriga aytiladi.

Agar parstial bosim r_b da suv bug'i butun hajmi, masalan 1 m^3 ni, egallasa, unda, absolyut namlik suv bug'i zichligi ρ_b ga teng.

Nisbiy namlik deb havo absolyut namligining, to'yinish paytidagi absolyut namlik nisbatiga aytiladi:

$$\varphi = \frac{\rho_b}{\rho_m} \quad (1)$$

bu erda ρ - to'yingan suv bug'ining zichligi, kg/m^3 ; ρ_b - suv bug'ining zichligi, kg/m^3 .

Gaz tarkibidagi bug'lar parstial bosimi, uning miqdoriga proporstional bo'lgani uchun, nisbiy namlik bir xil temperatura va bosimda havodagi suv bug'i parstial bosimi r_b ning to'yingan suv bug'lari bosimi r_T ga nisbati sifatida ifodalanishi mumkin:

$$\varphi = \frac{p_b}{p_T} \quad \text{yoki} \quad p_b = \varphi \cdot p_T \quad (2)$$

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:

$$x = \frac{m_b}{m_{akx}} = \frac{\rho_b}{\rho_{akx}} \quad (3)$$

bu erda m_b va m_{akx} - suv bug'i va absolyut quruqhavo massalari, kg .

Mendeleev - Klapayron ideal gazlar holatining tenglamasiga binoan nam saqlash va nisbiy namliklar orasidagi bog'liqlikni aniqlaymiz. Suv bug'i va quruqhavo zichliklarini ushbu tenglamalardan topish mumkin:

$$\rho_b = \frac{p_b \cdot M_b}{RT} \quad \text{va} \quad \rho_{akx} = \frac{P_{akx} \cdot M_{akx}}{RT} \quad (4)$$

bu erda M_b va M_{aks} - 1 mol suv bug'i va absolyut quruqhavolar massalari, kg/kmol ; r_{aks} - biror temperaturadagi

quruqhavoning parstial bosimi, Pa; $R = 8314$ - gazning universal doimiysi, J/(kmol·K).

(5.194) ni (5.193) ga qo'yib, ushbu ko'rinishli tenglamani olamiz:

$$x = \frac{M_{\delta}}{M_{aks}} \left(\frac{p_{\delta}}{p_{aks}} \right) \quad (5)$$

Dalton qonuniga binoan $R = r_p + r_{aks}$. Unda:

$$p_{aks} = P - p_{aks} \quad (6)$$

(5.192) tenglamadan bilamizki, $r_b = \varphi r_t$.

Agar, r_{aks} va r_b qiymatlarini (5.195) ga qo'ysak:

$$x = \frac{18}{29} \frac{\varphi \cdot p_m}{P - \varphi p_m} = 0,622 \frac{\varphi \cdot p_m}{P - \varphi p_m} \quad (7)$$

bu erda $M_{aks}=29$ kg/mol; $M_b=18$ kg/mol.

Entalpiya termodinamik sistemaning holat funkstiyasi bo'lib, I harfi bilan belgilanadi.

Nam havo entalpiyasi quruq havo bilan shu nam havoda bo'lgan suv bug'ining entalpiyalari yig'indisiga teng:

$$I = c_{aks} \cdot t + x I_{\delta} \quad (8)$$

bu erda s_{aks} - absolyut quruqhavoning o'rtacha temperaturasi; $s_{aks} = 1000$ 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, $s_b \approx 1,97 \cdot 10^3$ J/(kg·K).

O'ta qizdirilgan suv bug'ining solishtirma entalpiyasi:

$$I_{\delta} = r_0 + c_{\delta} I = 2493 \cdot 10^3 + 1,97 \cdot 10^3 \cdot t \quad (9)$$

Agar, (5.199) ni (5.198) ga qo'ysak, ushbu ko'rinishdagi tenglamaga erishamiz:

$$I = (1000 + 1,97 \cdot 10^3 \cdot x) \cdot t + 2493 \cdot 10^3 \cdot x \quad (10)$$

Zichlik. Nam havoning zichligi ρ_{nx} absolyut quruqhavo ρ_{aqs} va suv bug'i ρ_b zichliklari yig'indisiga teng. Agar, $\rho_b = x \cdot \rho_{aqs}$ ekanligini inobatga olsak, ushbu tenglamani olamiz:

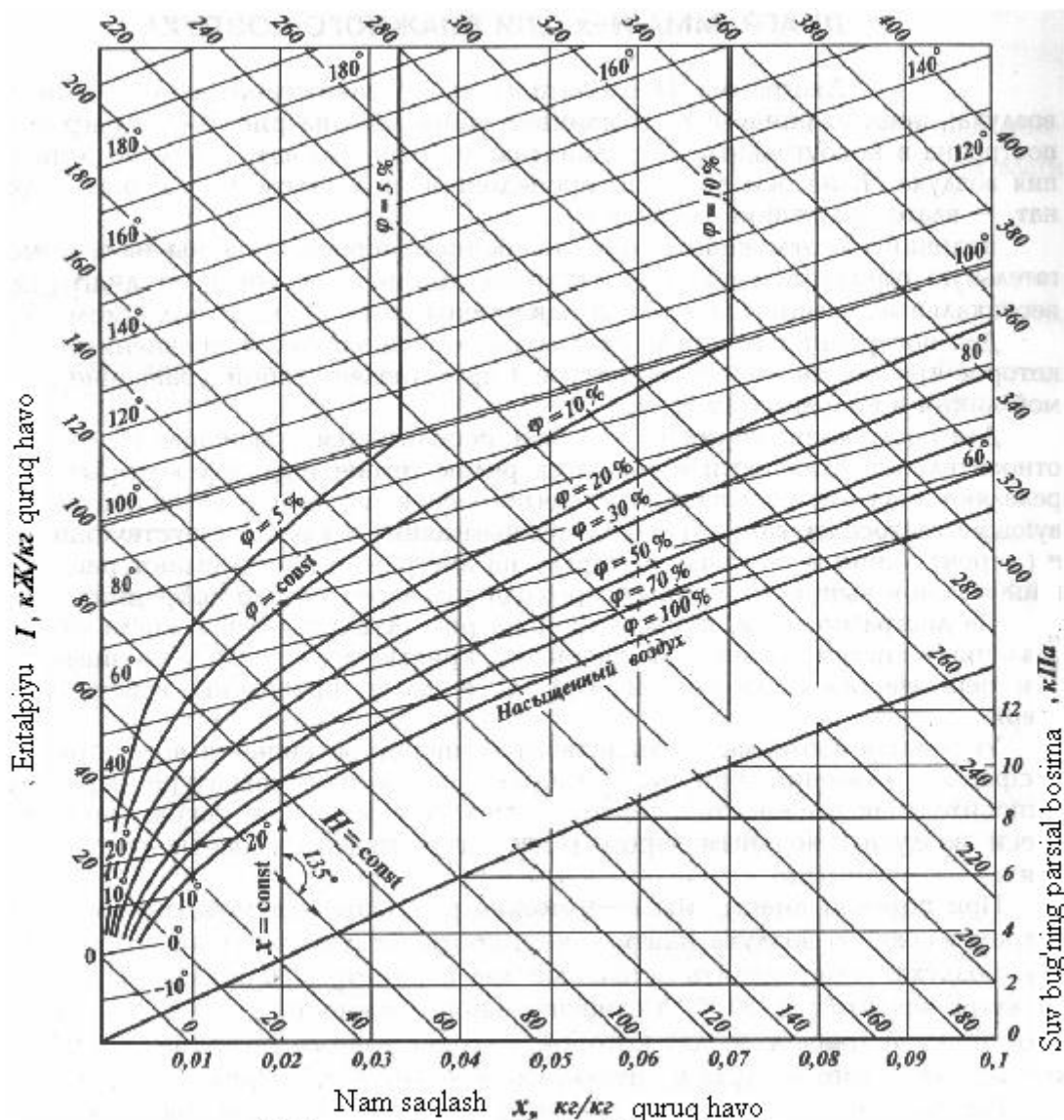
$$\rho_{nx} = \rho_{aks} + \rho_{\delta} = \rho_{aks} (1 + x) \quad (11)$$

Mendeleev - Klapayronning holat tenglamasiga binoan absolyut quruqhavo zichligi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\rho_{aks} = \frac{M_{aks} \cdot p_{aks}}{RT} = \frac{29 p_{aks}}{8314 \cdot T} = \frac{P - p}{287 T} \quad (12)$$

(5.197) tenglamadan x va (5.202) dan ρ_{aks} qiymatlarini olib (5.201) ga qo'ysak, ushbu ko'rinishli ifodani olamiz:

$$\rho_{nx} = \frac{P - 0,378 \cdot p_{\delta}}{287 T} \quad (13)$$



5.93-рasm. Ramzinning I-x diagrammasi

Isitish, sovitish va quritish jarayonlarida havoning asosiy xossalari o'zgarishi tasvirlangan va texnik hisoblashlar uchun etarli aniqlikda L.K. Ramzinning entalpiya diagrammasi yordamida aniqlanishi mumkin.

I - x diagramma o'zgarmas bosim $r = 745$ mm.sim.ust. (99 kPa) uchun qurilgan (5.93-rasm). Diagramma entalpiya I (ordinata o'qi) - nam saqlash x (absstissa o'qi) koordinatalarida qurilgan.

Koordinata o'qlari 135° burchak ostida joylashtirilgan. Diagrammadan foydalanish qulay bo'lishi uchun nam saqlash qiymatlari ordinata o'qiga perpendikulyar, ya'ni qo'shimcha gorizontaal o'qga proektsiyalangan.

Diagrammaga quyidagi chiziqlar o'tkazilgan: ordinata o'qiga parallel ($x = \text{const}$), o'zgarmas nam saqlash vertikal chiziqlar; qo'shimcha absstissa o'qiga 135° burchakda o'tkazilgan o'zgarmas entalpiya ($I = \text{const}$) qiya chiziqlari; o'zgarmas temperatura (izoterma) chiziqlari; o'zgarmas nisbiy namlik ($\varphi = \text{const}$) chiziqlari; nam havodagi suv bug'ining parstial bosim p_b 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. $\varphi = \text{const}$ chiziqlari koordinatalari $t = -273^\circ\text{C}$ va $x = 0$ bo'lgan nuqtadan tarqaluvchi egri chiziqlar dastasini hosil qiladi.

$\varphi = \text{const}$ chiziqlari bir-biriga yonishib ketmasligi uchun diagramma ma'lum burchakli sistema koordinatalarida qurilgan.

I - x diagrammadan ko'rinib turibdiki, $99,4^\circ\text{S}$ temperaturada $\varphi = \text{const}$ 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 $t \geq 99,4^\circ\text{S}$ etganda nisbiy namlik φ temperaturaga bog'liq bo'lmay va o'zgarmas kattalik bo'lib qoladi.

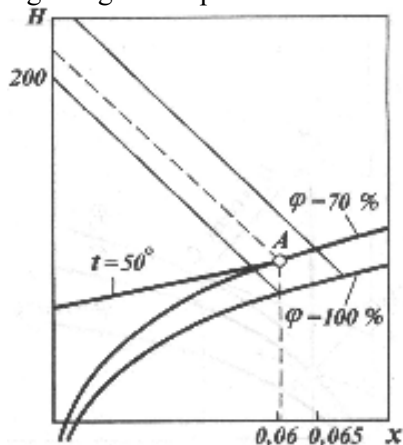
Havoning suv bug'i bilan to'yinish, chizig'i, ya'ni $\varphi = 100\%$, diagrammani to'yinmagan nam havo va

chiziqstida joylashgan, suv bug'i bilan o'ta to'yingan havo zonalariga ajratadi.

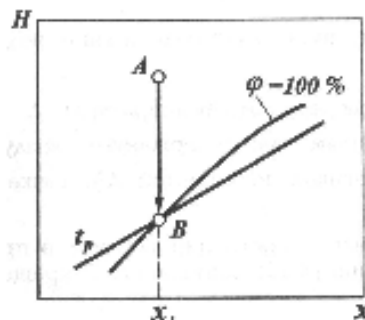
Suv bug'ining parstial bosim chiziqlari (5.192) tenglamani inobatga olgan holda (5.197) tenglamadan aniqlanadi:

$$p_{\phi} = \frac{P_x}{0,622 + x} \quad (14)$$

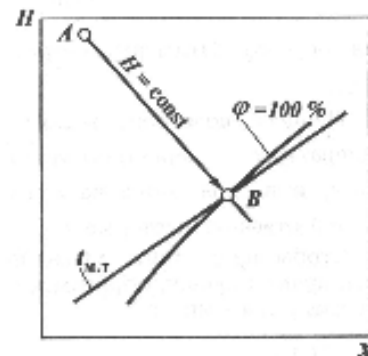
Suv bug'ining **parstial bosimi** $I - x$ diagrammaning pastki qismida joylashgan. Diagramma yordamida nam havoning istalgan ikki parametri ma'lum bo'lsa, qolgan parametrlarini topish mumkin.



5.93a-rasm. $I - x$ diagramma yordamida ma'lum ikki parametr orqali nam havoning qolgan parametrlarini aniqlash.



5.93b-rasm. $I - x$ diagrammada shudring nuqtasini aniqlash.



5.93c-rasm. $I - x$ diagrammada ho'ltermometrtemperaturasi aniqlash.

$I - x$ diagramma yordamida, nam havoning istalgan ikki parametri orqali qolgan parametrlarini topish mumkin. Masalan: havo temperaturasi $t=55^{\circ}\text{S}$ va nisbiy namligi $\phi=70\%$ bo'lgan parametrlar uchun nuqta A ni aniqlaymiz (5.93a-rasm). Bu nuqta uchun nam saqlash parametri $x=0,0608$ kg namlik/kg quruqhavo va entalpiyasi $I=207,25$ kJ/kg quruqhavo.

Shudring nuqtasi. Havoning o'zgarmas nam saqlash parametrida sovishi, uning suv bug'lari bilan butunlay to'yinishi natijasida, havo eki gaz tarkibidagi suv bug'larining kondensastiyalanishi ro'y beradi. Ushbu temperatura shudring nuqtasi deb nomlanadi.

5.93b-rasmda A nuqtaga mos boshlang'ich parametrli havo uchun shudring nuqta V ni grafik usulda aniqlash tasvirlangan. Shudring nuqtasi $\phi=100\%$ va nam saqlash x_1 larning kesilish nuqtasi V orqali o'tgan izoterma t_r 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'liqto'yingunga qadar boradi, ya'ni $\phi=100\%$ ga erishadigan temperaturagacha. $I - x$ diagrammada A nuqtadan $\phi=100\%$ chizig'ida V nuqta bilan kesishguncha $I=\text{const}$ chizig'i o'tkaziladi (5.93v-rasm). Nuqta

V orqali o'tadigan, izoentalpiya sharoitida havoning sovish chegarasiga to'g'ri keladigan izoterma t_{MT} – xul termometrning temperaturasi deb nomlanadi.

Quritish potentsiali. Havo temperaturasi t_v va ho'l termometr temperaturasi t_{MT} larning farqi quritish potentsiali ε deb ataladi. Ushbu ko'rsatkich havoning materialdan namlikni yutish qobiliyatini xarakterlaydi. Quritish potentsiali qanchalik katta bo'lsa, materialdan namlikning bug'lanish tezligi shunchalik yuqori bo'ladi. Agar, $t_v = t_{MT}$ bo'lsa, quritish potentsiali $\varepsilon = 0$.

3. Quritish jarayoni statikasi

Har bir qattiqnam 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 parstial bosimini r_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 r_o , materialni o'rab turgan havo yoki gazdagi parstial bosimdan katta, ya'ni $p_o > p_b$. Bunday holda materialdan namlik atrof muhitga desorbstiya 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 parstial bosimi, uning nam materialdagi bosimidan katta, ya'ni $p_b > r_o$. Bu holda, material va namlik orasida sorbstiya 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 parstial bosimi p_b yoki unga proporsional bo'lgan havoning nisbiy namligi φ ga bog'likdir.

Muvozanat namligining $t = const$ da φ ga bog'liqligi **sorbstiya 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 ($p_o = p_b$) bug'lanish tezligiga teng bo'lgan namlik tushuniladi. Malumki, materialdagi bog'langan namlikning bug'lanish tezligi erkin yuzadan suvning bug'lanishi tezligidan har doim kichik bo'ladi. Bunda, $p_o < p_b$, bu erda p_t - suv bug'ining to'yinish bosimi.

Material tarkibidagi namlikni xarakterlash uchun material namligi W (%) va nam saqlash x (kg namlik/kg quruqhavo) degan tushunchalar qo'llaniladi.

Material namligi materialning umumiy miqdori yoki uning tarkibidagi absolyut quruqmodda miqdoriga nisbatan hisoblanishi mumkin.

4. 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 reaktsiya natijasida hosil bo'ladi;
- namlikning fizik-kimyoviy bog'lanishi, yarim o'tkazuvchan qobiqcha orqali gaz molekulalarining adsorbstiyasi natijasida hosil bo'ladi;
- namlikni fizik-mexanik bog'lanishi, mikrokapillyar ($r < 10^{-7}$), makrokapillyarlar ($r > 10^{-7}$) tomonidan bug'larni yutishda, hamda gel hosil bo'ladi;

Sirtiyl namlik eng oson, kimyoviy bog'langan namlik esa, eng qiyin yo'qotiladi.

Kimyoviy bog'langan namlik gidrooksid suvi ko'rinishida bo'lib, gidratastiya reakstiyasi natijasida gidrooksid va kristallogidrat tipidagi birikmalar tarkibiga kirib oladi. Ushbu namlikni qizdirish yo'li bilan yo'qotish mumkin.

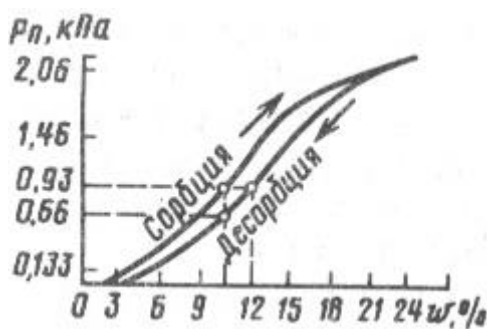
Fizik-kimyoviy bog'lanish shakllari turli-tuman bo'ladi:

Adsorbstion bog'langan namlik. Ushbu namlik atrof muhit va kolloid zarrachani ajratib turuvchi chegara yuzasida ushlanib turadi. Kolloid zarrachalar katta yuza va yuqori adsorbstion qobiliyat tuzilishga ega. Adsorbstion namlik molekulyar kuchli maydon yordamida tortilib turadi. Adsorbstion namlik yo'qotilishi davrida issiqlik ajrab chiqadi va u gidratastiya issiqligi deb nomlanadi.

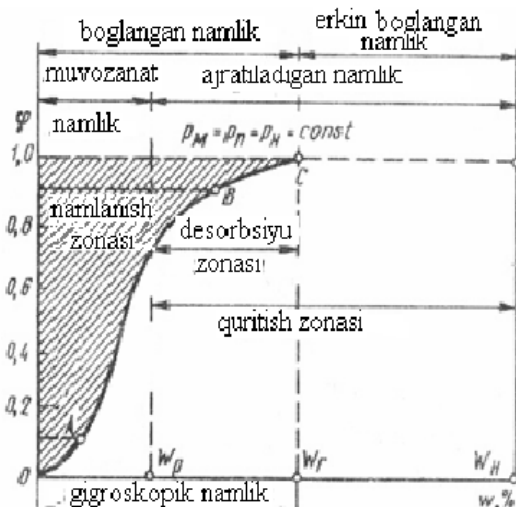
Osmotik bog'langan namlik yoki bo'rtish namligi material skeleti ichida bo'ladi va osmotik kuchlar yordamida ushlanib turiladi.

Kapillyar - bog'langan namlik mikro va makrokapillyarlar 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.



5.94-rasm. Krahmal namligining sorbsiya - desorbsiya izotermalari.



5.95-rasm. Qotirilgan non namligining sorbsiya - desorbsiya izotermalari.

Material bilan namlik bog'lanish turlarini xarakterlash uchun sorbstiya - desorbstiya izotermalari qo'llaniladi. 5.94-rasmda sorbstiya va desorbstiya izotermalari keltirilgan.

Desorbstiya egri chizig'i (desorbstiya izotermasi) nam kraxmaldan namlik yo'qotilishi davri uchun qurilgan, ya'ni uni quritish jarayonida.

Sorbstiya egri chizig'i kraxmalni namlash davri uchun qurilgan va sorbstiya izotermasi deb nomlanadi. Sorbstiya va desorbstiya egri chiziqlari o'ziga xos shakldagi **gisterezis halqasi** deb ataladi.

Gisterezis hodisasidan ushbu xulosa qilish 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 kapillyarlarida havo borligi ya'ni havoning kapillyar devorlarida sorbstiyalanishi bilan tushuntirish mumkin.

Oziq-ovqat mahsulotlarining sorbstiya-desorbstiya xarakteristikalarini, ya'ni havo namligi va uning temperaturasini aniqlash imkonini beradi.

Sorbstiya izotermalari tahlili yordamida material bilan namlikning bog'lanish usulini bilish mumkin. 5.95-rasmda qotirilgan non sorbstiya izotermalari keltirilgan. Mahsulotning boshlang'ich namligi W_b , oxirgisi esa - $W_{ox} = W_m$ (bu erda W_m -muvozanat namligi). Material namligining W_b dan W_{ox} gacha o'zgarish oraligi **quritish sohasi** deyiladi. Bu sohada materialdan chiqadigan namlik yo'qotiladi. Gigroskopik namlik W_g dan W_{ox} gacha bo'lgan oraliqdesorbstiya sohasi deb ataladi. Muvozanat namlik egri chizig'ining yuqorisida sorbstiya, 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 $\phi = 0,4$ bo'lganda, izoterma absstissa o'qiga nisbatan bo'rtiqko'rinishga ega. Ushbu holat monomolekulyar adsorbstiyaga xosdir. Material bilan namlik bog'lanishini engish uchun monomolekulyar

adsorbtsiyada juda katta miqdorda issiqlik sarflanishi zarur. Nisbiy namlik $\varphi = 0,1 \dots 0,9$ oralig'ida izotermaning AV bo'lagi ordinata o'qiga nisbatan bo'rtiqko'rinishga ega. Ushbu holat polimolekulyar adsorbtsiyaga xosdir. Bu namlikni yo'qotish uchun monomolekulyar adsorbtsiyada namlikni yo'qotishga sarflanadigan issiqlik miqdori nisbatan kam bo'ladi.

Izotermaning VS ($\varphi = 0,9 \dots 1,0$) bo'lagi mikrokapillyar ($r < 10^{-8} \text{cm}$) lardagi namlikni ifodalaydi.

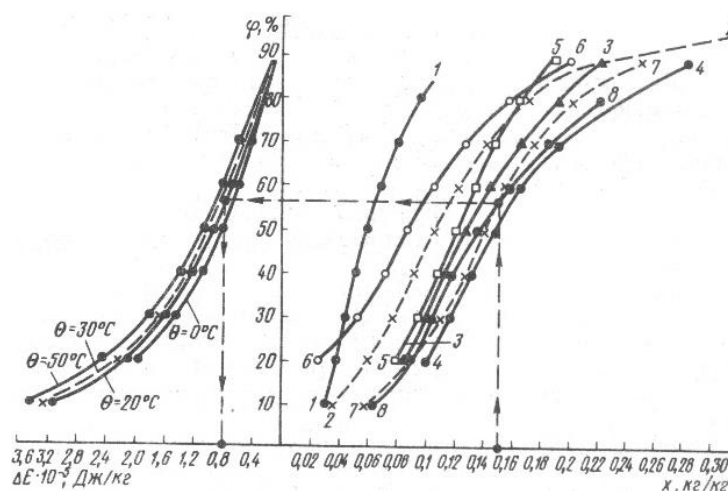
Mexanik bog'langan erkin namlik materialdan mexanik usulda ajratib olinishi mumkin.

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 keltirilgan chiqarilgan formula yordamida topish mumkin:

$$E = RT \ln \frac{p_T}{p_M} = -RT \ln \varphi \quad (5.205)$$

bu erda r_t - to'yingan suv bug'i bosimi; r_m - namligi x bo'lgan material ustidagi suv bug'ining muvozanat parstial bosimi; φ - havoning nisbiy namligi.



5.96-rasm. Turli mahsulotlarda namlikni bog'lanish energiyasini aniqlash chizmasi.

- 1 - pista ($t=20^\circ\text{S}$); 2 - bug'doy ($t=50^\circ\text{S}$); 3 - makkajo'kori ($t=20^\circ\text{S}$);
4 - javdari bug'doy ($t=0^\circ\text{S}$); 5 - tozalangan guruch ($t=20^\circ\text{S}$); 6 - un ($t=24^\circ\text{S}$);
7 - makkajo'kori krahmali ($t=20^\circ\text{S}$); 8 - makaron ($t=30^\circ\text{S}$).

Material bilan namlik bog'lanishi qanchalik mustahkam bo'lsa, shunchalik r_m kattaligi kichik bo'ladi. Erkin suvni ajratish davrida, $r_t = r_m$ 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 adsorbtsion bog'langan namlik ulushi ortadi.

5.96-rasmda ayrim oziq- ovqat mahsulotlar muvozanat namliklarining egri chiziqlari, hamda turli temperaturalarda bog'lanish energiya funkstiyalari keltirilgan.

Ushbu grafikdan foydalanib, bog'lanish energiyasi va bog'langan namlikni yo'qotish uchun zarur ish miqdorini aniqlash mumkin.

Quritish jarayonidagi umumiy issiqlik sarfi:

$$Q = Q_{\text{bug}} + Q_{\text{bn}}$$

bu erda Q_{bug} - erkin namlikni bug'lanishi uchun sarflanadigan issiqlik; Q_{bn} - bug'langan namlikni yo'qotish uchun sarflanadigan issiqlik.

5. Quritish jarayoni kinetikasi

Yuqorida qayd etilgandek, quritish jarayoni murakkab issiqlik va massa almashinish jarayondir. Materialdagi namlik uning ichidan fazalarni ajratib turuvchi yuzaga massa o'tkazuvchanlik, ajratib turuvchi yuzadan gaz oqimi yadrosiga esa - konvektiv diffuziya hisobiga o'tkaziladi.

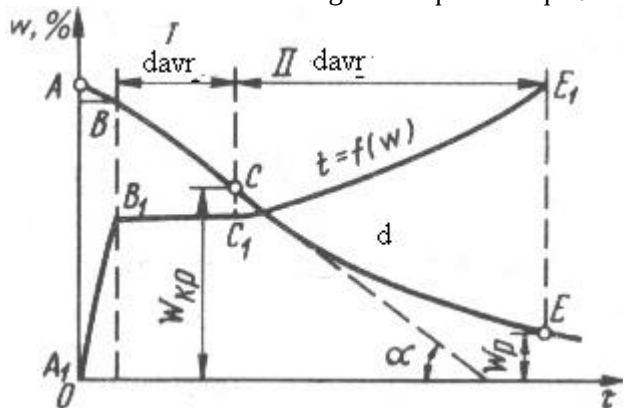
Material tarkibidagi namlikning diffuziyasi na faqat nam saqlash gradienti, balki temperatura gradienti

ham ta'siri ostida ro'y beradi.

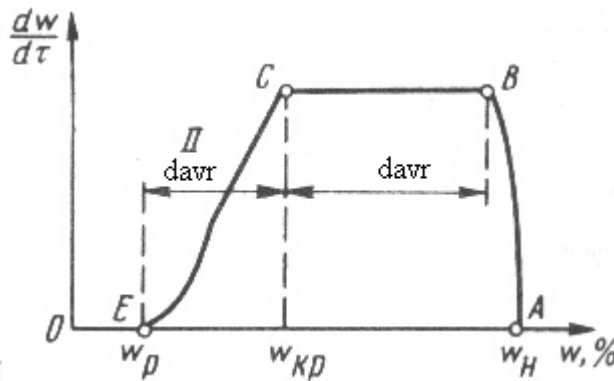
Materialdagi diffuziyani analitik usulda ifodalash juda qiyin masala. Ma'lumki, Quritish jarayoni tezligi material bilan namlikning bog'lanish shakli va unda namlikning diffuziya mexanizmiga bog'liq. quritish jarayoni kinetikasi materialning nam saqlashi yoki o'rtacha namligining ma'lum vaqtdan keyin o'zgarishi bilan xarakterlanadi.

Odatda, quritish tezligini tajribaviy usulda topish uchun quritish egri chizig'i quriladi, so'ng u differentsiallanib quritish tezligining egri chizig'i hosil qilinadi.

5.97-rasmda material namligi W va qurish vaqti τ orasidagi bog'liqlik tasvirlangan.



5.97-rasm. Quritish egri chizigi.



5.98-rasm. Quritish tezligining egri chizig'i.

Undan tashqari, rasmda material temperaturasi 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 temperaturasi qizishi AV kesma bilan ifodalanadi. Undan so'ng, o'zgaras

quritish tezligi davri (VS kesma), ya'ni I davr, boshlanadi. Bu davr qiyalik burchagi α ning o'zgaras

tangensi to'g'ri chizig'i (VS kesma) bilan ifodalanadi va S nuqtada yakunlanadi. Ushbu davrda materialning

temperaturasi termometrning ho'l temperaturasi (temperatura egri chizig'idagi V_1S_1 kesma) qiymatiga teng

bo'ladi. O'zgaras quritish tezligi davrida uzatilayotgan issiqlik, materialdagi erkin namlikni bug'lanishiga

sarflanadi. Ushbu, o'zgaras quritish tezlikli davr to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi va u birinchi kritik tezlik

W_{kr} ga etganda tamom bo'ladi.

W_{kr} dan boshlab esa kamayuvchi tezlik davri boshlanadi, ya'ni material namligi asta - sekin kamayadi va u SE kesma bilan ifodalanadi. Bu davrda materialdagi temperaturasi S_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 temperaturasi (E_1 nuqta) teng bo'ladi. Lekin, muvozanat namligiga erishish uchun ancha vaqt zarurdir.

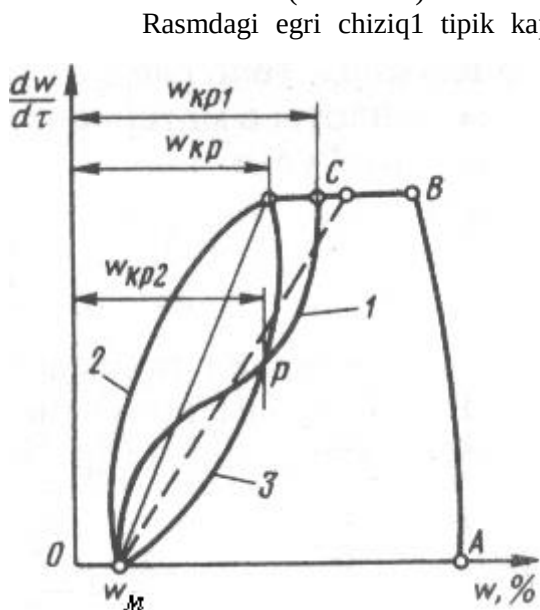
Quritish tezligi vaqt birligida namlik o'zgarishini ifodalaydi, ya'ni $dW/d\tau$ (%/soat) yoki $dx/d\tau$ (c^{-1}).

Quritish tezligi bo'yicha ma'lumotlar asosida quritish tezligining egri chiziqlari quriladi (5.98-rasm).

VS gorizont kesma quritish jarayonining birinchi, SE esa - ikkinchi davrdagi tezligini ko'rsatadi.

Jarayonning birinchi davrida erkin bog'langan namlik yo'qotiladi va uning tezligi tashqi diffuziya zonasidagi massa almashinish qarshiligi, ya'ni konvektiv massa berish koeffitsienti bilan aniqlanadi. Birinchi kritik tezlikka oid S 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 5.98-rasmda keltirilgandan ancha farq qilishi mumkin. Namlikning material bilan bog'lanish shakllariga qarab, ikkinchi davrning o'zi bir necha davrdan

iborat bo'lishi mumkin (5.99-rasm).



5.99-rasm. Kapillyar – g'ovakli materiallarning quritish tezligi egri chiziqlarining tasviri.

bo'lishi mumkin. Temperatura gradienti ta'sirida kattiqmaterialda ro'y beradigan namlikning tarqalishi termodiffuziya hisobiga bo'ladi. Agar, materialni quritish qattiqrejimlarda olib borilsa, ya'ni temperaturalar gradienti salmoqli bo'lganda, termodiffuziya hodisasi namoyon bo'ladi.

$r = \text{const}$ bo'lganda, massaviy oqimni ushbu tenglama bilan ifodalash mumkin:

$$i = \frac{dW}{Fd\tau} = \pm k \rho_{akm} \left(\frac{\partial x}{\partial l} + \delta \frac{\partial t}{\partial l} \right) \quad (5.206)$$

bu erda k - massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti, m^2/soat ; ρ_{akm} - absolyut quruqmaterial zichligi, kg/m^3 ; x - materialning nam saqlashi, kg/kg -quruqmaterialga; l - izokonstentrastion yuza normal; δ - termonamlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, K^{-1} ; t - temperatura, K .

(5.206) tenglamaning birinchi qo'shiluvchisi konstentrastiya gradienti ta'sirida, ikkinchisi esa - temperatura gradienti ta'sirida modda uzatilishini xarakterlaydi.

Tenglamadagi kinetik k va δ koeffitsientlar temperatura va jism namligi funkstiyasidir. Shuning uchun, nam materialda namlikning tarqalishini unda issiqlik almashinish bilan birgalikda qarash kerak. Issiqlik almashinish Furening 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 kapillyar - g'ovakli jismda issiqlik va massa almashinishning differensial tenglamalar sistemasi keltirib chiqarilgan:

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial l} \left(k \frac{\partial x}{\partial l} + k \delta \frac{\partial t}{\partial l} \right) \quad c \rho_{akm} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial l} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial l} \right) + \epsilon r \frac{\partial x}{\partial \tau} \quad (5.207)$$

bu erda $\epsilon = dx/dx$ - fazaviy o'zgarish kriteriysi; r - bug'lanish issiqligi, kJ/kg .

Ushbu tenglamadagi λ , s , ϵ va r koeffitsientlar o'zgaruvchi kattaliklar bo'lib, jismning namligi va temperaturasiga bog'liq.

(5.207) dagi birinchi tenglama qattiqjismda namlik va temperatura gradientlari 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 konstantlari va temperatura maydonlarini topish uchun differensial tenglamalar sistemasini echish kerak. Quritish jarayonini bunday hisoblash usuli, kerakli namlikka erishish vaqtini va quritkich o'lchamlarini aniqlash, nazariy jihatdan o'rinalidir.

Lekin, differensial tenglamalar sistemasini echish uchun massa va issiqlik o'tkazish koeffitsientlarini material namligi va temperaturaga bog'likligini bilish zarur. Yuqorida qayd etilgan hamma koeffitsientlar, sva r dan tashqari, x va t ga bog'liqligi juda murakkabdir.

Prof. A.N. Planovskiy tomonidan quritish jarayonini faqat massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti k orqali hisoblash mumkinligi isbotlangan. Unga binoan, (5.207) ning birinchi tenglamasi ushbu ko'rinishni oladi:

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial l} \left(k^* \cdot \frac{\partial x}{\partial l} \right) \quad (5.208)$$

bu erda k^* - ham termodiffuziya, ham massa o'tkazuvchanlikni xarakterlovchi koeffitsient bo'lib, faqat material namligiga bog'liq.

Agar, namlikning ma'lum oralig'ida $k = \text{const}$ va $\delta = \text{const}$ deb qabul qilsak, (5.208) chiziqli tenglama ko'rinishiga keladi:

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = k \frac{\partial^2 x}{\partial l^2} \quad (5.209)$$

Quritish jarayonining boshlang'ich shartlariga, qattiq materialda namlikning bir tekisda tarqalishi, ya'ni $\tau = 0$ bo'lganda $x = x_b = \text{const}$ to'g'ri keladi.

(5.208) va (5.209) tenglamalar tahlilidan quyidagi ko'rinishdagi kriterial formula keltirib chiqariladi:

$$E = f(Bi_d, Fo_d) \quad (5.210)$$

bu erda E - materialdagi namlikning o'lchamsiz konstantlariyasi, ya'ni:

$$E = \frac{x - x_m}{x_0 - x_m}$$

bu erda x_m - materialdagi namlikning muvozanat konstantlariyasi; $Bi_d = \beta l / (k \cdot \rho)$ - Bio diffuzion kriteriyasi; $Fo_d = k \tau / l^2$ - Fure diffuzion kriteriyasi.

Noto'g'ri geometrik shakldagi jismlar uchun (5.210) tenglama $G_1, G_2, \dots, G_n$ parametrik kriteriyalar bilan to'ldirilishi mumkin.

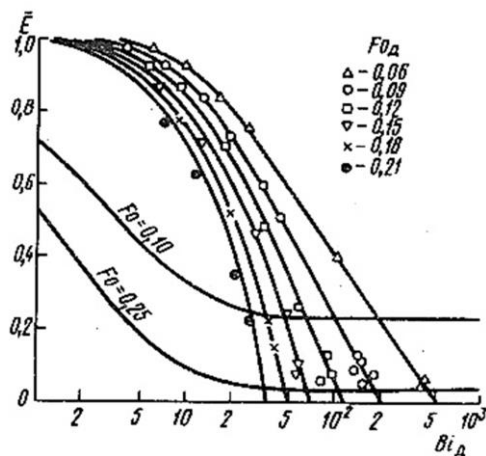
Agar materialning issiqlik - fizik xossalari va jarayon davomida temperaturaning o'zgarishi ma'lum bo'lsa, quritish kinetikasi prof. A.N. Planovskiy va prof. S.P. Rudobashta tomonidan taklif etilgan issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamalari asosida hisoblash usulidan foydalanish mumkin. Lekin, Fure tenglamasi va massa o'tkazuvchanlik tenglamalari orasidagi o'xshashlik rasmiy xarakterga ega. $Fo = \text{const}$ chiziqlarining turli xarakteri temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsienti a ning t dan va massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti k ning x dan bog'liqliklari orasida prinsipial farqborligini ko'rsatadi (5.100-rasm)

$Fo_d = \text{const}$ egri chiziqlar $k = f(x)$ funkstiyani xarakterlaydi.

To'g'ri geometrik shaklli jism va cheksiz oqim uchun (5.200) tenglamaning umumiy echimi ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$E = \frac{x - x_m}{x_0 - x_m} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp(-\mu_n^2 Fo_d) \quad (5.211)$$

bu erda $A = f(Bi_d, \mu_n)$ - jism shakli, chegaraviy va boshlang'ich shartlariga bog'liqbo'lgan jism funkstiyasi: μ_n - xarakteristik tenglamalar ildizlari.



5.100-rasm. Issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini echishga oid $F_{od}=\text{const}$ va $F_o=\text{const}$ chiziqlari.

Kapillyar-g'ovakli jismda massa o'tkazuvchanlik bo'yicha ma'lumotlar bo'lsa, (5.211) tenglamadan i - intervalda quritish vaqtini aniqlash mumkin

(bu erda $k_i = \text{const}$):

$$\tau_i = \sum_{j=1}^n \frac{\ln \prod_{i=1}^3 \frac{\beta_{j,i}}{E_i}}{k_i \sum_{j=1}^n \frac{\mu_j^2}{R_j^2}} \quad (5.212)$$

bu erda $\mu_{j,i}$ va $\beta_{j,i}$ - 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 quritgichlarda - materialni quritish vaqti yoki fazalar o'zaro ta'sir uchun zarur yuza aniqlanadi.

Umumiy holatda davriy jarayonlar uchun umumiy quritish vaqti quyidagi tenglamadan hisoblanadi:

$$\tau_{ym} = \tau_1 + \tau_2 \quad (5.213)$$

bu erda τ_1 - birinchi davrda quritish davomiyligi, soat; τ_2 - ikkinchi davrda quritish davomiyligi, soat.

τ_1 ning qiymati massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan aniqlanadi:

$$\tau_1 = \frac{W}{\beta_x \cdot F \cdot \Delta x_{yp}} \quad \text{yoki} \quad \tau_1 = \frac{W}{\beta_p \cdot F \cdot \Delta P_{yp}} \quad (5.214)$$

bu erda x_{ur} - jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi.

$$\Delta x_{yp} = \frac{\Delta x_{\delta} - \Delta x_{ox}}{2,3 \lg \frac{\Delta x_{\delta}}{\Delta x_{ox}}} \quad \text{yoki} \quad \Delta P_{yp} = \frac{\Delta P_{\delta} - \Delta P_{ox}}{2,3 \lg \frac{\Delta P_{\delta}}{\Delta P_{ox}}}$$

bu erda $\Delta x_b = (x_{tuy} - x_b)$ - quritish jarayonidagi to'yingan havo nam saqlashi va ishchi nam saqlashlarning boshlang'ich farqi, kg/kg quruqhavo; $\Delta x_{ox} = (x_{tuy} - x_{ox})$ jarayon oxiridagi nam saqlashlar farqi, kg/kg quruqhavo; $\Delta R_b = (R_{tuy} - R_{\delta})$ quritish jarayonidagi to'yingan havo parstial bosimi va ishchi parstial bosimlarning farqi; $\Delta R_{ox} = (R_{tuy} - R_{ox})$ - jarayon oxiridagi parstial bosimlar farqi.

Quritish jarayonining birinchi davri uchun kinetik qonun massa berish tenglamasi bilan ifodalanishi mumkin:

$$W = \beta_x F (x_{myü} - x) \cdot \tau; \quad W = \beta_p F (p_{myü} - p) \cdot \tau \quad (5.215)$$

bu erda W - bug'latilgan suyuqlik miqdori, kg; F - fazalar o'zaro ta'sir yuzasi, m^2 ; x_{tuy} - material tashqi yuza temperaturasidagi to'yingan havo nam saqlashi, kg/kg quruqhavo; x - havoning haqiqiy nam saqlashi, kg/kg quruqhavo; β - massa berish koeffitsienti, $kg/(m^2 \cdot \text{soat} \cdot Pa)$; r_{tuy} - material yuzasi atrofidagi to'yingan havo suv bug'larining bosimi, Pa; r - havodagi suv bug'ining parstial bosimi, Pa.

Quritish jarayonining birinchi davrida massa berish koeffitsientini hisoblash uchun quyidagi tahminiy formuladan foydalanish mumkin:

$$Nu = 2 + A Re^n \cdot Pr_{\mathcal{A}}^{0,33} \cdot Gu^{0,133} \quad (5.216)$$

bu erda $Gu = (T_s - T_m)/T_c$ - Guxman kriteriysi; T_s - muhit temperaturasi, K; T_m - material tashqi yuzasining temperaturasi, K. Formuladagi konstanta A va daraja ko'rsatkichi n Reynolds kriteriysiga bog'liq, ya'ni

Re	A	n

200...25000	0,385	0,57
25000...70000	0,102	0,73
70000...315000	0,025	0,9

Nu, **Re** va **Pr** kriteriylaridagi parametrlar gaz oqimining o'rtacha temperaturasida hisoblanadi.

Quritish jarayoni ikkinchi davrining davomiyligini hisoblash uchun Shervud - Likov tahminiy 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:

$$-\frac{dW}{Fd\tau} = K(x - x_m) \quad (5.217)$$

bu erda **K** - quritish tezligi koeffitsienti; **x** - materialning shu ondagi namligi, kg/kg quruqhavo; **x_m** - materialning muvozanat namligi, kg/kg quruqhavo.

Lekin, quritish tezligining **x_{kr}** va **x_{ox}** oralikdagi o'zgarishi to'g'ri chiziqli qonunga bo'ysinmaydi. Shuning uchun, (5.217) tenglama 40...60% xatolik beradi.

Moddiy balans tenglamasini hisobga olsak:

$$dW = Gdx = KF(x - x_m) \cdot d\tau$$

bu erda **G** - quritilayotgan material massasi, kg.

Matematik o'zgartirishlardan so'ng ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$2,3 \lg \frac{x_{kp} - x_m}{x_{ox} - x_m} = \frac{KF}{G} \tau \quad (5.218)$$

Oxirgi tenglamadan ikkinchi davrdagi quritish jarayoni davomiyligini aniqlash mumkin:

$$\tau_2 = \frac{G}{KF} 2,3 \lg \frac{x_{kp} - x_m}{x_{ox} - x_m} \quad (5.219)$$

Agar quritish jarayoni uzluksiz bo'lsa, birinchi va ikkinchi davrlarni o'tkazish uchun zarur bo'lgan fazalar to'qnashish yuzasini ushbu tenglamadan topamiz:

$$F_{ym} = F_1 + F_2 \quad (5.220)$$

bu erda **F₁** - birinchi davrdagi gaz va materiallar o'zaro ta'sir yuzasi, m²; **F₂** - ikkinchi davrdagi fazalar to'qnashish yuzasi, m².

W/τ ni **W_τ** orqali belgilab, (5.213) va (5.214) tenglamalardan **F₁** ni topamiz:

$$F_1 = \frac{W_\tau}{\beta_p \cdot \Delta P_{yp}} = \frac{W_\tau}{\beta_x \cdot \Delta x_{yp}} \quad (5.221)$$

G/τ ni **G_τ** deb belgilab, (5.219) tenglamadan ushbu ko'rinishni olamiz:

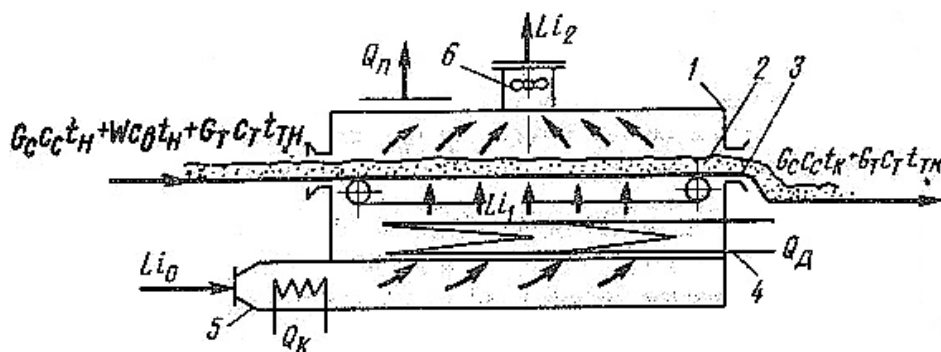
$$F_2 = \frac{G_\tau}{K} 2,3 \lg \frac{x_{kp} - x_m}{x_\phi - x_m} \quad (5.222)$$

Shunday qilib, quritish jarayoni tezligini oshiruvchi omillarga quyidagilar kiradi:

- jarayon temperaturasini ko'tarish;
- quritilayotgan material ustidagi bo'shliqda bosimni pasaytirish;
- issiqlik eltkich nam saqlashini kamaytirish;
- material ustidagi issiqlik eltkich tezligini oshirish;
- jarayon davomida materialni aralashtirish.

5.44. Quritkichning moddiy va issiqlik balanslari

Konvektiv quritish qurilmasi quritkich, transport moslamasi, ventilyator va kaloriferdan tarkib topgan deb faraz qilaylik (5.101-rasm).



5.101-rasm. Konvektiv quritkich shemasi.

1 - quritkich; 2 - nam material; 3 - lentali transporter; 4 - qo'shimcha kalorifer; 5 - asosiy kalorifer; 6 - ventilyator.

Quritishga uzatilayotgan nam materialning massaviy sarfini G_b (kg/soat), quritilgan material massaviy sarfini G_{ox} (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:

$$G_{\phi} = G_{ox} + W \quad \text{yoki} \quad W = G_{\phi} - G_{ox} \quad (5.223)$$

Quruqmoddalar bo'yicha moddiy balansni quyidagi yozish mumkin:

$$G_{\phi} = (100 - W_1) = G_{ox} (100 - W_2) \quad (5.224)$$

yoki

$$G_{ox} = G_{\phi} \frac{100 - W_1}{100 - W_2} \quad (5.225)$$

Bug'latilgan namlik miqdori esa, ushbu tenglamadan hisoblab aniqlanadi:

$$W = G_{\phi} \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} \quad (5.226)$$

Quritkichga uzatilayotgan gaz yoki absolyut quruqhavo miqdorini L (kg/soat), boshlang'ich nam saqlashini x_1 va oxirgisini x_2 deb belgilab olamiz.

Unda, namlik bo'yicha moddiy balans:

$$W + Lx_1 = Lx_2 \quad (5.227)$$

bundan quruqhavo sarfi:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1} \quad (5.228)$$

Havoning solishtirma sarfi (1 kg namlikni bug'latish uchun ketayotgan sarf) esa,

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1}{x_2 - x_1} \quad (5.229)$$

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_c bo'lgan konveyerda joylashgan. Quritkichga L (kg/soat) miqdorda absolyut quruqhavo uzatilmoqda. Kaloriferda isitilayotgan havoga Q_k (kJ/soat) miqdorda issiqlik uzatilsa, qurilmada esa unga qo'shimcha Q_d (kJ/soat) issiqlik beriladi.

Quritish jarayonida qatnashayotgan material, issiqlik eltich va moslamalar parametrlarini quyidagicha belgilab olamiz:

G_c - quritilayotgan material massasi, kg/soat;
 s_s - quritilgan material solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(k·K);
 s_T - transport moslamasining solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K);
 t_n - materialning quritishgacha bo'lgan temperaturasi, °S;
 s_v - suvning solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K);
 t_k - materialning quritilgandan keyincha temperaturasi, °S;
 t_n, t_{uk} - transport moslamasining quritkichga kirishdan avvalgi va undan chiqqandan keyingi temperaturalar, °S;
 I_0 - quritkichga kirayotgan havoning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;
 I_1 - kaloriferda isitilayotgan havoning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;
 I_2 - quritkichdan chikayotgan havoning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;
 Q_p - atrof muhitga issiqlikning yo'qotilishi, kJ/kg.

Jarayonning issiqlik balans tenglamasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$LI_0 + Q_k + Q_n + G_c c_c t_n + W c_s t_n + G_T c_T t_{m_k} = LI_2 + G_c c_c t_k + G_T c_T t_{m_k} + Q_n \quad (5.230)$$

Ushbu tenglamadan quritish uchun kerakli issiqlik sarfini aniqlash mumkin:

$$Q = Q_k + Q_n = L \cdot (I_2 - I_0) + G_c c_c (t_k - t_n) + G_T c_T (t_{m_k} - t_{m_n}) - W c_s t_n + Q_n \quad (5.231)$$

Agar, hamma issiqlik sarflarini bug'latilayotgan 1 kg namlikka nisbatan olib, tegishli belgilashlarni amalga oshirsak, (5.231) tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$q = q_k + q_n = l \cdot (I_2 - I_0) + q_m + q_T + q_n - c_s t_n \quad (5.232)$$

Ushbu tenglamadan kaloriferdagi solishtirma issiqlik sarfini topamiz:

$$q_k = l \cdot (I_2 - I_0) + q_m + q_T + q_n - q_n - c_s t_n \quad \text{yoki} \quad q_k = l \cdot (I_2 - I_0) \quad (5.233)$$

Olingan q_k qiymatini (5.232) tenglamaga qo'yib, quyidagi ko'rinishga erishamiz:

$$l \cdot (I_1 - I_0) + q_n = l \cdot (I_2 - I_0) + q_m + q_T + q_n - c_s t_n$$

yoki

$$l \cdot (I_1 - I_0) = q_n + c_s t_n - q_m - q_T - q_n \quad (5.234)$$

Agar, $q_p = 0$ bo'lsa

$$l \cdot (I_2 - I_0) = c_s t_n - q_m - q_T - q_n$$

(5.234) tenglamaning o'ng tomonini

$$(q_n + c_s t_n) - (q_m + q_T + q_n) = \Delta \quad (5.234a)$$

deb belgilasak, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$l(I_2 - I_1) = \Delta$$

yoki

$$I_2 = I_1 + \frac{\Delta}{l} \quad (5.235)$$

Agar, (5.229) tenglamani inobatga olsak, ushbu tenglamaga erishamiz:

$$\frac{I_2 - I_1}{x_2 - x_1} = \Delta \quad (5.236)$$

oraliq, biror ondagi qiymatlar uchun esa:

$$\frac{I - I_1}{x - x_1} = \Delta \quad (5.237)$$

(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 funktsiyasi 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 $I \neq 0$ va (5.235) tenglamadan nazariy quritish uchun $I_1 = I_2$ ekanligini aniqlaymiz. Shunday qilib, $I - x$ diagrammada jarayon $I = \text{const}$ 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 ($q_D + c_v t_n > q_m + q_T + q_n$) 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, $q_D + c_v t_n = q_m + q_T + q_n$

Kontaktli quritkichda namlikni bug'latishi uchun zarur issiqlik fazalarni ajratib turuvchi devor orqali uzatiladi. Ushbu quritish jarayonida issiqlik eltich sifatida to'yingan suv bug'i ishlatiladi.

Uzatilayotgan issiqlik materialni quritish temperaturasigacha isitish va undan namlikni yo'qotish uchun sarflanadi, ya'ni $Q_{um} = Q_n + Q_s$.

Materialni isitish uchun issiqlik sarfi

$$Q_n = D_n (I'' - I') = G_c c_c (t_{ce} + t_K) + W c_e (t_{ch} - t_n) + Q_n \quad (5.238)$$

Quritish uchun zarur issiqlik sarfi

$$Q_c = D_c (I'' - I') = G_c c_c (t_{ck} + t_{ch}) + W (I_e - c_e t_{ch}) + Q_n \quad (5.239)$$

Bug'ning umumiy sarfi

$$D_{ym} = \frac{Q_{ym}}{I'' - I'} \quad (5.240)$$

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

($\varphi = \text{const}$, $t_2 = \text{const}$ yoki $x = \text{const}$) nuqtalar bo'yicha $I - x$ diagrammada quritish jarayonining ishchi chizig'i o'tkaziladi. Topilgan nuqta bo'yicha issiqlik eltich - 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 **AV** bilan ifodalanadi. Nuqta **V** ga izoterma t_1 to'g'ri keladi.

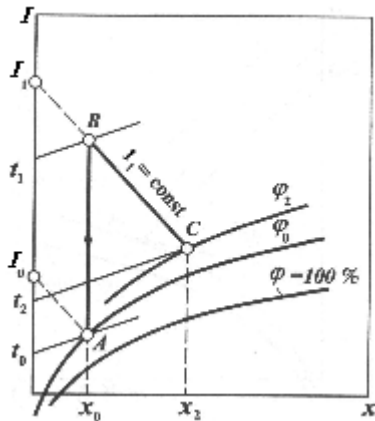
Quritish jarayonida havo holatining o'zgarishini quyidagi tenglama yordamida aniqlaymiz:

$$1 \cdot (I_1 - I_2) = \Delta \quad (5.241)$$

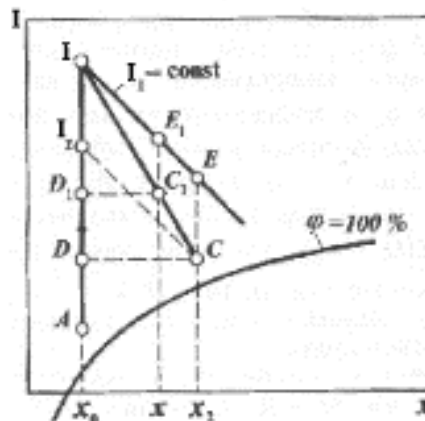
bu erda Δ -issiqlikning solishtirma sarfi.

Agar quritkichga qo'shimcha issiqlik uzatilmasa $Q_{qo'sh}=0$, unda

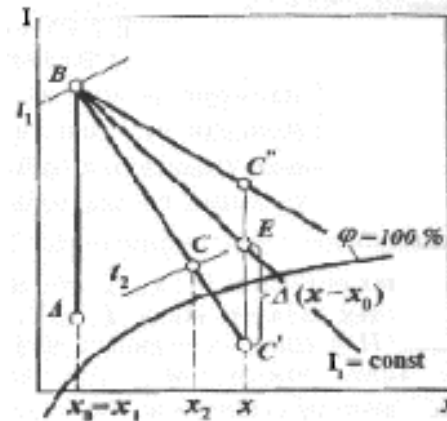
$$q_M + q_T + q_{yo'q} > q_W$$



5.102-rasm. I-x diagramada nazariy quritish jarayo-nining grafik tasviri.



5.103-rasm. Quritish jarayoni-ning ishchi chizig'ini I-x diagrammada tasvirlash.



5.103a-rasm. I-x diagramada quritish chizig'ini aniqlash.

ya'ni $\Delta > 0$. Quritkichdan chiqib ketayotgan issiqhavoning entalpiyasi unga kirayotgandan kichik ($I_2 < I_1$).

Agar quritkichga qo'shimcha issiqlik $Q_{qo'sh}$ uzatilsa, unda

$$q_M + q_T + q_{yo'q} < q_{qo'sh} + q_W$$

ya'ni $\Delta < 0$. Quritkichdan chiqib ketayotgan havoning entalpiyasi ortib boradi ($I_2 > I_1$).

Lekin, shunday quritish sharoitlarini tashkil etish mumkinki, unda

$$q_M + q_T + q_{yo'q} = q_{qo'sh} + q_W$$

ya'ni $\Delta = 0$ va $I_1 = I_2 = \text{const}$.

Quritkichda havo entalpiyasi o'zgarmasdan kechadigan jarayon nazariy quritish deb nomlanadi. I-x diagrammada nazariy quritish jaryoni V nuqtadan $I = \text{const}$ 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 (5.102-rasm). Nuqta S ning absstissasi ishlatib bo'lingan issiqhavo nam saqlashi x_2 ni ko'rsatadi.

Agar, x_2 va x_0 ma'lum bo'lsa, havoning solishtirma sarfi I , uning sarfi $L=I \cdot W$ va kaloriferda o'zatilayotgan 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, $\Delta \neq 0$ bo'lgan hollarda S nuqta $I=\text{const}$ 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 VS ni topamiz. Kuritgichga ko'shimcha issiqlik uzatilganda ($\Delta > 0$), haqiqiy kuritgichning chizig'i V nuqtadan boshlanib, $I_1=\text{const}$ chizig'ining yuqorisidan o'tadi (5.103-rasm). Haqiqiy kuritgich chizig'ini topish uchun VS kesmada ixtiyoriy S_1 nuqtani tanlaymiz va vertikal, gorizontaal chiziqlar o'tkazib D , D_1 va E , E_1 nuqtalarni topamiz. VS_1E_1 va VSE , hamda VD_1S_1 va VDS 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 $SE = I_1 - I_2$ 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, S_1 nuqtaning koordinatlarining x va I deb belgilab olsak, unda tegishli kesmalar quyidagi ko'rinishni oladi:

$$S_1E_1 = I_1 - I \quad \text{va} \quad C_1D_1 = x - x_0$$

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

$$I_1 - I = \Delta(x_2 - x_0)$$

Demak, VS 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.

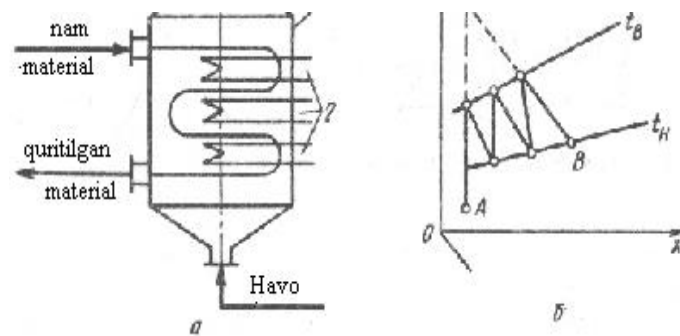
Agar, $\Delta < 0$ bo'lsa, ya'ni quritgichda issiqlikning yo'qotilishi mavjud bo'lsa, haqiqiy quritgichning chizig'ini tuzish avvalgi misoldan (ya'ni $\Delta > 0$ bo'lgandagidan) farqqilmaydi (5.103a-rasm). Quritish chizig'i VS'' kesma bilan ifodalanadi.

5.45. Quritish jarayonini tashkil etish usullari

Kimyo, oziq- ovqat va boshqa sanoatlarda havo qizdirilishi va bir marta quritish kamerasidan o'tishi kabi eng sodd quritish jarayonidan tashqari boshqa usullar yordamida ham jarayonni tashkil etish mumkin. Sanoat

miqyosida quyidagi usullar qo'llaniladi: havoni ko'p marta oraliqsitish yo'li bilan quritish, ishlatilgan havoni qisman restirkulyastiya qilish yo'li bilan quritish, ishlatilgan havodan ko'p marta foydalanish yo'li bilan quritish.

Havoni ko'p marta oraliqsitish yo'li bilan quritish sxemasi 5.104-rasmda keltirilgan.



5.104-rasm. Havoni ko'p marta oraliqsitish yo'li bilan quritish shemasi (a)

va jarayonning I - x diagrammadagi (b) tasviri.

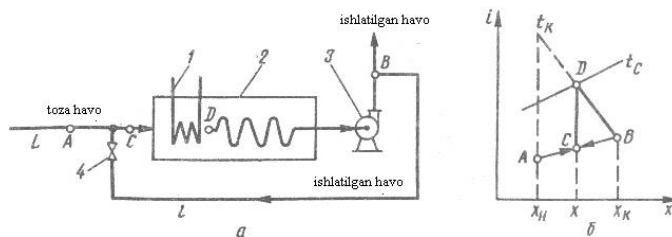
1 - quritish kamerasi; 2 - kalorifer.

Odatda, bu usulda havoning yuqori t_v va quyi t_n temperaturalarini qabul qilinadi. Dastavval havo t_v temperaturagacha qizdiriladi va undan so'ng nam material bilan o'zaro ta'sirda bo'lib, t_n temperaturagacha soviydi. Keyin, kaloriferda havo yana t_k temperaturagacha qizdiriladi va yana material bilan o'zaro ta'sirda bo'lib t_n temperaturagacha soviydi va h. Bu holda havoning oxirgi temperaturasi V nuqta orqali aniqlanadi.

Quritishning bu usulida nam materialni nisbatan past temperaturali issiqhavo yordamida quritish imkoni bor. 5.104b-rasmdagi punktir chiziqlardan ko'rinib turibdiki, agar issiqlik eltkich kameralar oralg'ida qo'shimcha qizdirilmaganda, havoni t_k temperatura (S nuqta) gacha qizdirish zarur bo'lar edi.

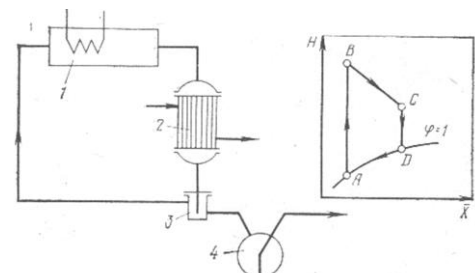
Bu usulda yuqori temperaturalariga chidamli materiallar quritiladi.

Ishlatilgan havoni qisman restirkulyastiya qilish yo'li bilan quritish sxemasi 5.105-rasmda ko'rsatilgan. Diagrammada Anuqtani ifodalovchi parametrlari issiqhavo, ishlatib bo'lingan havo (AS va VS chiziqlar) bilan aralashadi va kaloriferda t_k temperaturagacha qizdiriladi. Undan keyin, qizdirilgan havo nam material bilan o'zaro ta'sir ettiriladi. Nam havoning so'nggi parametrlarini V nuqta xarakterlaydi.



5.105-rasm. Ishlatilgan havoni qisman recirkulyatsiya qiladigan quritkich shemasi (a) va jarayonni i - x diagrammada tasvirlash (b).

1 - kalorifer; 2 - quritish kamerasi;
3 - ventilyator.



5.106-rasm. Ishlatilgan gazdan ko'p marta foydalanish usulida quritish shemasi.

1 - quritkich; 2 - kondensator-sovutkich; 3 - suv ajratgich;
4 - yig'gich.

Oddiy quritish usuliga nisbatan bu usul pastroqtemperaturalarda, ya'ni t_k o'rniga t_s da va gaz oqimining yuqori tezliklarida o'tkaziladi.

Yuqorida qayd etilgan havoning parametrlari va uning quritgichdagi tezligi aralashish karraligi $n = l/L$ ga bog'liq. Stirkulyatsiyali va stirkulyatsiyasiz quritish usullari va havo holatining o'zgarish oraligi bir xil bo'lganda, issiqlik sarfi ham bir xil bo'ladi.

Ishlatilgan gaz ko'p marta foydalanish usulida quritish sxemasi 5.106-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 yopiqstirkulyatsiyali bo'ladi.

Suv bug`lari bilan to`yingan gaz kaloriferda qizdiriladi (**AV** kesma). Natijada uning nisbiy namligi pasayadi va quritish qobiliyati ortadi. Undan keyin, gaz va material o`zaro ta`sirda bo`ladi (**VS** kesma) va namlik bilan to`yinadi. So`ng esa, namlangan gaz shudring nuqtasigacha (**SD** kesma) sovutiladi. Lekin, namlangan gaz tarkibidagi bir qism namlik kondensastiyalanadi (**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 koeffistienti va birinchi davrda quritish tezligining ortishiga olib keladi.

Yuqorida qayd etilgan quritish usullari kerakli miqdordagi issiqlikni uzatish va mayin quritish rejimlarini ta`minlaydi.

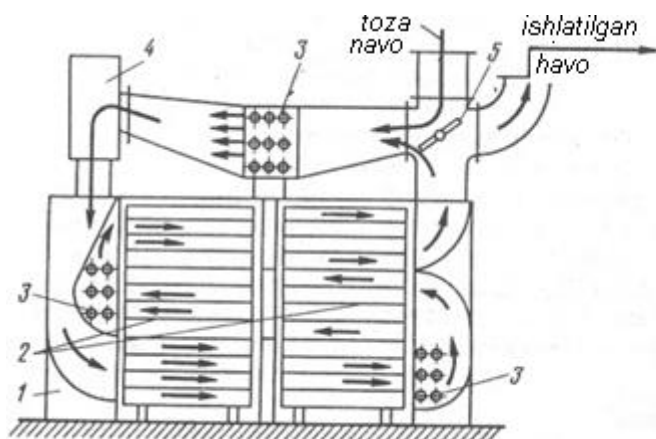
Shuni alohida ta`kidlash kerakki, u yoki bu quritish usuli jarayonni tezlashtirishi yoki sekinlashtirishi, uni o`tkazish sharoitiga ta`sir etishi mumkin. Lekin, issiqlik sarfiga salmoqli ta`sir etmaydi, chunki u qurituvchi gazning boshlang`ich va oxirgi parametrlari bilan aniqlanadi.

5.46. Quritkichlar konstruktsiyalari

Kimyo, oziq- ovqat va boshqa sanoatlarda qo`llaniladigan quritkichlar konstruktsiyalari 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 klassifikastiya qilish juda qiyin.

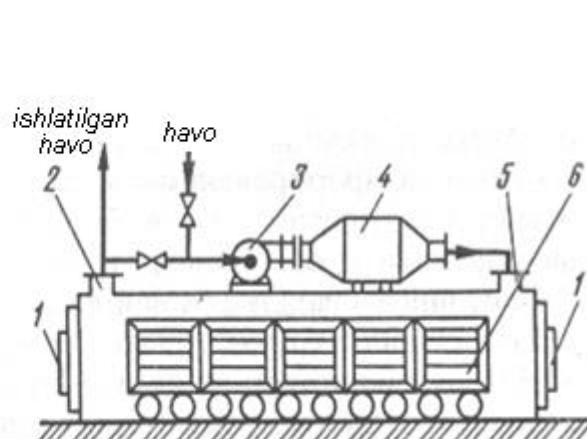
Shuning uchun, quyida issiqlikni uzatish va quritilayotgan material qatlamining holatiga qarab guruhlariga ajratilgan quritkichlar konstruktsiyalarini ko`rib chiqamiz.

Halqxo`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.



5.107-rasm. Kameraliquritkich.

1 - qobiq; 2 - vagonetka;
3 - kalorifer; 4 - ventilyator; 5 - shiber.



5.108-rasm. Tunnelliquritkich.

1-eshikchalar; 2-gazohod; 3- ventilyator; 4-kalorifer; 5- qobiq;
6-materialli aravacha.

Kamerali quritkichlar konvektiv qurilmalar ichida eng sodda tuzilgan va qobiq1 ichida vagonetka 2 lar joylashgan bo`ladi.

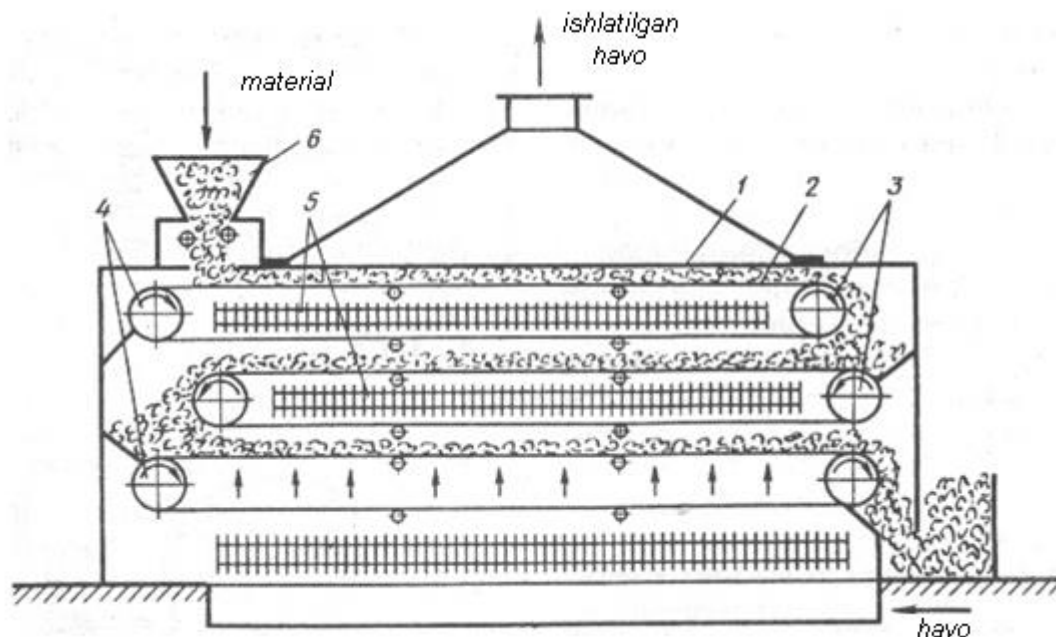
Vagonetkalar tokchalarida nam material joylashtiriladi. Havo kaloriferda qizdirilib, ventilyator yordamida haydaladi va material ustidan yoki ichidan o`tib namlikni bug`latadi. Ishlatib bo`lingan havoning bir

qismi yangi havo bilan aralashtiriladi. Bu turdagi quritkichlar, odatda atmosfera bosimida ishlaydi. Ular kichik korxonalarda mayin 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 (5.108-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 eltich kaloriferda qizdirilib, ventilyator yordamida qurilmaga uzatiladi.

Bu turdagi quritkichlarda issiqlik eltich qisman restirkulyastiya qilinadi. Nam material va issiqlik eltich parallel yoki qarama – qarshi yo'nalishli bo'lishi mumkin. Ko'pincha kalorifer va ventilyator 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 uzoqmuddatda davom etadi va bir tekisda emas.

Lentali quritkichlar uzluksiz ishlaydigan quritkichlar qatoriga kiradi (5.109-rasm).



5.109-rasm. Lentaliquritkich.

- 1 - qobiq; 2 - lentalikonveyer; 3 - etaklovchibarabanlar;
4 - etaklanuvchi barabanlar; 5 - kalorifer; 6 - yuklovchi

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 etganda, material pastki konveyerga to'kiladi. Eng pastki konveyerdan, quritilgan material chiqarish bunkeriga to'kiladi.

Quritilaetgan 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 eltich o'zaro kesishgan yo'nalishda harakatlanadi.

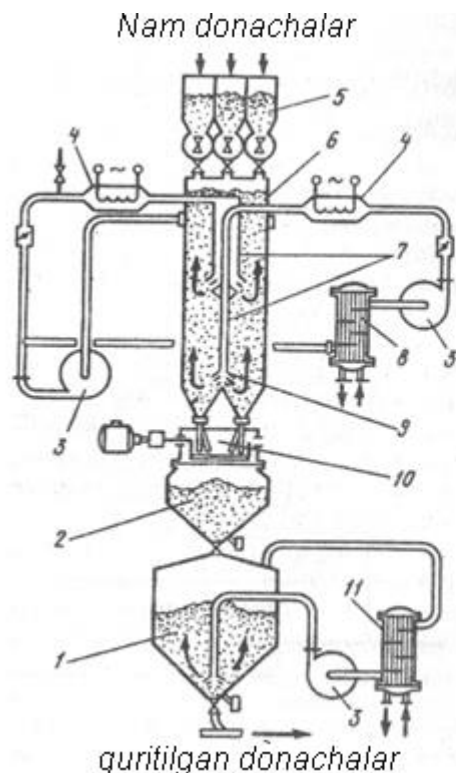
Shu bilan birga, parallel va qarama - qarshi yo'nalishli quritkichlar ham ishlab chiqariladi. Bunday quritkichlarda issiqlik eltich qisman restirkulyastiya qilinishi mumkin.

Havoni restirkulyastiya va oraliqqizdirilishi 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.

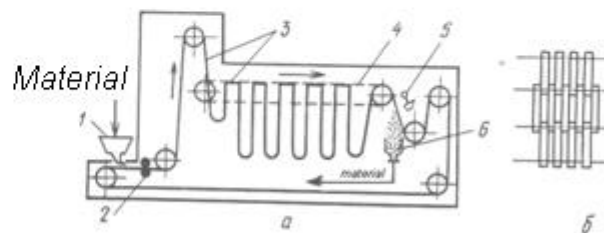
Quritkichning asosiy kamchiliklari: qo'pol, ko'p joy egallaydi, ta'mirlash va ekspluatatsiya qilish murakkab, ish unumdorligi kichik va issiqlik sarfi katta.

Shaxtali quritkichlar donador, sochiluvchan materiallarni quritish uchun ishlatiladi (5.110-rasm). Issiqlik eltichni uzatish uchun quritkichning o'qi bo'ylab trubalar o'rnatilgan.



5.110-rasm. Sochiluvchan, donadormateriallarniquritish uchun shaxtali quritkich.

1 - bunker - sovutkich; 2 - oraliq bunker; 3 - gazoduvka; 4 - kalorifer; 5 - bunker; 6 - shahta; 7 - issiqlik eltgichni uzatish trubalari; 8 - kondensator-sovutkich; 9 - jalyuzlar; 10 - qadoqlagich; 11 - sovutkich.



5.111-rasm. Sirtmoqliquritkich (a) va to'rlilentaelementi (b).

1 - nammaterialta'minlagich; 2 - isitiladiganjuvalar; 3 - cheksizto'rlilenta; 4 - zanjirli konveyer; 5 - tayanchli mexanizm; 6 - shnekli bunker.

Trubalarning ikkinchi uchida issiqlik eltichini bir xilda taqsimlash uchun jalyuzlar o'rnatilgan. Issiqlik eltichini uzatish va stirkulyastiya 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 eltich dastavval shu zonadagi kondensatorda qisman quritiladi. Quritkichning tepa qismida ikkila 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.

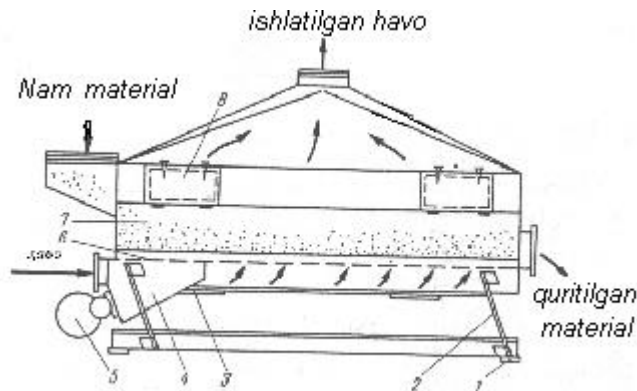
Sirtmoqli quritkichlar pastasimon materiallarni uzluksiz quritishga mo'ljallangan qurilmalardir (5.111-rasm).

Sirtmoqli quritkichlarda material 5...20 mm li qatlamda, ikki tomonidan issiqhavo bilan isitiladigan juvalar qizdirilishi natijasida (masalan, qog'oz) quritiladi. Bu qurilmada kamerali quritkichga qaraganda jarayon tezligi yuqori. Quritkich kamchiliklari: konstrukstiyasi murakkab va ekspluatation 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 konstentrastiya maydonlari bir tekisda bo'ladi.

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 (5.112-rasm).



5.112-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.

Quritkich uzatmasi mayatnikli yuritkich - tebratgichdan iborat. Qatlam orqali o'tayotgan gaz oqimi va past chastotali tebranmalarining bir vaqtda ta'siri natijasida tebranma mavhum qaynash qatlami hosil bo'ladi. Bunday qatlamda massa va issiqlik almashinish juda yuqori bo'ladi.

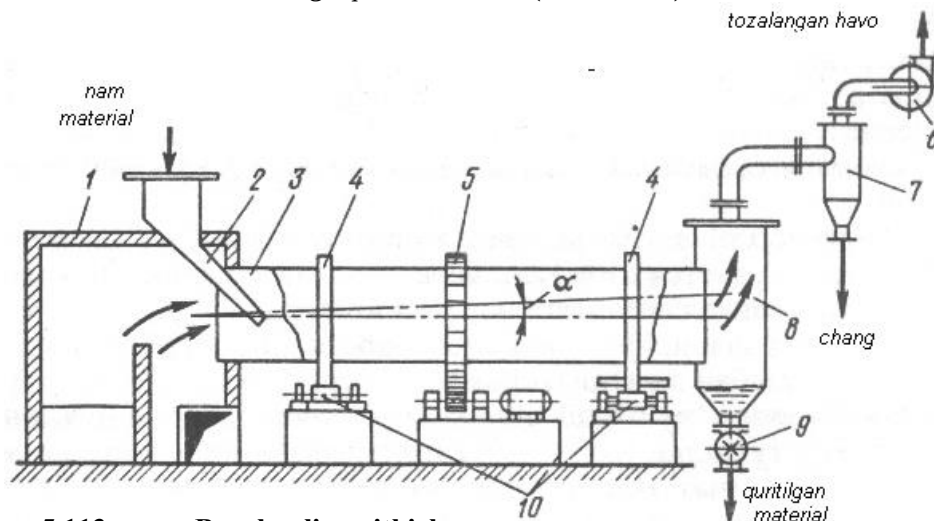
Barabanli quritkichlar uzluksiz ishlaydigan qurilmalar qatoriga kiradi va atmosfera bosimida donador, sochiluvchan materiallarni (mineral tuz, fosforit, qand lavlagi turpi, bug'doy, shakar va h.) quritish uchun qo'llaniladi. Issiqlik eltich sifatida havo yoki tutun gazlari xizmat qiladi.

Barabanli quritkichlar ichi bo'sh stilindrik iborat bo'lib, ufqga nisbatan kichik qiyalik burchagida o'rnatilgan bo'ladi (5.113-rasm).

Baraban bandaj va roliklarga tayanib turadi. Uning aylanishi elektr yuritkich va reduktor, hamda tishli g'ildirak yordamida amalga oshiriladi. Barabanning aylanish chastotasi $5...8 \text{ min}^{-1}$ 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 stilindrik barabanning butun uzunligi bo'ylab joylashtiriladi. Baraban ichida material issiqlik eltich bilan o'zaro ta'sirda bo'lib quritiladi.

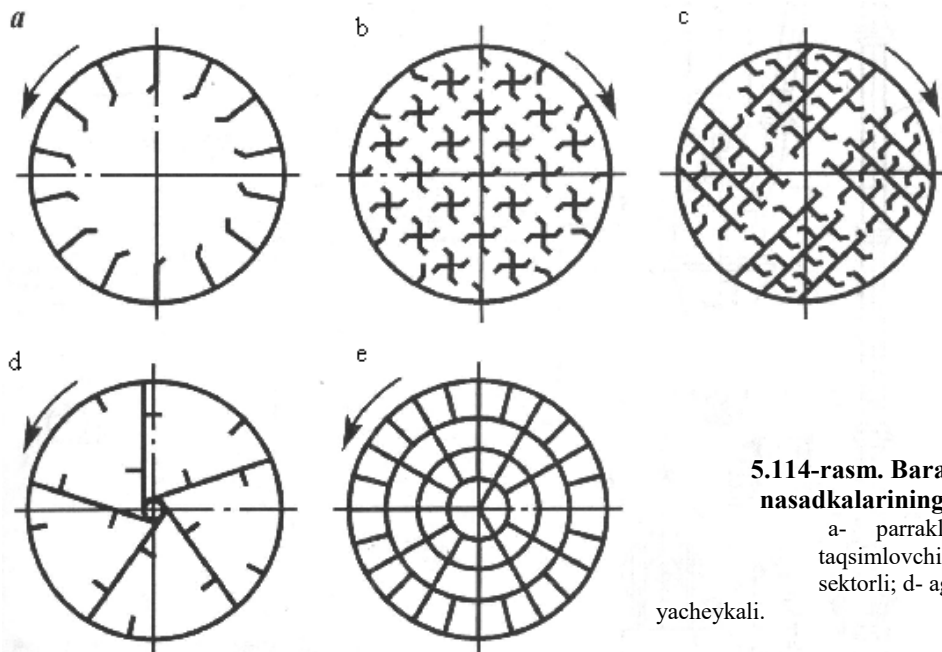
Material va qurituvchi eltich bilan o'zaro ta'sir samarasini oshirish uchun turli xildagi nasadkalar mavjud.

Nasadkalar nam materialni bir tekisda tarqatadi va uni issiqlik eltich bilan yuvilib turishini yaxshilaydi. Nasadka turi material xossalariga qarab tanlanadi (5.114-rasm).



5.113-rasm. Barabanli quritkich.

- 1 - o'thona; 2 - bunker; 3 - baraban; 4 - bandaj; 5 - tishli g'ildirak;
6 - ventilyator; 7 - siklon; 8 - to'kish bunkeri; 9 - shlyuzli ta'minlagich; 10 -
tayanch roliklar.



5.114-rasm. Barabanli quritkich nasadkalarining asosiy turlari.

a- parrakli; b,v- hajmiy tipidagi, taqsimlovchi; g – ag'daruvchi, sektorli; d- ag'daruvchi, yopiq

yacheykali.

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.

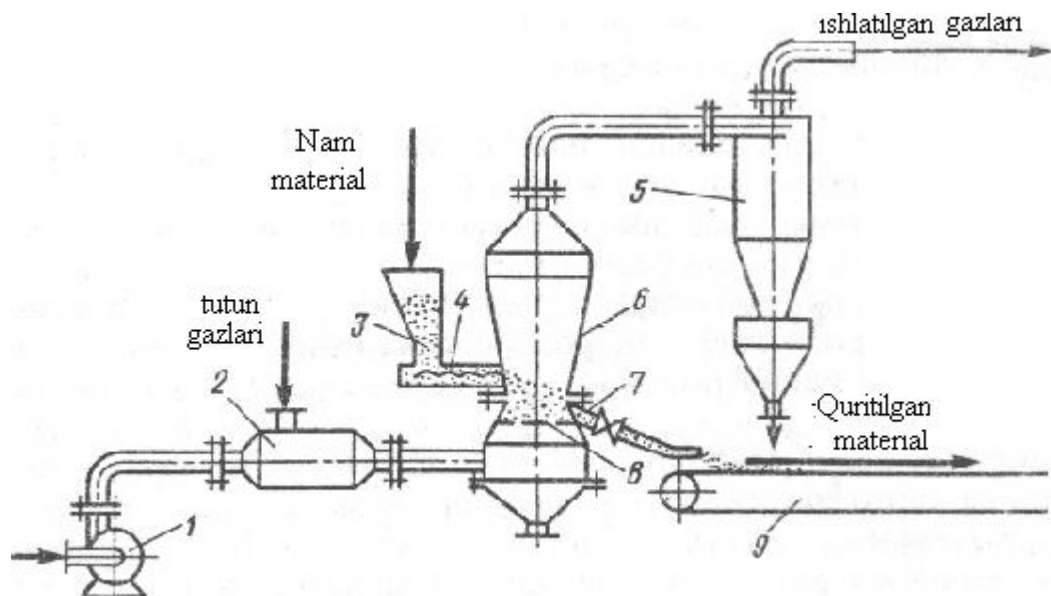
Issiqlik eltich va material parallel va qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanishi mumkin. Parallel yo'nalishli quritkichlarda material o'ta qizib ketish oldini olish mumkin, chunki issiqlik eltich yuqori namlikka ega material bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. Quritilayotgan material tarkibidagi kukunsimon fraktsiya uchib ketmasligi uchun ventilyator haydayotgan issiqlik eltich tezligi 2...3 m/s dan oshmasligi kerak. Ishlatilgan gaz atmosferaga chiqarib yuborishdan avval stiklonda 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 gerbistid, zaharli dorilar, ba'zi bir polimerlarni ishlab chiqarish, hamda medistina, oziq- ovqat, kimyo va farmastevtika 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 gorizonta, bir yoki bir necha sekstiyali qilib yasaladi. Uzluksiz ishlaydigan, bir sekstiyali mavhum qaynash qatlamli quritkich 5.115-rasmda keltirilgan.



5.115-rasm. Bir sekciyalı mavhum qaynash qatlamli quritkich.

1 - ventilyator; 2 - kalorifer; 3 - bunker; 4 - shnek; 5 - ciklon; 6 - quritkich;

7 - to'kish patrulkasi; 8 - gaz taqsimlovchi teshikli panjara; 9 - konveyer.

Nam material uzluksiz ravishda quritkichga uzatiladi. Kaloriferda qizdirilgan issiqlik eltich ventilyator yordamida gaz taqsimlovchi teshikli panjara ostiga haydaladi. Quritish jarayoni ushbu panjara yaqinidagi zonada yuz beradi. Quritilgan material to'kish patrulkasi orqali chiqariladi. Ishlatib bo'lingan gaz stiklonda tozalanib, quritkichdan atmosferaga chiqazib yuboriladi.

Mavhum qaynash qatlamli quritkich kamchiliklari: materialni quritish bir tekisda emas. Bu kamchilikni bartaraf qilish uchun ko'p sektsiyali yoki o'zgaruvchan ko'ndalang kesimli quritkichlardan foydalaniladi.

Ushbu turdagi qurilmalarda material qurishi bir tekisda bo'ladi. Konussimon quritkichlarda tartibli stirkulyastiya 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.

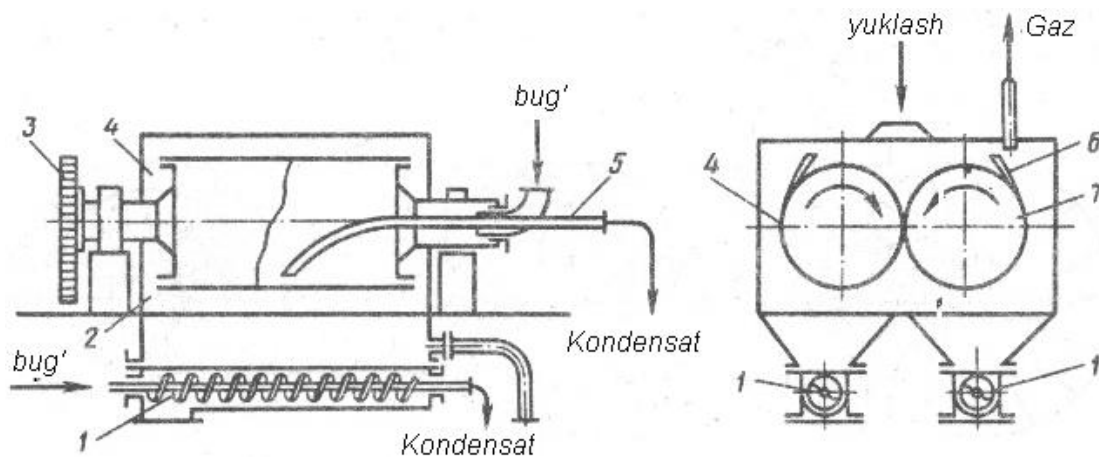
Hozirgi kunda mavhum qaynash qatlamli quritkichlar kimyoviy texnologiyada mineral va organik tuzlar, yopishib qolishga moyil, masalan sulfat ammoniy, polivinilxlorid, polietilen va boshqa polimerlarni, hamda pastasimon materiallar (pigment, anilinli bo'yovchi moddalar), eritmalar, suspenziyalarni quritish uchun ishlatiladi.

Juvali quritgichlar suyuqva pastasimon materiallarni atmosfera bosimi yoki vakuum ostida quritish uchun mo'ljallangan (5.116-rasm).

Juva bir - biriga qarab $2...10 \text{ min}^{-1}$ chastota bilan aylanadi. Ichi bo'sh juvaga stapfa orqali isituvchi bug' yuboriladi va issiqligini berib kondensatga aylanadi. Juvalar issiqsuv 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 $0,5...1,0 \text{ mm}$ bo'ladi. Materialning kirishi yupqa qatlamda, juvaning to'liq aylanishida sodir bo'ladi.

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 pichoqyordamida juvadan kesib olinadi.

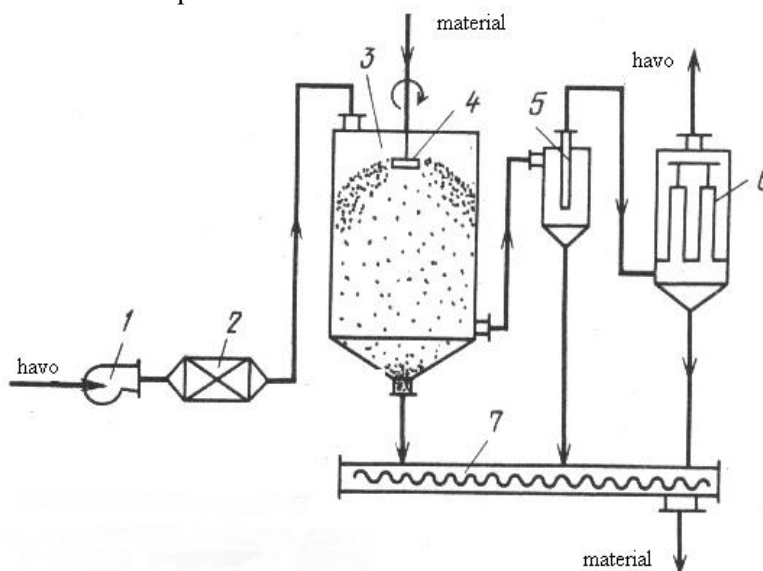


5.116-rasm. Juvali quritkich.

1 - shnekli nov-quritkich; 2 - qobiq; 3-uzatma; 4 - etaklovchi juva;
5 - sifon trubkasi; 6 - pichoq; 7 - etaklanuvchi juva.

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 eltich oqimida quritiladi (5.117-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 eltichlarni qo'llash mumkin.



5.117-rasm. Purkovchi quritkich.

1 - ventilyator; 2 - kalorifer; 3 - quritish kamerasi; 4 - disk;
5 - siklon; 6 - engli filtr; 7 - quritilgan materialni to'kuvchi shnek.

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 $4000...20000 \text{ min}^{-1}$ 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 eltichlarni ham qo'llash mumkin.

Kamchiliklari: issiqlik eltich 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 eltich tezligi nisbatan kichik, chunki katta tezliklarda mayda zarrachalar uchib ketadi.

Sublimatsiyali quritkichlar. Turli materiallardagi muz agregat holatidagi namligini vakuum ostida

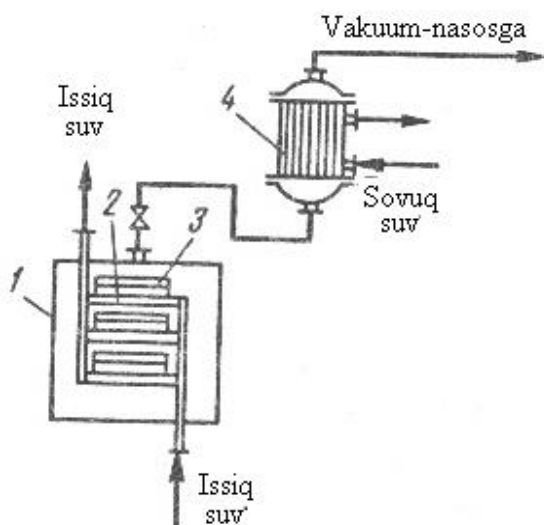
bug'ga (suyuqagregat holatidan sakrab) aylantirib suvsizlantirish jarayoni sublimatsiyali quritish deb

nomlanadi. Sublimatsiyali quritish yuqori vakuum, qoldiqbosim 133,3...13,3 Pa (1,0...0,1 mm sim.ust.)

bo'lgan oralik 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-muzlatgich va vakuum nasosdan tarkib topgan (5.118-rasm.)



5.118-rasm. Sublimatsiyali quritkich

1 - quritish kamerasi; 2 - plita; 3 – tunuka tova; 4 - kondensator-muzlatkich.

Plita ichida issiqsuv nasos yordamida stirkulyastiyali harakat qiladi. Quritilayotgan material tunuka tovalarda plita ustiga joylashtiriladi. Plita va tovalar orasida ma'lum havoli bo'shliqbo'ladi. Plitalardan tovalarga issiqlik nurlanish usuli (radiatsiya) hisobiga o'tadi.

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 stirkulyastiyali harakat qiladi. Qurilma trubalarida suv bug'lari avval kondensastiyalanadi, undan so'ng esa - muzlaydi. Sublimatsiyali quritkichlarda 2 ta kondensator-muzlatkich bo'ladi. Ular navbatma-navbat ishlaydi, ya'ni bittasida kondensastiya 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) qoldiqnamlik materialdan issiqlik yordamida yo'qotiladi.

Sublimatsiyali quritish oz miqdorda past temperaturali (40...50°S) 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 uzoqmuddat davomida saqlanib turishi kerak bo'lgan materiallarni (go'sht, meva, sabzavot, medistina va farmastevtika mahsulotlari) quritish uchun ishlatiladi.

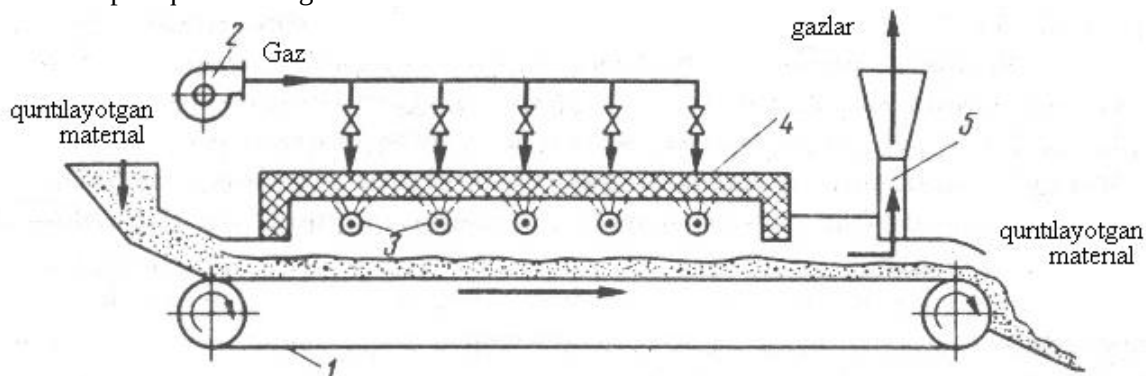
Energiya sarfi bo'yicha sublimatsiyali quritish, atmosfera bosimida quritishga yaqinroqturadi.

Termoradiastiyali 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 farqqiladi. 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'proqissiqlik to'g'ri keladi. Natijada, jarayon intensivlashadi. Masalan, yupqa qatlamli materiallarni infraqizil nurlar yordamida quritish davomiyligi 30...100 martagacha qisqaradi.

Gaz bilan isitiladigan radiastiyali quritkich tuzilishi 5.119-rasmda keltirilgan. Bunday quritkichlar

tuzilishi sodda va lampali quritkichlarga nisbatan arzon.



5.119-rasm. Radiatsiyali quritgich.

1-konveyer; 2-gazoduvka; 3-gaz gorelkasi; 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.

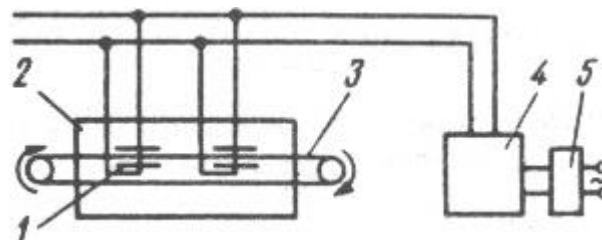
Namlikning termodiffuzion oqimi material sirtidan namlik diffuziyaga halaqit bermasligi, hamda termoradiatsiyali quritish jarayonini intensivlash uchun quritkich osstillyastiyali rejimda ishlashi kerak.

Termoradiatsiyali quritkich tuzilishi ixcham, yupqa qatlamli materiallarni quritishda yuqori samara beradi. Lekin, uning energiya sarfi nisbatan kup, 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 (5.120-rasm).

C
hastot
asi 50
Gst li
o'zga
ruvch
an tok
to'g'r
ilagic
h
orqali



5.120-rasm. Yuqori chastotali quritkich.

1-kondensator plastinkasi; 2-quritish kamerasi; 3-lentali konveyer;
4-lampali, yuqori chastotali generator; 5-to'g'rilagich.

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 yunalishi o'zgaradi. Dipol molekulalar aylanma harakatlansa, elektr zaryadlar siljishi tufayli qutbsiz molekulalar qutblanadi.

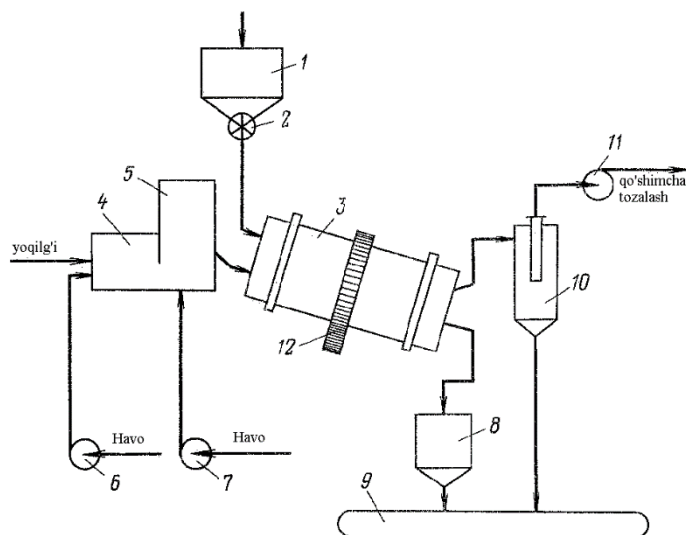
Yuqorida qayd etilgan hodisalar oqibatida materialda issiqlik ajrab chiqadi va u qiziydi. Elektr maydon kuchlanishini o'zgartirib quritish tezligini rostlash mumkin.

Bu usulda namlik va temperatura gradientlarning yo'nalishi bir xil bo'ladi. Natijada, namlikning diffuziyasi tezlashadi. Shuning uchun bu quritish usuli tezligi, konvektiv quritish tezligidan ancha katta.

Dielektrik quritish jarayonini o'tkazish 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. Quritgichlarni hisoblash



5.121-rasm. Barabanli quritgichning prinsipial sxemasi.

1 - bunker; 2 - ta'minlagich; 3 - qurituvchi baraban; 4 - o'thona;
5 - aralashtirish kamerasi; 6,7,11 - ventilyatorlar; 8 - oraliq bunker;
9 - transporter; 10 - siklon; 12 - tishli uzatma

Bu qurilmalar atmosfera bosimda uzluksiz ravishda turli sochiluvchan va donasimon materiallarni tutunli gazlar yoki issiqhavo bilan quritish uchun ishlatiladi. Ular stilindsimon 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 quritgichlar uzunligi L va tashqi diametri D bo'yicha tanlanadi.

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 ventilyatorlar 6 va 7 yordamida beriladi (5.121- rasm).

Quritilgan material barabanning boshqa tomonidan bunker 8 ga tushadi va undan transporter 9 ga o'tadi.

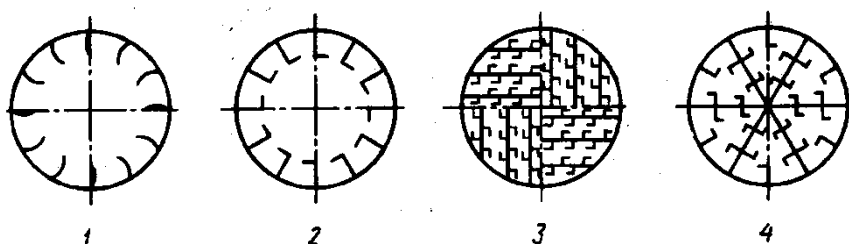
Ishlatilgan gazlar atmosferaga chiqarib yuborishdan avval mayda zarrachalardan stiklon 10 da tozalanadi va kerak bo'lsa yana qo'shimcha tozalaniladi.

Qurituvchi eltkich baraban orqali ventilyator 11 yordamida uzatiladi. Uzatilish davrida uncha katta bo'lmagan siyraklanish hosil bo'ladi va bu esa qurituvchi agentning barabanli quritgich teshiklari orqali yuqotilishiga 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 xossalriga qarab, xar-xil nasadkalardan foydalaniladi. Katta bo'lakli va yopishib qolish xususiyatiga ega bo'lgan materiallarni quritishda ko'taruvchi parrakli nasadkalar, yomon sochiluvchan va katta 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 (5.122-rasm).

I. Quritish qurilmasining hisobi



5.122-rasm. Barabanli quritgich nasadkalarining turlari va ularning to'ldirilish ko'efficientlari β .

1 - ko'taruvchi - parrakli, $\beta = 12\%$; 2 - ko'taruvchi avvalgidек, $\beta = 14\%$;
3 - taqsimlovchi, $\beta = 20,6\%$; 4 - taqsimlovchi, yopiq yacheykali, $\beta = 27,5\%$.

1. Qurilmaning quritilgan modda bo'yicha unumdorligi:

$$G = 10 \text{ t/soat}$$

2. Material zarrachalarining o'lchamlari (NaCl):

$$d = 2,0-1,5 \text{ mm} \quad - 25\%$$

$$d = 1,5-1,0 \text{ mm} \quad - 75\%$$

3. Materialning namligi (NaCl):

$$\text{boshlang'ich} \quad w_1 = 6,0\%$$

$$\text{oxirgi} \quad w_2 = 0,2\%$$

4. Boku shahri uchun nam havoning parametrlari

	yanvar	iyul
temperatura	$t = +3,4^\circ S$	$t = +25,3^\circ S$

nisbiy namlik	$\phi_0 = 82\%$	$\phi_0 = 65\%$

5. Issiqhavoning temperaturasi

$$\text{barabanga kirishda} \quad - t = 160^\circ C$$

$$\text{barabandan chiqishda} \quad - t = 60^\circ C$$

1. Moddiy balans

Moddiy balans tenglamasidan quritish davomida bug'latilgan namlik W miqdorini aniqlaymiz.

$$W = G_k \cdot \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1}$$

$$G_2 = 10 \text{ m/coam} = \frac{10 \cdot 1000}{3600} = 2,778 \text{ kg/c}$$

$$W = 2,778 \cdot \frac{6 - 0,2}{100 - 6} = 0,171 \text{ kg/c}$$

II. Quritishga sarflangan havo va issiqlikni aniqlash

Quritkichning ichki issiqlik balansini yozamiz:

a) Qish fasli uchun:

$$\Delta = c \cdot \theta_1 + q_k - (q_{mp} + q_m + q_u)$$

Bu erda:

s - suvning issiqlik sig'imi, $s = 4190 \text{ kJ/kg} \cdot K$;

q_k - qo'shimcha ichki kalorifer bergan issiqlik miqdori, $q_k = 0$;

q_{tr} - transport qurilmalari bilan kirgan issiqlik miqdori, $q_{tr} = 0$;

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,

$$q_m = G_k \cdot c_m \cdot (\theta_2 - \theta_1) / W$$

θ_2 - moddaning quritgichdan chiqishdagi temperaturasi qurituvchi agent nam havoning ho'l termometr temperaturasi teng deb olamiz.

$$\theta_2 = t_x = 42^\circ S$$

Ramzinning $I - x$ diagrammasidan aniqlanadi.

s_m - materialning issiqlik sig'imi [6]:

$$c_m = \frac{c_{Na} + c_{Cl}}{M_{(NaCl)}}$$

$$Na = 26,0 \text{ kJ/kg} \cdot K; \quad Cl = 26,0 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

$$s_m = (26 + 26) / 56 = 0,88 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

$$q_m = 2,778 \cdot 0,88 \cdot (42 - 3,4) / 0,171 = 551,83 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

$$\Delta = 4,19 \cdot 3,14 - 551,83 - 22,6 = -560,185 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

Quritish jarayoniga sarflangan solishtirma havo va issiqlik sarflarini aniqlash uchun $I - x$ diagrammada quritish jarayoni ifodalanadi (5.123-rasm).

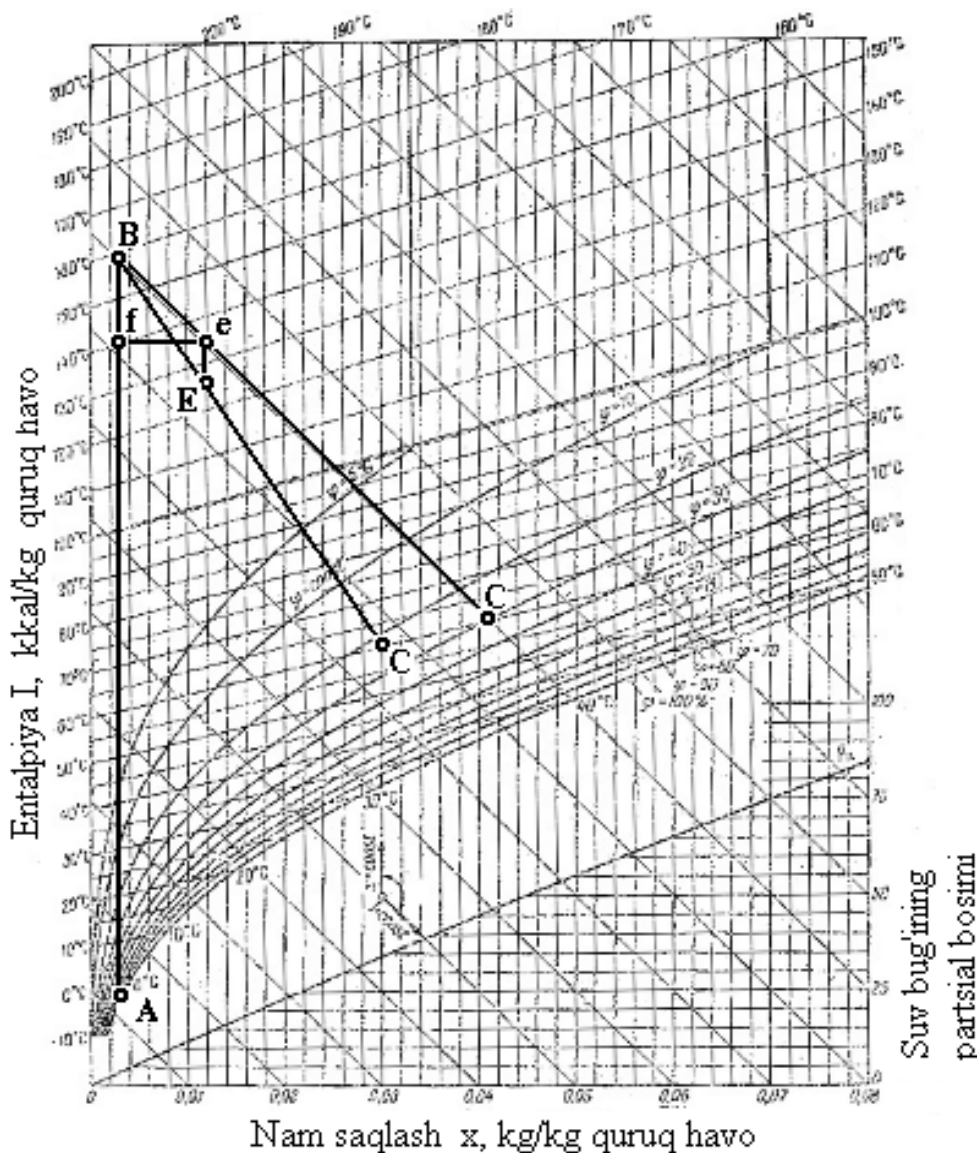
Boku shaxri uchun havoning o'rtacha temperaturasi va nisbiy namligi aniqlanadi

a) Qish fasli uchun $t_o = +3,4^\circ\text{S}$ va $\phi_o = 82\%$.

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 chiziqo'tkazib, berilgan quritish temperaturasi bilan kesishgan "V" nuqtani topamiz. Bu nuqta kaloriferda isitilgan va quritgichga kirayotgan havoning parametrlari $x_1 = x_o$, t_1 , I_1 - larni ko'rsatadi. AV chiziqhavoni 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 perpendikulyar tushiriladi va hosil bo'lgan "f" deb belgilaymiz. So'ng ef kesmaning uzunligi o'lchanadi - $ef = 2,4 \text{ sm} = 24 \text{ mm}$. Nihoyat, quritishning ideal jarayondan farqi eE kesmaning uzunligi hisoblanadi.

$$eE = ef \cdot \frac{\Delta}{M} = 24 \cdot \frac{(-560,185)}{1250} = 10,75 \text{ mm}$$

bu erda $M = 1250$ - $I - x$ diagramma masshtabi.



5.123- rasm. Nam havoning $I - x$ diagrammasi

Diagrammada eE kesmani "e" nuqtadan pastga $x = \text{const}$ chiziq bo'yicha o'tkazamiz, chunki $\Delta < 0$. "V" nuqtadan "E" nuqta orqali to'g'ri chiziqo'tkazib, berilgan $t_2 = 60^\circ\text{S}$ chizig'i bilan kesishguncha davom ettiramiz. Kesishgan nuqtani "S" deb belgilaymiz va bu nuqta quritish qurilmasidan chiqayotgan havoning parametrlari x_2 , t_2 , I_2 , ϕ_2 ni ko'rsatadi:

$x_2 = 0,029 \text{ kg/kg}$ va $I_2 = 136 \text{ kJ/kg}$ ($I - x$ diagrammadan topiladi).

Qish faslida quritish jarayoniga ketgan solishtirma havo sarfi:

$$x_o = x_1 = 0,003 \text{ kg/kg} \quad l = \frac{I}{x_2 - x_o} = \frac{I}{0,029 - 0,003} = 38,46 \text{ kg/kg}$$

Havoning umumiy sarfi

$$h = l \cdot W = 38,46 \cdot 0,171 = 6,58 \text{ kg/c}$$

Sarflangan solishtirma issiqlik miqdori esa:

$$I_o = 11 \text{ kJ/kg} \quad q = \frac{I_2 - I_o}{x_2 - x_o} = \frac{136 - 11}{0,029 - 0,003} = 4707,69 \text{ kJ/kg}$$

va umumiy issiqlik sarfi:

$$Q = q \cdot W = 4707,69 \cdot 0,171 = 803,91 \text{ kVt}$$

Kaloriferdagi issiqlik sarfi:

$$q_k = \frac{I_1 - I_o}{x_2 - x_o} = \frac{169 - 11}{0,029 - 0,003} = 6076,9 \text{ kJ/kg}$$

$I_1 = 169 \text{ kJ/kg}$ - $I - x$ diagrammadan topiladi.

b) Yoz fasli uchun.

$$\begin{aligned} \Delta &= s \cdot \theta_1 + q_k - (q_{tr} + q_m + q_v) \\ s &= 2,95 \cdot 4,19 = 12,36 \text{ kJ/kg} \cdot K \\ q_k &= 0; \quad q_{tr} = 0; \quad q_m = G_2 \cdot c_m \cdot (\theta_2 - \theta_1) / W; \\ \theta_2 &= 42^\circ \text{S} = t_m \text{ (} I - x \text{ diagrammadan)} \\ \theta_1 &= t_o = 25,3^\circ \text{ (Boku shaxri uchun)} \\ q_m &= 2,778 \cdot 0,88 \cdot (42 - 25,3) / 0,171 = 238,746 \text{ kJ/kg} \\ \Delta &= 12,36 \cdot 42 - 238,746 - 23,87 = 257,77 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Nam havo parametrlarini, havoning solishtirma va issiqlik sarfini yoz fasli uchun aniqlaymiz. Buning uchun $I - x$ diagrammada quritish jarayonini ifodalaymiz.

$$ef = 94 \text{ mm}; \quad M = 1250; \quad Ee = ef \cdot \frac{\Delta}{M} = 94 \cdot \frac{257,77}{1250} = 19,5 \text{ mm}$$

So'ng, $I - x$ diagrammadan:

$$\begin{aligned} x_o &= 0,014 \text{ kg/kg}; \quad x_2 = 0,0525 \text{ kg/kg}; \\ I_o &= 55 \text{ kJ/kg}; \quad I_1 = 192 \text{ kJ/kg}; \quad I_2 = 195 \text{ kJ/kg}. \\ l &= \frac{I}{x_2 - x_o} = \frac{I}{0,0525 - 0,014} = 25,98 \text{ kg/kg} \\ L &= l \cdot W = 25,98 \cdot 0,171 = 4,43 \text{ kg/s} \\ q &= \frac{I_2 - I_o}{x_2 - x_o} = \frac{195 - 55}{0,0525 - 0,014} = 3381,64 \text{ kJ/kg} \\ Q &= q \cdot W = 3381,64 \cdot 0,171 = 578,26 \text{ kVt} \\ G_2 &= 10 \text{ m/coam} = \frac{10 \cdot 1000}{3600} = 2,778 \text{ kg/c} \\ q_k &= \frac{I_1 - I_o}{x_2 - x_o} = \frac{192 - 55}{0,0525 - 0,014} = 3309,18 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Yoz va qish fasllari uchun topilgan sarflarni solishtiramiz:

$$\begin{aligned} L_{kish} &= 6,58 \text{ kg/s} > L_{ez} = 4,13 \text{ kg/s} \\ Q_{kish} &= 822,12 \text{ kVt} > Q_{ez} = 578,26 \text{ kVt} \end{aligned}$$

II. Barabanli quritkichning asosiy o'lchamlarini aniqlash

Barabanning hajmini topamiz:

$$V_{\text{gap}} = \frac{W}{A_v} \cdot 3600 = \frac{0,171 \cdot 3600}{7,2} = 85,5 \text{ m}^3$$

bu erda A_v - barabanning namlik bo'yicha kuchlanishi, $A_v = 7,2 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{soat})$ [16,128].

Barabanning hajmi bo'yicha 9.3-jadvaldan barabanning asosiy o'lchamlarini [128], ya'ni N 7208. Ushbu sonli barabanning asosiy parametrlari quyidagicha:

- barabanning ichki diametri, m	2,8
- barabanning uzunligi, m	14
- devorlarining 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 erda V_x - qurituvchi eltkichning barabandan chiqishdagi hajmi sarfi:

$$V_x = L \cdot V_o \cdot \frac{(T_o + t_{yp})}{T_o} \cdot \left(\frac{1}{M_x} + \frac{x_{yp}}{M_c} \right)$$

$$t_{yp} = (t_1 + t_2) / 2 = (160 + 60) / 2 = 110^\circ \text{C}$$

$$x_{yp} = (x_1 + x_2) / 2 = (0,003 + 0,029) / 2 = 0,016 \text{ kg/kg}$$

$$V_x = 6,58 \cdot 22,4 \cdot \frac{273 + 110}{273} \cdot \left(\frac{1}{29} + \frac{0,016}{16} \right) = 7,31 \text{ m}^3/\text{c}$$

$$w_x = 7,31 / (0,785 \cdot 2,8^2) = 1,2 \text{ m/c}$$

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 erda V - quritgichning hajmi, $86,2 \text{ m}^3$; ρ_m - materialning «to'kma» zichligi $\rho_m = 1200 \text{ kg}/\text{m}^3$ [6,16]; β - barabanning to'ldirilish darajasi, ushbu misoldagi nasadka uchun 12% [128].

$$G_m = 86,2 \cdot 0,12 \cdot 1200 = 12412,8 \text{ kg}$$

unda:

$$\tau = \frac{12412,8}{2,778 + 0,171/2} = 4335 \text{ c}$$

Barabanning og'ish burchagini quyidagi formulada aniqlanadi:

$$\alpha' = \left(\frac{30 \cdot l}{d \cdot n \cdot \tau} + 0,007 \cdot w_x \right) \cdot \frac{180}{\pi}$$

bu erda 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.

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:

$$w_3 = \frac{\mu_{yp}}{d \cdot \rho_{yp}} \cdot \left(\frac{Ar}{18 + 0,575 \sqrt{Ar}} \right)$$

bu erda ρ_{ur} - qurituvchi eltkichning zichligi.

$$\rho_{yp} = [M_x \cdot (p_o - p) + M_c \cdot p] \cdot \frac{T}{v_o \cdot p_o \cdot (T + t_{yp})}$$

r - nam havodagi bug`larning parstial bosimi.

$$p = \frac{x/M_c \cdot p_o}{l/M_x + x/M_c}$$

$r_o = 10^5$ Pa , chunki qurilma atmosfera bosimi ostida ishlaydi.
qurilmaga kirishdagi:

$$p_1 = \frac{0,003/18 \cdot 10^5}{1/29 + 0,003/18} = 480,81 \text{ Pa}$$

qurilmadan chiqishidagi:

$$p_2 = \frac{0,029/18 \cdot 10^5}{1/29 + 0,029/18} = 4463,64 \text{ Pa}$$

unda o`rtacha r

$$r = (480,81 + 4463,64) / 2 = 2472 \text{ Pa}$$

va zichlik:

$$\rho_{yp} = [29 \cdot (10^5 - 2472) + 18 \cdot 2472] \cdot \frac{273}{22,4 \cdot 10^5 \cdot [273 + 110]} = 0,91 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Arximed kriteriysini aniqlaymiz:

$$Ar = d^3 \cdot \rho_3 \cdot \rho_{yp} \cdot g / \mu_{yp}^2$$

bu erda ρ_3 - quritilayotgan material zarrachalarining zichligi, $\rho_3 = 2165 \text{ kg/m}^3$ [129]; μ_{ur} - havoning o`rtacha temperaturadagi qovushoqligi, $\mu_{ur} = 0,022 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ [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

$$w_2 = \frac{0,022 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,91} \cdot \left(\frac{3,99 \cdot 10^4}{18 + 0,575 \cdot \sqrt{3,99 \cdot 10^4}} \right) = 7,3 \text{ m/s}$$

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 kattaroqbo`lsa, havo tezligi kamaytiriladi va hisob qaytadan o`tkazilishi kerak.

III. Quritish qurilmasining gidravlik hisobi.

Isshqeltkich quritgich ichida va kanallarda harakat qilganda gidravlik qarshiliklar hosil bo`ladi. Ular ishqalanish ΔR_n , mahalliy $\Delta R_{m.k}$, quritgichning ichidagi ΔR_k , kalorifer qarshiliklardan va chang tozalovchi qurilma qarshiliklaridan hosil topadi:

$$\Delta R = \Delta R_n + \Delta R_{m.k} + \Delta R_k + \Delta R_{kal} + \Delta R_{ch}$$

1) Ishqalanish qarshiliklari tufayli yo`qotilgan bosimni aniqlaymiz:

$$\Delta P_u = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2}$$

λ - ishqalanish qarshiligi koeffisienti, va u xarakat rejimiga bog`liq:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

w - qurituvchi eltkichning trubadagi tezligi, odatda uni 10 - 20 m/s atrofida olish mumkin [5,129]; d - trubaning diametri, sekundli sarf tenglamasidan aniqlaymiz,

$$d = \sqrt{\frac{V_c}{0,785 \cdot w}}$$

V_c - qurituvchi eltkichning sekundli hajmiy sarfi:

$$V_c = \frac{L}{\rho}$$

ρ - havoning zichligi, odatda u atrof muhit temperaturasi olinadi.

$t_o = +3,4^\circ\text{S}$ (Boku shahri uchun qish faslida).

$$\rho = \frac{M \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t)} = \frac{29 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 3,4)} = 1,28 \text{ kg/m}^3$$

va unda
$$V = \frac{6,58}{1,28} = 5,14 \text{ m}^2/\text{s}$$

Trubaning diametri:

$$d = \sqrt{\frac{5,14}{0,785 \cdot 20}} = 0,570 \text{ m}$$

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]:

$$\lambda = 0,11 \cdot (e + 68/Re)^{0,25}$$

$$e = \frac{\Delta}{d}; \quad \Delta = 0,08; \quad e = 0,0002$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \sqrt[4]{0,0002 + 68/858353} = 0,0142$$

Bu erda l - trubaning uzunligi. Ventilyator joylashishiga qarab olinadi, bizning misol uchun $l = 2 \text{ m}$ deb hisoblaymiz (5.121-rasm).

$$\Delta P_u = 0,0142 \cdot \frac{2}{0,57} \cdot \frac{20^2 \cdot 1,28}{2} = 12,78 \text{ Pa}$$

2) Mahalliy qarshiliklarni engishda yo'qotilgan bosim:

$$\Delta P_{m,k} = \sum \xi \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2}$$

Bu erda $\sum \xi$ - mahalliy qarshilik koeffitsientlarini 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 ventill	$\xi = 5,5$
ikkita bo'lgani uchun	$5,5 \cdot 2 = 11$

$$\Delta P_{m,k} = (0,5 + 1 + 1,1 + 11) \cdot \frac{20^2 \cdot 1,28}{2} = 3481,6 \text{ Pa}$$

Chang tozalagich sifatida stiklon olsak:

$$\Delta P_y = \xi \cdot w_{\text{ex}}^2 \cdot \rho / 2;$$

$$\rho = \frac{M \cdot 273}{22,4 \cdot (T + t)} = \frac{29 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 60)} = 1,1 \text{ kg/m}^3$$

$\xi = 6$ stiklon ATI uchun [127],

$$\Delta P_y = 6 \cdot 20^2 \cdot 1,1 / 2 = 1320 \text{ Pa}$$

Quritish barabanining qarshiligi $\Delta R_b = 100 \text{ Pa}$ [19] va kaloriferning qarshiligi $\Delta R_k = 200 \text{ Pa}$ [19,128].

$$\Delta R = 12,76 + 3481,6 + 200 + 100 + 1320 = 5798,36 \text{ Pa}$$

IV. Ventilyatorni tanlash

Ventilyator asosan ikki parametr: havoning hajmiy sarfi va nabori orqali tanlanadi:

$$V_c = \frac{h_{max}}{\rho} = \frac{6,58}{1,28} = 5,14 \text{ m}^3/\text{c}$$

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \frac{5498,36}{1,28 \cdot 9,8} = 439,87 \text{ m}$$

Bu parametrlar orqali [127] yoki ilovadagi 15 jadvaldan [5] gazoduvka TV - 450 - 1,08 ni tanlaymiz, u $V = 5,86 \text{ m}^3/\text{c}$ va $\Delta R = 6000 \text{ Pa}$ ga to'g'ri keladi.

Gazoduvkaning **AO2-82-2** markali elektr yuritkichi $N = 55 \text{ kVt}$ quvvatga ega.

V. Kolorifer hisobi

Nam havoni isitish uchun ko'pincha bug' bilan ishlaydigan plastinali koloriferlar ishlatiladi. Koloriferni tanlash uchun isitish yuzasini aniqlash kerak:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{yp}}$$

bu erda Q - havoni isitishga sarflangan issiqlik miqdori:

$$Q = h_{max} \cdot c_x \cdot (t_1 - t_o);$$

bu erda s_x - havoning issiqlik sig'imi, $s_x = 0,241 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ [25]; $t_1 = 160^\circ\text{C}$; $t_2 = 3,4^\circ\text{C}$.

$$Q = 6,58 \cdot 0,24 \cdot (160 - 3,4) = 248,3 \text{ kJ/s},$$

bu erda k - bug'dan havoga issiqlik o'tkazish koeffitsienti $k = 40 \text{ Wt/(m}^2 \cdot \text{K)}$; Δt_y - o'rtacha temperaturalar farqi. Bug'ning temperaturasi t_1 (160°) dan 20° balandroqolamiz [5, 127].

Bug' kondensatga aylanganda uning temperaturasi o'zgarmaydi.

$$\begin{array}{ccc} 3,4^\circ & \xrightarrow{\text{bug'}} & 160^\circ \\ & & 180^\circ \xrightarrow{\text{havo}} 180^\circ \end{array}$$

$$\Delta t_{ka} = 180 - 3,4 = 176,6^\circ\text{C} \quad \Delta t_{ka} = \frac{176,6}{20} = 8,83 > 2$$

$$\Delta t_{ku} = 180 - 160 = 20^\circ\text{C} \quad \Delta t_{ku}$$

va

$$\Delta t_{yp} = \frac{\Delta t_{ka} - \Delta t_{ku}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{ka}}{\Delta t_{ku}}} = \frac{176,6 - 20}{2,3 \cdot \lg 8,83} = \frac{156,6}{2,3 \cdot 0,946} = 71,2^\circ\text{C}$$

$$F = \frac{248,3 \cdot 10^3}{40 \cdot 71,2} = 87,2 \text{ m}^2$$

Ushbu yuza bo'yicha KFS - 11 kolorifer tanlaymiz va undan ikki dona olishimiz kerak [127].

KFS - 11 ning xarakteristiklari:

- issiqlik almashinish yuzasi	- $F = 54,6 \text{ m}^2$
- massasi	- $m = 244,45 \text{ kg}$
- balandligi	- $h = 1160 \text{ mm}$
- eni	- $l = 960 \text{ mm}$
- ko'ndalang kesim yuzasi, m^2 :	
havo bo'yicha	- $0,638 \text{ m}^2$
isitgich bug' bo'yicha	- $0,0122 \text{ m}^2$

VI. Quritkichning mexanik hisobi.

Baraban devorlarining qalinligi

$$\delta = 0,007 \cdot D_{bar} = 0,007 \cdot 2814 = 19 \text{ mm}$$

Barabanning aylanish tezligi.

$$n = (m \cdot k \cdot L_{bar}) / (\tau \cdot D_{bar} \cdot t_d \cdot \alpha)$$

m - nasadkaning turiga bog'liq koeffitsient: $m = 0,5$; $k = 0,5 - 2,0$ [127,128]

$$(0,5 \cdot 2 \cdot 14) / (4335 \cdot 2,814 \cdot \lg 24,4) = 0,05 \text{ ayl/c}$$

Odatda, qumni quritishda $n = 3,8 \text{ ayl/min}$ qabul qilinadi

Barabanni aylantirishga sarflangan quvvat:

$$N = 0,078 \cdot D_{\text{bar}} \cdot L_{\text{bar}} \cdot \rho \cdot \sigma \cdot n$$

σ - quvvat koeffitsienti, nasadka turiga va barabanning to'ralik koeffitsientiga bog'liq $\sigma = 0,071$ [85,127].

$$N = 0,078 \cdot 2,814^3 \cdot 14 \cdot 1200 \cdot 0,071 \cdot 3 = 6,22 \text{ kVt}$$

6-bob. BIOKIMYOVIY JARAYONLAR

■

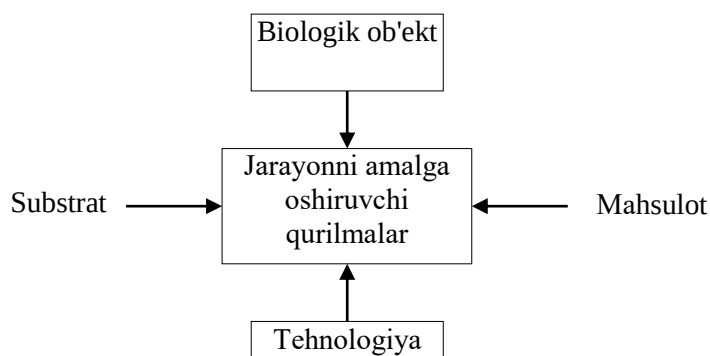
6.1. Umumiy tushunchalar

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 aniqlaniladi.

Hozirgi zamonda ko'proq diqqat e'tibor tirik organizmlarning hayot-faoliyatiga suyanib olib boriladigan sanoat jarayonlariga qaratilmoqda va ular **biotexnologik jarayonlar** deb ataladi. Biotexnologiyaning g'urkirab 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 ke-lajakda iqtisodiy va ekologik manfaatdorlikka olib keladi.

Biotexnologiyaning keng ma'nodagi umumiy tushunchasi deganda texnologik jarayonlarda mikroor-ganizmlardan, mikroblar hujayralari va to'qimalaridan foydalangan holda, biokimyo, molekulyar biologiya va amaliy fanlarni, integrastiyalagan 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 biotexnologiya-dir yoki uni mikroblar sintezining biotexnologiyasi deb ham yuritiladi. Mikroblar sintezi bio-technologiyasining rivojlanishi birinchidan ayrim mahsulotlarga bo'lgan talab hisoblansa, ikkinchidan ja-rayonda qo'llaniladigan xom – ashyoning bisyorligi va to'plangan chiqindilarni utilizastiya qilishning ikti-sodiy samaradorligidir (6.2-rasm).

Mikrobiologik biotexnologiyaning asosiy vazifalaridan biri yuqori tabaqadagi optimal sharoitda mikroor-ganizm populyastiyalarini 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. Eonuniyatlarni 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. Mikroblar 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 x.).

3. Mikroorganizmlar fermentini va ularning komponentlarini qo`llash orqali o`zgarish natijasida biokimyoviy mahsulotlar olishda (6-aminopenistillin kislotalari va x.).

4. Keraksiz komponentlardan tozalangan muhit olishda (tozalangan oqava suvlar, parafinsizlashtirilgan neft va boshqalar).

5. Rudalardan 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 mikroorganizmlar hujayralarida sintezlangan metabolit mahsulotlarni olishga yo`naltiriladi. Mikroorganizm hujayralarida metabolit mahsulotlar 2 xil ko`rinishda uchraydi: ayrim mikroorganizmlarda metabolizm mahsuloti uning hujayralarida 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 metabolizm mahsulotlari hujayralarida sintezlanib massa almashinish jarayoni hisobiga u o`sayotgan muhitga chiqadi. Biomassa qancha ko`paysa, metabolit mahsulot miqdori ham shuncha ko`p bo`ladi.

Mikrobiologik sintezdan, odatda juda muhim mahsulotlar olishda foydalaniladi, chunki bunday mahsulotlarni biokimyoviy 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 xom-ashyosini 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 qilinganligi ham fermentatorda begona mikroorganizmlarning o`sishiga sabab bo`ladi. Shuning uchun fermentatorga va ishchi ozuqa muhitiga juda ehtiyotkorlik bilan yondoshish 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 buzulganligidan 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 oʻstiradigan ozuqa muhiti sterilizastiyalanadi.

Fermentatorlar 2 xil ish prinsipiga ega: davriy va uzluksiz fermentatorlar. Jarayon tugagach sintezlangan mahsulotni ajratib olish uchun, fermentatorlarning ish prinsipidan katʼiy nazar, mikroblar oʻstirilgan suyuq muhit filtrlanadi. Filtrlangan suyuqlikka separatorda ishlov beriladi, va ekstrakstiyalanadi, aralashma bugʻlatiladi va quritish usullaridan mos boʻlgani tanlanib, quritiladi. Xoʻllaniladigan quritish usullari xilma-xildir va ulardan eng keng tarqalgani: purkash, sublimastiyalash, vakuum ostida va mavhum qaynash qatlamida quritish jarayonlaridir.

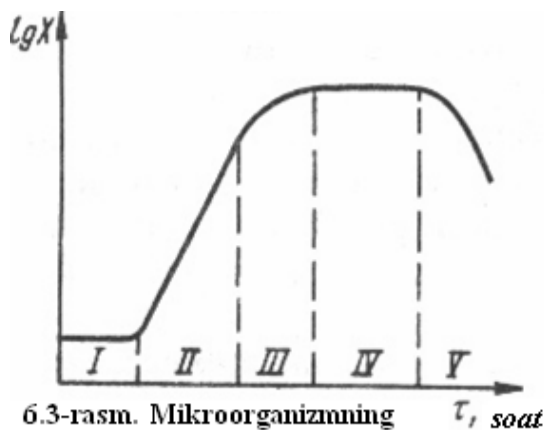
6.2. Fermentatsiya jarayoni kinetikasi

Sanoatdagi qoʻllaniladigan koʻpchilik mikroorganizmlar geterotroflardir, yaʼni ular oʻzlarining hayot faoliyoti uchun uglerodning organik manbalaridan foydalanadilar.

Mikroorganizmlar oʻzlarining hayoti jarayonida oʻz hujayralaridagi murakkab tuzilmalarni jalb qilgan holda, turli xil vazifalarni amalga oshiradilar.

Hujayra devori, stitoplazmatik membrana, stitoplazma va uning kiritmalari, hamda yadrodan iborat.

Hujayra mikroorganizmlarning hayoti davomida ham miqdor, ham sifat oʻzgarishlarini oʻz boshidan kechiradi: oʻsadi, kimyoviy tarkibi, morfologiyasi oʻzgaradi, koʻpayadi, spora hosil qiladi va nihoyat oʻladi.



6.3-rasm. Mikroorganizmning oʻziga hos oʻsish egri chizigʻi.

Mikroorganizmlarning oʻsishini koʻrsatuvchi anʼanaviy egri chiziq 6.3-rasmda keltirilgan. Chizmadagi birinchi faza – lag-faza (logarifmik faza) deyiladi, yaʼni bu fazada hujayralar oʻsmaydi. Ushbu fazada (I bosqich) ekilgan mikroorganizmlar tashqi muhitga moslashadi va muhitga oʻzidan fermentlar ajratadi. Bu fermentlar joriy ozuqaviy muhitda hujayralarni oʻsishiga yordam beradi. II bosqich eksponensial faza deb ataladi. Ushbu fazada hujayralar imkoni boricha maksimal yuqori tezlikda koʻpaya boshlaydi.

Bu fazaning davomiyligi muhitdagi ozuqa moddalar zahirasi-ning hajmiga, muhitning aralashib turish darajasiga (kislorodni hujayralarga etib borishi uchun, mikroblarni oʻstirish maxsus tebranuvchi uskunada, silkitib turiladi),

hujayrani kislorod bilan taʼminlanish tezligiga, yaʼni aerastiyaning samaradorligiga bogʻliq.

Muhitda mikroorganizmlar biomassasining ortishi bilan undagi ozuqa moddalar miqdori kamayadi va massa almashinish jarayonining mahsulotlari toʻplanadi va kislorodning hujayra bilan massa almashinish jarayoni susayadi. Bu koʻrsatib oʻtilgan oʻzgarishlar natijasida mikroorganizmlarning oʻsish darajasi pasayadi (III bosqich). Jarayon davom etgan sari muhitdagi ozuqa moddalar kamayib, ular oʻrnini mikroorganizm metabolitlari (hayot chiqindilari) qoplaydi va oqibatda hayot toʻxtaydi. Bu jarayon IV bosqich yoki turgʻun faza deb ataladi. V bosqichda mikroorganizmlar soni keskin ravishda pasayadi va u oʻlim bosqichi deb nomlanadi.

Mikroorganizmlar koʻpayishining kinetikasini bayon qilish uchun umumiy va solishtirma oʻsish tezligidan foydalaniladi. Mikroorganizm massasining umumiy oʻsish tezligi $[kg/(m^3 \cdot s)]$, biomassa dM ning juda cheksiz qisqa vaqt $d\tau$ ga nisbati tushuniladi. Ushbu tezlik biomassa konstantrastiyasiga proporsionaldir.

Mikroorganizm biomassasining oʻsish kinetikasini ushbu tenglama yordamida ifodalash mumkin:

$$\frac{dM}{d\tau} = K \cdot M \quad (6.1)$$

bu erda M - biomassa konstantrastiyasi, kg/m^3 ; τ - jarayon davomiyligi, soat; K - biomassa oʻsi-shining solishtirma tezligi, soat⁻¹.

(6.1) tenglamadan solishtirma tezlikni topish mumkin:

$$K = \frac{1}{M} \cdot \frac{dM}{d\tau} \quad (6.2)$$

Mikroorganizmlar biomassasining eksponensial fazadagi solishtirma o'sish tezligi doimiy va u shu mikroorganizmni o'stirish jarayonidagi maksimal imkoniyat va sharoitiga tengdir.

Biomassa konstantriyasi (6.1) tenglamaga binoan eksponensial qonun bo'yicha o'sadi:

$$M = M_0 \cdot e^{K\tau} \quad (6.3)$$

bu erda M_0 —eksponensial faza boshlanishidagi biomassa konstantriyasi, kg/m³.

(6.3) tenglamasini logarifmlab, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\ln M = \ln M_0 + K\tau \quad (6.4)$$

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 larning qiymatlari aniqlanadi.

$$\text{Unda} \quad K = \frac{1}{\tau_1 - \tau_2} \cdot (\ln M_2 - \ln M_1) \quad (6.5)$$

Biomassa miqdori 2 marta ortishi uchun regeneratsiya davomiyligi τ_p qo'yidagicha topiladi:

$$\tau_p = \frac{\lg 2}{K} = \frac{0,69}{K} \quad (6.6)$$

Mikrobiologik sintez uchun xom-ashyo 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 konstantriyasi 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 (absorbtsiyalanish) va muhitda erigan kislorodni mikroorganizmlar tomonidan o'zlashtirishi (ozuqalanishi).

Suyuq faza uchun massa almashinish tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$dM = \beta_c (x_m - x) F d\tau \quad (6.7)$$

bu erda M - kislorod konsentrastiyasi, kg; β_s -suyuq fazadagi massani yig'ilish koeffitsienti, m/soat; x_m - kislorodning muvozanat konsentrastiyasi, kg/m³; x - kislorodning suyuq fazadagi ishchi konsentrastiyasi, kg/m³; F - massa almashinish yuzasi, m²; τ - jarayon davomiyligi, soat;

Barbotajli qurilmalarda fazalar yuzasini aniqlab bo'lmaganligi tufayli, quyidagicha ifodalaymiz:

$$F = V_u \cdot a$$

bu erda V_i - fermentatorning ishchi hajmi, m³; a - massa almashinishning solishtirma yuzasi, m²/m³.

(6.7) tenglamani quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$dM = \beta_c \cdot a(x_m - x) \cdot V_u \cdot d\tau \quad (6.8)$$

yoki

$$dM = \beta_{cv} (x_m - x) \cdot V_u d\tau \quad (6.9)$$

bu erda β_s - hajmiy massa berish koeffitsienti, soat⁻¹; $\beta_{sv} = \beta_s \cdot a$.

Ishlab chiqarishda suyuqlikda erigan kislorodning konsentrastiya miqdori o'lchanmaydi, balki suyuqlik bilan muvozanatda bo'lgan gaz fazasining parstial bosimi aniqlanadi.

Genri qonuniga binoan:

$$x_m = \frac{1}{E} P_{0_2}$$

bu erda E - Genri doimiysi, kg/(m³·Pa); P_{O_2} - ozuqa muhitidagi kislorodning parstial bosimi, Pa.

Fermentatsiya muhitidagi mikroorganizmlarning kislorodni o'zlashtirib olish tezligi W_o har qanday vaqtda absorbstiya tezligiga teng deb hisoblasak, unda $x=0$ bo'ladi.

$$W_{0_2} = \beta_{cv} x_m = \beta_{cv} \frac{1}{E} \cdot P_{0_2} \quad (6.10)$$

Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, massa berish koeffitsienti suyuq fazadagi muhitning aralashish tezligiga va havo bilan to'yinish sharoitiga bog'liq. Fermentatordan tashqariga chiqariladigan havodagi kislorod konsentrastiyasining 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; inokulyatorlarda ekish materiallarini oʻstirish.

Ekish materialining miqdori stexdagi fermentatorlarning fizik hajmi bilan belgilanadi.

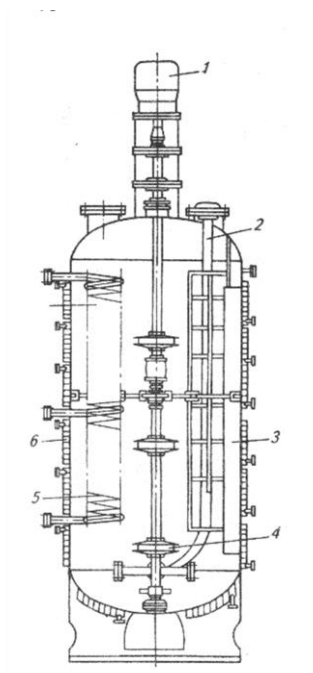
Odatda, ekiladigan material miqdori, fermentatorlar ichidagi ozuqaviy muhitning 5...10% ni tashkil qiladi.

Fermentatorlarga ozuqaviy muhit va ekiladigan materiallarni yuklashdan avval, qurilmalar va boshqa kommunikatsiyalar sterilizatsiyalanadi.

Fermentatorlar ichida koʻpik hosil boʻlishni kamaytirish maqsadida uning ichiga sirtqi faol modda (PAV) qoʻshiladi. Fermentatsiya jarayoni aseptik sharoitda 18...24 soat davomida olib boriladi. Jarayon davomida fermentator ichidagi mikroblar suyuqlik, muhitning temperaturasi va rN miqdori kuzatib turiladi.

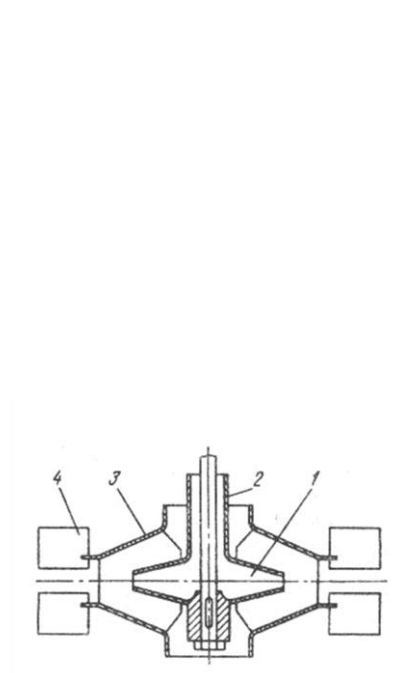
Fermentatsiyalash jarayoni tugagach, fermentator hosil boʻlgan mahsulotdan boʻshatiladi, mahsulot filtr yoki separator yordamida suyuqlikdan ajratiladi va unga ishlov berish uchun keyingi bosqichga yuboriladi.

Fermentatsiyalash jarayonini amalga oshiruvchi asosiy qurilma – bu maxsus fermentator hisoblanadi. Eng keng tarqalgan fermentatorlardan biri, bu mexanik aralashtirgichli va havo yuborishga moʻljallangan barbotyorli qurilmadir (6.4-rasm).



6.4- rasm. Fermentator shemasi.

1- elektr yuritkich; 2- havo uzatish trubasi; 3- qaytaruvchi toʻsiq; 4- aralashtirgich; 5- zmeevik; 6- gʻilof.



6.5 -rasm. Havoni oʻzi soʻrib

oluvchi aralashtirgich.

1- havo boʻshligʻi; 2- havo uzatuvchi patrubka; 3- turbina; 4- kurakcha.

Bunday qurilmada fermentlanuvchi suyuqlik, mexanik aralashtirgich va yuborilgan havo yordamida aralashtiriladi.

Aralashtirgichning ishlash davomida fermentatsiyalanuvchi suyuqlik ichida havo qoʻshimcha ravishda disperslanadi.

Fermentatorning hajmiga qarab, uning balandligi boʻylab, uning oʻqiga bir nechta aralashtirgichlar oʻrnatiladi. Ayrim hollarda toʻlqinlarni qaytaruvchi toʻsiqlar ham oʻrnatilish mumkin. Fermentator ichida zarur boʻlgan temperaturani bir xilda ushlab turish maqsadida, unga issiqlik almashinishni taʼminlovchi gʻilof oʻrnatiladi.

Fermentatsiya sharoitidagi temperatura, gʻilof ichiga sovuq suv yuborish yoʻli bilan boshqariladi.

Aralashtirgichlarning bir necha xili mavjud boʻlib, ulardan havoni oʻzi soʻrib oluvchi konstruktiviyaga ega boʻlgan aralashtirgichni misol tariqasida keltirish mumkin (6.5-rasm).

Bunday aralashtirgichda bir vaqtning o'zida aralashtirish, hamda suyuqlik aerastiyasini taminlovchi havoning uzatilishimalga oshiriladi.

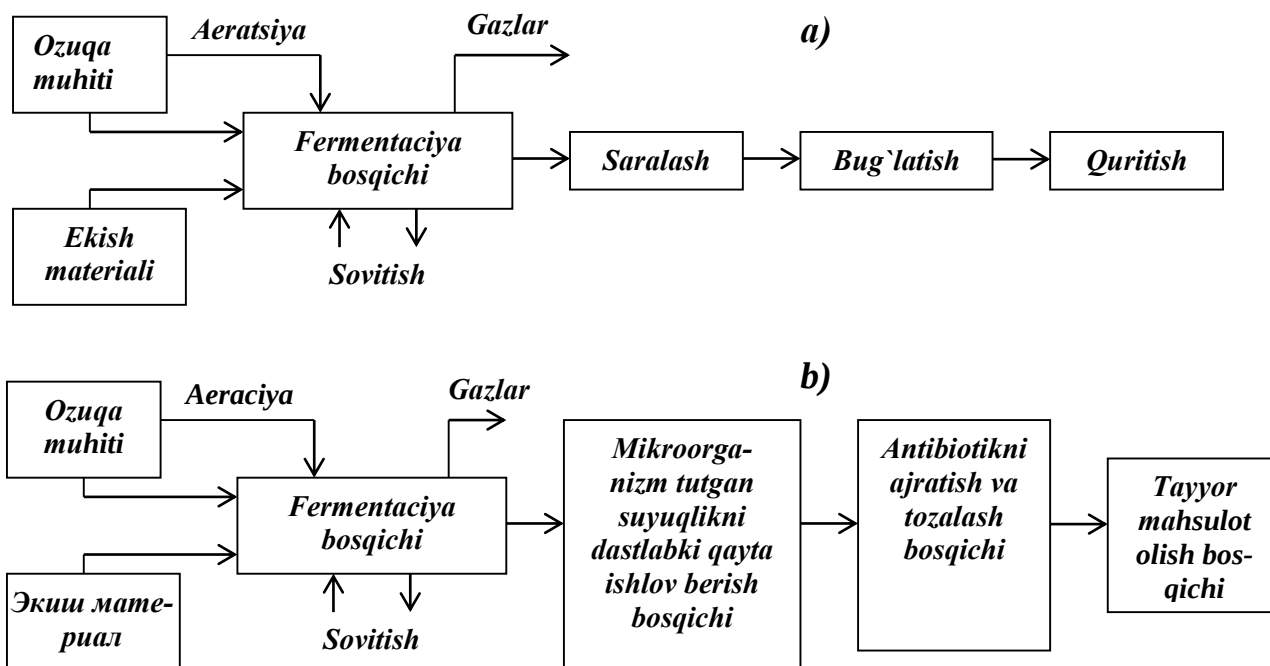
Aralashtirgichdagi turbina ichida halqali soplo bo'shlig'i mavjud bo'lib, u havo uzatish kanaliga ulangan. Aralashtirgich harakatga kelganda, turbina ichida bosim kamayadi. Natijada, atmosferadagi havo, aralashtirgich ichidagi bo'shliqqa yutiladi va u fermentatsiyalanayotgan suyuqlik ichida dispersiyalanadi.

Fermentatsiyalangan suyuqlikdagi hosil bo'lgan mahsulotni (antibiotiklar, organik kislotalar, va hokazo) ajratib olish, ekstrakstiyalash, bug'latish va quritish jarayonlarini amalga oshirishda kimyo 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 omalga 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.



6.6-rasm. O'simliklarni mikrobiologik himoya qilish vositalari (a) va antibiotiklarni (b) biotexnologik yo'l bilan ishlab chiqarishning tarkibiy shemasi.

Antibiotiklar ishlab chiqarishning asosiy bosqichlari bo'lib, quyidagi jarayonlarni hisoblash mumkin: ozuqa muhitini tayyorlash, fermentatsiyalash, ajratib olish, kimyoviy tozalash va quritish. Eshloq 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, cuv 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, aerastiyani 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, penistilinni ishlab chiqarishda, mikroorganizm tutgan suyuqlik koagulyastiya qilinadi va filtrlanadi. Natijada, tarkibida penistilin bor tabiiy eritma misteliydan 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.

£ishloq xo'jaligi uchun bakterial preparatlar (masalan, entobakterin, bastitrastin) 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.

Shunday qilib, mikrobiologiya va medistina 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

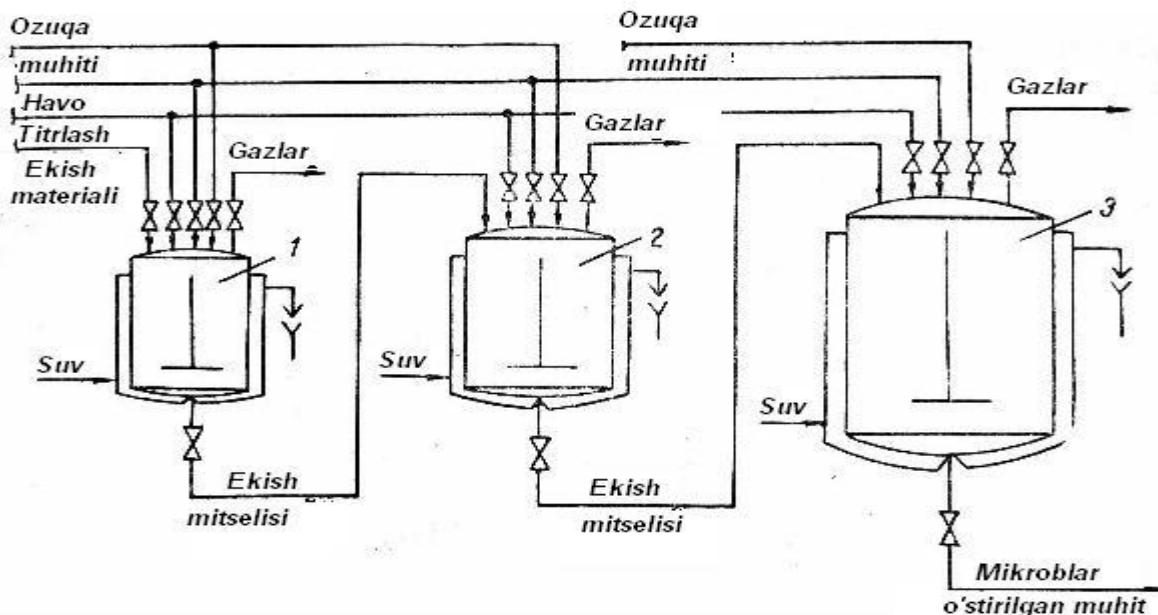
Biotexnologik sxema – bu texnologik oqimlar bilan o'zaro bog'langan qurilmalar majmuasi bo'lib, ularda jarayonlar ma'lum ketma-ketlikda amalga oshadi va biokimyoviy aylanishlar natijasida xom-ashyodan maqsaddagi mahsulot olinadi.

6.7 – rasmda davriy fermentatsiya jarayonining tipik tarkibiy sxemasi keltirilgan. Ushbu sxemaga binoan 3 bosqichda maqsaddagi mahsulot, ya'ni antibiotik olish mumkin. O'simliklarni mikrobiologik himoya qilish vositalari va medistina uchun antibiotiklarni olishda biosintez jarayoni steril sharoitlarda olib boriladi. Buning uchun inokulyator 1, o'stirish qurilmasi 2 va fermentator 3 larga uzatilayotgan ozuqa muhiti uzluksiz ishlaydigan sterilizatorida sterillanadi. Qurilmalarga yuboriladigan havo esa, maxsus filtrlarda tozalanadi. Inokulyator 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.

Kurilmalarni sterilizastiyalash vaqtida va ularda mikroorganizmlar o'stirish jarayonida temperatura va bosim zarur miqdorda ushlab turiladi. Chunonchi, sterilizastiyalash davrida kerakli temperatura bug' uzatish yo'li bilan, o'stirish davrida esa - qurilma g'iloifi yoki zmeevikga sovuq suv uzatish orqali boshqariladi va aralashtirgich yordamida intensiv aralashtirib, muhit aerastiyasi tashkil etiladi. Davriy olingan namunalarning tahlili asosida mikroorganizmlar rivojlanishi, mikrobiologik va biokimyoviy nazoratdan o'tkaziladi.

Antibiotiklar olishda, ekish misteliysini inokulyatorda va ekish qurilmalarida o'stirish uchun makka ekstrakti, bo'r, shakar, natriy, magniy, ammoniy va boshqa komponentlar qo'shilgan ozuqa muhiti ishlatiladi. Ozuqa muhitini sterilizastiyalash inokulyator va ekish qurilmalariga solingach, ularni talab darajasidagi temperaturagacha (mikroorganizmlarni ekish uchun) qurilma g'ilofiga sovuq suv yuborish yo'li bilan moslanadi.

Ekish misteliysini o'sishi va moddani sintezlanishi $26\pm 1^{\circ}\text{S}$ temperaturada va qurilmada bir oz ortiqcha bosim yaratgan holda olib boriladi. Ekish misteliysini o'stirish 50...70 soat oraligida olib boriladi.



6.7-rasm. Davriy fermentatsiya bosqichining tipik shemasi.
1-inokulyator; 2-o'stirish qurilmasi; 3-fermentator.

Inokulyatorda etishtirilgan misteliy, fermentatordagi ozuqa muhitida o'stirish uchun, ekish materiali bo'lib xizmat qiladi.

O'stirish qurilmasidagi ozuqa muhitining temperaturasi pasayishi bilan inokulyatordagi misteliy, oradagi bosimlarning farqi hisobiga avtomatik ravishda o'stirish qurilmasiga ko'chadi.

Penistilinning biosintezi 50...65 m³ hajmdagi fermentatorlarda amalga oshadi. Fermentatordagi ozuqaviy muhit tarkibi, inokulyatorda ekish misteliysi 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±1⁰S temperaturagacha sovutiladi.

Fermentatordagi ozuqa muhitiga ekiladigan material inokulyatorda o'stirilgan misteliydir. Yuqorida aytilgandek, fermentatordagi temperatura kerakli darajagacha pasayishi bilan misteliy ekish qurilmasidan fermentatorga o'tadi. Misteliy 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 fenilastetamid davriy ravishda, qo'shib turiladi.

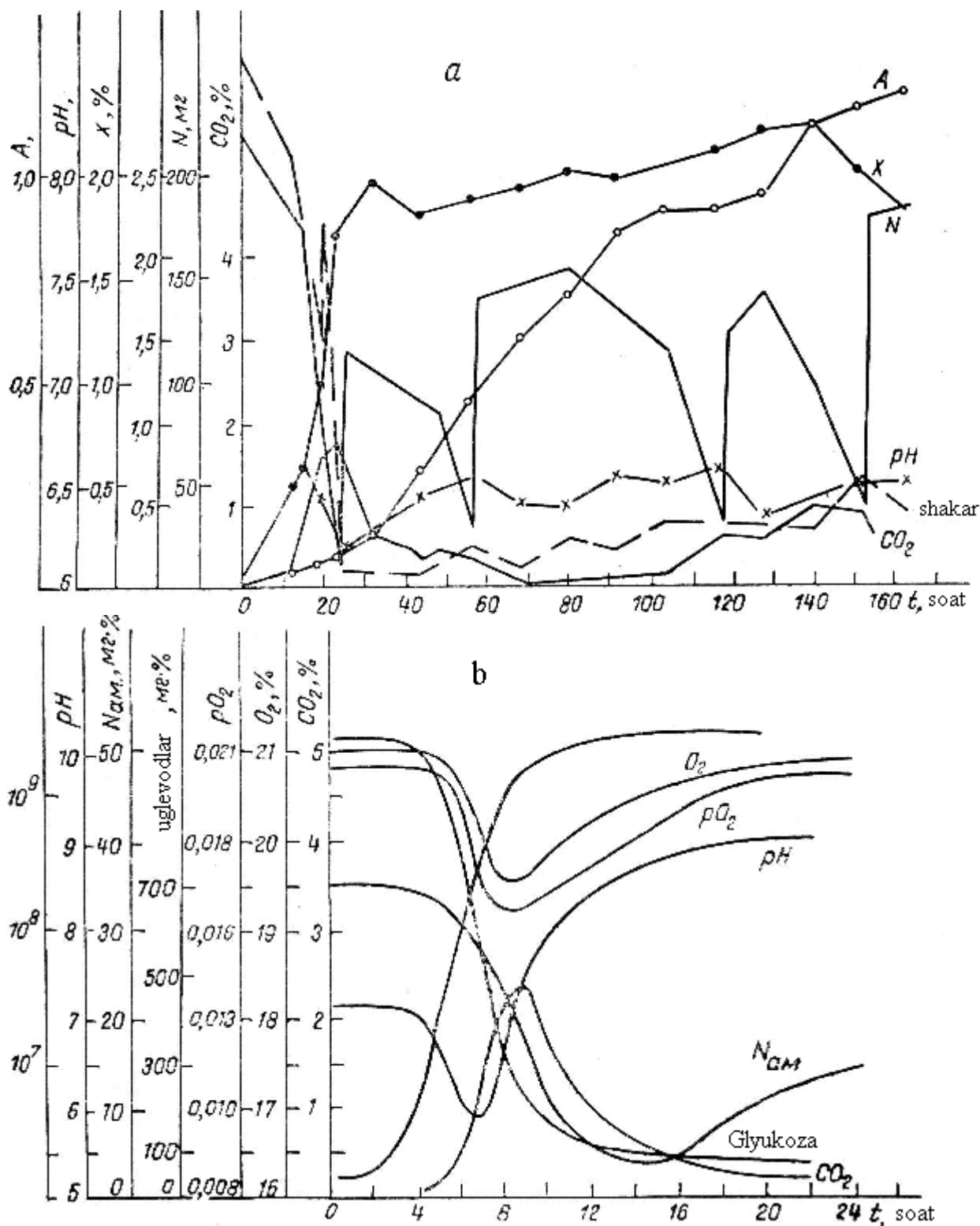
Penistillinni biosintez qilish jarayonining tugaganligi, ozuqa muhitidagi moddalarning tamom bo'lishi va fermentatordagi suyuqlikda antibiotiklar ko'payishining to'xtashi bilan belgilanadi. Fermentatsiyalash jarayonining o'rtacha davomiyligi 150 soat.

Penistillinni 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 mikroblar suyuqlik ichida boradi. Suyuqlik tarkibi ozuqaviy jihatdan juda kambag'allashgan bo'lib, unda qisman uglevodlar va noorganik fosfor uchraydi. Ushbu fazaning boshlang'ich davrida misteliyning 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 mikroblar uchun ozuqa ma'nbasini ta'minlash, ya'ni uglerod, azot va fosfor moddalari tutgan muhitni yaratishdir. Odatda uglerod ma'nbai sifatida uglevodlardan, azot manbai sifatida - o'simlik va hayvon mahsulotlari asosidagi moddalardan foydalaniladi.



6.8-rasm. Penisillin (a) va entobakterinni (b) biosintez qilish jarayonidagi asosiy parametrlar dinamikasi.

A - faollik; X - quruq mitseliy og'irligi; N_{am} - aminli azot.

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 glyukoza solinsa, penistilinning sintezlanishi muhitda glyukozaning to'liq yo'qolganidan so'ng, ya'ni mikroorganizmlar tomonidan uni butunlay o'zlashtirilgandan so'nggina boshlanadi yoki oksitetrastiklin biosintezini tezlatish uchun, undagi sintezlovchi mikrob ko'payishini, muhitga noorganik fosfor qo'shish orqali chegaralash mumkin. Ayrim hollarda esa, mikroorganizmni maqsad-

dagi moddani sintezlashi uchun muhitga shu moddaning o'zidan qisman qo'shiladi, masalan, penistilinni sintezlanishi uchun ozuqa muhitiga qisman penistillin qo'shiladi [133].

Fermentatsiya jarayonini normal tashkil etish uchun muhitda ma'lum konstantrasiyada vodorod ionlari bo'lishi kerak. Ushbu konstantrasiya 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 sarflanishi – 25...45 m³/soat; fermentatordagi bosim – 0,04...0,05 MPa.

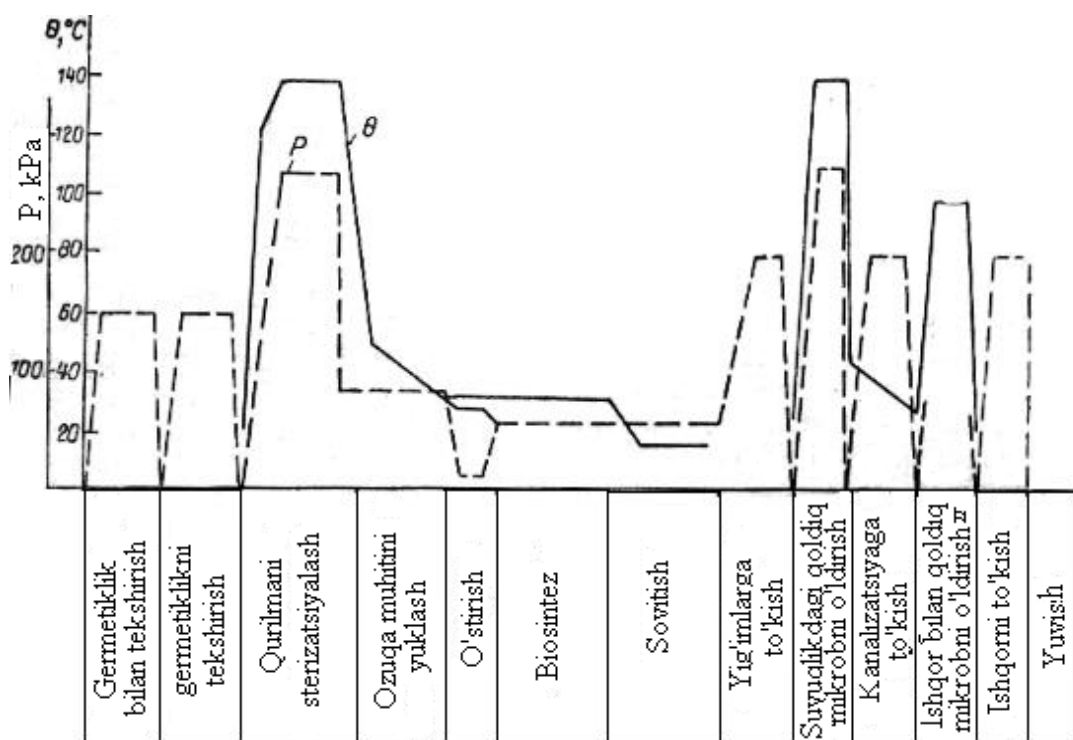
Fermentatorda mikroorganizmni etishtirish jarayonida ko'p miqdorda ko'pik hosil bo'ladi. Aralashtirgichning uzluksiz ishlashini va mikroorganizmlarning normal rivojlanishini ta'minlash uchun, ko'pik hosil bo'lishini bartaraf etuvchi, sterillangan ko'pik o'chirgich uzatiladi.

6.8b-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 rO_2 , rN , eN kattaliklarning kamayishi, hamda chiqib ketayotgan gazlarda O_2 pasayishi va SO_2 ortishi namoyon bo'ladi.

6.9-rasmda entobakterinni olish qurilmasidagi bosim va temperaturani tegishli o'zgarishlari ko'rsatilgan.



6.9-rasm. Tehnologik jarayonlarni olib borishda entobakterin ishlab chiqarish qurilmasida temperatura va bosimni o'zgarishi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, turli sanoatlarning fermentatsiyalash bo'limlari bir-biridan, qo'llaniladigan texnologik qurilmalarining turi va soni bilan ajralib turadi. Lekin, boshqarish funktsiyalarining o'xshashligi tufayli, ulardagi nazorat va rostlash parametrlari bir xil bo'ladi.

Odatda, temperatura, bosim, konstantrasiya, sarf, sath va boshqa an'anaviy parametrlarni nazorat qilish bilan birga rN , erigan O_2 va SO_2 , parstial bosimlar avtomatik ravishda nazorat qilinishi lozim.

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 xarakteristikalarini o'zgaritmaydi, 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 jaraeni qattiq jismning mayda zarrachalar (atom va molekulalar) o'zaro tortishish kuchlarini engadigan 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 m³) 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.

$$i = \frac{D}{d} \quad (7.1)$$

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:

$$i = \frac{V_{ox}}{V_{\delta}} \quad \text{yoki} \quad i = \frac{F_{ox}}{F_{\delta}} \quad (7.2)$$

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 erda *l*, *b*, *h* - jismning uch perpendikulyar yo'nalishi bo'yicha maksimal o'lchamlari.

Material bo'laklarining o'rtacha o'lchamlarini hisoblash uchun elaklar yordamida bir necha fraktsiyaga ajratiladi. Har bir fraktsiyada bo'laklar maksimal **d_{max}** va minimal **d_{min}** o'lchamlar yarim yig'indisining o'rtacha miqdori topiladi:

$$d_{yp} = \frac{d_{max} + d_{min}}{2}$$

Maksimal bo'laklar o'lchami, ular o'tgan teshik diametriga, minimal bo'laklarni esa - elak ushla qolgan teshiklarining diametriga teng deb hisoblanadi.

Sochiluvchan material aralashmasining o'rtacha o'lchami ushbu tenglama yordamida aniqlanadi:

$$d = \frac{d_{yp1}a_1 + d_{yp2}a_2 + K + d_{ypn}a_n}{a_1 + a_2 + K + a_n}$$

bu erda $a_1, a_2, a \dots a_n$ - har bir fraktsiya miqdori,%; $d_{yp1}, d_{yp2}, \dots, d_{ypn}$ - har bir fraktsiya bo'lakchalarining o'rtacha o'lchami.

Odatda sanoatda yuqori maydalash darajasi talab etiladi. Ko'pincha qayta ishlanadigan xom-ashyo 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.

Xom-ashyoning 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 Datslabki 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...0,0001	-

7.2. Sochiluvchan materiallar mexanikasining asoslari

Dispersion tarkib-sochiluvchan material polidispers sitsema bo'lib, uning dispersligini baholash uchun zarrachalarning quyidagi xarakteristikalaridan foydalaniladi:

δ_{max} - maksimal o'lcham; δ_{min} - minimal o'lcham; δ_{or} - o'rtacha o'lcham.

Yuzaning solishtirma maydoni - F_s (m^2/m^3):

$$F_c = \frac{G \cdot n}{\rho \cdot L} \quad (7.3)$$

bu erda L - chiziqli o'lcham; ρ - zarracha zichligi; shar shakli uchun $n=1$.

Maydalangan materialning dispersion tarkibini Rozin-Rommler formulasi yordamida aniqlash mumkin.

$$R = \exp(-b \cdot \delta^n) \quad (7.4)$$

bu erda b, n - kotsantalar.

Agar, zarrachalar o'lchami turlicha bo'lsa, material bir necha fraktsiyalarga elab ajratiladi. So'ng, har bir fraktsiya uchun zarracha o'lchami L_i , fraktsiyalarning massaviy ulushlari x_i larni aniqlab, F_s ni hisoblash mumkin:

$$F_c = \frac{G}{\rho} \sum \frac{n_i x_i}{L_i} \quad (7.5)$$

Sochiluvchan materiallarning "to'kma" zichligi ρ_T - jism massasining u egallab turgan hajm nisbatiga aytiladi. "To'qma" zichlik ρ_T va material zichligi ρ orasida quyidagi bog'liqlik bor:

$$\rho_T = \rho_m (1 - \varepsilon) \quad (7.6)$$

bu erda ε - material qatlamining g'ovakliligi.

Nam materialning "to'kma" zichligi esa ushbu ifoda yordamida topiladi:

$$\rho_T = \rho_m (1 - \varepsilon) \cdot (1 + u)$$

bu erda $u = M_{nam} / M_{abs.quruq}$.

Tabiiy qiyalik burchagi φ - sochiluvchan material tekis yuzaga to'kilishi natijasida hosil bo'lgan konus

chizig'i va uning asosi orasidagi burchak. Odatda, φ_e ning son qiymati $30...40^\circ$ oraligida bo'ladi.

Jatlam g'ovakliligi ε - bu qatlam zarrachalari orasidagi bo'sh hajmni ifodalovchi parametr:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_T}{\rho_{\text{жс}}} \quad (7.7)$$

bu erda $\rho_{\text{жс}}$ - qattiq jism zichligi, kg/m^3 .

Ekvivalent diametr - d_e :

$$d_e = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot m}{\pi \cdot \rho}} \quad (7.8)$$

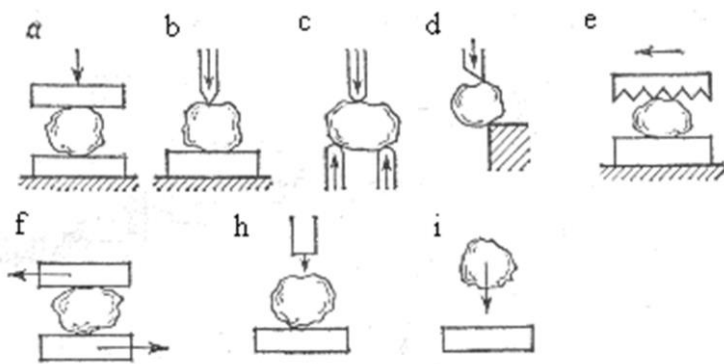
Siqish va sinish paytidagi mutsahkamlik - kuchlanish ($\text{Pa} \cdot 10^{-5}$) orqali topiladi.

1. Pats mexanik mutsahkamlik	> 100
2. Juda yumshoq	- 100...500
3. Yumshoq	- 500...1000
4. O'rtacha	-1000...1500
5. Mutsahkam	-1500...1800
6. O'ta mutsahkam	>1800

Qattqlik - na faqat maydalanish darajasi i ga, balki maydalash mashinalar ishchi detallarining edirilishiga ta'sir ko'rsatadi. Edirilish 10 balli Moor shkalasi yordamida baholanadi.

Mo'rtlik. Jism mo'rtligi platsik deformatsiyasiz, mexanik kuch ta'siri otsida buzilish qobiliyati orqali aniqlanadi. Odatda mo'rtlik temperaturaga bog'liq. Jism bo'lagining o'lchami qanchalik kichik bo'lsa, uning mutsahkamligi shunchalik yuqori bo'ladi.

7.3 Maydalash usullari



7.1-rasm. Maydalash usullari.

a-ezish; b-yorish; c-sindirish; d-qirg'ish;
e-arralash; f - eyilish; h - siqiq zarba;
i-erkin zarba.

Turli sanoat korxonalarida qo'llaniladigan maydalash usullari 7.1-rasmda keltirilgan.

Odatda, qattiq jism-larni 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 eyilish yoki edirilishdir. Eyilish jarayonida ko'pincha ko'pincha chang hosil bo'ladi va materialning o'ta maydalanish kabi zararli hollar ham uchraydi.

Shuning uchun, maydalash usulini

tanlash material bo'laklarining kattaligi va mutsahkamligiga bog'liq.

Mutsahkam va mo'rt materiallar ezish va zarba, mutsahkam va egiluvchanlari - ezish, o'rtacha mutsahkam, egiluvchan materiallar - zarba, eyilish yoki yorish usulida maydalanadi.

Maydalash bir yoki bir necha usullarda, ochiq va yopiq tsikllarda amalga oshiriladi. Undan tashqari, maydalash jarayonini quruq yoki nam usullarda ham o'tkazsa bo'ladi.

Ayrim hollarda, material xususiyatlariga qarab: ultratovush, gidravlik zarba to'liqini, yuqori va pats 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 molekular tortishim kuchini engishga sarflanadi. Ushbu nazariyaga ko'ra, maydalash uchun zarur ish, maydalash natijasida yangi hosil bo'layotgan yuzalarga proporsionaldir.

Hajmiy nazariyaga binoan, maydalash jarayonidagi ish material deformatsiyasiga, ya'ni eng yuksak parchalanish deformatsiyasiga etkazish uchun sarf bo'ladi.

Maydalash jarayonida tashqi kuchlar ta'sirida bajarilgan hamma ish **A** Rittinger tenglamasi orqali aniqlanadi:

$$A = A_d + A_y = K_1 \Delta V + K_2 \cdot \Delta F \quad (7.9)$$

bu erda A_d - parchalanayotgan bo'lak hajmining deformatsiyasiga sarflanayotgan ish, J ; A_y - yangi yuza hosil qilish uchun sarflanagan ish, J ; K_1 -jismning hajm birligini deformatsiya qilish uchun sarf bo'lgan ishga teng proporsionallik koeffitsienti; K_2 -yangi yuza hosil qilish uchun sarflanagan ishga teng proporsionallik koeffitsienti; ΔV - parchalanayotgan jism hajmining o'zgarishi; ΔF - yangi hosil bo'lgan yuza.

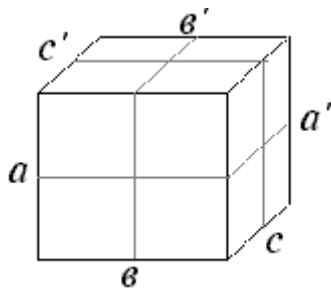
Rittinger maydalash gipotezasiga binoan, ish maydalash paytidagi hosil bo'lgan yuza qiymatiga to'g'ri proporsionaldir.

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:

$$A = K_2 \cdot \Delta F = K_2^1 \cdot D^2 \quad (7.10)$$

bu erda D - jism bo'lagining o'lchami; K_2^1 - proporsionallik koeffitsienti.

Rittinger nazariyasi quyidagi holatlardan kelib chiqadi: masalan, kub qirrasining uzunligi n , maydalangandan so'ng esa $1/n$ bo'ladi.



7.2-rasm. Kubni maydalashga oid.

Maydalash jarayonini tashqi kuchlar ta'sirida jism qirralarga parallel tekisliklar bo'ylab parchalanadi deb qarash mumkin.

Agar parchalanish aa' , bb' 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:

$$\frac{A}{A_1} = \frac{i}{i_1} \quad (7.11)$$

bu erda

$$i = \frac{1}{a}, \quad i_1 = \frac{1}{b}$$

Unda, maydalash uchun sarflanayotgan ish, maydalash natijasida hosil bo'layotgan bo'laklarning chiziqli o'lchamlariga teskari proporsional:

$$\frac{A}{A_1} = \frac{b}{a} \quad (7.12)$$

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:

$$A = K_1 \cdot \Delta V = K_1^1 \cdot D^3 \quad (7.13)$$

(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:

$$A = K_3 \sqrt{D^3 \cdot D^2} = K_3 \cdot D^{2.5} \quad (7.14)$$

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 elatsik 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 elatsik va qayishqoq deformatsiyalar, hamda kesish asbobining materialga ishqalanishini engishga sarflanadi.

Jismlarni kesish uchun sarflangan ish A akad.Pryachkin V.P. formulasi orqali ifodalanishi mumkin:

$$A = A_c + A_{\phi} \quad (7.15)$$

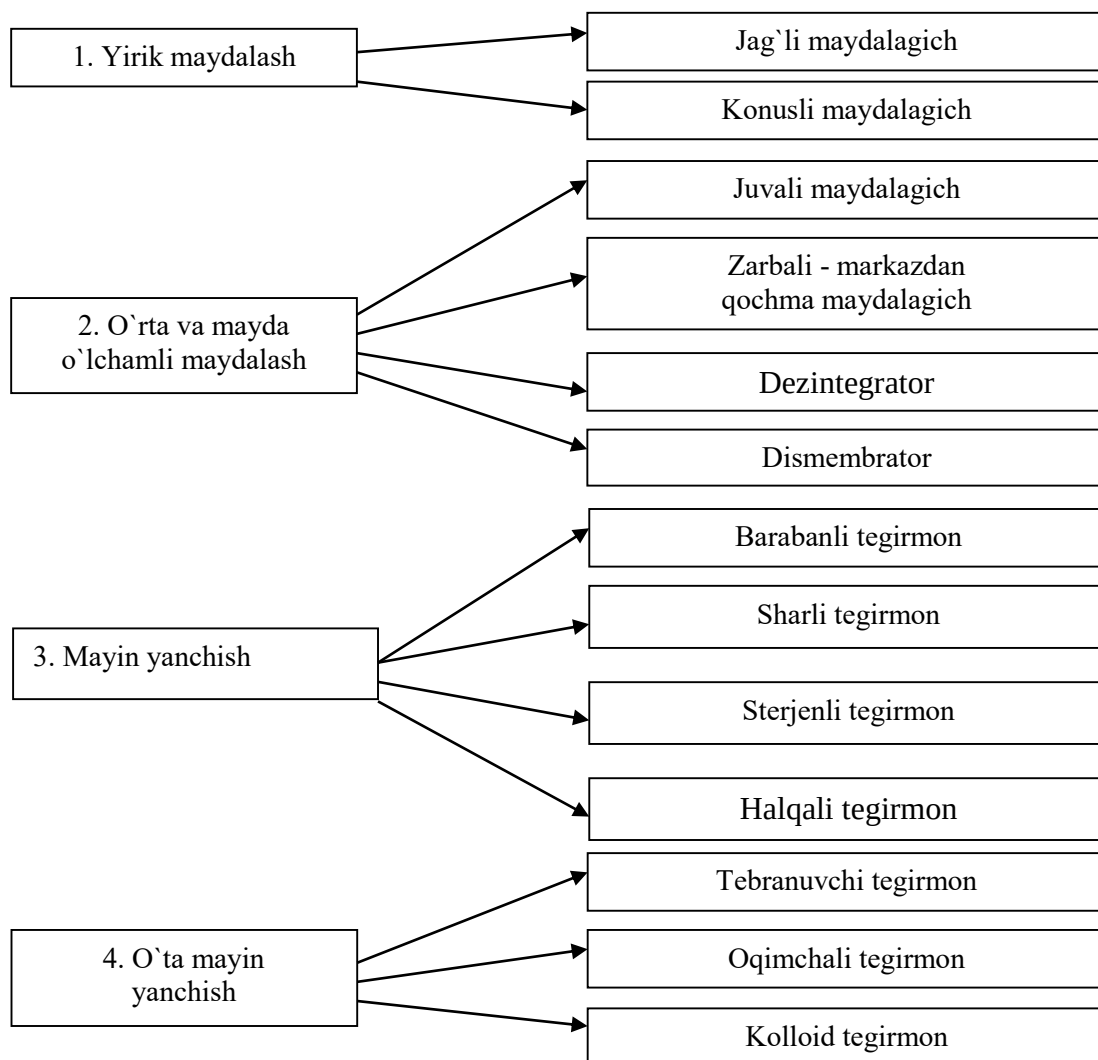
bu erda A_s -mahsulotni siqish uchun sarflangan ish, J; A_f -kesish foydali ishi, J. Siqish uchun sarflangan ish $A_s = E h_s / h$, bu erda E - kesuvchi pichoq bilan materialni siqish shartli moduli, J; h_c - siqilgan qatlam balandligi, m; h - qatlamning boshlang`ich balandligi, m; Foydali ish $A_f = F_{kes}(h - h_c)$, bu erda 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 kontsruktsiyalari

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.

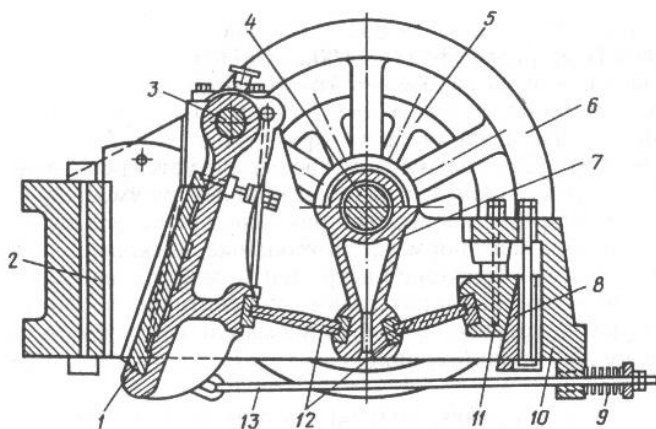
Kesish mashinalari platsinali, diskli, rotorli, oqimchali va boshqa turli bo`ladi.

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 rotslash sharoiti; tez-ediriladigan 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-ekscentrik o'q;
5-shkiv; 6-mahovik; 7-shatun; 8,11-rostlovchi
ponalar; 9-prujina; 10-stanina; 12-dastaklar;
13-tyaga.

Maydalagich jag'lari oson echiladigan, edirilishga chidamli, qirrali plitalar bilan qoplangan bo'lishi kerak. Harakatchan plita qo'zg'almas o'qga mahkamlanadi va ekstsentrisk o'q orqali shatun yordamida tebranma harakatga keltiriladi. O'z navbatida shatun sharnir datsak 12 orqali harakatchan plita va rotslovchi ponalar 8 va 11 lar bilan bog'langan. Ushbu ponalarni surilishi rotslovchi 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. Tyaga 13 va prujina 9 lar yordamida plita 1 ning qaytar harakatiga erishiladi. Shatun 7 va yirib turuvchi plitalar tirsakli datsakni tashkil qiladi. Maydalagich konstruksiyasining asosi bo'lib tirsakli datsak hisoblanadi va yuqori bosimlar hosil qiladi.

Jag'li maydalagichlar tuzilishi sodda va ish jarayonida ishonchli. Ammo, uning tarkibida tebranuvchi massalar (ya'ni xarakatlanuvchi plita, tirsakli datsak va hokazo) bo'lgani uchun uni og'ir poydevorlarga o'rnatish zarur.

Jag'li maydalagich ishining asosiy parametrlari: ilintirish burchagi; o'qning aylanish chatsotasi; 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 $\alpha=15...22^\circ$ oraligida 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 yuli l (sm) bo'lsa, maydalagich kamerasidagi material balandligi $h=l/tg\alpha$ ga teng bo'ladi.

Og'irlik kuchi ta'siri otsida materialning to'kilishi $l/tg\alpha \leq 450g/n^2$ bo'lgan shart bajarilsa amalga oshadi.

Harakatchan plitaning juft tebranish soni n (min^{-1}) ushbu formuladan topiladi:

$$n \leq \sqrt{\frac{450 \cdot g \cdot tg \alpha}{l}} \quad (7.16)$$

$\alpha=22^\circ$ bo'lgan holda maydalagichning ish unumdorligi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q = 0,15\mu \cdot d_{or} l b n \rho_k \quad (7.17)$$

bu erda μ - maydalangan materialning yumshash koeffitsienti ($\mu=0,2...0,65$); d_{or} - maydalangan material bo'laklarining o'rtacha o'lchami, sm; l - plita yurish yo'li-ning 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.

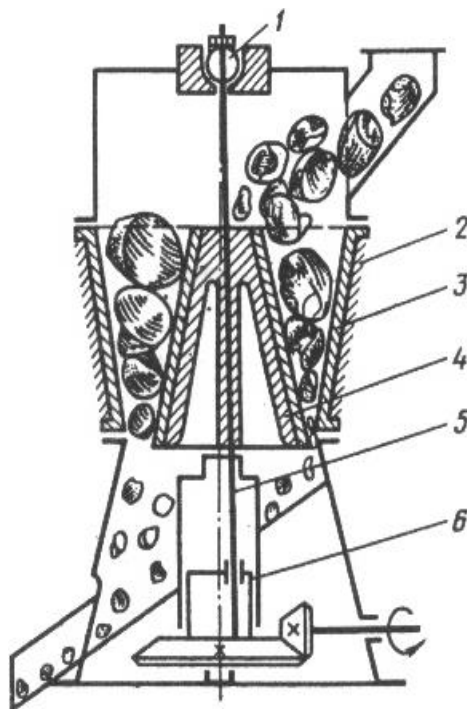
Konusli maydalagich materiallarni yirik, o'rta va mayda yanchish uchun ishlatiladi. Jarayon asosan ezish va sindirish usullarida olib boriladi.

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, ekstsentrisk aylanma harakat qiladi. Aylanuvchi konus qobig'ining bir tomoniga

yaqinlashsa, ikkinchi tomonida qobiq va konus kallak orasidagi masofa ko'payadi va u erdan maydalangan materiallar to'kiladi.

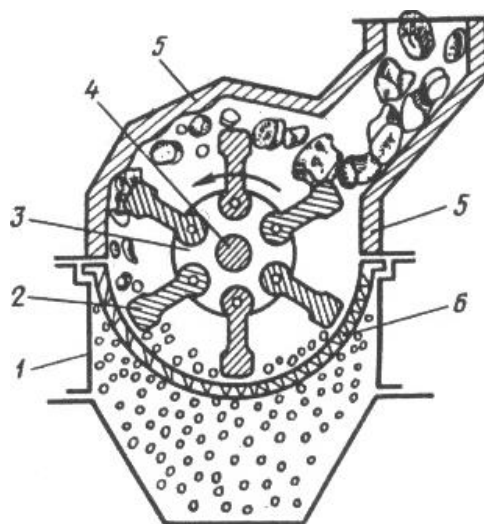
Afzalliklari - unumdorligi katta, material uzluksiz ezish va bukish natijasida maydalaniladi, bir me'yorda, shovqinsiz ishlaydi (maxovik kerak emas) va maydalash darajasi yuqori.

Kamchiliklari - qurilma murakkab, narxi qimmat, tikka konusli qurilmaning balandligi katta.



7.5-rasm. Konusli maydalagich.

1-sharsimon tayanch; 2-qobiq;
3-zirhli plita; 4-kallak;
5-vertikal o'q; 6-ekscentrik.



7.6-rasm. Bolg'ali maydalagich.

1-qobiq; 2-maydalovchi bolg'a;
3-disk; 4-o'q; 5-zirhli plita;
6-kolosnikli to'r parda.

Bolg'ali maydalagich hayvon suyaklari va boshqa qattiq jismlarni maydalash uchun qo'llaniladi (7.6-rasm). 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 panjara teshiklarining o'lchamlari bilan belgilanadi.

Dezintegrator **disklarning kontsentrik aylanalari bo'ylab savalash tserjenlari o'rnatilgan. Birinchi diskning har bir qatoridagi savalash tserjenlari boshqa diskning ikki qatoridagi tserjenlar orasida kichik tirqish qoldirib joylashtirilgan bo'ladi (7.7a-rasm).**

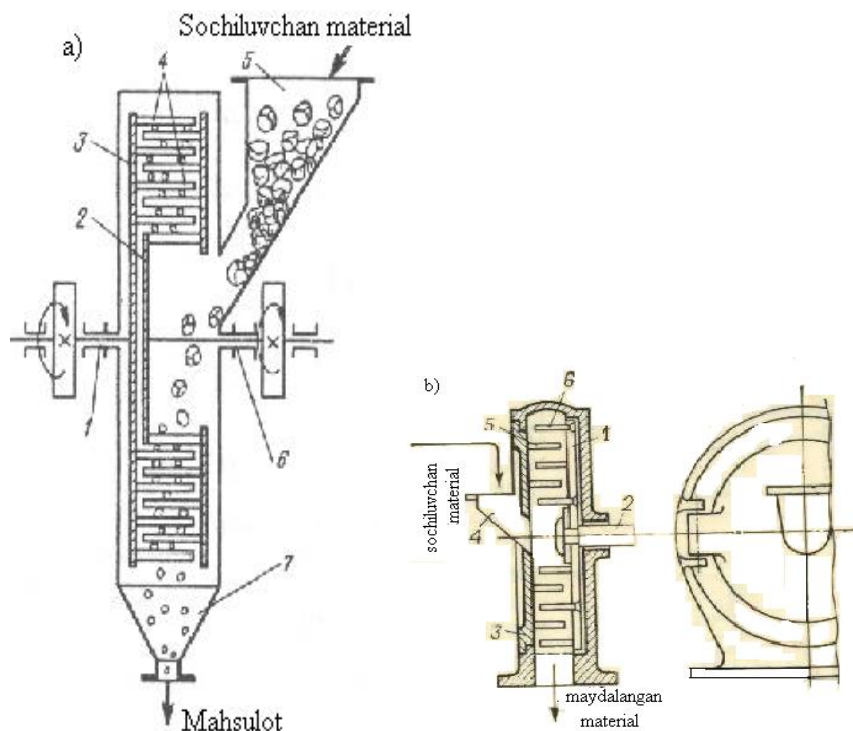
Yuklovchi bunker 5 orqali material mashinaga yuklanadi va aylanuvchi savalash tserjenlar zarbasi ta'sirida material maydalanadi.

Maydalangan material mashinaning patski qismida joylashgan to'kish shtutseri orqali chiqariladi.

Diskning aylanish chatsotasi 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 tserjen – bila 6 lar o'rnatilgan, ikkinchi, qo'zg'almas baraban funktsiyasini qopqoq 3 bajaradi (7.7b-rasm). Ushbu qonqoqning ichki yuzasiga tserjen 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 xalqasimon panjdara ichidaharakatlanadi.

Panjara teshiklaridan o'tmagan materiallarni tserjen 5 lar yordamida juda kichik o'lchamli bo'lakchalar darajasigacha maydalash mumkin. Dismembrator barabanining diametri 250...6000 mm va aylanish chatsotasi 2500...3800 ayl/min – oralikda bo'lishi mumkin.



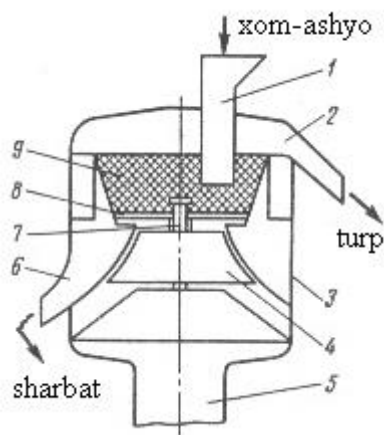
7.7-rasm. Dezintegrator (a) va dismembrator (b).

a) 1,6-o`qlar; 2,3-disklar; 4-bila sterjenlari; 5-yuklovchi bunker; 7-to`kish shtuceri.

b) 1-baraban; 2-o`q; 3-qopqoq; 4-yuklovchi bunker; 5,6-bila sterjenlari.

Dismembratorlarning dezintegratordan farqi shundaki, diskning faqat bittasi aylanuvchan bo`ladi. Ikkinchi disk vazifasini mashina qopqog`i (qobig`i) bajaradi. Unda ham kontsentrik aylanalar bo`ylab tserjenlar joylashtirilgan. Bu qurilmalar rezina-texnika sanoat korxonalarida mel va kaolinni maydalash, hamda ko`mir kukunini olish uchun ishlatiladi.

Zarbali maydalagich afzalliklari: tuzilishni sodda va ixcham; ish unumdorligi va maydalash darajasi yuqori; ishonchligi katta.



7.8-rasm. Meva-rezavorlarni maydalash mashinasi.

1-bunker; 2-turpni chiqarishi uchun patrubka; 3-qobiq; 4-rotor; 5-yuritkich; 6-sharbat chiqishi uchunpatrubok; 7-o`q; 8-maydalovchi disk; 9-savat.

Kamchiliklar: qurilma detallarining edirilishi yuqori; ko`p chang hosil bo`lishi; 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. Xom-ashyo uzluksiz ravishda ikki disk bo`shlig`iga uzatiladi va u erda maydalanadi. Ikkila disk orasidagi masofa materialning maydalanish darajasini belgilaydi. Diskning aylana bo`ylab harakat tezligi 7...8 m/s.

Bolg`a, plita, disk va to`r pardalar edirilishga chidamli marganetsli yoki qattiq qotishma bilan qoplangan uglerodli po`latlardan tayyorlanadi.

Meva va rezavorlarni maydalab, ularning sharbatini qoldiqlardan ajratish uchun tsentrifugasi bor diskli tegirmon ishlatiladi (7.8-rasm).

Mashina qobig`i ichidagi o`qqa qirg`ichli disk o`rnatilgan bo`lib, u konussimon rotor yordamida aylantiriladi. Xom-ashyo yuklovchi bunker 2 orqali savat 9 ga uzatiladi. Savatning devori temir to`rdan yasaladi va u filtrlovchi yuza vazifasini

ham bajaradi.

Maydalangan xom-ashyo 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 otsidagi bo`shliqdan turpni chiqarish patrubkasidan tashqariga uzatiladi.

Juvali maydalagichlar ikkita parallel tsilindrik juvadan iborat bo'lib, bir-biriga qarab aylanadi va ezish usulida materiallarni maydalaydi.

Tekis juvali maydalagichlar tsanina 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 mutsahkam bo'lak tushib qolsa, 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.

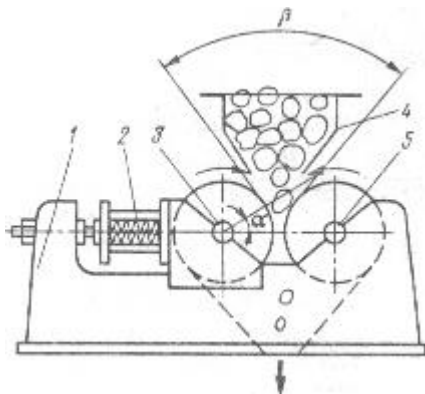
Tekis juvali maydalagichlar o'rtacha va mayda yanchish uchun ishlatiladi, chunki u ilintiradigan bo'lakning o'rtacha o'lchami $0,05 \cdot D$ dan kichik.

O'rtacha mutsahkamlikdagi mo'rt materiallarni maydalash uchun tishli, juvali mashinalar qo'llaniladi.

O'rtacha mutsahkamlikdagi mo'rt materiallarni juvali mashinalardi qayta ishlanganda $i = 10 \dots 15$ maydalash darajasini olish mumkin. Yuqori mutsahkamlikdagi materiallarni maydalashda esa, $i = 3 \dots 4$ dan ortmaydi.

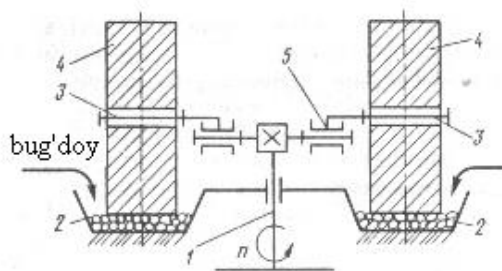
Juvali maydalagichlar quyidagi afzalliklarga ega: sodda va ixcham; ekspluatatsiyada ishonchli.

Kamchiliklari: maydalangan materiallar yassi bo'laklardan iborat; yuqori mutsahkamlikka ega



7.9-rasm. Juvali tegirmon.

1-stanina; 2-prujina;
3-harakatchan juva;
4-bunker; 5-qo'zgalmas juva.



7.10-rasm. Yuguruvchi tegirmon.

1-vertikal o'q; 2-jomlar;
3-gorizontall o'qlar; 4-tegirmon
toshlari; 5-krivoship.

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 $\alpha < \varphi$ bo'lishi kerak.

Ilintirilayotgan bo'lakning eng katta o'lchami $d_k = 2 \cdot r$ bo'lgani uchun:

$$R + e = (R + r) \cdot \cos \alpha \quad (7.18)$$

bu erda e - juvalar orasidagi tirqish o'lchamining yarmi; R - juva radiusi.

Juvalar bir-biriga zich o'rnatilganida ($2e = 0$):

$$2r = \frac{2R(1 - \cos \alpha)}{\cos \alpha} \quad (7.19)$$

Agar, $\cos \alpha = 18^\circ$ 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:

$$n = 616 \sqrt{\frac{f}{\rho d_k D}} \quad (7.20)$$

bu erda f - materialni juvaga ishqalanish koeffitsienti ($f=0,3$); 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.

$$Q \approx 0,2 \mu \rho L D e n \quad (7.21)$$

bu erda μ - maydalangan materialning yumshash koeffitsienti ($\mu=0,2-0,3$); L - juva uzunligi, m; chiziqli o'lchamlar D, n, L, e - m, zichlik ρ esa - kg/m^3 .

Artish mashinasi. Gorizontol, bir kamerali artish mashinasi 7.10-rasmda ko'rsatilgan.

Ayrim hollarda kameralar soni bir nechta bo'lishi mumkin. Kamera tsilindrik qobiqdan iborat bo'lib uning ichida metal to'r parda joylashtirilgan. Jobiq va to'r parda orasida halqasimon kanal bor. Jobiq o'qi bo'ylab artish kurakchali rotor o'rnatilgan. To'r parda va kurakchalar orasida zarur o'lchamli tirqish bo'lib, u erda maydalash va edirilishi 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.

Tegirmon toshlari vertikal o'qlarga o'rnatiladi va u bilan birga aylanadi.

Undan tashqari, jom uchidagi material bilan ishqalanish natijasida tegirmon toshlari gorizontol o'qi atrofida ham aylanadi. Maydalash jarayoni ezish va edirilish usullarini hisobiga bo'ladi.

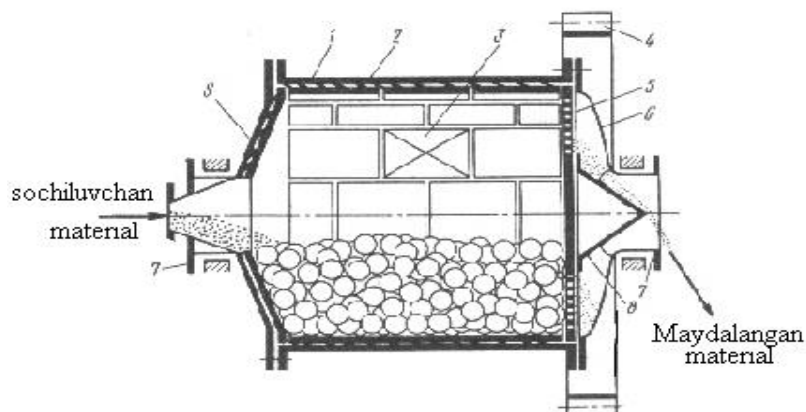
Jo'zg'almas jomli va uzatmadan aylanuvchi tegirmon toshli, hamda uzatmadan aylanuvchi jomli va qo'zg'almas tegirmon toshli yuguruvchi tegirmonlar bor. Oxirgi turdagi tegirmon tez yurar ($20...50 \text{ min}^{-1}$) mashina deb hisoblanadi.

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.



7.11-rasm. Sharli tegirmon. 1-baraban qobig'i; 2-zirhli plita; 3-lyuk; 4-uzatma shesternyasi; 5-panjara; 6,9- qopqoq; 7-ichi bo'sh capfalar; 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 patsga 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 patsga, parabolik traektoriya 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 chatsotasi quyidagi formuladan topadi:

$$n_c = \sqrt{\frac{900 \cdot g}{\pi^2 R}} = \frac{42,3}{\sqrt{D}} \quad (7.22)$$

Odatda tegirmonning aylanish chatsotasi n_c ning 75% ga teng deb qabul qilinadi va ushbu formuladan aniqlanadi.

$$n = \frac{32}{\sqrt{D}} \quad (7.23)$$

bu erda D - baraban diametri, m.

Tegirmonning ish unumdorligi Q (t/soat) quyidagi tahminiy formuladan hisoblab topiladi:

$$Q = V K D^{0,6} \quad (7.24)$$

bu erda V -baraban hajmi, m; K - xom-ashyo bo'laklarining o'rtacha o'lchamiga bog'liq proportsionallik koeffitsienti, $K=0,41...1,31$.

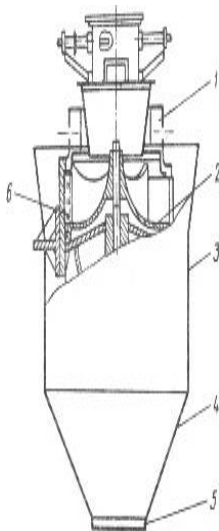
Afzalliklari: universal, maydalash darajasi yuqori, ishlatishda havfsiz va qulay.

Kamchiliklari: qo'pol, og'ir, foydali ish koeffitsienti 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 chatsotasi va amplitudaga bog'liq.

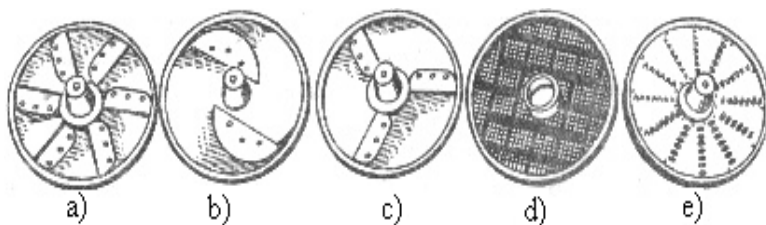
Odatda tebranish amplitudasi 2...4 mm bo'lganda, chatsotasi esa 1500...2500 min⁻¹.

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. Jobiq va rotor orasidagi tirqishda suspenziya edirilish- usulida maydalanadi.



7.12-rasm. Markazdan qochma, romli kesgich.

1-yuklovchi bunker; 2-pichoqli rom;
3-qobiq; 4-tub; 5-lyuk; 6- uch parrakli spiralsimon moslama.



7.13-rasm. Sabzavot kesgichning qirqish diskleri.

a-tilimcha qilib kesadigan; b-yumshoq va sersuv mahsulotlarni yupqa kesadigan; c-taram-taram tilimcha kesadigan; d-kub shaklida kesadigan; e-qirg'ich.

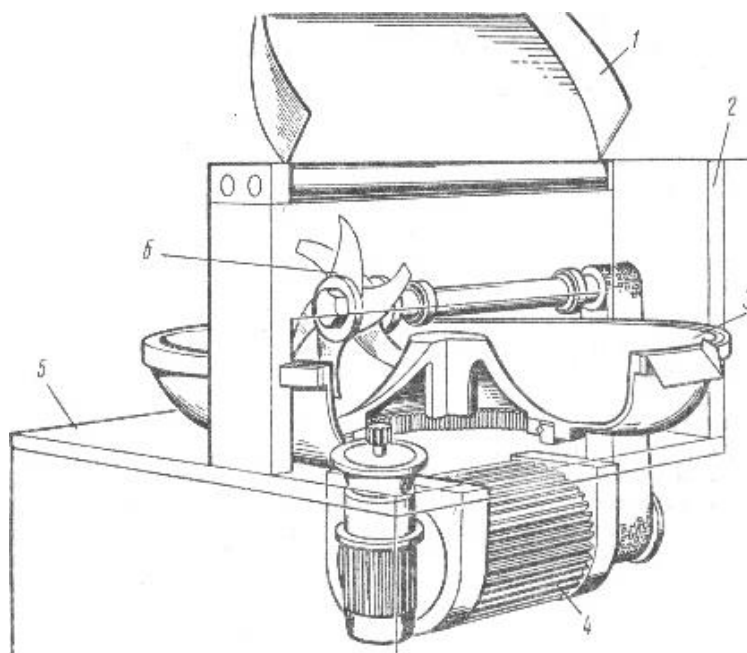
Markazdan qochma, romli kesgich. Odatda, bu turdagi mashina qand lavlagini parrak qilib kesish uchun mo'ljallangan (7.12-rasm).

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. Jirqalgan 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.

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'qqa o'rnatilgan gorizontaldisk xizmat qiladi.

Mashina, utsiga poliamid qatlami qoplangan, yuqori sifatli, rangli materialdan yasaladi. Kesilgan sabzavotlarni rangi va o'lchami pichoqning kontsruktsiyasi va konfiguratsiyasiga bog'liq (7.13-rasm). Go'sht maydalagich - kutter kontsruktsiyasi 7.14-rasmda keltirilgan.



7.14 - rasm. Go'sht maydalagich (kutter)

1-qopqog; 2-devor; 3-jom; 4-uzatma; 5-stanina; 6-kesuvchi asbob.

Legirlangan po'latda yasalgan va aylanuvchi jomga go'sht avtomatik ravishda yuklanadi. Jomdagi freza shaklidagi kesuvchi asbob yordamida go'sht kerakli o'lchamlarda kesiladi. Kesish tezligi 130 m/s ni tashkil etadi. Jarayon vakuum otsida olib boriladi. Qobiq material 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. Qopqog va qobiq birikmasini zichlash maxsus polimer qitsirmalar ishlatiladi.

7.5. Donador, sochiluvchan materiallarni klassifikatsiyalash

Donador material aralashmasini fraktsiyalarga, 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 klassifikatsiyada 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 klassifikatsiya qattiq zarrachalar aralashmalarini suyuqlikda cho'kish tezligi asosida fraktsiyalarga 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 fraktsiyasi 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 millimetrni bir necha ulushdan toki bir necha santimetr o'lchamli materiallarni ajratish uchun qo'llaniladi. Klassifikatsiyalash jarayoni elash (groxot) yoki ajratish (separator) moslamalarida amalga oshiriladi.

Materiallarni elash uchun metall yoki boshqa material litslarida teshiklar hosil qilingan to'rlar, metall tserjenlari 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.

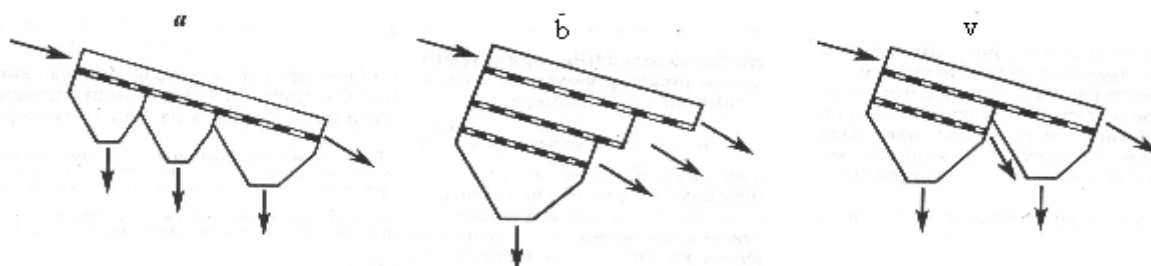
To'rlar 2-12 mm qalinlikdagi metall litslardan 2-10 mm diametrlardagi teshikli qilib yasaladi. Teshiklar tiqilib qolmasligi uchun, teshik patsga qarab kengayib boruvchi shaklda qilinadi.

Kolosniklarni tserjenlardan 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 otsida bo'lishi kerak.

Klassifikatsiyalash natijasida ikki xil mahsulot, ya'ni elangan va elanmagan mahsulotga ajraladi. Elangani mahsulot - teshiklardan o'tgani bo'lsa, elanmagani bu elakdan o'tmagan qismi bo'ladi.

Klassifikatsiyalash bir va ko'p martali bo'ladi. Oddiy klassifikatsiyalashda material bir marta elansa, ko'p martali klassifikatsiyada esa teshiklari turli o'lchamli bir nechta elaklardan o'tkaziladi.



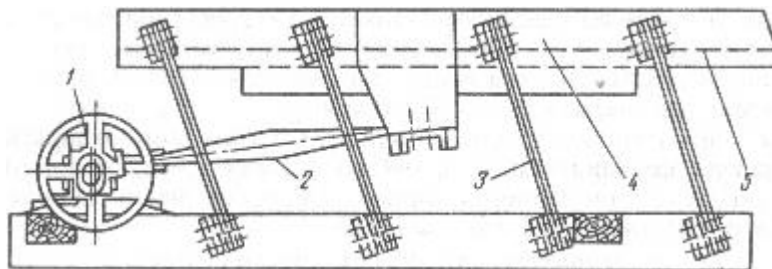
7.15-rasm. Elash usullari.

a-maydadan yirikka; b-yirikdan maydaga; v-kombinatsiyalangan.

Elaklar. Ma'lum bir qator fraktsiyalarni klassifikatsiyalab ajratib olish uchun quyidagi ko'p marotabali elash usuli qo'llaniladi (7.15-rasm):

- maydadan yirikga. Ushbu usulda material teshik ulchamlari ortib boruvchi bir nechta elakdan ketma-ket o'tkazish yo'li bilan amalga oshiriladi;
- yirikdan maydaga. Teshik o'lchamlari kamayib boruvchi elaklar biri-birini utsiga 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.



7.16-rasm. Tebranuvchi elak.
1-ekscentrik; 2-shatun; 3- prujina; 4-qobiq; 5-elak.

Elak krivoship mexanizmi yordamida tebranma harakat kiladi. Elangan mahsulot patsga teshikdan to`kiladi, elanmagani esa elak bo`ylab harakatlanib, qayta maydalashga jo`natiladi. Bir qancha fraktsiyalarga ajratish uchun tebranuvchi elaklar ko`p qavatli qilinadi. Material qurilmaning eng yuqorisiga to`kiladi. Katta o`lchamli material yuqori qavatda qoladi, maydalari esa patski qavatda to`planadi. Katta o`lchamli bo`laklari yana qaytadan maydalashga jo`natiladi.

Teshikli tebranuvchan g`alvir-mashinaning afzalliklari: g`alvirlash samaradorligi yuqori; ixcham; ta`mirlash qulay.

G`alvir mashinaning kamchiliklari: kontsruktsiyasimukammal 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 utsida harakatlanadi va ular orasidagi tirqishdan patsga tushadi. Elangan material elakning oxiridan tashqariga to`kiladi.

Materialni uzluksiz silkinishi tufayli uning g`ildirak yoki disklar bo`ylab harakatlangani uchun fraktsiyalarga ajralish samaradorligi ortadi.

Barabanli g`alvir-mashina esa, gorizontga nisbatan  $4-7^\circ$  burchak otsida joylashgan baraban bo`lib, uni to`rdan yoki taram-taram qilib temir litsdan yasalgan bo`lib, o`qga yoki tirkakli g`ildirakga o`rnatilgan bo`ladi. Barabanning ochiq tomonidan material yuklanadi. Baraban devori orqali mayda material elanadi, elakdan o`tmagani esa barabanning pats tomonidan to`kib olinadi. Barabanli g`alvir-mashina eng mayda zarrachalarni yirik bo`laklarda klassifikatsiyalash uchun ishlatiladi.

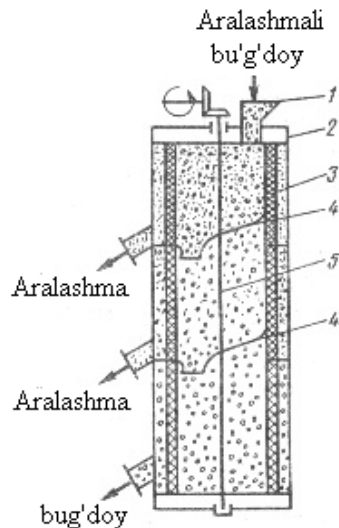
Falvir teshiklarini material harakatlanish yo`li bo`yicha o`zgartirish, ya`ni kattalashtirish ham mumkin bo`ladi.

Barabanli g`alvir mashinaning kamchiliklari: ajratish samadorligi va unumdorligi kichik.

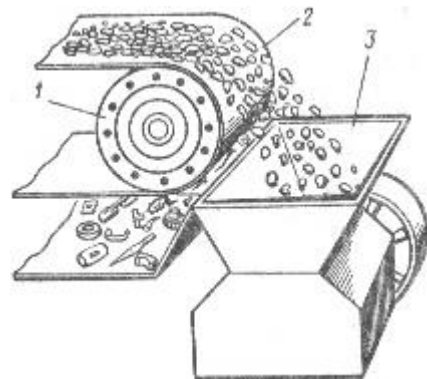
Donli, krupali va boshqqli don mahsulotlarini tozalash uchun gorizont va vertikal tsilindrik don tozalash ajratgichlardan foydalaniladi. Ajratish jarayoni metall to`rli ajratgichlarda amalga oshiriladi.

Elak (to`r) teshiklari don aralashmasi harakati yo`nalishi bo`yicha kattalashib boradi. Aralashmani ajratish esa vertikal ajratgichda markazdan qochma kuch yordamida amalga ohsa, gorizontajratgichda esa tebranma harakat tufayli amalga oshiriladi.

7.17-rasmda barabanli markazdan qochma ajratkich (separator) ning sxematik ko`rinishi tasvirlangan.



7.17-rasm. Barabanli g'alvir
1-yuklash shtuceri; 2-qobiq;
3-baraban; 4-kanalli to'siq;
5-o'q.



7.17-rasm. Barabanli g'alvir
1-yuklash shtuceri; 2-qobiq;
3-baraban; 4-kanalli to'siq; 5-o'q.

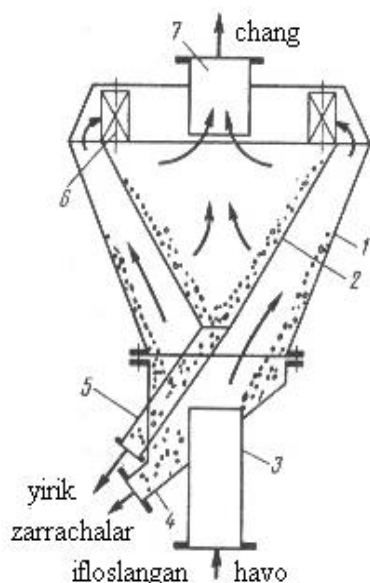
Baraban bir necha qism (seksiya) dan tashkil topgan. Tozalanmagan don yuqori sektsiyaga kelib tushadi. Markazdan qochma kuch ta'sirida boshqoli material barabanli ajratkichning g'alvirsilgan devor chetiga uriladi. Material tarkibidagi, qo'shimcha aralashmalar g'alvir orqali o'tib ketadi, elangani ajratgichdan chiqarib tashlanadi.

Don esa, tozalanadigan patski qismiga tushadi.

Tebranuvchi g'alvir mashinalarining elagi tekis yotiq bo'lib, tebratkich yordamida harakatga keltiriladi. Materialning elak utsida doim tebranib (silkinib) turishi tufayli, elak teshiklari to'lib qolmaydi va zarrachalar teshikdan o'tib ketadi. Ushbu jarayon tebranish chatsotasi va amplitudasini o'zgartirish yo'li bilan rotslash oson. Falvirda detallarni almashtirish qiyin emas.

Sochiluvchan materiallar tarkibidagi temir va cho'yan aralashmalarni tozalash elektromagnit ajratkich yordamida amalga oshiriladi (7.18-rasm).

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 boshqoli materiallar bunkerga to'kilaveradi. Keyin esa, metall zarrachalar ham maydon ta'siridan uzoqlashgandan so'ng, ular ham bunkerdan tashqariga yig'iladi. Shu usulda donlarni metallardan ajratish mumkin bo'ladi.



7.19-rasm. Markazdan qochma separator shemasi.
1-qobiq; 2-ichki konus; 3- materialni yuklash patrubkasi; 4,5-yirik zarrachalarni yuklash patrubkasi; 6-yo'naltiruvchi kurakcha; 7- changni chiqarish patrubkasi.

Magnitli ajratkichlar metallarni mashinalarga yuklash jaraenida ham ishlatish mumkin bo'ladi.

Jattiq jismlar aralashmasini fraktsiyalarga gidravlik klassifikatsiyalash qattiq zarrachalarni suyuqlikda cho'kishinigi umumiy qonuniga bo'ysunadi.

Gidravlik klassifikatsiyalash suv oqimining gorizonttal yoki ko'tarilish harakatida amalga oshiriladi.

Oqim tezligi shunday tanlanadiki, bunda klassifikatoridan 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 otski mahsulot deb nomlanadi.

Markazdan qochma kuch ta'sirida klassifikatsiyalash esa gidrotsiklonlarda amalga oshiriladi.

Havo yordamida ajratish gidravlik klassifikatsiyalashdan farqi shundaki, zarrachalarni havoda cho'ktirish tezligi suyuqlikda cho'kish tezligidan tezroq boradi. Havo yordamida ajratish, tsiklonli qurilmalarda havoning yuqoriga ko'tariluvchi oqimida amalga oshiriladi.

7.19-rasmda markazdan qochma ajratkich sxemasi ko'rsatilgan. Bunday ajratkichlarni tegirmondan chiqadigan havo oqimiga ulanadi. Yirik zarrachalar markazdan qochma kuch ta'sirida halqa (aylanma) oralik va konus devorlariga urilib ajratiladi. Yig'ilgan yirik zarrachalar konus devoridan sirpanib-dumalab qurilmaning patski qismidan ajratib olinadi. Ajralmagan mayda zarrachalar havo oqimi bilan birgalikda tsiklonga chiqib ketadi.

7.6. Qattiq materiallarni maydalashning maxsus usullari

Oxirgi vaqtda qattiq materiallarni portlatish, termik va elektrotermik, hamda termomexanik maydalash va yanchish usullari utsida keng miqyosda tadqiqot ishlari olib borilmoqda va sanoat texnologiyalariga tadbiiq 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'liqini ham material parchalanishiga qo'shimcha xissa qo'shadi.

Elektrogidravlik maydalash usulida materialni parchalovchi zarba to'liqini 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 datslabki jarayon bo'lib faqat uning mutsahkamligini 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 sovitiladi.

ToshKTI «Texnologik jarayonlari va qurilmalari» kafedrasida go'shtni noan'anaviy «portlatish» usulida pishirish 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, tsilindrik 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 0,001-0,3 s vaqt ichida, keskin ravishda atmosferaga chiqarib yuboriladi, ya'ni atrof muhit bosimi bilan tenglashtiriladi. Natijada bosimlar farqi otsida, mahsulot tarkibidagi namlik o'ta qizigan holatdan qiska 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 buladi. Lekin, shunday texnologik rejimlar tanlash mumkinki, «portlatish» usulida go'sht ushbu usulda qayta ishlanganda pishib chiqadi, ammo yaxlitligi, bir butunligi saqlanib qoladi. 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 utsida jadal izlanishlar olib borilmoqda.

8 - bob. GRANULLASH VA PRESSLASH

8.1. Umumiy tushunchalar

Qattiq materiallarni suvsizlantirish, briketlash, hamda plastik materiallarni granullash va shakllantirish uchun kimyoviy, oziq-ovqat, farmastevtika 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 xom-ashyo 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 stilindrik 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 emlar, hamda chiqindilarni qayta ishlash sanoatlari va boshqalarda briketlash keng ishlatiladi.

Briketlash jarayonining turlari ko'p bo'lib, eng asosiylari granullash va tabletkalash. Ma'lumki, tabletkalar va granular o'lchamlari briketnikiga qaraganda ancha kichik bo'ladi. Halq ho'jaligada mineral o'g'it, plastmassa, em, 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, em, 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 stentrifugalarda 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% namlikgacha 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 $\sim 750 \text{ kg/m}^3$.

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 zichlikgacha presslanadi. Briketlar pressdan chiqishi bilan sovutiladi yoki quritiladi.

Briketlash jarayonining asosiy xarakteristikasi bu presslash bosimining ortishi va presslanayotgan moddaning zichlanish koeffitsientlari o'rtasidagi bog'liqlikdir:

$$\frac{\beta}{\beta_0} = \frac{V}{V_1} = \frac{h}{h_1} \quad (8.1)$$

bu erda β , β_0 - oxirgi va boshlang'ich zichlanish koeffitsientlari; 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 engish 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:

$$\psi \ln \frac{p}{p_0} = \beta - \beta_0 \quad (8.2)$$

Press-qolip tubidagi solishtirma bosim:

$$p_h = p \cdot \exp\left(\frac{\xi f \Pi z}{F}\right) \quad (8.3)$$

bu erda h - briket balandligi; z - matrista (o'yma qolip)dagi briket va puanson orasidagi masofa; P - briket

perimetri; f - materialning matrasta devoriga ishqalanish koeffitsienti; F – koʻndalang kesim yuzasi; $\xi = \frac{p_{xz}}{p_z}$ - yon tomondagi solishtirma bosimning vertikal tomondagi solishtirma bosimga nisbati.

Oʻzgaras koʻndalang kesimli briketning oʻrtacha zichligi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\rho = \frac{\rho - \rho_x \cdot \psi \cdot \ln \frac{p}{p_0}}{1 - \frac{\psi \xi f \Pi G_k}{2F \rho_k}} \quad (8.4)$$

bu erda G_k - briketdagi qattiq faza massasi.

Bir tomonlama presslash jarayonida hosil boʻlgan briketning zichligi uning balandligi boʻyicha bir tekisda boʻlmaydi. Bunga sabab, materialning matrasta devoriga ishqalanishidir. Shuning uchun, yuqori sifatli, balandligi boʻyicha zichligi bir xil briketlar ikki tomonlama presslash natijasida hosil boʻladi.

8.3. Shakllantirish

Presslash va granullash jarayonini oʻtkazishdan maqsad bosim, temperatura, namlik va qoʻzgʻalish kuchlanishlarini kompleks taʼsirida tayyor va qisman yarim tayyor mahsulotlarni olishdir.

Ushbu jarayonlar ekstruderlarda oʻtkaziladi. 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 yoʻnalishda oʻzgartirish, jarayonni uzluksiz tashkil etish, materialga uzluksiz ravishda aromatik birikma, boʻyoq, plastifikator va taʼm beradigan moddalarni betoʻxtov uzatish imkoniyatini beradi. Ekstruziya jarayoni plastmassa, rezina, hamir kabi materiallarni, hamda makaron, konditer mahsulotlari, omuxta em, bolalar ovqati, granullangan emlar ishlab chiqarishda qoʻllaniladi. Ekstruziya usulida olingan tayyor mahsulot yoki qisman tayyor mahsulot **ekstrudat** deb ataladi. Ekstrudatning shakli unga oʻrnatilgan matrasta teshiklari shakli bilan belgilanadi.

Issiq, sovuq yoki qaynash ekstruziya usullari bor.

Plastik xom-ashyo va materiallarni matrasta orqali ezib oʻtkazgandagi mexanik shakllantirish-sovuq ekstruziya usulida amalga oshiriladi.

Namligi 20...40% va tarkibida kraxmal bor materiallarni qisman kleysterizastiya qilish uchun issiq ekstruziya usulidan foydalaniladi. Olingan mahsulot albatta qovuriladi yoki pishiriladi.

Jaynash ekstruziyasi jarayonida qayta ishlanayotgan materialda qaytmas biofizik oʻzgarishlar (birinchi galda oqsil, kraxmal va shakar) sodir boʻladi. Odatda, hosil boʻlgan ekstrudat quritiladi yoki qovuriladi va zarur modda bilan qoplanadi.

8.4. Mahsulotlarni presslash uskunalari

Kime, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda turli xil konstruktsiyali presslar ishlatiladi. Ularni 2 ta guruhga ajratsa boʻladi: gidravlik va mexanik presslar.

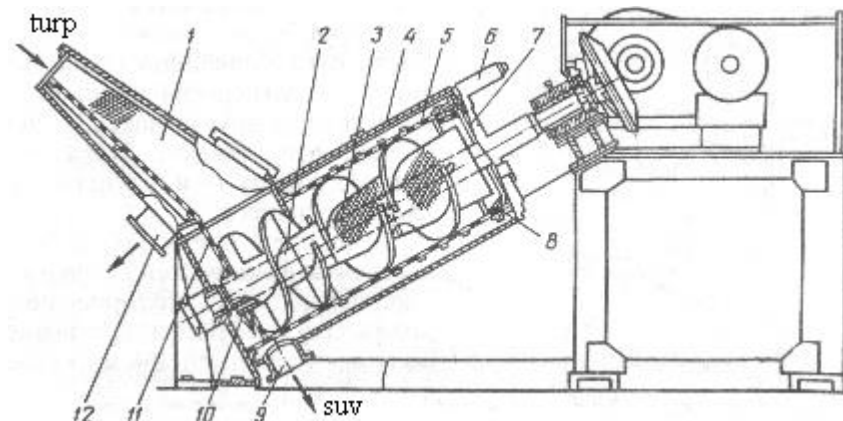
Gidravlik press-gidravlika qonunlariga binoan ishlaydi. Pressning asosiy qismi stilindrik boʻlib, uning ichida qoʻzgʻalmas plita bilan bogʻlangan plunjer harakat qiladi. Plunjerning harakati yuqori bosimli suyuqlik taʼsirida amalga oshadi.

Presslanayotgan material qoʻzgʻalmas va harakatchan plitalar orasida boʻladi. Materialda, plunjer yoki porshen yordamida hosil qilingan bosim kuchi, uning yuzasigi toʻgʻri proporsional:

$$P = p \cdot F \quad (8.5)$$

bu erda p - gidravlik sistemadagi bosim, N/m²; F - porshen yoki plunjer yuzasi, m².

Jiya shnekli press lavlagi turpini siqib, sharbat olish uchun moʻljallangan (8.1-rasm). Lavlagi turpi separator 1 ga yuklanadi va u erda undan qisman suv chiqariladi, soʻng esa pressda suvning asosiy qismi siqib olinadi.

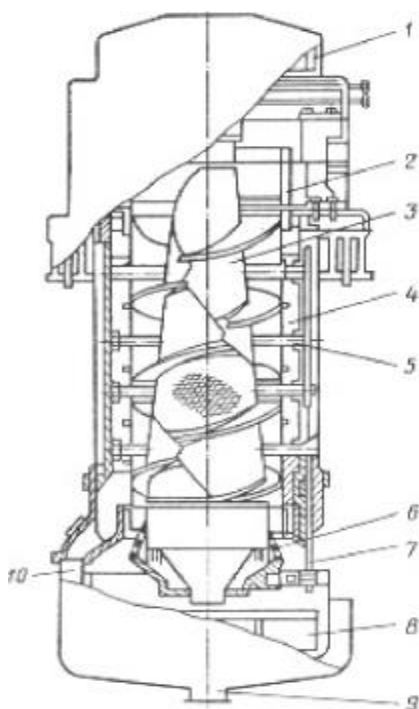


8.1-rasm. Qiya shnekli press.

1-separator; 2-shnek o`qi; 3-elak; 4-siquvchi shnek; 5-cilindrik 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.

Bu suvning bir qismi stilindrik elak 5 dan o`tib shtuster 9 orqali, ikkinchi qismi esa - elak 3 dan shnekning g`ovak o`qiga tushadi va teshik 10 va shtuster 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.



8.2-rasm. Vertikal shnekli press.

1-shesternya; 2-yuklovchi shtuser; 3-shnek; 4-ajraluvchan elak; 5-mahsus parrak; 6-konussimon elak; 7-bolt; 8-qirg`ich; 9-shtuser; 10-kanal.

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. Maxsus parraklarda teshiklar bo`lib, ulardan truba quvurlari orqali kelayotgan bug` o`tadi.

Pressning tepa qismida yuklovchi shtuser 2 joylashgan bo`lsa, pastki qismida esa - konussimon teshikli ajraluvchan stilindrik elak o`rnatilgan.

Nam lavlagi turpi yuklovchi shtuster 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.

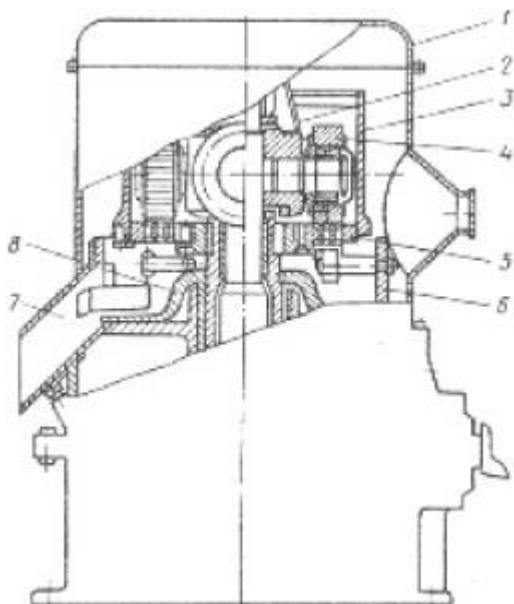
Suvning bir qismi stilindrik elakning teshiklari, boshqa qismi esa - ichi bo`sh shnek orqali oqib chiqadi va kanal 10, shtuster 9 lardan to`kiladi.

Ilindrik 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.

Rotastion presslar quruq turpni briketlash uchun qo`llaniladi. Ushbu presslarning tekis, yassi yoki stilindrik matristasi bo`ladi.

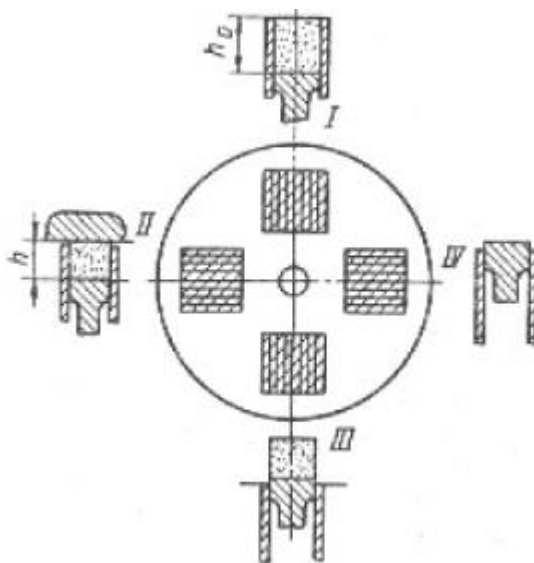
Presslash jarayonida bu turdagi presslarda juda katta inerston kuchlar hosil bo`ladi. Shuning uchun bu qurilmalar katta, og`ir poydevorga o`rnatiladi.

Yassi matristali gorizontal rotastion pressning konstrukstiyasi 8.3-rasmda ko`rsatilgan.



8.3-rasm. Rotasion press.

1-qobiq; 2-material taqsimlagich; 3-bunker; 4-presslovchi juva; 5-matrica; 6-granulani kesish moslamasi; 7-to'kish novi; 8-parrak.



8.4-rasm. Diskli pressning ishlash shemasi.

Pressningasosiyqismi - bupresslovchiuzelbo`lib, matrasta 5 vapresslovchijuva 4, granulakesishmoslamasi 6 vaichibo`sho`qlardantarkibtopgan. Matrasta 5 ichi bo`sh o`qga o`rnatilgan va u bilan birga aylanadi. Konussimon taqsimlagich 2 quruq materialni juva 4 ostiga yo`naltirish uchun mo`ljallangan.

Matristadan chiqayotgan presslangan material pichoq bilan kesiladi va parrak yordamida to`kish noviga yo`naltiriladi. Matrasta va pichoq orasidagi tirqish 0,5 mm dan ortmasligi kerak. Lekin, pichoq matrastaning ishchi enini yopib turishi va pichoq tig`i matrastaning ostki yuzasiga parallel bo`lishi zarur. Gorizontel 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 matrastali disklar; rafinat bo`laklarini presslash uchun tayanch; stol yuzasini ishqlab ortish mexanizmi; presslangan rafinat bo`laklarni ko`tarish mexanizmi; stanina, uzatma va diskarni aylantirish mexanizmi.

Press stoli gorizontel tekislikda soat strelkasiga qarshi yo`nalishda aylanma harakat qiladi (8.4-rasm).

Ushbu stol bitta aylanishida to`rt marotaba to`xtaydi va ketma-ket quyidagi operastiyalar bajariladi:

- I - matrastani rafinat bo`tqasi bilan to`ldirish;
- II - puanson yuqoriga harakat qilganda shakllantirish;
- III - matrastadan qand bo`laklarini puanson yordamida surib chiqarish;
- IV - puansonni qand qoldiqlaridan tozalash va mastika bilan ishqlash.

Odatda press matrastalari qutichalar shaklida latun materialdan tayerlanadi va disk teshiklariga joylashtiriladi.

Tabletka qilish mashinalaridan eng keng qo`llaniladigan turi sifatida rotastion qurilmani ta`kidlash mumkin.

Rotastion tabletka qilish mashinalari 2 sinfga bo`linadi. Birinchi sinfga oid mashinalarda puanson kopira ustida dumalab harakatlanadi, ikkinchisida esa - sirpanadi.

Rotastion tabletka qilish mashinalarining ish unumdorligi ushbu formuladan topiladi:

$$Q = 60 \left(\frac{P}{p} \right) h \cdot \rho \cdot N \cdot m \cdot k n \quad (8.6)$$

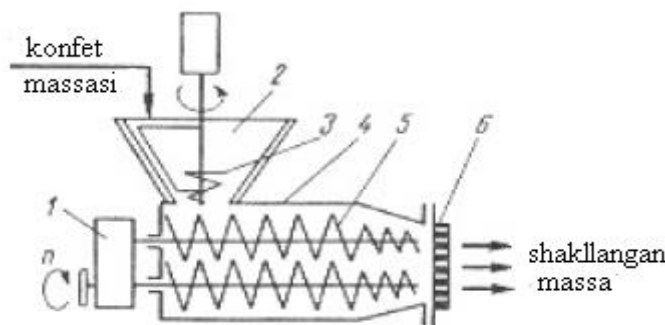
bu erda **R**-presslash kuchlanishi, N; **r**-presslash bosimi, MPa; **h**-matrastadagi materialning presslashgacha bo`lgan balandligi, m; **ρ**- material zichligi, kg/m<sup>3</sup>; **N**-rotordagi matrastalar soni; **m** - matrastadagi uyalar soni; **k** - ko`p pozistiyalik koeffitsienti (**k**=1,2,3,4); **n** -rotor aylanish chastotasi, min⁻¹.

Ikki shnekli shakllantirish pressi kimyo va oziq-ovqat sanoatlarida keng ko'lamda ishlatiladi (8.5-rasm).

Press yordamida mahsulotga bosim beriladi va u filera orqali siqib chiqariladi.

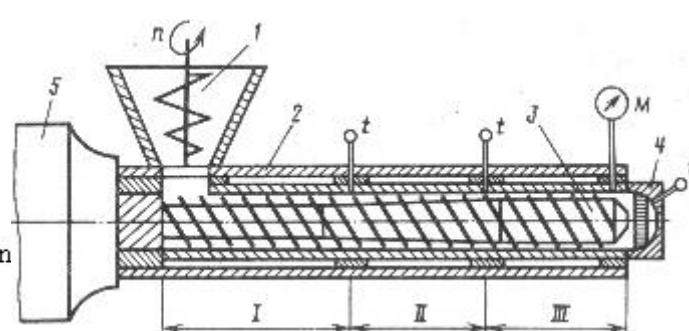
Filera - bu teshiklari bor yassi metall disk bo'lib, uning teshiklaridan yuqori bosimda qayta ishlanayotgan mahsulot siqib chiqariladi. Ushbu teshiklarning shakli tayyor mahsulot tashqi ko'rinishini belgilaydi. Fileradan chiqish paytida mahsulot bovliqi eksstentrik o'rnatilgan pichoqlar bilan granula qilib kesiladi.

Shnek hosil qiladigan bosim filera teshiklarining gidravlik qarshiligiga bog'liq. O'z navbatida gidravlik qarshilik mahsulot konsistentiyasi,



8.5-rasm. Ikki shnekli shakllantirish pressi.

1-uzatma; 2-yuklovchi shtucer;
3-qadoqlovchi shnek; 4-press qobig'i;
5-shnek; 6-filera.



8.6-rasm. Bir shnekli ekstruder.

1-yuklovchi shtucer; 2-qobiq;
3-shnek; 4-filera; 5-uzatma;
t-termoparalar; M-bosim ko'rsatkichi.

teshiklar shakli va o'lchamiga bog'liqdir.

Bir shnekli ekstruder 8.6-rasmda ko'rsatilgan bo'lib, yuklovchi shtuster 1, qobiq 2, shnek 3, matrasta 4 va boshqarish sistemali uzatma 5 lardan tarkib topgan. Shnek diametri 50...250 mm, uzunligi esa 1 dan 20 ta diametrgacha. Shnek o'rni shaklining profili to'g'ri burchakli yoki trapestidal bo'lishi mumkin.

8.6-rasmdagi I zona materialning nam holatini, II-qayishqoq holatini va III-zonada amorf, oquvchan massani ifodalaydi.

Ekstruder ishlash ko'rsatkichi -bu uning samaradorligi, ya'ni ish unumdorligining iste'mol qilyotgan 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 granulyator konstrukstiyalari

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: er ostida vulqon otilib chiqishi, er ustida muz va tuproq siljishida, shag'al va atmosferada do'l hosil bo'lishlardir.

Insoniyat qadim zamonlardan erga ishlov berishda, ya'ni uning unumdorligini oshirish uchun unga yumaloq-yumaloq tarkib yoki qurilishda mineral xom-ashyoni shakllantirishda granullash jarayonidan foydalanib kelgan.

Bu jarayon natijasida fizik-mexanik xossalari yaxshilangan granular 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 changi-maydi.

Granullash jarayoni quyidagi texnologik bosqichlardan iborat:

- xom-ashyoni qayta ishlashga tayyorlash komponentlarni qadoqlash va aralashtirish;
- granula hosil qilish (aglomerastiya, kristallash, zichlash va h.);
- granula tarkibini mo'tadillash (quritish, sovitish, polimerizastiya usullarida zarrachalar orasidagi bog'larni mustahkamlash);
- klassifikastiyalash, yirik frakstiyalarni parchalash (yanchish);

Hozirgi kunda, sanoatda qo'llaniladigan va ma'lum granullash usullari quyidagilardir:

- 1) qattiq moddalarni yumalatib granullash; 2) eritmani purkash va granulyastion 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) ekstruziya.

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 (play) va boshqalar. Suyuqlik va materiallarning o'zaro ta'sir sxemasi quyidagicha:

agarda frakstiyada mayda zarrachalar ulushi qo'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 frakstiyada mayda zarrachalar ulushi ko'paysa, granula zichligi ortadi va ularning mustahkamligi ortadi.

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 plenkasining 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.

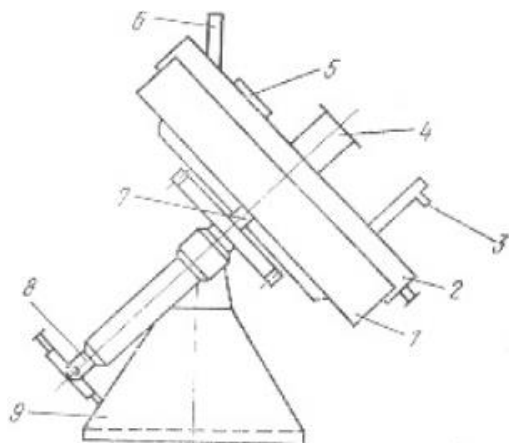
Granula tarkibining zichlanishi har tomonidan ko'p urilishlar natijasida asta-sekin boradigan jarayondir.

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.

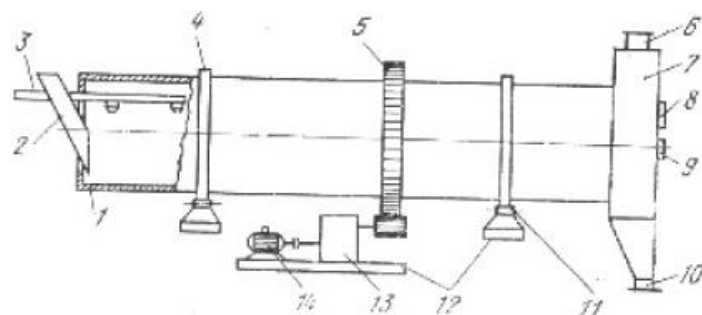
Barabanli granulyator odatda gorizontga nisbatan 1-30° og'ish burchagida o'rnatiladi. 8.7-rasmda barabanli granulyator-quritgich qurilmasi ko'rsatilgan. Bu qurilma eritmalarni granullash va quritish, hamda konstrukstiyasiga qarab, hosil qilingan mahsulotni klassifikastiyalash va sovitish uchun qo'llaniladi.

Qilindrik obechayka 1 ning tashqarisiga bandaj 4 va tojli shestereya 5 lar o'rnatiladi. Elektr yuritkich 14 dan aylanma harakat reduktor 13 yordamida 5 ga uzatiladi va natijada stilindrik obechayka 1 material bilan birga aylanadi. Barabanning bir chetida yuklovchi, ikkinchi chetida to'kuvchi kameralar joylangan bo'lib, ular granulyatorning ishchi hajmini zichlash funkstiyasini 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.



8.8-rasm. Tarelkali granulyator.

1-aylanuvchi tarelka; 2-zichlovchi qobig;
3-suyuqlik uzatuvchi purkagich; 4-bug'-
larni so'rib olish patrulkasi; 5-ko'rish
oynasi; 6-kukun yuklash patrulkasi;
7-o'q; 8-tarelka qiyalik burchagini
o'zgartiruvchi mexanizm; 9-tayanch.



8.7-rasm. Barabanli granulyator.

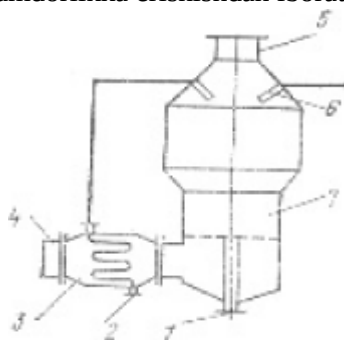
1-obe chayka; 2-kukunni yuklash tarnovi; 3-bog'lovchi taqsimlagich; 4-bandaj; 5-tishli shesternya; 6-bug'larni so'rib olish patrulkasi; 7-to'kish kamerasi; 8-yoritish uchun darcha; 9-ko'rish oynasi; 10-granulani to'kish patrulkasi; 11-tayanch g'ildirakcha; 12-beton poydevor; 13-reduktor; 14-elektr vuritkich.

Ushbu granulyatorning 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.

Bu tipdagi 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 frakstiyasini tashkil etadi. Undan tashqari, jarayonni avtomatlashtirish qiyin emas.

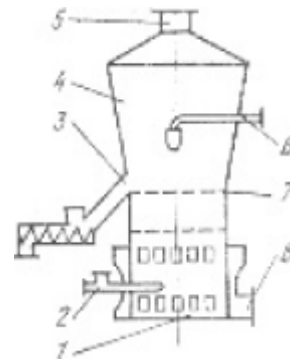
Kamchiliklari: o'lchami katta, qo'pol; metall ko'p sarflanadi; suyuqlikni purkash uchun ko'p energiya sarf bo'ladi; mahsulot qurilma devorlariga yopishishi mumkin;

Bu usulda ishlaydigan qurilmalarni optimallashtirish 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 patrulkasi; 2-suyuqlikni yuklash patrulkasi; 3-kalorifer; 4-issiqlik eltkich kirish patrulkasi; 5- ishlatib bo'lingan eltkichni chiqarish patrulkasi; 6- suyuqlik purkagich; 7-qurilma qobig'i.



8.10-rasm. Konussimon qurilma.

1-o'thona; 2-gaz gorelkasi; 3-granulani to'kish patrulkasi; 4-qobig; 5-ishlatib bo'lingan issiqlik eltkichni chiqarish patrulkasi; 6-mexanik purkagich; 7- gaz taqsimlovchi to'r parda; 8-issiqlik eltkich kirish patrulkasi.

Mavxum qaynash qatlamida granullash uchun turli konstruktsiyali granulyatorlar ishlatiladi. Odatda bunday granulyator 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) buladi. Qurilmaning shakli uning gidrodinamikasini belgilaydi.

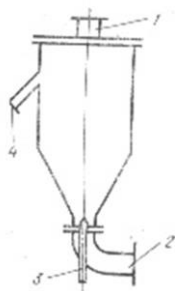
Konuslik burchagi 20° gacha bo'lgan qurilmalarda hamma ko'ndalang kesimlarida bir tekisda mavhum qaynash sodir buladi (8.9-rasm).

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 jarayon sodir bo'ladi (8.11-rasm)

Stilindr-konussimon mavhum qaynash qatlamli qurilmalarning silindrik qismida qatlamning zar-

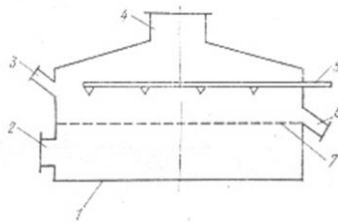
rachalari umuman boʻlmaydi (8.10-rasm).

Issiqlik eltichlar oʻzaro kesishgan yoʻnalishda harakat qilgan holatlarda qattiq zarrachalarni malum bir yoʻnalishda uzatish uchun toʻgʻri toʻrtburchak shakldagi qurilmalar ishlatiladi. (8.12-rasm)



8.11-rasm. Favvorasimon qatlami konussimon granulyator.

1-issiqlik eltichni chiqarish trubkasi;
2-issiqlik eltichni kirish patrubkasi;
3-suyuqlik purkagich; 4-mahsulotni toʻkish patrubkasi;



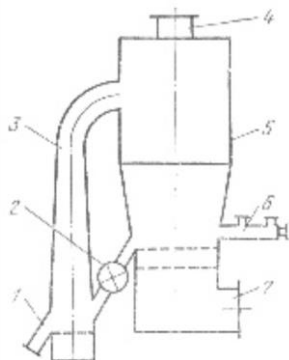
8.12-rasm. Toʻgʻri toʻrt burchak shaklidagi mavhum qaynash qatlamli granulyator.

1 - qobiq; 2 - issiqlik eltich kirish patrubkasi;
3 - recikl uchun kirish patrubkasi; 4-ishlatib boʻlingan issiqlik eltichni chiqarish patrubkasi;
5-suyuqlik taqsimlagich; 6-mahsulotni toʻkish patrubkasi; 7-gaz taqsimlash teshikli panjarasi.

Katta ish unumdorlikka erishish uchun toʻgʻri toʻrtburchakli qurilmalarni loyihalash, jarayonni yarim sanoat sharoitlarida tekshirish va sinash uchun kvadrat koʻndalang kesimli qurilmalar juda qulaydir (8.13-rasm).

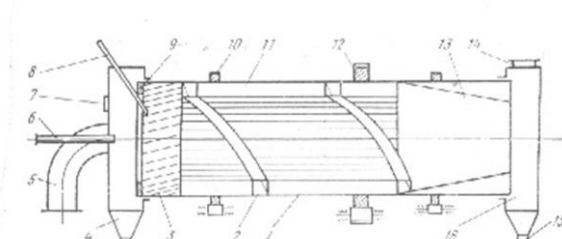
Barabanli granulyator-quritgich (BGQ) granullash va quritish uchun moʻljallangan, hamda konstrukstiyasiga qarab, mahsulotlarni klassifikatsiyalash va sovitishi mumkin.

BGK ning asosiy qismi baraban boʻlib, granula toʻkilish tomoniga qarab qiya oʻrnatiladi. Baraban, tashqarisida 2 ta bandaj tayanch 10 larga tayanib turadi. Undan tashqari, tojli shesternya 12 ham oʻrnatiladi va uning yordamida elektr yuritkichdan reduktor orqali kelayotgan aylanma harakat barabanga uzatiladi. Sanoat qurilmalari 3-5 ayl/min tezlikda harakat qiladi.



8.13-rasm. Kvadrat shaklidagi mavhum qaynash qatlamli granulyator

1-granula toʻkish patrubkasi; 2-tamba;
3-havoli konussimon klassifikator;
4-ishlatib boʻlingan issiqlik eltichni chiqarish patrubkasi; 5-qobiq;
6-suyuqlik va recikl uzatish boʻlagi;
7-issiqlik eltich kirish patrubkasi.



8.14-rasm. Barabanli granulyator-quritgich.

1-baraban qobigʻi; 2-orqaga yoʻnalgan shnek;
3-parrakli nasadka; 4-yuklovchi kamera;
5-qurituvchi eltich kirish patrubkasi;
6-pulpa purkagich 7-koʻrish darchasi;
8-recikl kirish patrubkasi; 9-zichlovchi halqalar; 10-bandaj; 11-tokchali nasadka;
12-tojli shesternya; 13-konus-klassifikator;
14-ishlatib boʻlingan eltichni chiqarish patrubkasi; 15-granula toʻkish patrubkasi;
16 - toʻkish kamerasi.

Barabanda yuklash va toʻkish kameralari boʻlib, ularni zichlash uchun lentali yoki sektorli qistirmalar oʻrnatiladi. Chang hosil boʻlmasligi va oʻtxona bir meʼyorda ishlashini taʼminlash uchun qurilmada 10-50 Pa vakuum ushlab turiladi (8.14-rasm).

BGK tashqi koʻrinishidan barabanli granulyatorga oʻxshasa ham, lekin unda granula hosil qilish mexanizmi tubdan farq qiladi. Bunga sabab, **BGK** ning ichidagi qoʻshimcha konstruktiv elementlar borligidir.

Granullash jarayonida asosiy vazifani pulpa purkagichlar bajaradi.

Eritmalarni purkab granullash. Bu usulda granullash mexanizmi quyidagicha: eritma, granulyastion

minorada purkagichlar yordamida mayda tomchilar holatigacha purkalib, pastga qarab yo'naltiriladi. Pastdan yuqoriga qarab esa, ventilyator 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.

Granulyastion 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.

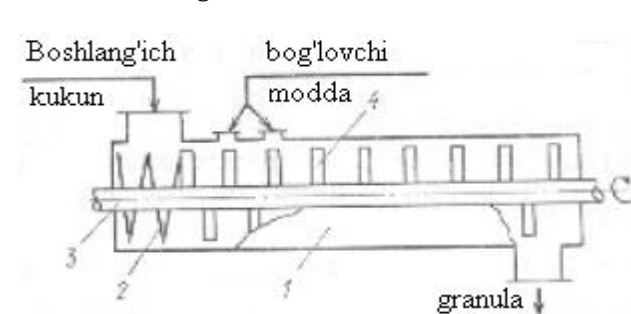
Bunday jarayonlarni amalga oshiruvchi qurilmalarning muxandislik hisobi shundan iboratki, granulyastion minora balandligi yoki tomchilarning tushish vaqti aniqlanadi. Albatta, bu vaqt ichida yoki shu balandlikni bosib o'tish davrida, tomchi kristallanib ulgurishi kerak. Undan tashqari, hosil bo'lgan 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, granulyastion minoralarda yoki mavhum qaynash qatlamida amalga oshiriladi.

Ushbu qurilmalarning asosiy elementlaridan biri purkagichdir. Purkagichlar konstrukstiyasiga qarab, markazdan qochma, statik va vibrastion bo'ladi.

Agarda ushbu maxsulotlar mavhum qaynash qatlamida sovutilsa, selitra uchun yoz faslida granulyastion minora balandligi $h = 30$ m va diametri $d=10...20$ m bo'lishi kerak.



8.15-rasm. Turboparrakli tezkor granulyator.

1-qobiq; 2-shnek; 3-rotor vali;
4-rotor sterjenlari.

Karbamid uchun yoz faslida granulyastion minora balandligi $h=55...50$ m va diametri $d=15...20$ m bo'lishi zarur.

Nitroammofoska granulyastiya qilish uchun, yoz faslida, granulyastion minora balandligi $h=50...55$ m va diametri $d=10...20$ m bo'lishi kerak.

Turboparrakli granulyatorlarda granullash.

Kukunsimon materiallarni turboparrakli tezkor granulyatorlarda granullash mexanizmi barabanli yoki tarelkali qurilmalarda materiallarni yumalatib granullash jarayoniga o'xshashdir.

Tezkor granulyatorlarda granula hosil bo'lishi, aralashtiruvchi parraklarning materialga ta'siri, ya'ni 170 s^{-1} chastota bilan aylanayotgan elementlar aralashtirishi asosiy sababdir (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, aglomerastiya, dezintegrallash, granula hosil qilish, granularni 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 termoplastifikastiyaga olib kelishi mumkin. Termoplastifikastiya 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 granularni quritmasa ham bo'ladi. Bunga misol qilib, selitra yoki karbamid asosida murakkab-aralashgan mineral o'g'itlarni olish jarayonini ko'rsatish mumkin.

Turboparrakli tezkor granulyatorlarda qayta ishlanayotgan material oqimi harakatining tahlili, bu jarayonning asosiy parametrlarini aniqlash imkonini beradi.

Material qatlamini uzatishning chiziqli tezligi:

$$v_q = \frac{Q_0}{\pi \cdot \rho_{\text{Tyk}} \cdot \varphi \cdot R_k^2} \quad (8.7)$$

bu erda Q_0 - granullanayotgan aralashma sarfi; ρ_{Tyk} - granullanayotgan aralashma zichligi; φ - granulyator ishchi kamerasini to'ldirilish koeffitsienti; R_k - ishchi kamera radiusi.

Granullash jarayonida granula bosib o'tgan masofa uzunligi l :

$$l = \frac{L \cdot \pi \cdot \rho_{\text{myk}} \cdot \varphi \cdot \omega \cdot R_{\kappa}^3}{Q_0} \quad (8.8)$$

bu erda L - granulyator ishchi kamerasi uzunligi; ω - granulyator o'qining aylanish chastotasi.

Hosil qilingan granulaning o'rtacha diametri ushbu formuladan hisoblab topiladi:

$$d = d_0 \cdot \exp m \cdot (W - W_p) \quad (8.9)$$

bu erda d_0 - granula hosil bo'lish paytidagi granula diametri; m - material xossalari va Frud kriteriysiga bog'liq koeffitsient; W - granula hosil bo'lish paytida aralashma tarkibidagi bog'lovchi modda miqdori.

Bog'lovchi modda sarfi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q_{\text{bog'lovchi}} = Q_0 \left(W_{\text{bog'lovchi}} + \frac{1}{m \ln \frac{d}{d_0}} \right) \quad (8.10)$$

Turboparrakli tezkor granulyatorda olingan granular o'lchamlari logarifmik normal taqsimlanish qonuniga bo'ysinadi.

Ushbu darslik mualliflari tomonidan turboparrakli tezkor granulyatorda paxta chigiti kunjarasini granullash bo'yicha ijobiy natijalar olingan.

Qurilma xom-ashyoni yuklash, maydalash, granullash, granulalarni zichlash va shakl berish zonalaridan iboratdir.

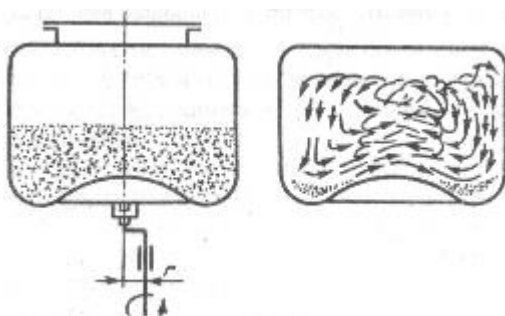
Kunjarani turboparrakli, tezkor granulyatorda maydalash darajasi ushbu formulada hisoblanadi:

$$i = 0,74 \cdot \omega^{0,2} \left(\frac{t}{d} \right)^{-0,35} \quad (8.11)$$

Paxta chigiti kunjarasini turboparrakli qurilmada tezkor granullash natijasida olingan material qatlaminin 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 erda V - aylanma tezligi, s^{-1} ; τ_0 - o'lchamisiz vaqt; t/D - bilalar joylashish qadami; U - namlik %; U_m - material muvozanat namligi, %.



8.16-rasm. Drajje yasash granulyatorida zarrachalarning harakat shemasi.

Drajje yasash granulyatori. 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 materilga spiral-simon-ko'tarilma traektoriya beradi. Natijada, yadro qobiq bilan qoplanib 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, qandkukunlari ishlatiladi.

8.6. Sochiluvchan materiallarni 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:

$$\Gamma_2 = \frac{\partial \sigma}{\partial P} \quad (8.13)$$

Turli mahsulotlarni granullanishga moyillik ko'rsatkichi sifatida granullanishga moyillik koeffisienti qo'llaniladi:

$$K_1 = \frac{(\rho/\rho_0)}{P_{n.i}}; \quad (8.14)$$

$$K_2 = \frac{\sigma}{P_{n.i}}$$

bu erda ρ va ρ_0 - materialning oraliq va boshlang'ich zichliklari, t/m³; σ - ezish davrida granulaning mustahkamligi, Pa; R_{pI} - 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 gran- ullash
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. Granulyatorlarni hisoblash

Boshlang'ich ma'lumotlar: mahsulot - ammosfos.

- ish unumdorlik	$Q = 10 \text{ t/soat};$
- granula o'rtacha diametri	$d_{ur}=2,0 \text{ mm};$
- ammosfos pulpasining nam saqlashi	$W_p=0,3 \text{ kg/kg};$
- tayyor mahsulot granulasining namligi	- $W_t=0,005 \text{ kg/kg};$
- atmosfera havosining nam saqlashi	- $x_1;$
- qatlam temperaturasi	- $t_k;$
- pulpa temperaturasi	- $t_p;$
- issiq havoning chiqishdagi nisbiy namligi	- $\varphi_2;$
- mahsulot solishtirma issiqlik sig'imi	- $s_{\varphi};$
- solishtirma erish issiqligi	- $q;$
- zichlik	- $\rho;$
- to'kma zichlik	- $\rho_{tuk};$
- pulpa temperatura o'tkazuvchanligi	- $a.$

1. Qatlam temperaturasi t_k va φ_2 lar bo'yicha Ramzinning $I-x$ diagrammasidan ishlatib bo'lingan issiqlik eltkichning nam saqlashi x_2 topiladi.

2. Issiqlik eltkichning sarfi:

$$Q_B = \frac{Q \cdot w_{II}}{(x_2 - x_1) \cdot 10^{-3}}$$

3. Issiqlik balansidan issiq havoning temperaturasi topiladi.

4. Mavhum qaynash boshlanishi tezligi prof. O.M. Todes formulasi yordamida aniqlanadi:

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}$$

bu erda $w_u=(2...4) \cdot w_{oishchi}$ tezlik

5. Gaz taqsimlash to'r pardasining yuzasi:

$$F = \frac{Q_B}{w_u}$$

6. Granulaning mavhum qaynash qatlamidaharakatvaqti τ_{ur} ning o'rtacha qiymati ushbu tenglamadantopiladi:

$$\frac{w_T}{w_{II}} = 0,1 \cdot Gu^{-0,65} \cdot Fo^{-0,6}$$

7. Mavhum qaynash qatlamining massasi:

$$Q_k = Q \cdot \tau_{yp}$$

8. Mavhum qaynash qatlamining balandligi:

$$H_0 = \frac{Q_\kappa}{\rho_{\text{myk}} \cdot F}$$

9. Qurilma ishchi qismining balandligi:

$$H_u = 5,6 \cdot H_0 \cdot Re^{0,75} \cdot Ar^{-0,37}$$

10. Uchib chiqish tezligi ushbu formuladan topiladi:

$$w_y = 0,09 \cdot Ar^{0,25} \cdot \lg \frac{w_u}{w_0}$$

11. Qatlam zarrachasining maksimal uchib chiqish tezligi quyidagicha aniqlanadi:

$$w_{y, \max} \cong 3 \cdot w_y$$

12. Qurilma ajratish bo'limining minimal balandligi:

$$H_{\text{cen}} = \frac{w_{y, \max}^2}{2g}$$

○

9 – bob. KIMYOVIY JARAYONLAR

■

9.1. Umumiy tushunchalar

Kimyoviy aylanishlarni o'tkazish uchun mo'ljallangan qurilmalar **reaktorlar** deb ataladi. Kimyoviy texnologiyaning jarayon va qurilmalarini o'z ichiga olgan kimyoviy reaktorlar va ularni o'z ichiga olgan jarayonlar alohida o'rintiladi. Ushbu jarayonlarning kimyosanoatining asosidir.

Kimyoviy aylanishlar quyidagicha xarakterlanadi:

a) gidrodinamik, issiqlik va massa almashinish hodisalari, hamda kimyoviy kinetika qonunlarini kimyoviy jarayonlar kechish qonunlarini belgilaydi;

b) kimyoviy-texnologiyalar jarayonlarining kechishiga kattata'sir etuvchi omillar kimyoviy jarayonlar uchun muhit ahamiyatiga ega; reaksiyalarni bir vaqt davolash va ket-kechishida temperaturani o'zgartirish kabi omillar mahsulot sifatiga salmoqli ta'sir etadi;

v) umuman olganda, jarayon tezligi eng sekin o'tadigan bosqich bilan belgilanganligi sababli, kimyoviy jarayonlar diffuzion, kinetik va oralik sohalarida 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 **oralik** 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 konstruktsiyali qurilmalar qo'llaniladi.

9.2. Kimyoviy aylanishlar davridagi muvozanat

Odatda, yangi reaktorlar yaratish uchun loyihachiga reaksiya yoʻnalishi va oxirgi konsentrastiyalar berilgan boʻladi. Shunga qaramasdan, loyihachi kimyoviy muvozanat nazariyasining (fizik kimyo fanining kimyoviy termodinamika qonuniyatlari) asosiy holatlarini bilishi zarur.

Massalar taʼsir qonuni. Maʼlumki, kimyoviy reaksiyalar qaytar boʻlishi mumkin, yaʼni boshlangʻich moddalar oʻzaro kimyoviy taʼsiri (toʻgʻri reaksiya) bilan birga, reaksiya mahsulotlarining oʻzaro kimyoviy taʼsirida boshlangʻich moddalar hosil boʻlishi (teskari reaksiya) mumkin. Toʻgʻri reaksiya oʻtib borishi bilan uning tezligi kamaysa, shu davrda mahsulot ortishi bilan teskari reaksiya tezligi oʻsadi. Toʻgʻri va teskari reaksiya tezliklari tenglashishi bilan kimyoviy muvozanat holati boshlanadi. Tashqi sharoitlar buzilmasdan turganda muvozanat aralashmadagi moddalar tarkibi va konsentrastiyasi oʻzgarmas boʻladi. Tashqi sharoitlarning cheksiz kichik oʻzgarishi, muvozanat holatini cheksiz oʻzgarishiga olib keladi. Demak, kimyoviy reaksiyalar termodinamik muvozanat holatida borishi va ularga termodinamik muvozanatning umumiy shartlarini qoʻllash mumkin.

Kimyoviy reaksiyada qatnashayotgan moddalarning parstial bosimlari yoki muvozanat konsentrastiyalari oʻrtasidagi bogʻliqlik massalar taʼsir qonuni bilan ifodalanadi. Muvozanat holatidagi gomogen gazli kimyoviy reaksiya uchun:



agar, reaksiya komponentlari - ideal gazlar boʻlsa, quyidagi tenglama toʻgʻri keladi:

$$\frac{p_C^c \cdot p_D^d}{p_A^a \cdot p_B^b} = K_p \quad (9.2)$$

bu erda **a, b, c, d** - **A, V, S, D** moddalarning stexiometrik koeffitsientlari;

r_i - tegishli stexiometrik koeffitsientlar darajasidagi **A, V, S, D** komponentlarning parstial bosimlari.

Oʻzgarmas **K_p** ning qiymati **muvozanat konstantasi** deb ataladi. Ushbu konstanta faqat temperaturaga bogʻliq va boshlangʻich aralashma komponentlarning parstial bosimi va bosimlar yigʻindisiga bogʻliq emas. (9.2) tenglama massalar taʼsir qonunining ifodasi boʻlib, uning miqdoriy ifodasi va keltirib chiqarilishi 1867 yili Guldberg va Vaaglar tomonidan taklif etilgan.

Haqiqiy gazlar uchun komponentlar parstial bosimlarini har bir **i** - komponentning uchuvchanligi **f_i** bilan almashtirish kerak. Bunda, muvozanat konstantasi **K_p** ham komponentlarning uchuvchanligi orqali ifodalanadi.

Muvozanat konstantasi konsentrastiyalar yordamida ham ifodalanishi mumkin:

$$\frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = K_c \quad (9.3)$$

Ideal boʻlmagan eritmalar uchun muvozanat konstantasi **K_a** komponent **a** ning faolligi orqali ham ifodalanishi mumkin.

Suyultirilgan eritmalar uchun **a_i=s_i** va **K_s=K_a**.

Parstial bosim va mol ulushlar (**K_N**) orqali ifodalangan muvozanat konstantalari oʻzaro quyidagicha bogʻlangan:

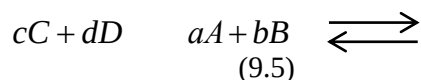
$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n} = K_N P^{\Delta n} \quad (9.4)$$

bu erda **Δn** - reaksiya gazsimon qatnashchisining mol soni oʻzgarishi; **R** - sistemadagi umumiy bosim; **P** - gaz doimiysi; **T** - temperatura, **K**.

Agar, reaksiya gazsimon moddaning mol ulushi oʻzgarishsiz oʻtsa, yaʼni **Δn=0** boʻlsa, unda **K_R=K_S=K_N** boʻladi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, umumiy holda K_N miqdoriy jihatdan K_R dan farq qiladi va temperatura, hamda sistemadagi bosimga bog'liqdir.

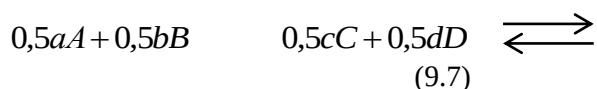
Muvozanat konstantasining son qiymati reaksiyaning yo'nalishi va qaysi miqdorlari uchun stexiometrik tenglama yozilganiga bog'liq. Agar, (9.1) reaksiya tenglamasini teskari yo'nalish uchun yozsak, ya'ni:



unda, muvozanat konstantasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$K_p' = \frac{1}{K_p} \quad (9.6)$$

Agar, (9.1) tenglamadagi stexiometrik koeffitsientlarni 2 barobar kamaytirsak, unda quyidagi ifodaga erishamiz:



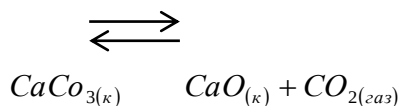
unda, muvozanat konstantasi K_p'' quyidagicha ko'rinishni oladi:

$$K_p'' = K_p^{0,5} \quad (9.8)$$

Agar, muvozanat sistemasiga, masalan (9.7)ga qo'shimcha ma'lum miqdorda A komponent kiritilsa, u V modda bilan reaksiyagi kirishib, qo'shimcha miqdorda S va D moddalar hosil qiladi. Natijada muvozanat holatiga erishiladi va S , D moddalarning parstial bosimlari boshlang'ich holatdagidan ancha ko'payadi. Modda V ning bosimi kamayadi, Aniki esa - ortadi. Muvozanat holatiga erishilgandan so'ng, reaksiyada qatnashayotgan hamma moddalar parstial bosimlarining nisbati muvozanat konstantasi K_R ning son qiymatiga yana to'g'ri keladi.

Geterogen reaksiyalar uchun muvozanat konstantalari gazsimon komponentlar parstial 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 tahmin qilish mumkin. Masalan, ushbu reaksiyani ko'rib chiqamiz:



Ushbu holatda 2 ta qattiq va 1 ta gazsimon fazalar mavjud. Sistemadagi moddalar parstial bosimlari p_{CaCO_3} , p_{CaO} , p_{CO_2} . Unda, massalar ta'sir qonuniga binoan:

$$\frac{p_{CaO} p_{CO_2}}{p_{CaCO_3}} = const \quad (9.9)$$

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) potentsiallar kattaliklari bilan belgilanadi. Standart sharoitda ular muvozanat konstantasi bilan belgilanadi. Standart sharoitda quyidagi bog'liqlikda bo'ladi:

$$\begin{aligned}\Delta G^0 &= -RT \ln K_p \\ \Delta F^0 &= -RT \ln K_C\end{aligned}\quad (9.10)$$

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.

Nostandard sharoitda jarayon yo'nalishini aniqlash uchun **kimyoviy reaksiya izotermalari tenglamasidan** foydalanish mumkin:

$$\Delta G^0 = RT \ln \frac{p_C^c \cdot p_D^d}{p_A^a \cdot p_B^b} - RT \ln K_p \quad (9.11)$$

$$\Delta F^0 = RT \ln \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b} - RT \ln K_C \quad (9.12)$$

(9.11) tenglamaning o'ng qismidagi birinchi hadi boshlang'ich sistema komponentlarining parstial bosimini ifodalaydi; (9.12) tenglamaning o'ng tomonidan birinchi hadi esa - boshlang'ich aralashmadagi komponentlar konstantasiyasini 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 engish, yani reaksiya tezligini oshirish zarur.

Jarayon termodinamikasi va kinetikasiga reagentlar temperaturasi, bosimi va konstantasiyasi 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:

$$\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad (9.13)$$

bu erda N - entalpiya o'zgarishi yoki o'zgarish bosimdagi reaksiyaning issiqlik effekti.

(9.13) tenglamani kichik temperaturalar oralig'ida integrallasak, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\ln \frac{K_{pT2}}{K_{pT1}} = \frac{\Delta H}{R} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2 \cdot T_1} \quad (9.14)$$

Xuddi shunday qilib, Vant-Goffning izoxor tenglamasini keltirib chiqarish mumkin:

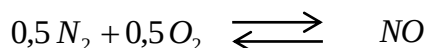
$$\ln \frac{K_{CT2}}{K_{CT1}} = \frac{\Delta U}{R} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2 \cdot T_1} \quad (9.15)$$

bu erda ΔU -sistema ichki energiyasining o'zgarishi yoki o'zgarmas hajmdagi reaksiyaning isciqlik effekti.

Temperatura o'sishi bilan K ortishi yoki kamayishi mumkin, lekin jarayon tezligi ko'pchilik hollarda ortadi.

Bosim o'sishi bilan konstantasiya 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,



Reaksiya uchun 2500K da $K_r=0,0455$. Agar, boshlang'ich aralashmada 21% kislorod va 79% azot bo'lsa, muvozanat aralashmadagi NO konstantasiyasi (mol%) aniqlansin.

Stexiometrik tenglamaga binoan muvozanat aralashma tarkibidagi azot konstantasiyasini $(79-x)$, kislorod konstantasiyasini $(21-x)$ va NO konstantasiyasini $2x$ 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 echsak, uning qiymatini topamiz. Muvozanat aralashmada NO ning miqdori $2x$ ga teng, yani 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. Juyida, 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:

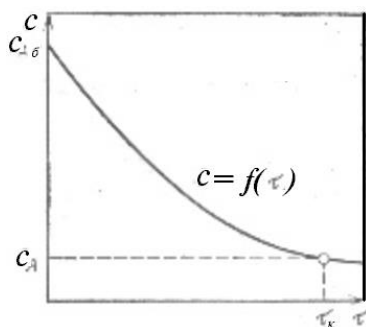
$$w = K c_A^{V_A} \cdot c_B^{V_B} \quad (9.16)$$

Oddiy holatlarda V_A va V_B daraja qiymatlari stexiometrik koeffitsientlarga teng.

O'zgarmas temperaturadagi har bir reaksiya uchun proporsionallik koeffitsienti **Ko'zgarmas kattalik**dir. Ushbu proporsionallik koeffitsient **reaksiyaning tezlik konstantasi** deb nomlanadi. Uning kattaligi reaksiyaga kirishayotgan moddalar konstantasiyalari birga teng bo'lgan reaksiya tezligiga teng. Reaksiya darajasi va uning molekulyarligi degan ikkita tushunchani farqlash kerak, chunki ular, bir xil emas.

Reaksiya darajasi (9.16) kinetik tenglama konstantasiyalariidagi daraja ko'rsatkichlarining yig'indisi bilan aniqlanadi. Kimyoviy kinetika bo'yicha reaksiya darajalarini aniqlash usullari maxsus adabiyotlarda keltirilgan.

Oddiy reaksiya molekulyariligi - bu kimyoviy o'zaro ta'sirda qatnashayotgan boshlang'ich modda molekularining soni. Reaksiyalar monomolekulyar, bimolekulyar va hokazo bo'ladi. Bir vaqtda 3 tadan ortiq molekularning to'qnashish ehtimoli juda kam. Shuning uchun, ko'ninga past molekulyarli reaksiyalar bo'ladi.



9.1-rasm. Reaksiyaga kirishayotgan moddalar konsentratsiyasi c ning vaqt t ga bog'liqligi.

Moddaning reaksiya mahsulotiga aylanish jarayonini ko'rib chiqamiz (9.1-rasm)

Ko'rinib turibdiki, 0 dan τ_{0x} oralikda konsentratsiya s_{Ab} dan s_A gacha kamayadi:

$$\frac{c_{A0} - c_A}{c_{A0}} = 1 - \frac{c_A}{c_{A0}} = x \quad (9.17)$$

Ushbu nisbat **aylanish darajasi** deb nomlanadi. (9.17) nisbatdan quyidagi ko'rinishdagi tenglikni olamiz:

$$c_A = c_{A0}(1 - x) \quad \text{ba} \quad dc_A = -c_{A0}dx \quad (9.18)$$

Kamayuvchi modda bo'yicha reaksiya tezligi quyidagiga teng:

$$w = -\frac{dc_A}{d\tau} = Kc_A \quad (9.19)$$

Yuqorida qayd etilganlarni hisobga olsak:

$$-\frac{dc_A}{d\tau} = c_{A0}K(1 - x) \quad (9.20)$$

yoki

$$\frac{dx}{d\tau} = K(1 - x) \quad (9.21)$$

Fizik manosiga 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:

$$\frac{dx}{d\tau} = K_0; \quad \frac{dx}{d\tau} = K_1(1 - x) \quad (9.22)$$

ikkinchi va n - darajali reaksiyalar uchun:

$$\frac{dx}{d\tau} = K_2(1 - x)^2; \quad \frac{dx}{d\tau} = K_n(1 - x)^n \quad (9.23)$$

Uzluksiz jarayonlar harakatga keltiruvchi kuchi. Prof. Planovskiy A.N. tomonidan yaratilgan uzluksiz jarayonlar nazariyasiga binoan, reakstion qurilmalar 3 ga bo'linadi: ideal (to'liq) siqib chiqaruvchi; ideal (to'liq) aralashish; ikkila tip oralig'dagi reaktorlar.

Ideal siqib chiqaruvchi reaktorlarda vaqt o'tishi bilan harakatga keltiruvchi kuch asta-sekin kamayadi. Agar, asta kamaysa, jarayon tezligi ham kamayadi. Bunday hollarda harakatga keltiruvchi kuch o'rtacha logarifmik kattalik sifatida topiladi.

Ideal aralashish yoki oralik tipidagi uzluksiz ishlaydigan reaktorning harakatga keltiruvchi kuchining ideal siqib chiqaruvchi qurilmaning harakatga keltiruvchi kuchiga nisbati ideal siqib chiqarish qurilmasidagi

jarayon davomiyligi τ_{id} ning ideal aralashish τ_{ar} yoki oralik tipidagi reaktordagi jarayon davomiyligi τ_{or} nisbatiga teng kattalikka reaktorning **konstentrastion foydali ish koefitsienti** η_s deb nomlanadi.

Agar,

$$\eta_c = \frac{\tau_{u\partial.c}}{\tau_{ap}} \quad \text{ba} \quad \eta_c = \frac{\tau_{u\partial.c}}{\tau_{op}} \quad (9.24)$$

Ideal siqib chiqarish va aralashish qurilmalaridagi qaytmas kimyoviy reaksiyalar tezliklarini taqqoslaymiz. Nol darajali reaksiya qurilmalari uchun

$$\tau_{u\partial.c} = \frac{x}{K_0} \quad \text{ba} \quad \tau_{ap} = \frac{x}{K_0} \quad (9.25)$$

Demak, $\eta_c = 1$ ya'ni, nol darajali reaksiyaning tezligi aralashtirishga bog'liq emas.

Birinchi darajali reaksiya uchun

$$\tau_{u\partial.c} = \frac{1}{K_1} \ln \frac{1}{1-x} \quad (9.26)$$

Ideal aralashtirish qurilmasida jarayon o'zgarmas va oxirgi aylanish darajasida boradi.

Unda

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{x}{\tau_{ap}} = K_1(1-x) \quad (9.27)$$

yoki

$$\tau_{ap} = \frac{x}{K_1(1-x)} \quad (9.28)$$

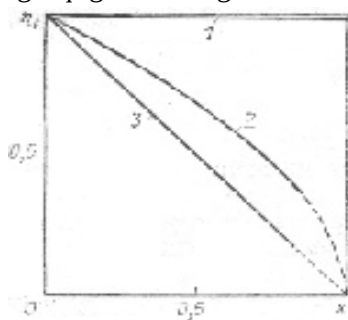
Bundan

$$\eta_c = \frac{1-x}{x} \cdot \ln \frac{1}{1-x} \quad (9.29)$$

Xuddi shunday, ikkinchi darajali reaksiya uchun

$$\eta_c = 1-x \quad (9.30)$$

9.2-rasmda ideal aralashtirish qurilmasi foydali ish koefitsientining aylanishi va reaksiya darajalariga bog'liqligi ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, aylanish va reaksiya darajasi ortishi bilan qurilma foydali ish koefitsienti kamayadi. Ya'ni, aylanish va reaksiya darajalari qanchalik katta bo'lsa, kimyoviy aylanish tezligiga aralashtirish shunchalik salbiy ta'sir ko'rsatadi.



9.2-rasm. Ideal aralashtirish qurilma f.i.k. η_s ning reakciyalar aylanish darajasiga bog'liqligi.

1-nol darajali; 2-birinchi darajali;
3-ikkinchi darajali.

Shunday qilib, agar reaksiya tezlik koefitsienti **K** ning o'zgarmas kattaligida, ideal aralashtirish qurilmasining aylanish tezligi ideal siqib chiqarish qurilmasinikidan kam; bir xil aylanish darajasiga erishish uchun siqib chiqarish qurilmanikiga qaraganda, ideal aralashish qurilmasida ko'proq vaqt bo'lishi zarur.

Ikkilamchi maxsulotlar hosil bo'lishiga η_s ning ta'siri. Ma'lumki, reaktorlarda asosiy reaksiya bilan birga qo'shimcha reaksiyalar (parallel va ketma-ket) boradi. Ideal aralashish qurilmasida foydali ish koefitsientining asosiy va ikkilamchi

mahsulotlar nisbatiga ta'sirini ko'rib chiqamiz. Ideal siqib chiqarish qurilmasida mahsulot X hosil bo'lish tezligi (9.31), mahsulot X dan mahsulot Y hosil bo'lish tezligi esa (9.32) tenglamadan aniqlanadi:

$$\frac{dx}{d\tau} = K_x(a - x) \quad (9.31)$$

$$\frac{dy}{d\tau} = K_y(x - y) \quad (9.32)$$

bu erda a - boshlang'ich modda A ning miqdori; x - hosil bo'lgan mahsulot X ning miqdori; u - Y mahsulotga aylangan X modda miqdori.

(9.31) va (9.32) tenglamalarni solishtirib, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{K_y}{K_x} \cdot \frac{x - y}{a - x} \quad (9.33)$$

Tezlik koeffitsientlar nisbatini $K_y/K_x = B$ deb belgilab, (9.33) tenglamani echsak:

$$y_{ox} = x_{ox} - \frac{(a - x_{ox})^B - (a - x_{ox})}{1 - B} \quad (9.34)$$

bu erda u_{ox} va x_{ox} - u va x parametrlarning oxirgi qiymatlari.

Ideal aralashish qurilmalari uchun :

$$\frac{x}{\tau_{ap}} = K_x(a - x); \quad \frac{y}{\tau_{ap}} = K_y(x - y)$$

yoki

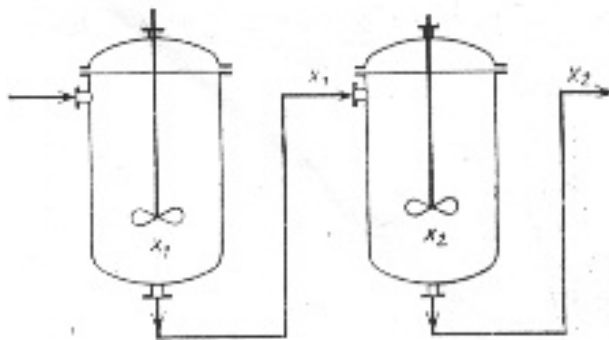
$$\frac{y}{x} = B \frac{x - y}{a - x}; \quad y_{ox} = \frac{Bx_{ox}^2}{(a - x_{ox}) - Bx_{ox}} \quad (9.35)$$

Ideal aralashish qurilmasida u_{ox} qiymati yuqori bo'ladi. Demak, foydali ish koeffitsientning kamayishi jarayon davomiyligi τ ning ortishiga va mahsulot sifatining yomonlashishiga (ikkilamchi mahsulot o'sishiga) olib keladi.

Qurilmalarni seksiyalash - foydali ish koeffitsientni oshirishning asosiy usuli. Qandaydir kimyoviy jarayonni o'tkazish uchun ideal aralashish ikkita qurilmasi ketma-ket ulangan deb, faraz qilaylik (9.3-rasm).

Birinci qurilmada aylanish darajasi x_1 , ikkinchisida esa - x_2 . Reaksiyada qatna-shayotgan moddalarning umumiy vaqti $\tau = \tau_1 + \tau_2$ (bu erda τ_1 va τ_2 - birinchi va ikkinchi qurilmalarda moddaning bo'lish vaqti). Shunday qilib, birinchi darajali reaksiya uchun:

$$\tau = \frac{x_1}{K \cdot (1 - x_2)} + \frac{x_2 - x_1}{K \cdot (1 - x_2)} \quad (9.36)$$



9.3-rasm. Ikkita ketma-ket ulangan ideal aralashish qurilmasidan iborat agregat sxemasi.

Ko`rinib turibdiki,  $\tau$  yuklamaning taqsimlanish funkstiyasi.  $x_2$ ni o`zgarmas deb, τ ning minimal qiymatini (9.36) tenglamani differentsiallab topamiz:

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{1}{K(1-x_2)^2} - \frac{1}{K(1-x_2)} = 0 \quad (9.37)$$

bundan

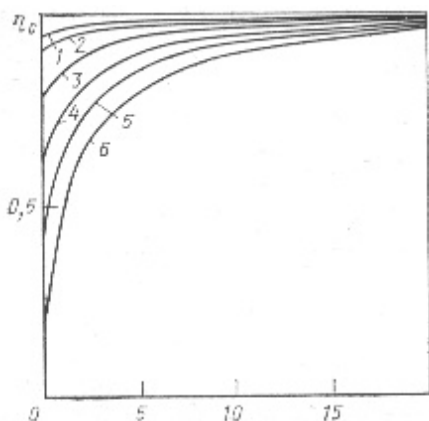
$$K \cdot (1-x_1)^2 = K(1-x_2); \quad x_1 = x_2 - x_1 + x_1^2 \quad (9.38)$$

Tegishli o`zgartirishlardan so`ng quyidagi ko`rinishni olamiz:

$$\frac{x_1}{1-x_2} = \frac{x_2 - x_1}{1-x_2} \quad (9.39)$$

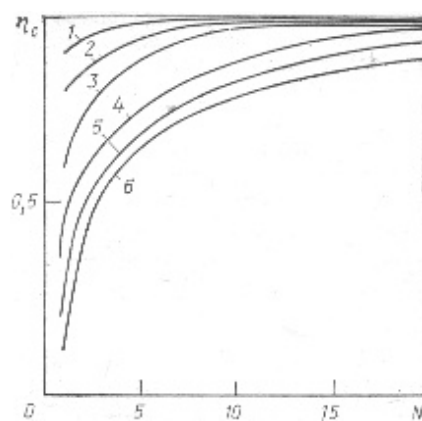
Bundan, $\tau_1 = \tau_2$ yoki $V_{a1} = V_{a2}$ ekanligi kelib chiqadi. Shunday qilib, qurilmalar hajmlari tengligi optimal nisbatdir.

9.4 va 9.5 - rasmlarda qurilma foydali ish koeffitsientiga seksiyalar soni va aylanish darajasining ta`sirlari ko`rsatilgan.



9.4-rasm. Seksiyalar soni N va aylanish darajasi x larning reaktor f.i.k. η_s 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 berayotgan

kurilmaning f.i.k. η_s ga ta`siri.

1- $x=0,1$; 2- $x=0,2$; 3- $x=0,3$;
4- $x=0,4$; 5- $x=0,5$; 6- $x=0,6$.

Rasmlardan ko`rinib turibdiki, reaktorning foydali ish koeffitsienti 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 koeffitsientiga 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 koeffitsientini quyidagi empirik formuladan topish mumkin:

$$\eta_{CN} = 30 \frac{mN}{30 + (m-1)N} \quad (9.40)$$

Ushbu formuladagi m quyidagi tenglamadan topiladi:

$$m = \frac{30\eta_{C1}}{1 - \eta_{C1}}$$

bu erda η_{s1} - bir seksiyali qurilma foydali ish koeffitsienti.

Reaksiya tezligi koeffitsientiga temperatura ta'siri. Ushbu ta'sir Arrenius qonuniga bo'ysunadi va quyidagicha ifodalanadi:

$$K = z_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (9.41)$$

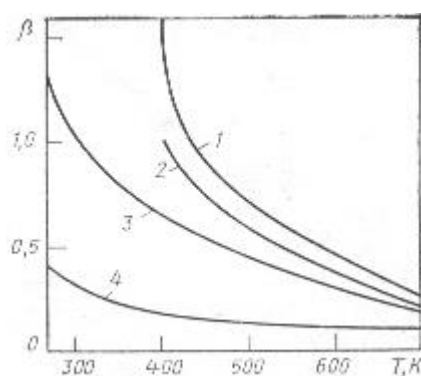
bu erda z_0 - o'zgarmas, proporsionallik konstantasi (molekulalarning o'zaro to'qnashuv omili); E - reaksiyaga kirishayotgan moddalarning faollanish energiyasi; R - gaz doimiysi.

Ushbu tenglamadan quyidagi ko'rinishni olish mumkin:

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (9.42)$$

bu erda K_1 va K_2 - absolyut temperaturalar T_1 va T_2 ga tegishli tezlik koeffitsientlari.

$K_{t+10}/K_t = \beta$ nisbat reaksiya tezligining **temperaturaviy koeffitsienti** deb nomlanadi.



9.6-расм. Реакция тезлиги температуравий коэффициенти β нинг температура T ва фаоллашиш энергияси E га таъсири

9.6-rasmda faollashish energiyasi va temperaturaning, koeffitsient β ga ta'siri ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, faollashish energiyasi ortishi va temperatura kamayishi bilan β ning miqdori ortadi. Agar, $\beta=2...4$ bo'lsa, jarayon kinetik zonada, $\beta=1,2...1,5$ 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:

$$G_B = G_A \left(\frac{b \cdot M_B}{a \cdot M_A} \right) \quad (9.43)$$

Hosil bo'layotgan **SvaD** moddalar uchun esa:

$$G_C = G_A \left(\frac{c \cdot M_C}{a \cdot M_A} \right); \quad G_D = G_A \left(\frac{d \cdot M_D}{a \cdot M_A} \right) \quad (9.44)$$

bu erda M_A, M_V, M_S, 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:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 \quad (9.45)$$

bu erda 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:

$$Q = \sum G \cdot c \cdot t \quad (9.46)$$

bu erda **G**- modda massasi; **s**- material solishtirma issiqlik sig'imi; **t**- temperatura.

Reaksiyaning issiqlik effekti Gess qonuniga binoan hisoblanadi:

$$q = \Sigma q_K - \Sigma q_H \quad (9.47)$$

bu erda q_r - reaksiya issiqlik effekti; Σq_n - 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 $q_{\max}$ us adabiyotlarda 20°S uchun keltirilgan bo'ladi. Bundan yuqori temperaturalardagi qiymatini topish uchun Kirxgof qonunidan foydalanish mumkin. Uning matematik talqini ushbu tenglama ko'rinishida bo'ladi:

$$\frac{dq}{dT} = \Delta c_p \quad (9.48)$$

bu erda Δs_r - olingan mahsulot va boshlang'ich moddalar issiqlik sig'imlarining farqi (stexiometrik koeffitsientlar hisobga olingan).

Issiqlik sig'imning temperaturaga bog'liqligi ushbu ko'rinishdagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$c_p = a + bT + cT^2 + K \quad (9.49)$$

bu erda a, b, c - empirik konstantalar; T - temperatura.

Demak, Δs_r ning temperaturaga bog'liqligi ham (9.49) tenglamaga o'xshash funktsiya bilan ifodalanadi:

$$\Delta c_p = a_1 + b_1T + c_1T^2 + K \quad (9.50)$$

Ushbu tenglamaga binoan, Kirxgof qonunini ifodalovchi tenglik quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\frac{dq}{dT} = a_1 + b_1T + c_1T^2 + K \quad (9.51)$$

bu erda a_1, b_1, c_1 - olingan mahsulot va boshlang'ich moddalar formulalaridagi tegishli a, b, c koeffitsientlarning farqiga son jihatdan teng koeffitsientlar.

(9.51) tenglamani integrallash, reaksiya issiqlik effekti va temperatura orasidagi bog'liqligining quyidagi ko'rinishini beradi:

$$q = a_1T + \frac{1}{2}b_1T^2 + \frac{1}{3}c_1T^3 + K + C \quad (9.52)$$

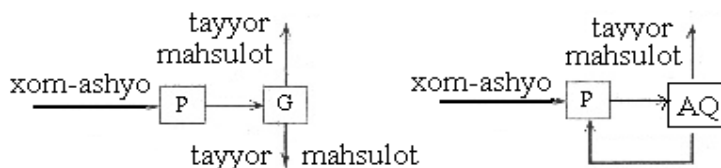
20 yoki 25°S temperaturadagi reaksiya issiqligini q_0 orqali belgilab olsak, integrallash o'zgarmas kataligi S ni hisoblash osonlashadi:

$$C = q_0 - \left(a_1T + \frac{1}{2}b_1T^2 + \frac{1}{3}c_1T^3 + K \right) \quad (9.53)$$

Agar, S ning qiymati (9.53) dan aniqlansa, istalgan T temperaturadagi reaksiyaning issiqlik effekti (9.52) tenglamadan aniqlanadi.

9.5. Kimyoviy jarayonlar prinsipial sxemalari

Kimyoviy jarayonlarning hamma prinsipial sxemalarini 2 guruhga ajratish mumkin: bir bosqichli (9.7a-rasm) va restirkulyastiyali (9.7b-rasm).



9.7-rasm. Kimyoviy jarayonlar prinsipial sxemalar.

a - bir bosqichli; b - resirkulyatsiyali.

Bir bosqichli sxemalarda xom-ashyo reaktor **R** ga uzatiladi va u erda 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.

Sirkulyastiyali sxemada ham xom-ashyo reaktor **R** ga uzatiladi va u erda qisman o'zgarishga uchraydi. Shuning uchun, u

yana qayta ishlanadi. Bunday holda reaktor **R** ga boshlang'ich va qayta ishlashgan xom-ashyo aralashmasi yuklanadi va uning optimal darajada qayta ishlashiga erilishadi. So'ng, tayyor mahsulot va reaksiyaga kirishmagan xom-ashyo aralashmasi reaktordan ajratish qurilmasi **AK_d** ga uzatiladi. Unda, tayyor mahsulot aralashma tarkibidan ajratib olinadi. Reaksiyaga kirishmagan xom-ashyo 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.

9.6. Reaktorlar konstruktsiyalari

Jarayonni tashkil etish bo'yicha reaktorlar 3 guruhga bo'linadi:

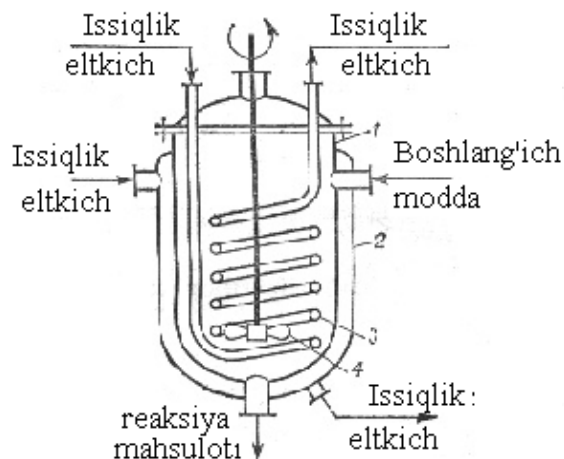
Davriy ishlaydigan reaktorlarda jarayonning hamma bosqichlari har xil vaqtda ketma-ket kechadi (9.8-rasm).

O'zaro ta'sirdagi moddalar konstantriyasiining o'zgarish xarakteri reakstion hajm-ning 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 reakstion 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.

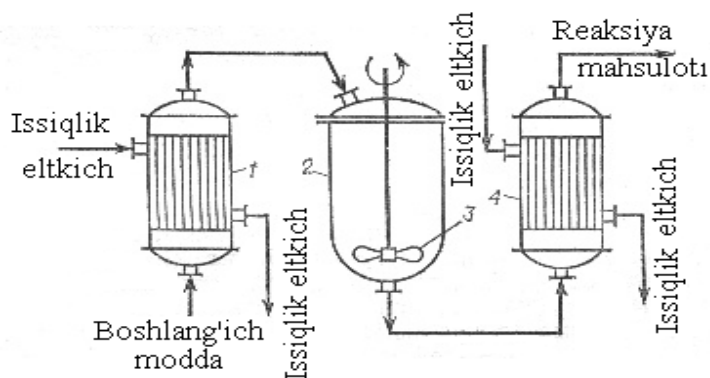
Uzluksiz ishlaydigan reaktorda kimyoviy aylanish jarayonining hamma bosqichlari parallel va bir vaqtda yuz beradi (9.9-rasm).

O'zaro ta'sirdagi moddalar konstantriyasiining o'zgarish xarakteri har bir daqiqada reakstion 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 reakstion 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.



9.8-rasm. Davriy reaktor.

1-qobiq; 2-g'ilof; 3-zmeevik;
4-aralashtirgich

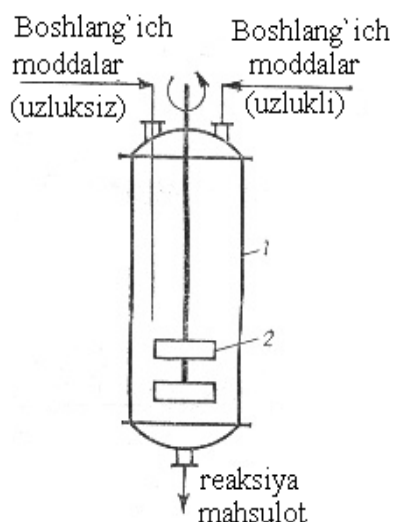


9.9-rasm. Uzlüksiz ishlaydigan reaktor

1,4-isitkichlar; 2-reaktor; 3-aralashtirgich.

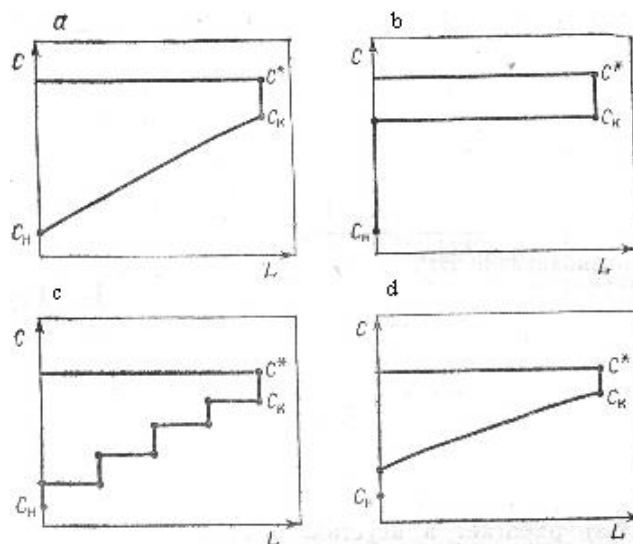
Bu turdagi reaktorlarning ish unumdorligi katta, ularni ekspluatatsiya qilish oson va avtomatlashtirishga moyil.

Yarim uzluksiz reaktorlar noturg'un sharoitda ishlaydi, ya'ni ba'zi bir reagentlar uzluksiz, boshqalari esa - davriy uzatiladi (9.10-rasm).



9.10-rasm. Yarim uzluksiz ishlaydigan reaktor.

1-qobiq; 2-aralashtirgich.



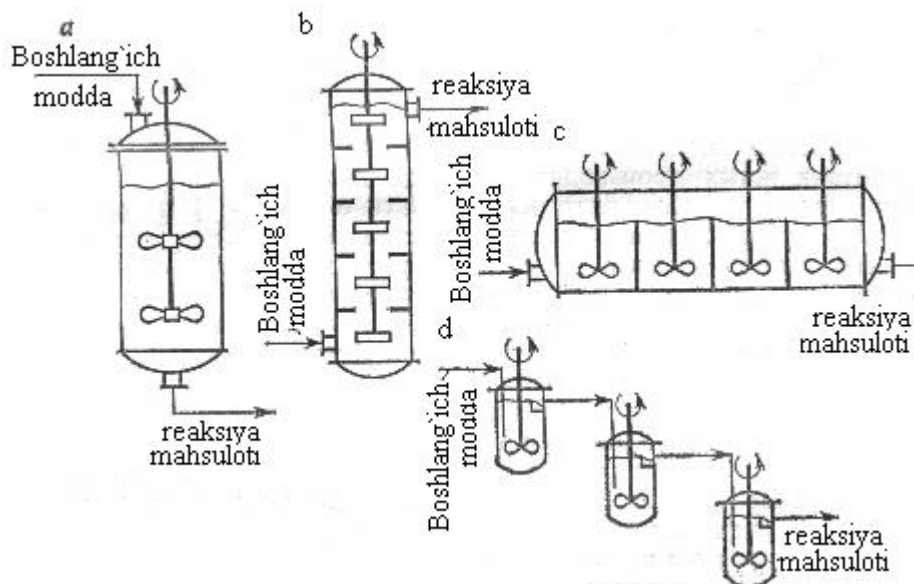
9.11-rasm. Turli tipdagi reaktorlarda moddalar konsentratsiyasining o'zgarish xarakteri.

a-siqib chiqarish qurilmasi; b-aralashish qurilmasi; c-ko'p seksiyali, aralashish qurilmasi; d-oraliq tipdagi qurilma; C-biror ondagi konsentratsiya; C_H -boshlang'ich konsentratsiya; C_K -oxirgi konsentratsiya; C^* -muvozanat konsentratsiya; L-qurilma uzunligi.

Ushbu turdagi reaktorlar kichik tonnajli ishlab chiqarish korxonalarida, ayniqsa ekzotermik reaksiya o'tkazish zarur bo'lgan jarayonlarda qo'llanilishi maqsadga muvofiq.

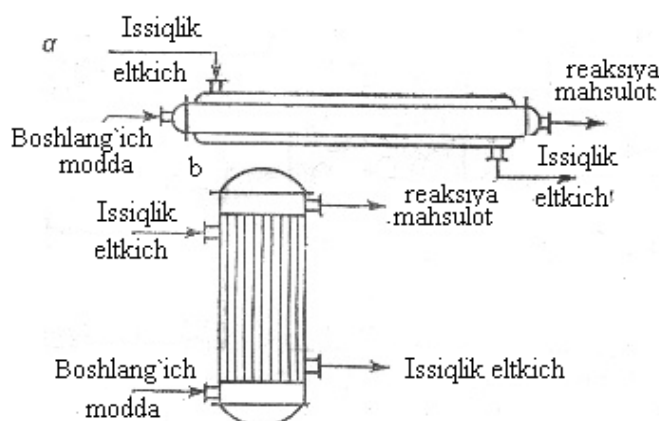
Gidrodinamik rejimga qarab, reaktorlar 3 guruhga bo'linadi.

Ideal aralashish reaktorlarida reagentlar oqimi butun reakstion hajmda bir zumda va bir tekisda aralashadi. Demak, bunday reaktorlarda aralashmaning tarkibi va temperaturasi butun reakstion hajmda bir xil deb hisoblash mumkin. Bu turdagi reaktorlar qatoriga kichik hajmdagi aralashtirgichli, stirkulyastiyali, mavhum qaynash qatlamli qurilmalar kiradi (9.11, 9.12-rasmlar).



9.12-rasm. Aralashish reaktorlari.

a-bir pog'onali qurilma; b-vertikal, ko'p pog'onali qurilma; c-
gorizontal, ko'p seksiyali qurilma; d-aralashish qurilmasi batareyasi.



9.13-rasm. Siqib chiqarish reaktori.

1-bir trubali qurilma; 2-ko'p trubali qurilma.

Idealsiqibchiqarishreaktorlarida reagentlarning harakatiporshensimon xarakterdabo'lib, ya'ni qurilmadano'tayotgan harbiroldinuzatilgan hajm, keyingiuzatilgan bilan aralashmasdan, siqib chiqariladi. Natijada, qurilmaning markaziy qismi va devor atrofidagi aralashmaning tarkibi va temperaturasi bir-biridan farq qiladi. Undan tashqari, qurilmaga kirish va chiqish konstantrasiya va temperaturalar orasida sezilarli katta farq bo'ladi. Bu turdagi reaktorlarga qobiq-trubali, ya'ni kolonnnali qurilmalar kiradi (9.11, 9.13 rasmlar).

Oralik gidrodinamik rejimli reaktorlar juda keng tarqalgan. Ushbu turdagi qurilmalarda tez-tez ideal aralashish rejimidan chetga chiqish rejimlari sodir bo'ladi. Bunday holatlarda reagentlarning aralashmaydigan zonalar paydo bo'lishi va boshqa salbiy hodisalar hosil bo'ladi.

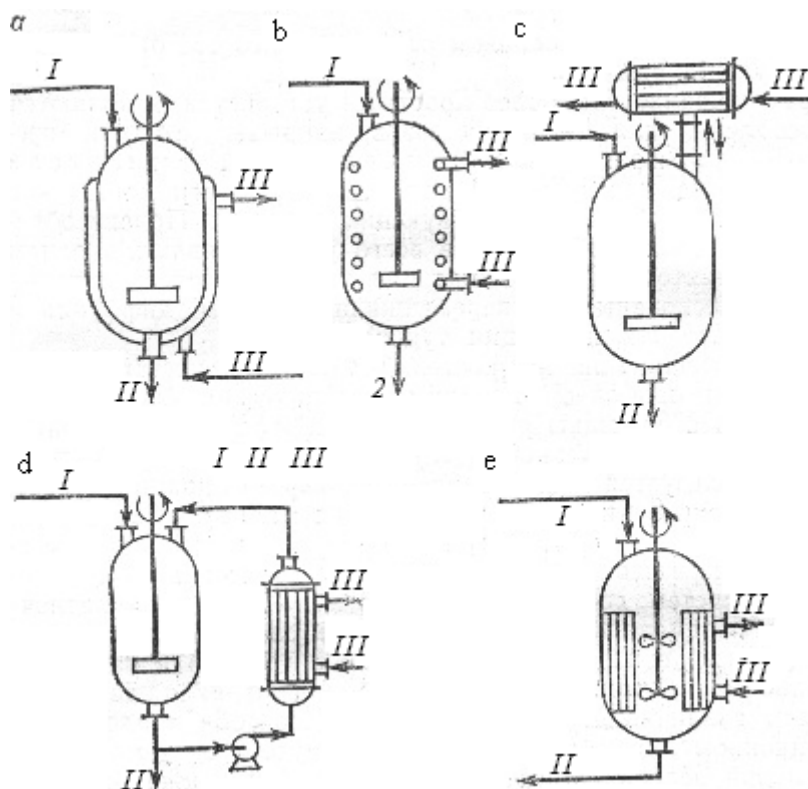
9.7. Reaktorlarning aralashtirish va issiqlik almashinish moslamalari

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.

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 shneklar, hamda pnevmatik aralashtirgichlar ishlatiladi. «Gaz-qattiq jism» sistemasida sifatli aralashtirishga erishish uchun jarayon mavhum qaynash yoki harakatchan qatlamda o'tkaziladi.



9.14-rasm. Aralashish reaktorining issiqlik almashinish moslamalari.

I-boshlang'ich moddalar, II-reakciya mahsuloti, III-issiqlik eltich;
a-g'ilofli qurilma; b-ichki zmeevikli qurilma; v-tashqi deflegmatorli qurilma; g-tashqi issiqlik almashinish qurilmali; d-ichki issiqlik almashinish qurilmali.

Issiqlik almashinish. Kimyoviy reaktorlarni turli usullarda isitish yoki sovitish mumkin. Reaktordagi issiqlik almashinish usulini tanlash kimyoviy jarayonning o'tkazish temperaturasi, hamda issiqlik eltichning fizik, issiqlik-diffuzion va kimyoviy xossalariga bog'liq. Sanoat miqyosida isitish va sovitishning 2 ta, ya'ni bevosita va bilvosita usullari bor.

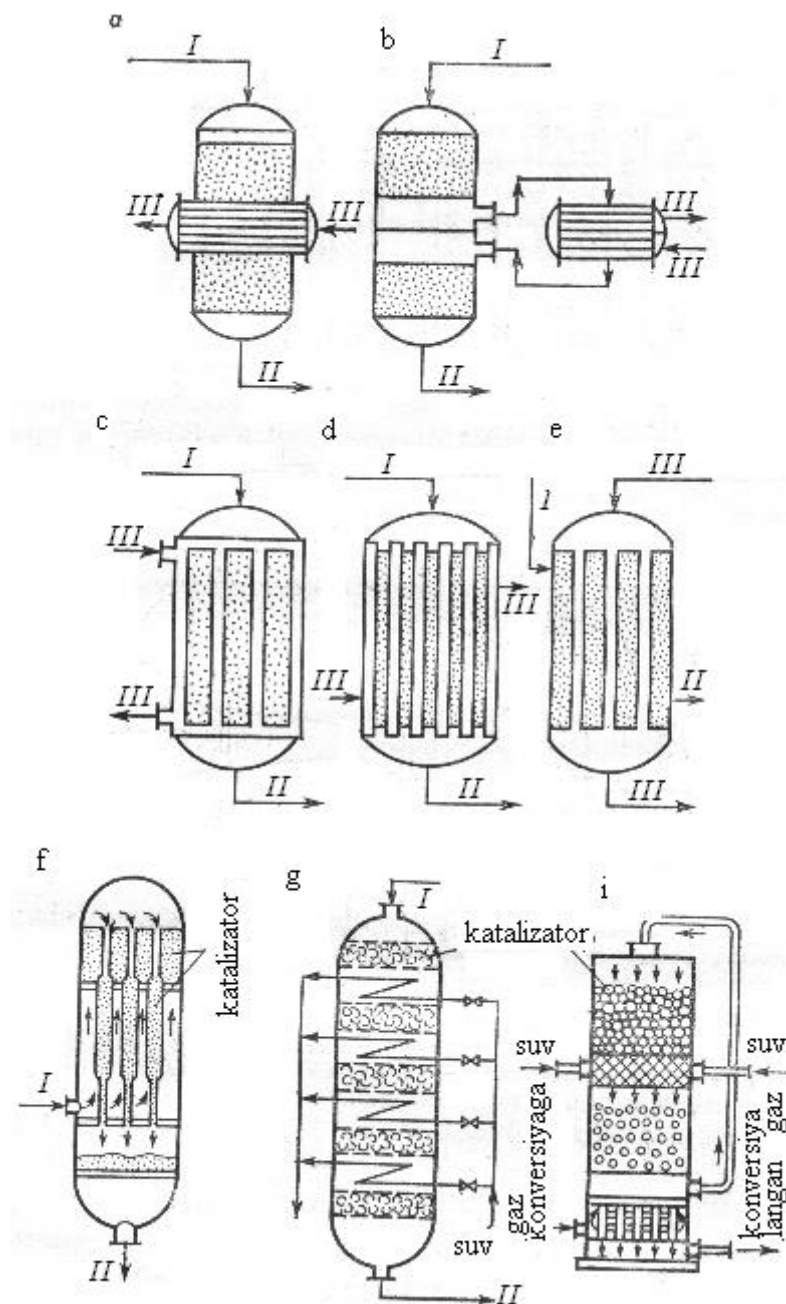
Bevosita issiqlik almashinishda aralashma va issiqlik eltich quyidagi variantlardan birida issiqlik uzatiladi:

- 1) issiqlik bevosita reaktorda beriladi, masalan, ekzotermik reaksiya yoki elektrik razryad yo'li bilan;
- 2) issiqlikning uzatilishi reakstion aralashmaning birorta komponentini qisman yoki to'liq bug'latish orqali yoki endotermik reaksiya yo'li bilan;
- 3) reakstion hajmda issiqlik eltichning stirkulyastiyasi hisobiga issiqlik uzatish.

Bilvosita issiqlik almashinishda issiqlik eltich va reagentlar qo'zg'almas devor yordamida ajratilgan bo'ladi. Issiqlik almashinish yuzalari turli geometrik shaklda (zmeevik, g'ilof, halqa va hokazo) bo'lishi mumkin.

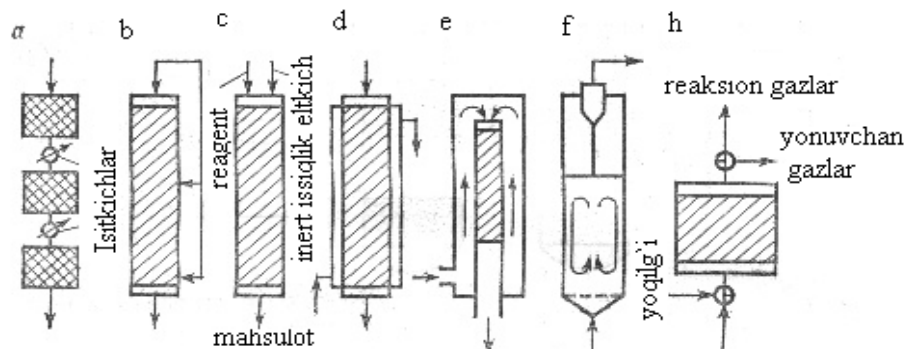
Odatda reaktorni isitish yoki sovitish uning tashqarisidagi g'ilof orqali amalga oshiriladi.

9.14...9.17-rasmlarda issiqlik almashinishni tashkil etish va issiqlik almashinish moslamalari, hamda reagentlarni aralashtirish uchun mo'ljallangan ayrim moslamalar keltirilgan.



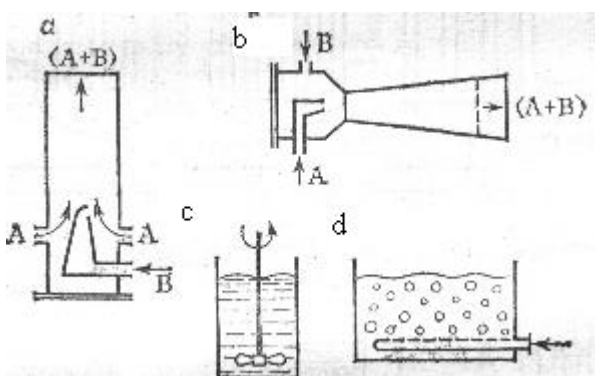
9.15-rasm. Siqib chiqarish reaktorining issiqlik almashinish moslamalari.

I-boshlanich moddalar, II-reaksiya mahsuloti, III-issiqlik eltqich; a-ichki issiqlik almashinish moslamali; b-tashqi issiqlik almashinish moslamali; c-trubalarida katalizator to'ldirilgan qurilma; d-trubalararo bo'shlig'i katalizator bilan to'ldirilgan qurilma; e-kombinatsiyalangan tipdagi qurilma; j-tokchali va katalizator qatlamlari orasida sovitish moslamali qurilma; z- katalizator qatlami orasiga suv purkovchi moslamali qurilma.



9.16-rasm. Eritmada optimal temperatura hosil qilish usullari.

a-adiabatik seksiyalarga ajratish; b-sovuq reagentlar qo`shib; c-inert, issiqlik eltich qo`shib; d-bilvosita issiqlik almashinish; e-reagent bilan bevosita issiqlik almashinish; f-harakatchan (mavhum qaynash) qatlamli; h-regenerativ issiqlik almashinish



9.17-rasm. Kimyoviy reaktorlar aralashtiruvchi moslamalarining turlari.

a-soplo; b-oqimchali;
c-aralashtirgich; d-barboter.

9.8. Reaktorlarni hisoblash

Reaktorning asosiy o`lchamlari (hajmi, fazalarning to`qnashish yuzasi) quyidagi umumiy nisbatdan aniqlanadi:

$$A = \frac{M}{DK} \quad (9.54)$$

bu erda 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 koeffitsienti.

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 zmeevik yoki g`ilofli qozon va aralashtirgichlardan tarkib topgan bo`ladi. Aralashtirgich aralashmani intensiv qorishtiradi va hajmning istalgan nuqtasida bir xil konstantrasiya bo`lishini ta`minlaydi, ya`ni konstantrasiya 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:

$$\beta \Delta \tau = 24 \quad \text{ba} \quad \beta = \frac{24}{\Delta \tau} \quad (9.55)$$

Bir sutkada ishlab chiqariladigan partiyalar soni α esa ushbu nisbatdan topiladi:

$$\alpha = \frac{V_{CYT}}{V_a} \quad (9.56)$$

bu erda V_{sut} – bir sutkada qayta ishlanayotgan materialning hajmi.

(9.55) va (9.56) tenglamalardan quyidagi bog'liqlikni topish mumkin:

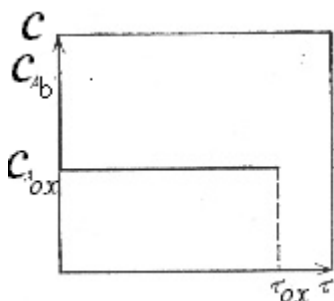
$$\frac{\alpha}{\beta} = \left(\frac{V_{CYT}}{24} \right) \cdot \frac{\Delta \tau}{V_a} = n \quad (9.57)$$

bu erda n - parallel ishlayotgan qurilmalar soni.

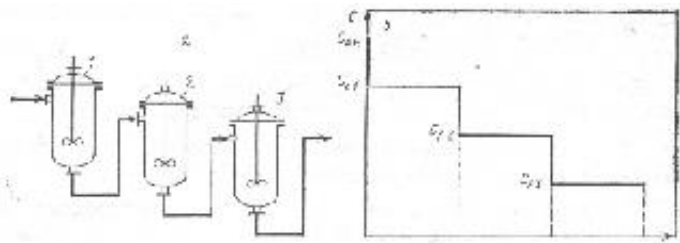
Agar, qurilmalarning ishchi hajmi V_a ni qabul qilib olsak, qurilmalar soni n ni aniqlash mumkin. Agar, bitta qurilma ($n=1$) qo'llash maqsadga muvofiq bo'lsa, unda (9.57) tenglamadan uning ishchi hajmini aniqlash mumkin:

$$V_a = \frac{V_{CYT} \cdot \Delta \tau}{24} \quad (9.58)$$

Uzluksiz ishlaydigan ideal aralashish reaktorlari. Ideal aralashish reaktorlarida material hajmining hamma nuqtalarida va vaqt o'tishi bilan konsentrastiyalar o'zgarmasdir. Bunday turdagi reaktorlar uchun s - τ diagramma 9.18-rasmda keltirilgan.



9.18-rasm. Ideal aralashishreaktorida konsentratsiya c ning vaqt t ga bog'liqligi.



9.19-rasm. Ideal aralashish qurilmalari kaskadi (a) va unda konsentratsiya c ning vaqt t ga bog'liqligi (b).

Rasmdan ko'rinib turibdiki, bunday qurilmalarda konsentrastiya boshlang'ich qiymat s_A dan oxirgi konsentrastiya $s_A=s_{ox}$ ga bir zumda tushadi. Ushbu holat, birinchi darajali reaksiyalar uchun moddalar o'zaro ta'sir vaqti va reaktorning ishchi hajmi ushbu tenglamalardan topiladi:

$$\tau_{ap} = \frac{x_{ox}}{K_1(1-x_{ox})}; \quad V_a = V_\tau \cdot \tau_{ap} \quad (9.60)$$

bu erda x_{ox} - qurilmadagi modda konsentrastiyasi ($s_A=s_{ox}$); V_τ - τ vaqt ichida qayta ishlangan hajm.

Ma'lumki, ideal aralashish qurilmalari juda kichik foydali ish koeffistienti bilan xarakterlanadi. Demak, boshqa sharoitlar bir xil bo'lganda, uning hajmi maksimal qiymatga ega.

Ideal aralashish reaktorlar kaskadi. Ideal aralashish qurilmalarining foydali ish koef-fitsientini oshirish maqsadida ulardan kaskad qilinadi (9.19-rasm).

Kaskaddagi reaktorlar sonini aniqlash uchun grafik usulidan foydalanish maqsadga muvofiq (9.10-rasm). Birinchi darajali reaksiya uchun birinchi reaktorda boshlang'ich aylanish darajasi x_b dan x_1 gacha oshadi. Unda, abc burchakdan:

$$\frac{ac}{ab} = \frac{x_2 - x_1}{w} = \operatorname{tg} \alpha \quad (9.61)$$

bu erda $w = \Delta x / \Delta \tau$ reaksiya tezligi; $\operatorname{tg} \alpha$ - bc chizig'ining reaksiya tezligi o'qiga qiyaligi;

Nuqta b dan absstissa o'qi bilan kesishguncha to'g'ri chiziq o'tkazib, konstantriya x_1 ni topamiz. Shu nuqtadan tezlik egri chizig'i bilan kesishguncha vertikal chiziq o'tkazib d nuqtani aniqlaymiz. Hosil qilingan d nuqtadan a burchak ostida absstissa o'qi bilan tutashguncha to'g'ri chiziq o'tkazib x_2 topamiz. Xuddi shuni bir necha marta qaytarsak, $x_b - x_{ox}$ oralikda siniq, pog'onali chiziq hosil bo'ladi.

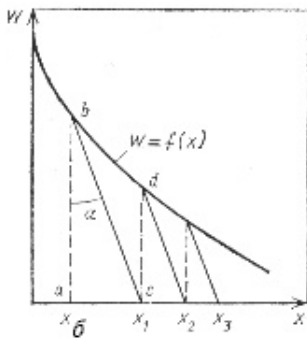
Siniq chiziqdagi pog'onalar soni kaskaddagi reaktorlar sonini bildiradi. Grafikdagi a burchak quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{x_2 - x_1}{w} = \operatorname{tg} \alpha = \tau \quad (9.62)$$

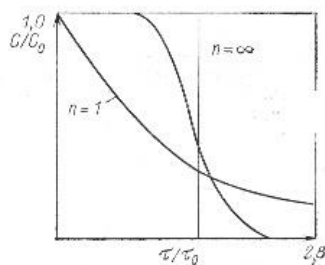
Lekin, $\tau = V_a / V_o$ demak

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V_a}{V_o}$$

Odatda, hisoblashlarni o'tkazish uchun V_o 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.



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).

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 konstantriya bir tekisda (ideal aralashish) bo'ladi. Lekin, reaktorda bo'ylama aralashish yuz bermaydi. Bunday sharoitda konstantriya s_a ning o'zgarishi xuddi shu turdagi davriy ishlaydigan qurilmaniki kabi va son jihatdan bir xil bo'ladi. Buning uchun 9.11-rasmdagi absstissa o'qida τ emas, reaktor uzunligi l qo'yilishi kerak.

Qurilmaning ishchi hajmi ushbu tenglamadan topiladi:

$$V_a = V_{cek} \cdot \tau \quad (9.63)$$

bu erda τ jarayon davomiyligi va u yuqorida keltirilgan kimyoviy kinetika tenglamalaridan aniqlanadi.

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 absorbstiya, kristallanish, gazlarni ajratish, sublimastiyali quritish va boshqa jarayonlar kiradi. Shuningdek, bu turdagi sovitishdan qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash, er qatlamlarini muzlatish, havoni kondistiyalash 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'lamiga bilan aniqlanadi.

Shartli ravishda 1) o'rta sovitish (atrof muhit temperaturasidan -100°S gacha) va 2) chuqur sovitish (-100°S dan past temperatura) larga bo'linadi.

O'z navbatida -100°S dan past temperaturalar olish shartli ravishda quyidagicha klassifikastiyalanadi:

a) chuqur sovitish texnikasi (45 K ... 273 K);

b) kriogen texnikasi (40 K ... 0,3 K);

v) ultra-past temperaturalar texnikasi (0,00002 K gacha);

2 K dan yuqori temperaturalar olinishi texnikada qo'llaniladi. Undan pastroq temperaturalarini olish esa, ilmiy tajribalar qilish texnikasiga to'g'ri keladi.

Chuqur sovitishga to'g'ri keladigan temperaturalarini 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

yuqo jaray sovu siqis muhi foyd muhi		tilishi entropiya S ning kamayishiga olib keladi va shuning uchun bu bajarilishi kerak (ya'ni energiya sarflanadi). ni past temperaturali muhitdan yuqori temperaturali muhitga o'tkazish ichi jism yordamida amalga oshiriladi. n yoki sikl sifatida amalga oshirilib, kompressorda sovuq eltkich bug'larini ltiliriladi. iga binoan, yuqori T –temperaturali muhitdan pastroq T_0 temperaturali ssiqlikning ishga aylanishining eng yuqori darajasi Karno teskari siklning eladi. Shuning uchun past temperaturali muhitdan yuqori temperaturali r'rilganda shu sikldan foydalanish mumkin (10.1-rasm).

10.1-rasm. Karno teskari sikl

2-3-Sovuq eltkich bug'larining izotermik kondensastiyalanishi. Bu jarayon T temperaturadan tashqi muhitga Q kondensastiya issiqligini berish bilan boradi;

3-4-Suyuq sovuqlik eltkichining adiabatik kengayishi (kengayishining yakuniy temperaturasi T_0);

4-1- Suyuq sovuqlik eltkichining T_0 temperaturasidagi bug'lanishi. Bunda sovitilayotgan muhitdan Q_0 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_0/T_0 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 qo'yidagicha bo'ladi:

$$(Q_0 + L_\kappa) / T \quad (10.1)$$

Energetik balansga muvofiq:

$$\frac{Q_0}{T_0} = \frac{Q_0 + L_\kappa}{T} \quad (10.2)$$

bu erdan, Karno teskari sikli bo'yicha ishlayotgan sovitish qurilmasida sarflangan ish:

$$L_\kappa = Q_0 \left(\frac{T - T_0}{T_0} \right) \quad (10.3)$$

Sovuqlik eltkich tomonidan $T_0 < T$ temperaturada sovitilayotgan muhitdan olib ketilayotgan Q_0 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_κ ni beradli (2-3-4-1 yuza.)

Shunday qilib, Karno teskari sikli misolida har qanday sovitish mashinasining energetik balansini ko'rsatish mumkin:

$$Q_0 + L = Q \quad (10.4)$$

bu erda, L – haqiqiy siklning ishi.

Sovitish sikllarining termodinamik samaradorligini sovitish koeffitsienti ε ifodalaydi. Sovitish koeffitsienti sovuqlik unumdorligi Q_0 ni sarflangan ish L ga nisbati orqali topiladi:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{L} = \frac{Q_0}{Q - Q_0} \quad (10.5)$$

Bu koeffitsient 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:

$$\varepsilon_\kappa = \frac{Q_0}{Q - Q_0} = \frac{T_0(S_1 - S_2)}{T(S_1 - S_2) - T_0(S_1 - S_2)} = \frac{T_0}{T - T_0} \quad (10.6.)$$

Sovitish koeffitsienti 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 funktsiyasi. Bunda T va T_0 temperaturalar farqi qanchalik kichik bo'lsa, sovitish koeffitsienti shunchalik yuqori bo'ladi.

Sovitish koeffitsientini sovitish mashinasining foydali ish koeffitsienti sifatida qabul qilib bo'lmaydi. Foydali ish koeffitsienti 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 narhi ortadi. Undan tashqari, bu temperaturaning pasayishi termodinamik foydali ish koeffitsientining kamayishiga olib keladi. Bu koeffitsient η haqiqiy sikl sovitish koeffitsienti ε_κ ni Karno sikli sovitish koeffitsienti ε_κ ga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\eta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_\kappa} \quad (10.7.)$$

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 temperaturasi 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°S gacha pasayadi, bu temperatura ammiak uchun shu bosimdagi qaynash temperaturasi hisoblanadi. Bu holatda ammiakni har xil muxitlarni – 30°S 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 engish uchun sarflanadi va issiqlikka aylanadi, natijada kengayish jarayoni entalpiyaning o'zgarishsiz kechadi (izoentalpik).

Ideal gaz bo'lganda entalpiyaning o'zgarishsiz 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 xolatning bo'lishiga sabab, ularning entalpiyasi nafaqat temperatura T ning, balki bosimi R ning ham funkstiyasidir:

$$i = u + pV = c_v T + u_{nom} + pV \quad (10.8)$$

bu erda, u – haqiqiy gazning ichki energichsi; V – colishtirma hajm; c_v – o'zgarishsiz hajmdagi solishtirma issiqlik sig'imi; $c_v T$ – gaz molekularining ichki kinetik energiyasi; u_{pot} – gazning ichki potentsial 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 indeksni qo'ysak, hamda entalpiyaning o'zgarishsiz qolishini e'tiborga olsak:

$$c_v T_1 + u_1 + p_1 V_1 = c_v T_2 + u_2 + p_2 V_2 \quad (10.8.)$$

bu erdan:

$$c_v (T_1 - T_2) = (u_2 - u_1) - (p_1 V_1 - p_2 V_2) \quad (10.9.)$$

Oxirgi ifoda drossellanishda o'zini qanday tutishini ko'rsatadi: agar $p_2 V_2 > p_1 V_1$ bo'lsa, $T_1 - T_2 > 0$ bo'ladi va natijada drossellanishda gazning temperaturasi pasayadi. Agar $p_2 V_2 < p_1 V_1$, lekin $(u_2 - u_1) > (p_1 V_1 - p_2 V_2)$ bo'lganda ham gaz temperaturasi pasayadi ($T_2 < T_1$). Va nihoyat, $(u_2 - u_1) < (p_1 V_1 - p_2 V_2)$ bo'lganda, drossellanishdan keyin gazning temperaturasi ko'tariladi $T_2 > T_1$.

Haqiqiy gazning drossellanishdagi 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.

$(u_2 - u_1) = (p_1 V_1 - p_2 V_2)$ 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 $t_{inv} = -73^\circ S$, geliy uchun $t_{inv} = -243^\circ S$) drossellanganda soviydi.

Temperaturaning juda kichik o'zgarishini uni keltirib chiqargan juda kichik bosim o'zgarishiga nisbati differentsial **drossel effekti** deyiladi.

$$j = \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_{i=const} \quad (10.10)$$

Lekin amaliy hisoblarda differentsial drossel effekti deganda haqiqiy gazning bosimi bir birlikka o'zgarganda, uning temperaturasini o'zgarishi tushuniladi.

Integral drossel effekti gaz bosimining boshlang'ich R_1 dan oxirgi R_2 ga o'zgargandagi temperatura o'zgarishi to'g'ri keladi:

$$j_{um} = \int_{p_1}^{p_2} o dp = \int_{p_1}^{p_2} \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_{i=const} dp \quad (10.11.)$$

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 $T_1(T_1=205^0K)$ va bosim $R_1(R_1=100 atm)$ bo'yicha drossellanishdan oldingi nuqta 1 topiladi. Keyin $i_1=const$ chizig'i va oxirgi bosim $R_2=1 atm$ izobara chizig'ining kesishishida 2 nuqta aniqlanadi. Nuqta 2 ga drossellanishdan keyingi temperatura $T_2=150^0K$ to'g'ri keladi. Drossel effekti $\Delta T = T_1 - T_2 = 55^0K$ ni tashkil etadi.

Issqlik birliklarida ifodalangan drossel effekti **izotermik** drossel effekti deyiladi.

Izotermik drossel effekti aniqlash uchun $R_2=const$ izobara bo'yicha (10.2-rasm) 2-nuqtadan T_1 izotermada yotgan 3-nuqtaga ko'tarilamiz. 3-nuqtaga $i_3 \approx 100 kkal/kg = 4,19 \cdot 10^5 J/kg$ entalpiya to'g'ri keladi.

Shunga ko'ra, izlanilayotgan effekt 1-va 2- nuqtalar entalpiyalarining ayirmasiga teng va manfiy qiymatga ega, chunki $i_3 > i_1$:

$$\Delta i = i_1 - i_3 = 86 - 100 = -14 kkal / kg \approx -16,8 J/kg$$

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 almashishsiz 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:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (10.12.)$$

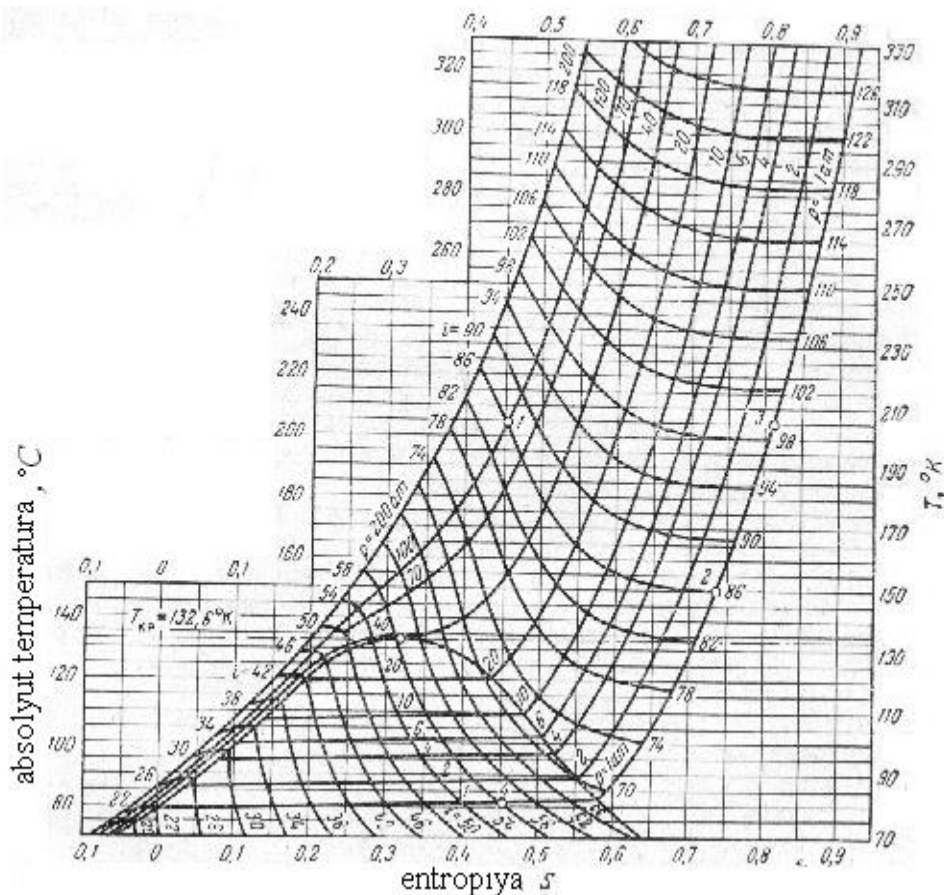
Bu formula adiabatik jarayon uchun to'g'ri. Haqiqatda esa, erishilayotgan temperatura pasayishi kamroq bo'ladi va haqiqiy politropik jarayonga to'g'ri keladi.

Bu usulda gaz soviganda olinayotgan issiqlik va temperatura pasayishini $T-S$ diagrammasidan aniqlash mumkin (10.2-rasm).

Faraz qilaylik, siqilgan gazning detanderdan oldingi holati $T_1=205 K$ va $R_1=100 atm$ – nuqta 1 bo'lsin. Gazning tashqi ish berish bilan adiabatik kengayishi $S=const$ bo'yicha amalga oshadi. Shuning uchun 1-nuqtadan berilgan oxirgi bosim $R_2= 1 atm$ izobara chizig'igacha vertikal tushirib, detanderlashning oxirgi holatini belgilovchi 4- nuqtani aniqlaymiz. Bu nuqtaga to'g'ri keluvchi temperatura $T_4 \approx 82K$ va temperatura pasayishi $\Delta T = T_1 - T_4 = 205 - 82 = 123K$. 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:



10.2-rasm. Havo uchun T-Sdiagramma

$$l_{aa} = \frac{k}{k-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (10.13)$$

bu ish gaz absolyut temperaturasi 1- darajasiga to'g'ri proporsional. Detanderda gazlarning kengayishi kompressordagi siqish temperaturasidan ancha pastroq temperaturalarda amalga oshiriladi va shuning uchun ham detander ishi tufayli enegiya sarfining kamayish miqdori unchalik katta emas. Agar detanderda gazning suyulishi hosil bo'lsa bu miqdorda yana kamayadi. Gidravlik zarba, uyurmalarining 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.

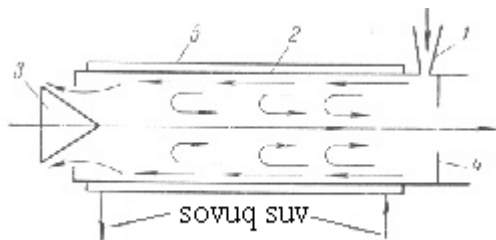
10.4. Past temperatura olish usullari

Drossellanish va siqilgan gazni detanderda kengayishidan boshqa usullar bilan ham sovuqlik olish mumkin.

Bu usullar ichiga fazaviy o'zgarish (erish, qaynash, sublimastiya 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°S gacha temperatura pasayishi mumkin. Erish temperaturasini pasaytirish uchun maydalangan muz (yoki qor) va tuzdan (masalan NaCl yoki CaCl) tashkil topgan aralashmalar qo'llaniladi. Kalstiy xlorid tuzi bilan muz aralashmasini -55°S temperaturagacha sovuqlik olish uchun ishlatish mumkin.

Quyida keltirilgan boshqa usullar sanoatda kam qo'llanilsada, ular haqida to'xtatilib o'tish lozim.

Uyurmaviy effekt. Bu effekt oddiygina qurilma – uyurmaviy quvur yordamida gaz temperaturasini – 10°S dan - 60°S gacha pasaytirish uchun qo'llaniladi (10.3-rasm).



10.3-rasm. Uyurmaviy quvur.

1-soplo; 2- quvur; 3- drossel ventili;
4- diafragma; 5-sovuq qatlam.

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 temperaturalarini paramagnit materiallarni adiabatik magnitsizlantirish yo'li bilan olish mumkin. Bunda gazlarni adiabatik kengayishi kabi ichki energiya sarflanib, tashqi kuchlar ustidan ish bajariladi, natijada temperaturaning keskin pasayishiga olib kelinadi.

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 (**Pelte effekti**). Oddiy o'tkazgichlar o'rniga yarim o'tkazgichlar qo'llanilsa, past temperaturalar olish imkonini yaratiladi. Buning uchun samarali termoelementlardan tuzilgan batareyalar yaratilishi kerak.

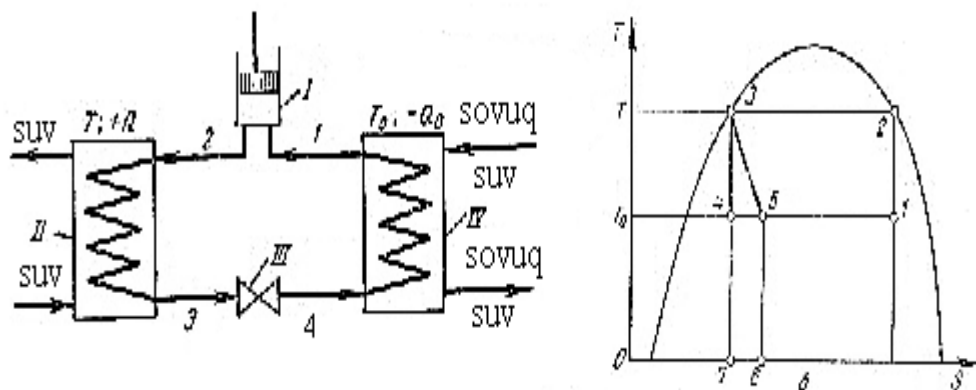
O'rtacha temperaturagacha sovitish. Bunday sovuqlik olishda sovuqlik eltichi sifatida kritik temperaturasi atrof muhit temperaturasidan yuqori bo'lgan gazlar ishlatiladi. Yuqorida aytib o'tganimizdek, bu usul bilan quyicha chegarasi -100°S temperaturani olish mumkin.

10.5. Kompresor bug` sovitish mashinalari

O'rtacha temperaturali sovuqlik olishda kompressor bug` sovitish mashinalari keng qo'llaniladi. Bunday mashinalarda sovutuvchi eltichi sifatida past temperaturada qaynaydigan suyuqliklar ishlatiladi.

Ideal mashina sikli. Karnoning teskari sikli bo'yicha ishlaydigan ideal kompressor sovitish mashinasida (10.4-rasm) kompressor **I** sovitish eltichi 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 temperaturasi 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 **R** bosimda bo'ladi.

Kondensator **II** dagi suyuqlanish (kondensastiyalanish) jarayoni T temperaturada izotermik ravishda boradi (gorizontal 2-3 chiziq). Kondensatordan suyuq sovitish eltichi kengaytiruvchi stilindrga keladi (10.4a-rasmda ideal siklda qo'llaniladigan kengaytiruvchi stilindr o'rniga real siklda qo'llaniladigan drossel ventili **III** ko'rsatilgan). U erda adiabatik kengayib, qaynash bosimiga to'g'ri keladigan T_0 temperaturaga ega bo'ladi (3-4 adiabatik chizig'i). So'ng suyuq sovitish eltichi bug'latigich **IV** da bug'lanib (qaynab), sovitilayotgan muhitdan issiqlikni oladi. T_0 temperaturadagi bug'lanish jarayoni 4-1 izoterma chizig'i bilan ifodalanadi. T_0 temperaturadagi bug'larni (1 nuqta) kompressor so'rib oladi va sikl takrorlanadi. Shunday qilib butun jarayon 2 ta adiabat (1-2 va 3-4 kesmalar) hamda ikkita izoterma (2-3 va 4-1 kesma) lardan iborat.

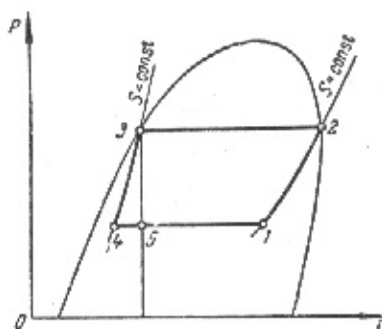


10.4-rasm. Kompresor sovitish mashinasi.

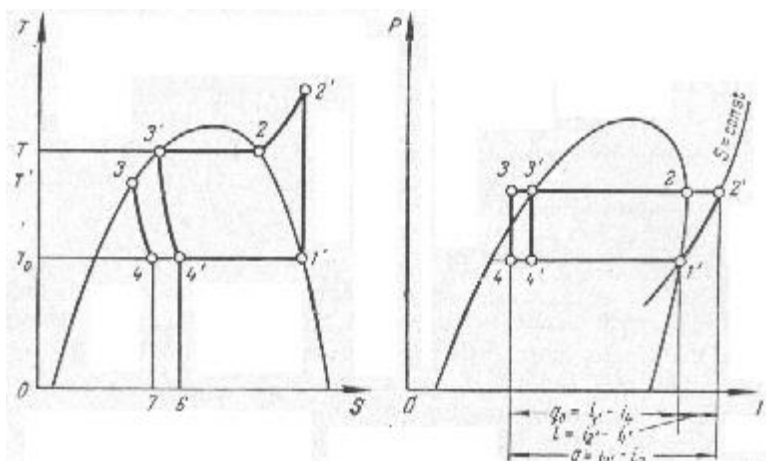
a-Qurilma shemasi; b-jarayonning T-S diagrammadagi ko'rinishi;

I-kompresor; II-kondensator; III-drossel ventili; IV-bug'latkich.

10.5-rasmda $p-i$ diagrammadagi ideal kompresor sovitish mashinasining sikli ko'rsatilgan. Bu diagrammada sovuqlik unumdorligi Q_0 va sarflangan ishi L diagrammadagi qabi yuzalar orqali emas, balki to'g'ri chiziqli kesmalar orqali aniqlanadi. 1-2 kesma kompresor 1 dagi sovitish eltkichi bug'larining adiabatik siqilishi; 2-3 kesma shu bug'larning II kondensatordagi suyuqlanishi; 3-4 kesma suyuq sovitish eltkichining kengaytirish stilindridagi kengayishi; 4-1 kesma suyuq sovitish eltkichining bug'latgich IV dagi bug'lanishi.



10.5-rasm. p-i diagrammadagi kompresor sovitish mashina sikli.



10.6-rasm. Haqiqiy kompresor sovitish mashinasi ciklining T-S va p-i diagrammalardagi ko'rinishi

Haqiqiy mashina sikli. Ideal sovitish mashinasi konstruktiv yasalishi murakkab bo'lgani uchun kengayish stilindri 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 kompresor tomonidan siqilishi nam-bug' sohasida emas, balki o'ta qizigan bug' sohasida amalga oshiriladi va kompresor quruq to'yingan, ba'zida o'ta qizigan bug'larni so'radi;

b) kondensatorda su-yuqlangan sovitish eltkichi kondensastiya temperaturasidan pastroq temperaturaga o'ta sovitiladi.

Nazariy tomondan qaralganda, quruq to'yingan bug'larni siqish energiya sarfini oshirishga olib kelsada, amaliyotda kompressorning «quruq yurishi» foydaliroqdir. Bug' quruq to'yingan holatda so'riladi (1-nuqta) va berilgan bosimgacha adiabatik siqiladi (2-nuqta). Bunda kompresor stilindri devorlari bilan nam -bug' orasidagi intensiv issiqlik almashinishga asoslangan sovuqlik yo'qotilishi kamayadi. Bundan tashqari, kompressorning «nam yurishida» sovitish eltkichi stilindr ichida bug'lanadi, bu esa kompressorning foydali ish hajmiy va uzatish koeffistientining kamayishiga va o'z navbatida siklning sovuqlik unumdorligini pasayishiga olib keladi.

Kondensatorga kirayotgan o'ta qizigan sovitish eltkichi bug'lari o'zgarmas bosimda kondensastiya

temperaturasigacha soviydi (2-2 izobara chizig'i), so'ng ish bosimi va o'zgarmas temperaturada

kondensastiyalanadi (2-3 gorizontaal 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 temperaturasi gacha 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'latgichda $T_0 = \text{const}$ temperaturada bug'lanish bilan tugaydi (4-1 izotermasi).

T - S va p - i diagrammalar orqali xaqiqiy sovitish siklini xarakterlovchi asosiy kattaliklarni aniqlash mumkin: kompressordagi siqish ishi, kondensatorning issiqlik yuklamasi va sovitish koeffitsienti. P - i diagrammada 1kg sovitish eltkichi bug'larini siqish uchun komressorda sarflangan solishtirma ishi quyidagicha:

$$l = i_{2'} - i_{1'} \quad (10.14.)$$

bu erda $i_{2'}$, $i_{1'}$ - 2' va 1' nuqtalardagi entalpiyalar.

Kondensatorga tushayotgan solishtirma issiqlik yuklamasi:

$$q = i_{2'} - i_3 \quad (10.15.)$$

bu erda 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.

Iqikning solishtirma sovitish unumdorligi q_0 jarayondagi sovitish eltkichi entalpiyasining o'zgarishiga teng:

$$q_0 = i_{1'} - i_4 \quad (10.16.)$$

bu erda, i_4 - sovitish eltkichining 4-nuqtadagi entalpiyasi.

Haqiqiy sovitish siklning sovitish koeffitsienti quyidagicha:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} \quad (10.17.)$$

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 $t_0 = -15^\circ\text{S}$, suyuqlanish (kondensatsiya) temperaturasi $t_k = +30^\circ\text{S}$, o'ta sovitish temperaturasi $t_\pi = +25^\circ\text{S}$ qabul qilingan.

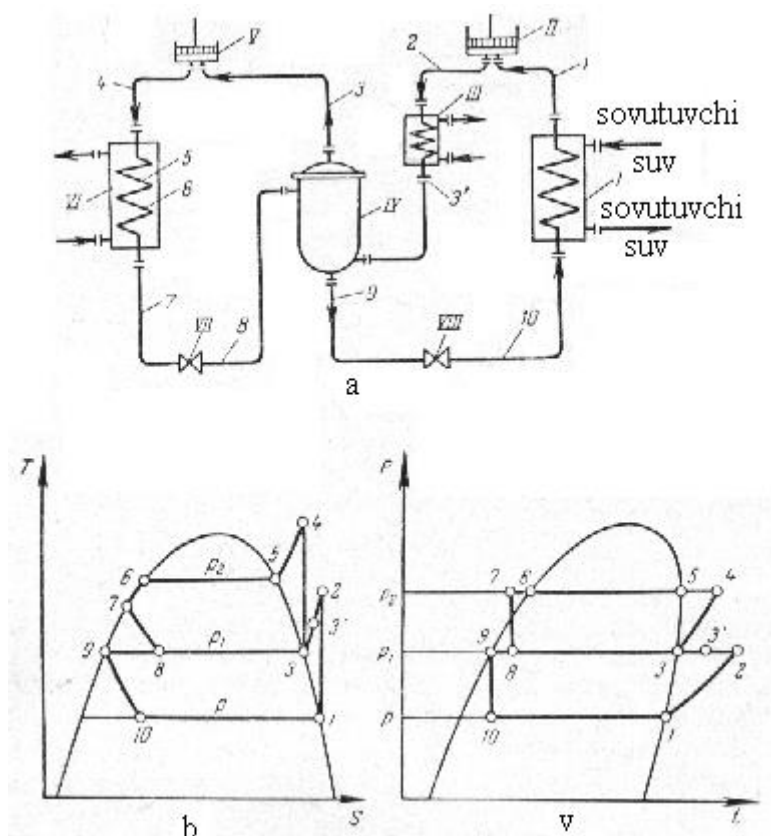
Xaqiqiy sovitish mashinalarining sxemalari 10.6-rasmdagi mashinaga qaraganda bir muncha murakkablashgan bo'ladi. Masalan, suyuq sovitish eltkichi kondensatorda o'ta soviy olmasa, drossel ventildan avval sxemaga qo'shimcha issiqlik almashinish qurilmasi – o'ta sovitkichlar o'rnatiladi. Kompressorning «quruq yurish»ini ta'minlash uchun bug'latgich va kompressor orasiga suyuqlik ajratgich (tomchi ushlagich) qo'yilib, sovitish eltkichi bug'idan ajragan suyuqlik bug'latgichga 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 $t_0 = -34^\circ\text{C}$. Agar bundan past bug'lanish temperaturasini olish talab qilinsa, bir bosqichli sovitish mashinasi iqtisodiy kursatkichi 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 koeffitsienti kamayadi. Bundan tashqari sovitish eltkichi bug'larining siqilish darajasi ortganda ularning temperaturasi ham ortadi, bu esa bug'larning parchalanishga olib kelishi mumkin.

Shu sabablarga ko'ra, nisbatan past temperaturalarini 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°S gacha, uch bosqichlida esa -70°S gacha temperatura pasaytirilishi mumkin.

Ikki bosqichli kompressor sovitish mashinasida R bosimdagi sovitish eltkichi bug'lari bug'latgich I dan so'rilib olinadi va past bosim kompressor stilindrida oraliq R_1 bosimgacha siqiladi. Siqilgan bug' sovitgich III dan o'tib ajratgich idish IV ga keltiriladi. U erda bug'lar qaynayotgan suyuq sovitish eltkichi ichidan yuqoriga o'tib (barbotaj), soviydi va quruq to'yingan holda yuqori bosim stilindri V yordamida so'rib olinadi. U erda R_2 bosimgacha siqilib, kondensator VI ga yo'naltiriladi. Kondensatsiyalanish tufayli hosil bo'lgan suyuq sovitish eltkichi drossel ventil VII da R_1 bosimgacha drosselanadi. 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 drossel ventilida R bosimgacha drossellanib bug'latgich I ga keladi, u erda sovitilayotgan muhitdan issiqlikni olib bug'lanadi. Hosil bo'lgan sovitish eltkichi bug'larini R bosimda past bosim stilindri II so'rib oladi.



10.7-rasm. Ikki bosqichli kompressor sovitish mashinasi.

a-qurilma shemasi; b,v-jarayonning T-S va p-i diagrammalardagi koʻrinishi;

I-bugʻlatgich; II-past bosim cilindri; III-sovitkich; IV-ajratgich idish;

V-yuqori bosim silindri; VI-kondensator; VII,VIII-rostlovchi ventillar.

T-S va p-i diagrammalarda (10.7b,v-rasmlar) ikki bosqichli kompressor sovitish mashinasining sikli koʻrsatilgan. Sovuq eltkich bugʻlari past bosim silindrida 1-2 adiabata boʻyicha siqiladi, sovitkich III da 2-3' izobara chizigʻi boʻylab bir oz soviydi, keyin ajratgich idish IV da oʻta qizish issiqligini toʻliq yoʻqotadi va toʻyinish temperaturasigacha soviydi (3'-3 izobarasi).

Keyin toʻyingan bugʻlar yuqori bosim silindrida 3-4 adiabata boʻyicha 4 - oʻta qizigan holatigacha siqiladi. Kondensator IV oʻta qizigan sovuqlik eltkich bugʻlari 4-5 boʻyicha toʻyinish holatigacha (5 nuqta) soviydi va shu qurilmaning oʻzida 5-6 izobara (ham izoterma) chizigʻi boʻylab kondensastiyalanadi, hamda 6-7 izobara boʻyicha oʻta soviydi. VII drossel ventildagi drossellanish jarayoni 7-8 – izoentalpiya chizigʻi bilan ifodalanadi. Kengayishdan keyin hosil boʻlgan nam bugʻ (8-nuqta) IV ajratgich idishda bugʻ (3- nuqta) va suyuq fazaga (9-nuqta) ajraladi. Suyuq sovuqlik eltkich VIII drossel ventilda 9-10 izoentalpiya boʻyicha R bosimgacha drossellanadi va bugʻlatgich I da 10-1 izoterma boʻyicha bugʻlanadi.

Ikki bosqichli sovitish mashinasining past va yuqori bosim silindrlaridagi siqilish darajasi bir bosqichliga qaraganda kichik, shuning uchun ham kompressorning hajmiy foydali ish koeffitsienti yuqori boʻladi.

10.7. Sovuqlik eltkichlar

Yuqorida koʻrsatib oʻtilganidek sovitish koeffitsientining miqdori sovuqlik eltkichining xususiyatlariga bogʻliq emas. Lekin, sovitish mashinasining oʻlchamlari, konstruktion materialning turi, ishchi bosimlar sovuqlik eltkichining xususiyatlariga bogʻliq. Shuning uchun sovuqlik eltkichlariga quyidagi talablar qoʻyiladi:

1) Kondensatorida sovuqlik eltkich bugʻlarini tabiiy sovutuvchi moddalar (suv, havo) bilan suyultirishga imkon boʻlishi uchun, sovuqlik eltkichi yuqori kritik temperaturaga ega boʻlishi kerak.

2) Yuqori bugʻlanish issiqligiga ega boʻlishi kerak. Bu sovitish unumdorligi yuqori boʻlishi, hamda sovuqlik eltkich sarfining kamayishiga olib keladi.

3) Kichik solishtirma hajmga ega boʻlishi kerak. Bu oʻz navbatida sovitish mashinasining oʻlchamlarini kamaytiradi.

4) Bug'lanish (so'rish) bosimi atmosfera bosimidan yuqoriroq bo'lgani ma'qul. Chunki sovuqlik eltqich 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 havfi, hamda kimyoviy faol birlashmalarining hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.

5) Suyuqlanish (kondensastiyalanish) bosimining juda yuqori bo'lmashligi kerak. Aks holda qurilma konstruktsiyasi murakkablashadi va narxi ortib ketadi.

Undan tashqari, sovuqlik eltqich kimyoviy agressiv bo'lmashligi va inson organizmiga zararli ta'sir ko'rsatmasligi kerak; olovga va portlashga havfsiz, olinishi (tayyorlanishi) oson va arzon bo'lishi kerak.

Qo'yilgan talablarning ikkinchisi faqat porshenli kompressorlarga tegishli. Turbokompressor qurilmalari uchun sovuqlik eltqichlar kichik bug'lanish issiqligiga ega bo'lishi kerak. Chunki turbokompressorlar ko'p miqdordagi sovuqlik eltqichini siqish uchun mo'ljallangan.

Hozirgi paytda yuqoridagi talablarning ko'piga muvofiq kelgan sovuqlik eltqichlari – ammiak va freonlar. Juda kam hollarda sovuqlik eltqichi 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'latgichdagi uncha katta bo'lmagan ortiqcha (atmosfera) bosim va yuqori bo'lmagan kondensastiya bosimi. Shu bilan birga ammiak, yonuvchan, zaharli, havo bilan aralashib portlovchi aralashma hosil qilishi mumkin va namlik bo'lganda mis va uning qotishmalarini emirilishi (korroziya) mumkin.

Freonlar – bu metanning ftor, xlor birikmalaridir. Freonlar yuqori bo'lmagan suyuqlanish va bug'lanish bosimiga ega, zararsiz, yong'in va portlashga havfsiz, konstruktsion materiallarni emirmaydi. Kamchiliklarga esa sovuqlik eltqichining yo'qotilishiga sabab bo'ladigan juda kichik qovushoqlik va moylar bilan yaxshi aralashishi kiradi.

Uglerod dioksidi – yuqori solishtirma hajmiy unumdorlikka ega, bu o'z navbatida kompressor stilindrlarining ixcham bo'lishiga olib keladi. Lekin juda past kritik temperatura va yuqori kondenslanish bosimiga ega bo'lgani uchun uning ishlatilish sohasi chegaralangan.

Xlorli metil va oltingugurt angidridining asosiy kamchiliklari past bug'lanish bosimi (atmosfera) va oltingugurt angidridining korroziya faolligi va zaharliligidir.

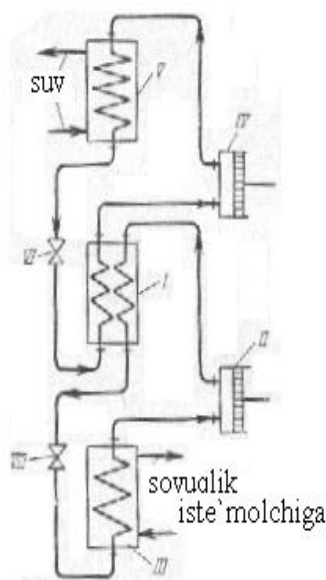
Ishlab chiqarish sharoitlarida sovitish qurilmalari boshqa bir qancha qurilmalarga xizmat ko'rsatishi mumkin va bu qurilmalar **oralik sovuqlik eltqichlar** orqali sovitiladi. Oralik sovuqlik tashuvchilar sifatida past temperaturada muzlaydigan eritmalar – natriy xlorid, kalstiy xlorid yoki magniy xlorid tuzlarining suvdagi eritmaları qo'llaniladi. Sovitish eritmaları nasos yordamida sovitish mashinasining bug'latgichi va qurilmalar orasida aylanma harakat (stirkulyastiya) qiladi. Bug'latkichda eritma soviydi va qurilmalarda issiqlikni o'ziga olib isiydi. Eritma va uning konstantstiyasini 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 eltqichida ishlab suyuqliklarni bug'latishga asoslangan sovitish sikllari yordamida -70°S dan past temperatura olib bo'lmaydi. Bu temperatura chegarasi sovuqlik eltqichining 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 eltqichlari qo'llanilib, yuqori qaynash temperaturasiga ega sovuqlik eltqichi bug'lanib, pastroq qaynash temperaturasiga ega bo'lgan sovuqlik eltqichining kondensastiyalanish issiqligini oladi. Shunda ikkinchi sovuqlik eltqichining suyuqlanishida birinchisiga nisbatan pastroq temperatura olinadi. Demak, kaskadli sikl bu bir qancha har xil intervalida ishlovchi sovuqlik eltqichlariga ega bo'lgan sikllarning kombinastiyasi.

10.8-rasmda ikki sovitish siklidan iborat bo'lgan kaskad sikli tsvirlangan. Ikkala siklni birlashtirib turuvchi issiqlik almashinish qurilmasi I bug'latgich – kondensator deb ataladi. Kaskadning quyi sovitish siklida (kompressor II va kondensator III) pastroq temperaturada qaynaydigan sovuqlik eltqichi qo'llanilgan bo'lib, u bug'latgich kondensatorda o'z kondensastiyalanish issiqligini yuqori sovitish siklida ishlovchi qaynayotgan sovuqlik eltqichiga beradi (kompressor IV va kondensator V).



10.8-rasm. Kaskadli sikl shemasi.

I - bug`latgich (yuqori sikl) - kondensator (quyi sikl);
 II - quyi sikl kompressori; III - quyi sikl bug`latgichi;
 V - 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°S da qaynayotgan (atmosfera bosimida) metanga o`z issiqligini berib,  $182 \cdot 10^4 \text{N/m}^2$  ( $18,6$  at) bosimda suyuqlanadi. Bug`langan metan $242 \cdot 10^4 \text{N/m}^2$ ($24,7$ at) bosimgacha siqiladi va -104°S (atmosfera bosimida)da qaynayotgan etilenga o`z issiqligini berib, suyuqlanadi.

Bug`langan etilen  $186 \cdot 10^4 \text{N/m}^2$  ( $19$  at) bosimgacha siqiladi va  $-33^{\circ}\text{S}$  (atmosfera bosimida) qaynayotgan ammiakka kondensastiyalanish 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. Kompresor qurilmalarining jihozlari

Sovitish qurilmasi tarkibiga kompressorlar va har xil turdagi issiqliq almashinish qurilmalari kiradi.

Kompressorlar. Kompresor 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`latgichli kondensatorlar;
- 3) Havoli kondensatorlar.

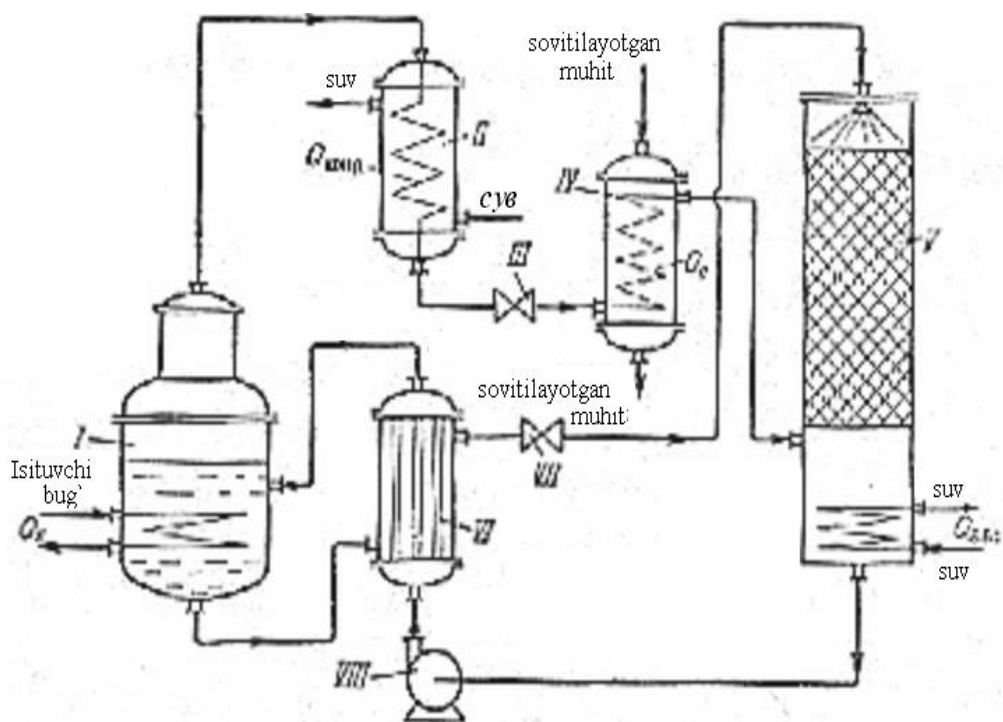
Yuqori va o`rta unumdorlikda ishlovchi qurilmalarda kondensatorlarning 1-turiga mansub bo`lgan qobiq - trubali kondensatorlar qo`llaniladi. Kichik qurilmalarda esa, ko`pincha havoli kondensatorlar qo`llaniladi. Bug`latkich sifatida ko`pchilik hollarda cho`ktilgan va qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmalari qo`llaniladi.

10.10. Absorbsion sovitish mashinalari

Kompressor sovitish mashinalaridan farqli, absorbsion sovitish mashinalarida sovuqlik olish uchun mexanik energiya emas, balki yuqori potentsialli issiqlik sarflanadi.

Absorbsion sovitish mashinasining ishchi sovuqlik eltichi bug'larining R_0 bosimda absorbent tomonidan yutilishi (absorbtsiya) va keyin qizdirishda R kondensatsiya bosimida chiqarilishiga asoslangan. Sovuqlik eltichini suyultirish uchun siqish o'rniga, bu erda ortiqcha bosim ostida haydash qo'llaniladi.

Absorbsion sovitish mashinalarida keng tarqalgan sovuqlik eltichi 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 shemasi:

I - qaynatgich; II - kondensator; III, VII - rostlovchi ventillar;
IV - bug'latgich; V - absorber; VI - isitkich; VIII - nasos.

Suv-ammiak absorbsion sovitish mashinasida (10.9-rasm) 50% ammiak bo'lgan suv-ammiak aralashmasi yuqori R bosimda ishlovchi qaynatgich I ga keladi. Aralashmadan ajragan ammiak kondensator II da suyuqlanib, ventil III dan R_0 bosimgacha drossellanib o'tadi. Bug'latgich IV ga kirib, sovitilayotgan muhitdan issiqlik olib bug'lanadi. Mashinaning sovitish unumdorligi olib ketilayotgan issiqlik bilan belgilanadi.

Ammiak bug'lar bug'latgichdan absorber V ga keladi va qaynatgich I dan kelib purkalayotgan kuchsiz aralashma tomonidan yutiladi. Yutilish darajasini oshirish maqsadida qaynatgich va absorber orasiga VI issiqlik almashgich o'rnatilgan. Bu issiqlik almashgichdan chiqqan kuchsiz aralashma VII drossel ventilda drossellanib soviydi, keyin absorberga kiradi. Absorberdagi absorbtsiya issiqligi suv tomonidan olib ketiladi.

Qaynatgich I ga issiqlik eltich (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 qaynatgichni uluksiz ishlaydigan rektifikatsion kolonna bilan almashtiriladi.

Absorbsion sovitish mashinasining issiqlik balansi quyidagicha:

$$Q_k + Q_0 = Q_{\text{конд}} + Q_{\text{абс}}$$

bu erda, Q_k - issiqlik eltich tomonidan qaynatgichda suv-ammiak aralashmasiga keltirilgan issiqlik; Q_0 - bug'latgichda sovuq eltichi tomonidan qabul qilingan issiqlik miqdori (qurilmaning sovitish unumdorligi); $Q_{\text{кond}}$ - sovuq suv tomonidan kondensatorda olib ketilayotgan issiqlik miqdori; Q_{abs} - sovuq suv tomonidan absorberda olib ketilayotgan issiqlik.

Absorbsion sovitish mashinasining sovitish koeffitsienti quyidagicha topiladi:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{Q_k}$$

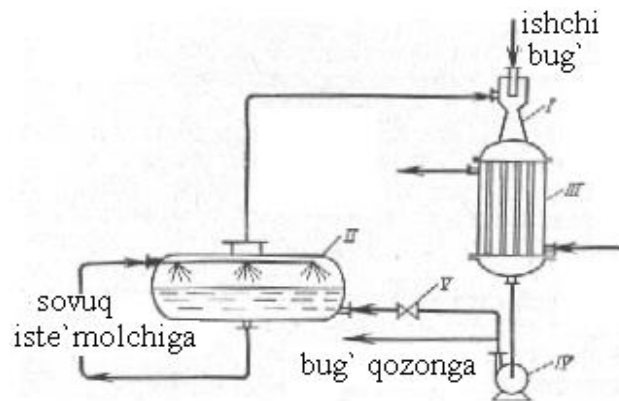
Absorbsion sovitish mashinasining sovitish koeffitsienti kompressor sovitish mashinasining sovitish koeffitsientidan kichik. Lekin bu mashinalarning nisbiy samaradorligi nafaqat sarflangan energiyaning miqdori, balki uning turiga ham bog'liq. Absorbsion sovitish mashinalarida kompressor ishlatadigan elektr energiya o'rniga, 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 sovituvchi eltkich sifatida ishlatib bo'lmaydi. Chunki past temperaturalarini 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 $40 \cdot 10^4 \dots 60 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 (\sim 4 \dots 6 \text{ at})$ bosimidagi suv bug'i injektor soplosi I ga kiradi (10.10-rasm).



10.10-rasm. Suv-bug'injektor sovitish mashinasining shemasi:

I - injektor; II - bug'latkich; III - kondensator; IV - nasos;
V - rostlovchi ventily.

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'latkichdagidan kondensator III dagi bosimgacha ko'tariladi. Bu erda 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.

Bug'latkichda sovitilgan suv iste'molchisiga uzatiladi. U erdan isib qaytgan suv, yana bug'latkichga qaytadi.

Bunday mashinalarni -10 dan $+10^\circ\text{S}$ gacha bug'lanish (qaynash) temperaturasini olish uchun ishlatish mumkin.

Suv-bug' injektor mashinalarining kamchiliklaridan biri kondensatorda suv sarfi katta o'ta, 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 temperaturalarini yuqorida aytib o'tilgan usullar bilan olib bo'lmaydi. Chunki yuqoridagi usullar bilan olingan qaynash temperaturalarini 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°S) yoki azot (qaynash temperaturasi -196°S) ni bug'latish usuli ham yaramaydi. Chunki ularning kritik temperaturalarini ham juda past, suv bilan

suyultirib bo'lmaydi.

Kritik temperaturasi -100°S dan past bo'lgan gazlarni (kislorod, azot, vodorod, geliy va boshqalar) suyultirish quyidagi usullar bilan amalga oshirish mumkin:

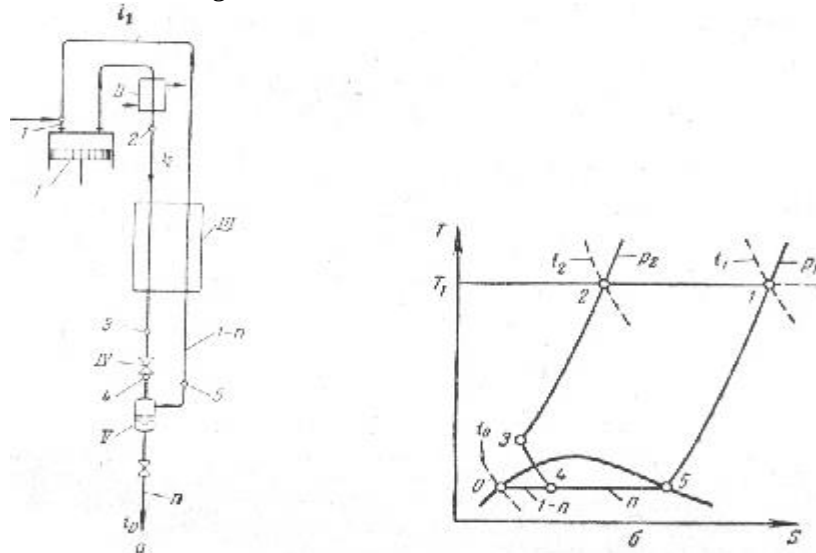
1. Gazni drossellash usuli bilan;
2. Gazni detanderda tashqi ish bajarish yo'li bilan kengaytirish;
3. Drossellash va detanderda kengaytirish usullarini birga qo'llash yo'li bilan.

Gazni detanderda kengaytirish sikli drossellash sikliga qaraganda iqtisodiy jihatdan, samarali. Lekin, eng samaradori uchinchisi, ya'ni kombinastiyali 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 drossellash jarayonida temperaturasi pasaytirilgan gaz bilan sovitilsa, gaz suyuqlikka aylanadi.

Bir karra drossellashli yuqori bosim sikli. r_1 bosim va T_1 temperaturaga ega bo'lgan gaz kompressor **I** tomonidan so'rib olinadi va r_2 bosimgacha siqilib **II** sovitgichga haydaladi. U erda 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.



10.11-rasm. Bir karra drossellashli, yuqori bosimli regenerativ sikl.

a - shemaning principal ko'rinishi; b - jarayonining T-S diagrammadagi tasviri;
I - kompressor; II - sovitkich; III - regenerativ issiqlik almashinish qurilmasi;
IV - drossel; V - suyuq mahsulot yig'gich.

Keyin siqilgan gaz qarama-qarshi yo'nalishli regenerativ issiqlik almashinish qurilma III da «teskari» gazlar hisobiga o'zgaras bosim (izobara 2-3) bo'yicha soviydi. r_2 bosimga ega bo'lgan, sovuq siqilgan gaz drossel IV orqali o'tadi. Drossellash natijasida gaz bosimi boshlang'ich r_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 sovitadi. Bu jarayonda «qaytayotgan» gaz T_1 temperaturagacha r_1 o'zgaras 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 koeffitsienti quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{i_1 - i_2}{1,69RT_1 \ln \frac{\rho_2}{\rho_1}}$$

bu erda i_1 va i_2 - 1 va 2 nuqtalardagi gazning entalpiyalari; R - gaz doimiysi.

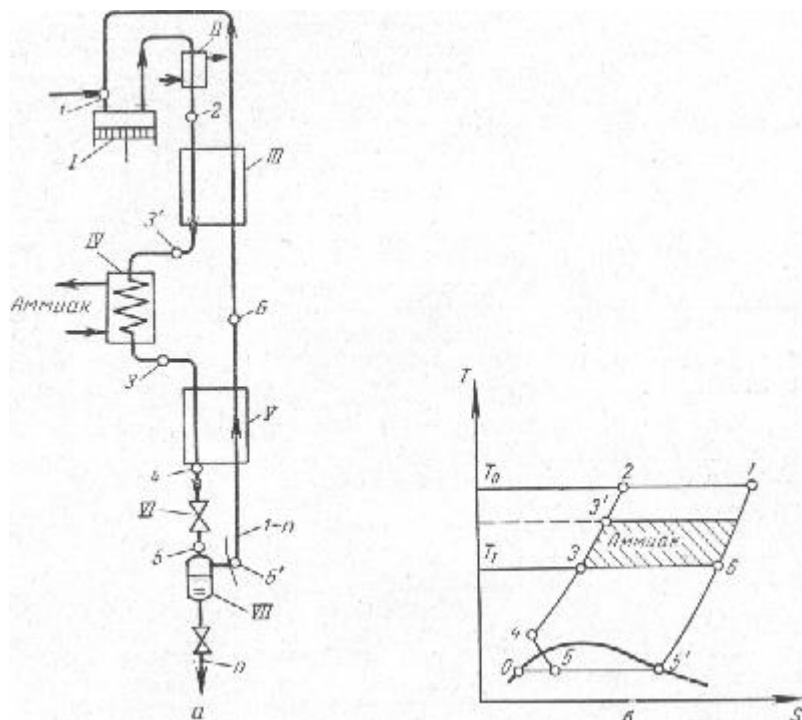
Yuqori bosim bir karrali drossellash siklining sovitish koeffitsienti kichik bo'ladi. Uni ko'tarish maqsadida **Lindening** takomillashtirilgan sikllari ishlab chiqarilgan. Bu sikllarda samaradorlikni oshirish maqsadida quyidagi usullar qo'llaniladi:

- 1) regenerativ issiqlik almashinish qurilmasiga kirishdan avval ammiakni sun'iy sovitish;

2) yuqori bosimgacha siqilgan gazni ikki karra drossellanish, gaz stirkulyastiyasini qo'llash.

10.14. Bir karra drossellanishli va ammiakli sun'iy sovitish sikli

Bu siklni avvalgisidan farqi (10.11-rasm) regenerativ issiqlik almashinish qurilmasi III bu erda ikkita-birlamchi issiqlik almashinish III va asosiy issiqlik almashinish qurilma V lar bilan almashtirilgan (10.12-rasm). Ular orasidagi qo'shimcha sovitkich IV o'rnatilgan bo'lib, u erda gaz drossellanishdan oldin ammiak tomonidan sovitiladi.



10.12-rasm. Bir karra drossellanishli va qo'shimcha sovitishli regenerativ cikl.

a - qurilmaning principal shemasi; b - T-S diagrammadagi jarayonning ko'rinishi;
I - kompressor; II - kompressor sovitkichi; 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.

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 sovitiladi (2-3 kesma). Bundan «qaytgan» gaz boshlang'ich T_0 temperaturagacha isiydi (6-1 kesma). Shundan so'ng, siqilgan gaz ammiak sovitkichi IV da soviydi (3'-3 kesma) va asosiy issiqlik almashinish qurilma V dan o'tib «qaytgan» gaz tomonidan sovitiladi (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 suyuqlanmagan qismi esa (0-5 kesma), V va III - issiqlik almashinish qurilmalarda suyuqlik eltich sifatida ishlatiladi.

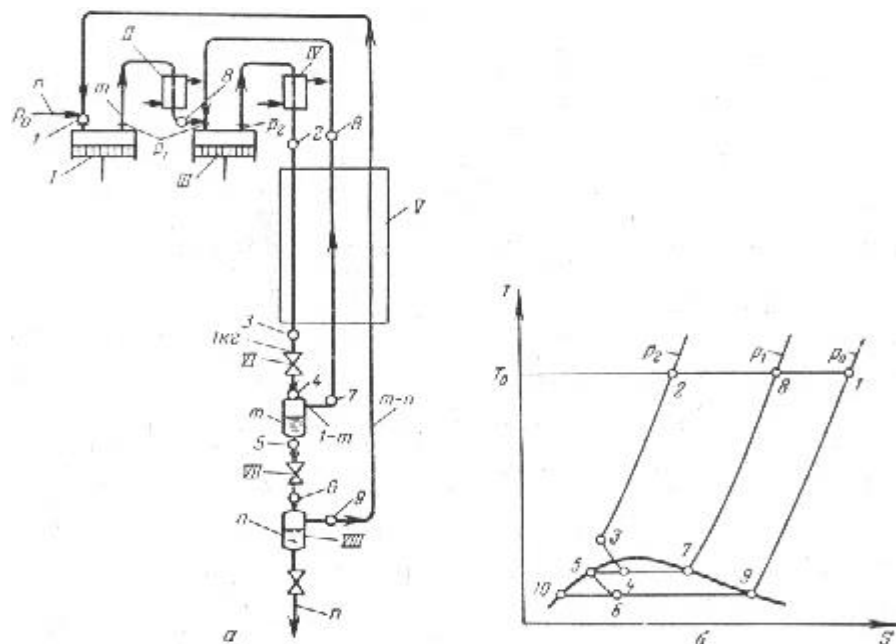
Ammiak sovitish mashinasidagi gazni qo'shimcha sovitilishi drossel sikli samaradorligini oshiradi. Bug'lanayotgan ammiak bilan sovitish asosan -20 dan -45°S temperaturagacha amalga oshiriladi.

10.15. Ikki karra drossellanishli va gazning bosim ostidagi aylanishli sikli

Drossellanish tufayli olinayotgan suyuqlik miqdori drossellanishdan oldingi va keyingi bosimlar farqi $r_1 - r_2$ 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 $\ln 200/50$, ikkinchi holatda $\ln 150/1$ 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 r_0 dan oraliq bosim r_1 gacha izotermik siqiladi. Kompressor III da esa, r_1 dan r_2 bosimgacha siqiladi. II va IV sovitgichlar T_0 boshlang'ich temperaturagacha sovitilgan gaz

qarama-qarshi yoʻnalishli regenerativ issiqlik almashinish qurilmasidan oʻtadi. U erda drossellanishdan keyingi suyuqlangan gaz hisobiga soviydi va drossel VI dan oʻtib bosimi r_1 gacha pasayadi. Suyultirilgan qismi issiqlik almashinish qurilma V dan oʻtib, oʻz sovuqligini yuqori bosim gaziga berib temperaturasi T_0 gacha koʻtariladi va kompressor III tomonidan yana soʻrib olinadi.



10.13-rasm. Ikki karra drossellanshili va gazning bosim ostidagi aylanishli sikl.

a - qurilmaning principial shemasi; b - T-S diagrammadagi jarayonning tasviri; I - past bosimli kompressor; II - past bosimli kompressor sovitgichi; III - yuqori bosim kompressor; IV - yuqori bosim kompressorining sovitkichi; V - regenerativ issiqlik almashinish qurilmasi; VI, VII - drossellar; VIII - suyuq mahsulot yigʻigichi.

Gazning birinchi drossellanishidan keyingi suyuqlangan qismi drossel VII orqali oʻtib, bosimi r_0 gacha pasayadi va bir qismi bugʻlanadi. Gazning bugʻlangan qismi issiqlik almashinish qurilma V ga yoʻnaltiriladi. U erda yuqori bosim gazidan issiqlik olib temperaturasi T_0 gacha koʻtariladi va kompressor I tomonidan yana soʻrib olinadi.

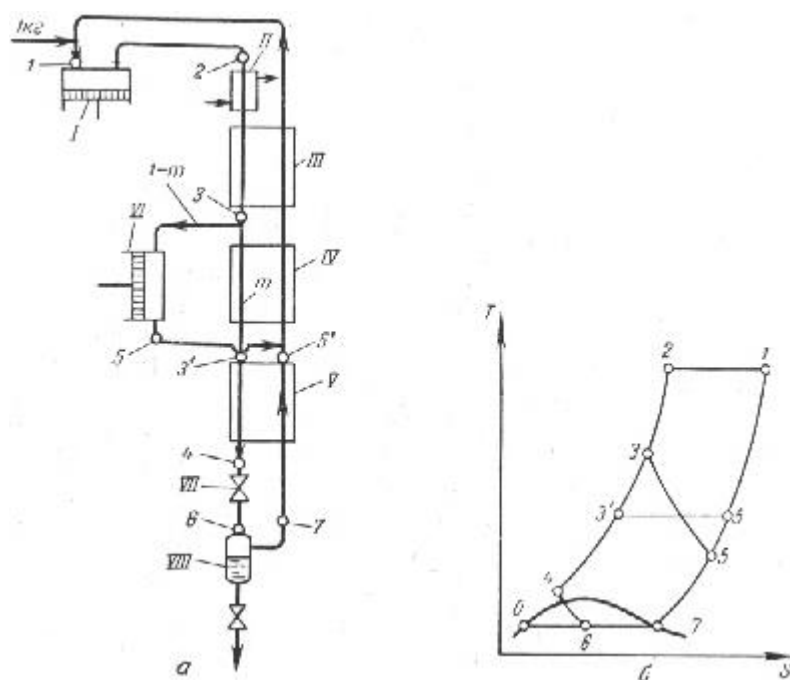
Ikkinchi drossellanishda suyuqlangan gaz qurilmadan tayyor mahsulot sifatida chiqariladi. Uning oʻrniga shuncha n miqdordagi gaz kompressor I tomonidan soʻriladi.

T-S diagrammada 1-2 chiziq avval r_1 (8-nuqta) bosimgacha, keyin r_2 bosimgacha (2-nuqta) izotermik siqilishni koʻrsatadi; 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 bugʻlangan 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 boʻlsa, masalan, gaz bosimi 200 dan 1 at gacha pasaytirilsa, Joule-Tomson effekti gaz temperaturasi ancha pasaytirish imkonini beradi. Gazni detanderda kengaytirib, undan ham pastroq temperatura olish mumkin. Lekin gazni suyultirish uchun kerak boʻlgan juda past temperaturalarni olish uchun, faqat detanderda kengayishga asoslangan sikllar qoʻllanilmaydi. Bunga sabab, gaz suyuqlanish temperaturasi yaqin temperaturalarda boʻlganda, 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 yoʻqotilishi ortadi. Natijada juda past temperaturalarda gazni detanderda kengaytirish samaradorligi yomonlashadi. Shularni hisobga olgan holda, havo va boshqa gazlarni suyultirishda detanderda kengaytirish faqat maʼlum darajada, sovitish (suyuqlanguncha) drossellanish yoʻli bilan amalga oshiriladi. Bunday birlashgan sikllar gazning siqilish bosimi boʻyicha va detander konstruktiviyasi (porshenli detanderlar, turbodetanderlar) boʻyicha farqlanadi.

Oʻrta bosim sikli (Klod sikli). Oʻrta bosim siklida (10.14-rasm) kompressor I da gaz $245 \cdot 10^4 \dots 392 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ (25...40 atm) bosimgacha siqilib, sovitkich II da soʻrish bosimgacha soviydi.



10.14-rasm. Birlashgan drosselli va detanderli regenerativ sikllar.

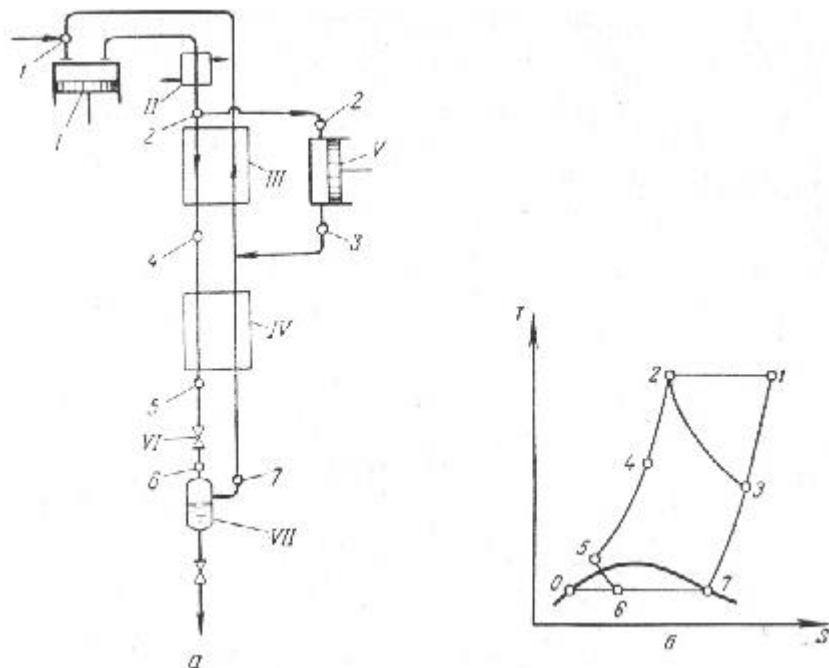
a - qurilmaning principal shemasi; b - jarayonning T-S diagrammadagi tasviri; I - kompressor; II - kompressor sovitgichi; III-V - regenerativ issiqlik almashinish qurilmalar; VI - detander; VII - drossel; VIII - suyuq mahsulot yig'gich.

Siqish jarayo'ni 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 bajarida. 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 chiqqan past bosimli (1 atm atrofida) sovuq gaz ketma-ket IV va III issiqlik almashinish qurilmalardan o'tib, siqilgan gaz issiqligini o'ziga oladi va boshlangich temperaturagacha isiydi (5-1 kesma). Siqilgan va sovigan 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 jaraeni izobara 5'-1 bilan tasvirlangan.

Bu siklda detander juda past temperaturalarda ishlaydi, chunki unda kengaytgan gaz (havo) taxminan -140°S gacha soviydi. Shuning uchun detanderning foydali ish koeffitsienti $-0,6-0,65$ dan ortmaydi. Bundan tashqari, yuritkichni ishlatishda qiyinchiliklar paydo bo'ladi, chunki bunday sharoitlarda oddiy moylarni qo'llab bo'lmaydi.

Yuqori bosim sikli (Geylandt sikli). Bu sikl avvalgisidan uncha katta farq qilmaydi. Faqat bu siklda siqilgan gaz regenerativ issiqlik almashinish qurilmada sovmadan ilgari yuqoriroq temperaturada ishlaydi va foydali ish koeffitsienti ham ortadi. Lekin, bu holatda drossellab etarli 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 isitgich 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.

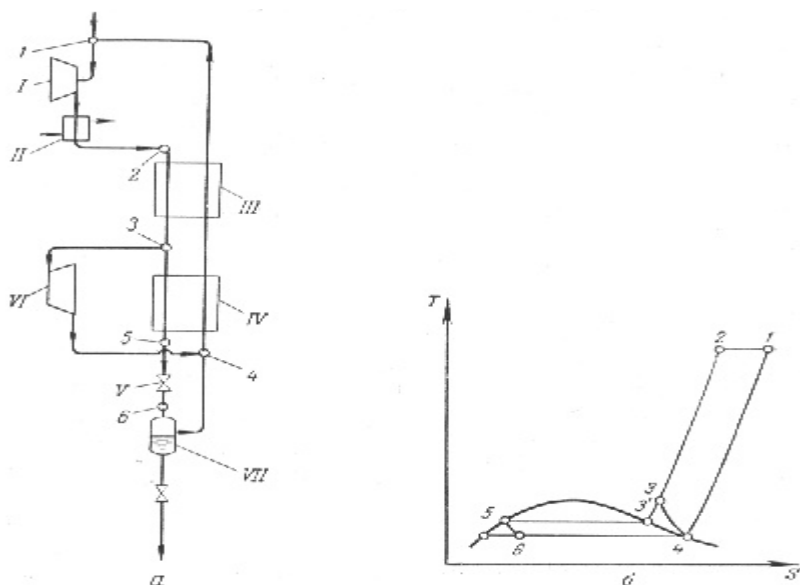


10.15-rasm. Birlashgan drosselli va detanderli regeneratsiyasiz sikllar.

a - qurilmaning principial shemasi; 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.

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, sovituvchi eltkich sifatida avval issiqlik almashinish qurilma IV da, so'ng detanderdan chiqatgan gaz bilan aralashib, issiqlik almashinish qurilmasi III da siqilgan gazdan issiqlik oladi va boshlang'ich temperaturagacha isiydi (7-1 izobar bo'ylab).

10.17. Past bosim sikli (Kapista sikli)



10.16-rasm. Birlashgan drossel va detanderli (regenerativ) past bosim cikllari:

a - qurilmaning principial shemasi; b - jarayonning T-S diagrammadagi tasviri; 1 - turbokompressor; 2 - turbokompressor sovitkichi; 3,4 - regeneratorlar; 5 - drossel; 6 - turbodetander; 7 - suyuq mahsulot yig'gich.

Detanderda gazni kengaytirish samaradorligini oshirishning boshqa usuli – bu porshenli mashinalar o`rniga turbomashinalarni qo`llash.

Akademik P.L. Kapista tomonidan past temperaturalarda yuqori foydali ish koeffitsientga ega bo`la oladigan ($\eta_{det}=0,8$) bir boskichli 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.

Past bosim siklda gaz turbokompressor I tomonidan (izoterma 1-2 bo`ylab) tahminan  $59 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$  (6 atm) gacha siqiladi, so`ng shu bosimda regenerator III da sovitiladi (10.16-rasm).

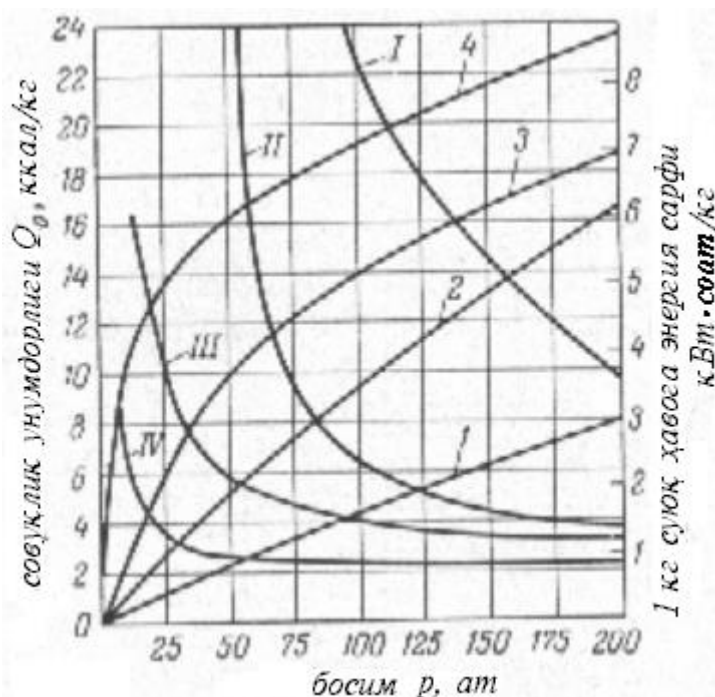
Gaz issiqlik almashinish qurilmasidan chiqib ikki qismga bo`linadi. Kamroq qismi regenerator 4 ga kirib, pastroq temperaturagacha soviydi va suyuqlikka aylanadi (sovish va suyuqlanish jarayonlari 3-3'-5 chiziqlari bilan tasvirlangan). Suyuqlangan gaz drossel 5 orqali o`tib boshlang`ich bosimgacha drossellanadi (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 erda 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 ($r = 19,62 \text{ N/m}^2$ yoki 200 at) 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 sikllari ning solishtirma harakteristikalari:

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 (Kapista 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 imkonini yo`q. Shuning uchun olinadigan kislorod asosan texnologik maqsadlarda ishlatiladi.

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 tahminan 0,7-0,8 kVt·soat/m³ kislorodni tashkil etadi. Unumdorligi 100 m³/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.

10.17-rasmda suyuq havo olishda ishlatiladigan asosiy sovitish sikllarining solishtirma xarakteristikalari keltirilgan.

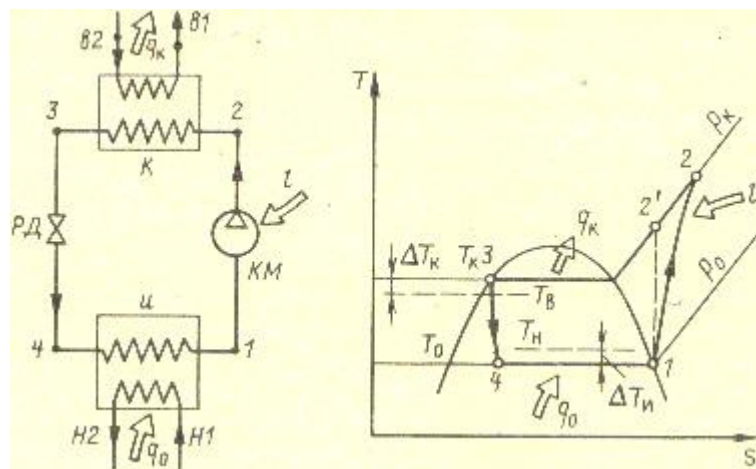
Grafiklar yordamida 1 kg suyuq havo olish uchun kerak bo`lgan sovuqlik unumdorligi va energiya sarfini aniqlash mumkin. Ko`rilayotgan hamma sikllarda gazning detanderdagi kengayish bosim $59 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ (6 atm); havoli kompressorning izotermik foydali ish koeffitsienti $\eta_k=0,59$; detanderning foydali ish koeffitsienti $\eta_{det}=0,65$ 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. Sovitish jarayoni va mashinalarini hisoblash

1-misol. ϵ uyidagi shartlar uchun bir bosqichli ammiak kompressor sovitish qurilmasining sxemasi hisoblansin: sovitish unumdorligi $Q_0=17,45 \text{ kVt}$; sovuqlik eltkichining bug`latkichga kirish va chiqishdagi temperaturasi $t_{n1}=-15^\circ\text{S}$, $t_{n2}=-22^\circ\text{S}$;

Sovutuvchi suvning kondensatorga kirish va chiqishdagi temperaturasi $t_{v2}=+20^\circ\text{S}$, $t_{v1}=25^\circ\text{S}$. ϵ urilma



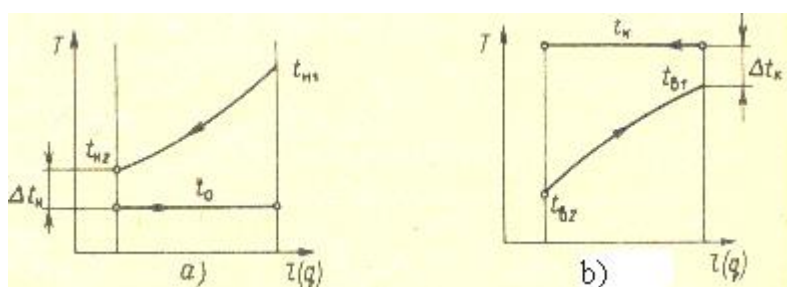
10.18-rasm. Bug` va suyuqlik kompressor sovitish qurilmasining shemasi va jaraenning T-S diagrammadagi tasviri.

oralik sovuatkichsiz ishlaydi. ϵ urilma sxemasi 10.18-rasmda berilgan.

Hisoblash ishlaridan sxemaning xarakterli nuqtalarining parametrlari, qurilmalarning issiqlik yuklamalari, kompressor quvvati, qurilmaning sovitish koeffitsienti va eksergetik foydali ish koeffitsienti aniqlanishi lozim.

Bug`latgichdagi temperaturalar minimal farqini $\Delta t_u=t_{n2}-t_0=3^\circ\text{S}$ deb qabul qilib, hisobiy qaynash temperaturasi aniqlaymiz (10.9-rasm).

$$t_0=t_{n2}-\Delta t_u=-22-3=-25^\circ\text{S}$$



10.19-rasm. Oqimlar temperaturasi o`zgarish grafiklari
a) bug`latgichdagi; b) kondensatordagi

Kondensatordagi temperaturalar minimal farqini $\Delta t_k = t_k - t_{v1} = 5^{\circ}\text{S}$ deb qabul qilib, hisobiy kondensastiya temperaturasi aniqlaymiz:

$$t_k = t_{v1} + \Delta t_k = 25 + 5 = 30^{\circ}\text{S}$$

Ammiakning T-S – diagrammasi yoki termodinamik jadvallardan ishchi eltkichning quyidagi xarakterli nuqtalardagi parametrlarini topamiz:

$$1\text{-nuqta} \quad t_1 = t_0 = 25^{\circ}\text{S}; \quad r_1 = 0,5\text{MPa}; \quad i_1 = 1652 \text{ J/kg}; \quad V = 0,78 \text{ m}^3/\text{kg};$$

$$2\text{-nuqta} \quad t'_2 = 126^{\circ}\text{C}; \quad r_2 = 1,2\text{MPa}; \quad i'_2 = 1960 \text{ J/kg};$$

$$3\text{-nuqta} \quad t_3 = 30^{\circ}\text{C}; \quad r_3 = 1,2\text{MPa}; \quad i_3 = 562 \text{ J/kg};$$

$$4\text{-nuqta} \quad t_4 = -25^{\circ}\text{C}; \quad r_4 = 0,15\text{MPa}; \quad i_4 = 562 \text{ J/kg};$$

Bug'latkichning nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$q_0 = i_1 - i_4 = 1652 - 562 = 1090 \text{ kJ/kg}$$

Ammiakning massaviy sarfi:

$$G = 17,45/1090 = 0,016 \text{ кг/с} (57,7 \text{ кг/коат})$$

Kompresorning elektromexanik va ichki foydali ish koeffitsientlarini mos ravishda $\eta_{em} = 0,9$ va $\eta_i = 0,8$ deb qabul qilib, sovutuvchi eltkichning kompressordan chiqishdagi entalpiyasini aniqlaymiz:

$$i_2 = i_1 + \frac{l_a}{\eta_i} = i_1 + \frac{(i'_2 - i_1)}{\eta_i} = 1652 + \frac{1960 - 1652}{0,8} = 2040 \frac{\text{кЖ}}{\text{кг}}$$

Kompresorning nisbiy ichki ishi:

$$l_B = i_2 - i_1 = 2040 - 1652 = 388 \text{ кЖ/кг}$$

Kondensatorning nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$q_k = i_2 - i_3 = 2040 - 562 = 1478 \text{ кЖ/кг}$$

Ёurilma balansini tekshiramiz:

$$q_k = l_b + q_0 = 388 + 1090 = 1478 \text{ kJ/kg}$$

Kompresorning hajmiy unumdorligi:

$$V_0 = G \cdot v_1 = 57,7 \cdot 0,78 = 45 \text{ м}^3/\text{коам} = 0,0125 \text{ м}^3/\text{с}$$

Kondensatorning issiqlik yuklamasi:

$$Q_k = 0,016 \cdot 1478 = 23,7 \text{ кЖ/с}$$

Kompresorning nisbiy ishi:

$$l_k = \frac{l_B}{\eta_{эм}} = \frac{388}{0,9} = 432 \text{ кЖ/кг}$$

Olingan sovuqlik birligiga to'g'ri keluvchi elektr energiyaning nisbiy sarfi:

$$\mathfrak{D}_x = \frac{l_k}{q_0} = \frac{l_a}{\eta_i \eta_{эм} q_0} = \frac{432}{1090} = 0,3955$$

Kompresorning elektrik quvvati:

$$N_{э} = l_k G = 432 \cdot 0,016 = 6,92 \text{ кВт} \approx 7 \text{ кВт}$$

Sovitish koeffitsienti:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l_k} = \frac{1}{\mathfrak{D}_x} = \frac{1090}{432} = 2,53$$

Covuqlikning ishga yaroqlilik koeffitsientini aniqlash uchun sovuqlik eltkichining o'rtacha temperaturasi aniqlaymiz:

$$T_{n.cp.} = \frac{T_{n1} - T_{n2}}{\ln \frac{T_{n1}}{T_{n2}}} = \frac{258 - 251}{2,3 \lg \frac{258}{251}} = \frac{7}{2,3 \cdot \lg 1,027} = \frac{7}{2,3 \cdot 0,0118} = 254K$$

Sovuqlikning ishga yaroqlilik koeffitsienti:

$$(\tau_q)_n = 1 - \frac{T_{o.c.}}{T_{n.cp.}} = 1 - \frac{293}{254} = -0,153$$

$E_n = -(\tau_q)_n$ bo'lgani uchun, ideal sikldagi elektr energiyasining nisbiy sarfi 0,153 ga teng bo'ladi.

Sovitish qurilmasi bug'latkichidagi energiya yo'qotilishlari (sovuqlik eltichi bo'yicha) ni nazarda tutgan foydali ish koeffitsienti:

$$\eta'_e = \frac{q_0(\tau_q)_n}{l_k} = \frac{Q_0(\tau_q)_n}{N_g} = \frac{1090 - 0,153}{432} = 0,387 (\approx 39\%)$$

Sovitish qurilmasi bug'latkichidagi energiya yo'qotilishlari (sovuqlik eltichi bo'yicha) nazarda tutgan foydali ish koeffitsienti:

$$\eta''_d = \frac{\bar{q}_0(\tau_0)_0}{l_e} = \frac{1090 \cdot 0,182}{432} = 0,46 (\approx 46\%)$$

bu erda

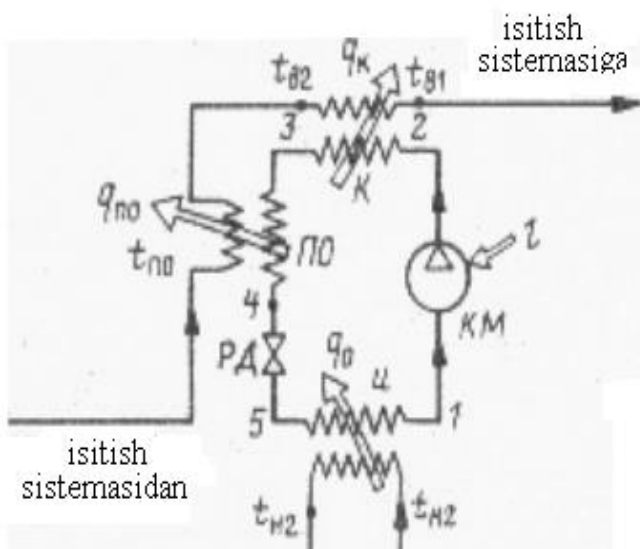
$$(\tau_q)_0 = 1 - \frac{T_{o.c.}}{T_0} = 1 - \frac{293}{248} = -0,182$$

2-misol. Issiqlik unumdorligi $Q_v = 46,5$ kVt bo'lgan bir bosqichli bug' - kompressor issiqlik nasosining sxemasi hisoblansin (10.20-rasm). Past potensial issiqlik manbai sifatida bug'latkichga kirish temperaturasi $t_{n1} = 10^\circ\text{S}$, chiqish temperaturasi $t_{n2} = 6^\circ\text{S}$ bo'lgan daryo suvidan foydalaniladi. Sovutkichga suvning kirish temperaturasi $t_{p.o} = 35^\circ\text{S}$, kondensatordan suvning chiqish temperaturasi $t_{v1} = 70^\circ\text{S}$. Qurilmadagi ishchi eltich freon R-21.

Bug'latkichdagi temperaturalar farqini $\Delta t_u = t_{n2} - t_0 = 2,5^\circ\text{S}$ deb olib, qaynash temperaturasini aniqlaymiz: $t_0 = t_{n2} - \Delta t_u = 6 - 2,5 = 3,5^\circ\text{S}$.

Kondensatordagi temperaturalar farqini $\Delta t_k = t_{v1} - t_k = 5^\circ\text{S}$ deb olib, kondensastiyalanish temperaturasini aniqlaymiz: $t_k = t_{v1} + \Delta t = 70 + 5 = 75^\circ\text{S}$.

T-S diagrammadan foydalanib sxemaning quyidagi xarakterli nuqtalarida ishchi eltich temperaturalarini topamiz:



10.20-rasm. Issiqlik nasosining shemasi.

1- nuqta $t_1 = t_0 = 3,5^\circ\text{S}$; $r_1 = 0,08\text{MPa}$; $i_1 = 665$ kJ/kg; $v_1 = 0,275$ m³/kg;

2- nuqta $r_2 = 0,78\text{MPa}$; $i_2 = 724$ kJ/kg; $t_2 = 110^\circ\text{C}$;

3- nuqta $t_3 = 75^\circ\text{C}$; $r_3 = 0,78\text{MPa}$; $i_3 = 506$ kJ/kg;

4- nuqta $t_4 = t_{p.o.} + \Delta t_{p.o.} = 35 + 10 = 45^\circ\text{C}$; $r_4 = 0,78\text{MPa}$; $i_4 = 468$ kJ/kg;

5- nuqta $t_5 = +3,5^\circ\text{S}$; $r_5 = 0,08\text{MPa}$; $i_5 = 468$ kJ/kg.

Kompresorning ichki adiabatik foydali ish koeffitsienti $\eta_i = 0,8$ bo'lganda, undan chiqayotgan ishchi eltich entalpiyasini:

$$i_2 = i_1 + \frac{l_a}{\eta_i} = 665 + \frac{724 - 665}{0,8} = 739 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Kompresorning ichki ishi:

$$l_B = i_2 - i_1 = 739 - 665 = 74 \text{ kJ/kg}$$

Bug'latkichning nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$q_0 = i_1 - i_5 = 665 - 468 = 197 \text{ kJ/kg}$$

Kondensatorning nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$q_\kappa = i_2 - i_3 = 739 - 506 = 233 \text{ kJ/kg}$$

Sovutkichning nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$q_{n.o.} = i_3 - i_4 = 506 - 468 = 38 \text{ kJ/kg}$$

Energetik balans:

$$q = l_B + q_0 = q_\kappa + q_{n.o.} = 74 + 197 = 233 + 38 = 271 \text{ kJ/kg}$$

Ishchi eltkichning massaviy sarfi:

$$G = \frac{Q_\kappa}{q_\kappa + q_{n.o.}} = \frac{465}{233 + 38} = 0,172 \text{ m}^3/\text{c}$$

Kompressorning hajmiy unumdorligi:

$$V_1 = 0,172 \cdot 0,275 = 0,0473 \text{ m}^3/\text{c}$$

Bug'latkichning hisobiy issiqlik yuklamasi:

$$Q_0 = q_0 G = 197 \cdot 0,172 = 34 \text{ kW}$$

Sovutkichning hisobiy issiqlik yuklamasi:

$$Q_{n.o.} = G q_{n.o.} = 0,172 \cdot 38 = 6,536 \text{ kW}$$

Kompressorning elektromexanik foydali ish koeffitsientini $\eta_{em} = 0,9$ deb qabul qilib, uning nisbiy ishini aniqlaymiz:

$$l_{\kappa M} = \frac{l_B}{\eta_{\kappa M}} = \frac{74}{0,9} = 82,2 \text{ kJ/kg}$$

Olingan issiqlik birligiga to'g'ri keluvchi nisbiy elektr energiyasining sarfi:

$$\varepsilon_{m.h.} = \frac{l_{\kappa M}}{q_\kappa + q_{no}} = \frac{82,2}{233 + 38} = 0,304$$

Kompressorning quvvati:

$$N_g = l_{\kappa M} \cdot G = 82,2 \cdot 0,172 = 14,14 \text{ kW}$$

Transformatsiya koeffitsienti:

$$\mu = \frac{q_\kappa + q_{n.o.}}{l_{\kappa M}} = \frac{1}{\varepsilon_{m.h.}} = \frac{1}{0,304} = 3,3$$

Covuqlik manbaining o'rtacha temperaturasi:

$$T_{n.yr.} = \frac{10 + 6}{2} + 273 = 281 \text{ K}$$

Olingan issiqlikning o'rtacha temperaturasi:

$$T_{B.yr.} = \frac{70 + 35}{2} + 273 = 325,5 \text{ K}$$

$T_{vo'r.}$ potensialli ishga yaroqlilik koeffitsienti:

$$(\tau_q)_B = 1 - \frac{293}{325,5} = 1 - 0,9 = 0,1$$

Issiqlik nasos qurilmasining foydali ish koeffitsienti:

$$\eta = \frac{(q_k + q_{n.o.}) \cdot (\tau_q)_B}{l_{km}} = \frac{271 \cdot 0,1}{82,2} = 0,33 \text{ ёки } (33\%)$$

3-misol. Bir bosqichli absorbstion sovitish qurilmasining sovitish unumdorligi $Q_0=1000$ kVt. Namokobning bug'latkichga kirish temperaturasi $t_{n1}=-20^\circ\text{S}$ va chiqish temperaturasi $t_{n2}=-30^\circ\text{S}$; sovutuvchi suvning qurilmaga kirish va chiqish temperaturali $t_{v2}=-20^\circ\text{S}$, $t_{v1}=-25^\circ\text{S}$. isituvchi suv bug'ining bosimi $r=0,275$ MPa ($t_s=130^\circ\text{S}$). Ishchi eltkich - ammiak; absorbent - suv. Bug'latkich va kondensatordagi temperaturalar farqi mos ravishda $\Delta t_u=3^\circ\text{S}$, $\Delta t_k=5^\circ\text{S}$; temperaturalar farqi: absorberda- $\Delta t_a=5^\circ\text{S}$; generatorda- $\Delta t_r=6^\circ\text{S}$; sovutkichda- $\Delta t_{3-7}=10^\circ\text{S}$; aralashma issiqlik almashinish qurilmasida $\Delta t_{14-10}=10^\circ\text{S}$; deflegmatorda $\Delta t_D=15^\circ\text{S}$ (10.21-rasm).

Jarayonning xarakterli nuqtalaridagi parametrlarni aniqlaymiz va jarayonni i - ξ - diagrammada quramiz.

Qurilmalarning issiqlik yuklamalari, energiyaning nisbiy sarfi, qurilmaning sovitish va eksergetik foydali ish koeffitsientlarini topamiz. Sovutuvchi eltkichning qaynash temperaturasi:

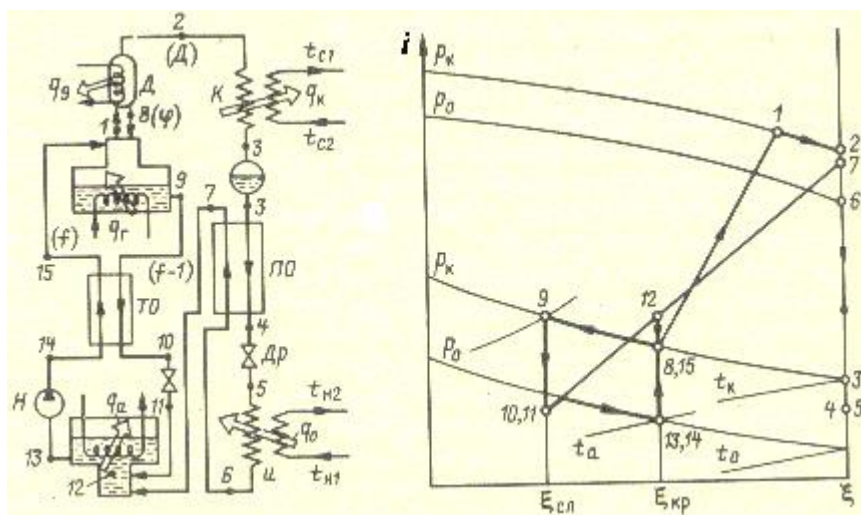
$$t_0 = t_{n2} - \Delta t_u = -30 - 3 = -33^\circ\text{C}$$

Bu temperaturaga mos keluvchi bosim $r_0=0,1$ MPa. Kondensatordagi bosim $r_k=1,2$ MPa. Kondensastiyalanish temperaturasi:

$$t_k = t_{B1} + \Delta t_k = 25 + 5 = 30^\circ\text{C}$$

Past konstentraziyalali eritmaning generatordan chiqish temperaturasi:

$$t_9 = t_s - \Delta t_r = 130 - 6 = 124^\circ\text{C}$$



10.21-rasm. Suv-ammiak sovitish qurilmasining shemasi va i - x - diagrammada jarayon tasviri.

Past konstentraziyalali eritmaning parametrlari:

$$\xi_{cl} = 0,0225; \quad i_9 = 462 \text{ kJ/kg}$$

Yuqori konstentraziyalali eritmaning absorberdan chiqish temperaturasi:

$$t_{13} = t_{B2} + \Delta t_a = 20 + 5 = 25^\circ\text{C}$$

Yuqori konstentraziyalali eritmaning parametrlari:

$$\xi_{13} = 0,315; \quad i_{13} = 0 \text{ kJ/kg}$$

Eritmaning stirkulyastiya karraligi:

$$f = \frac{G_{kp}}{D} = \frac{G_{15}}{G_2} = \frac{\xi_2 - \xi_{cl}}{\xi_{kp} - \xi_{cl}} = 1 - \frac{0,225}{0,315 - 0,225} = \frac{0,775}{0,09} = 8,62$$

Deflegmatordan chiqishdagi bug'ning parametrlari:

$$t_2 = t_{B1} + \Delta t_D = 25 + 15 = 40^0 C; \quad \xi_2 = 1; \quad i_2 = 1660 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa\mathcal{Z}$$

Generatoridan chiqishda muvozanat holdagi bug` parametrlari:

$$p_1 = 1,2 \text{ MPa}; \quad t_1 = 105^0 C; \quad \xi_1 = 0,925; \quad i_1 = 1890 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa\mathcal{Z}$$

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:

$$q_D = (i_1 - i_2) + \varphi(i_1 - i_8) = (1890 - 1660) + 0,123(1890 - 377) = 416 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa\mathcal{Z}$$

Past konstentrastiyali eritmaning issiqlik almashinish qurilmasidan keyingi parametrlari:

$$t_{10} = t_{14} + \Delta t_{mo} = t_{14} + \Delta t_{14-10} = 25 + 10 = 35^0 C; \quad i_{10} = 62 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa\mathcal{Z}$$

Yuqori konstentrastiyali eritmaning generatorga kirishidagi entalpiyasi:

$$i_{15} = i_{14} + \frac{f-1}{f}(i_9 - i_{10}) = 0 + \frac{8,62-1}{8,62}(462 - 62) = 352 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa\mathcal{Z}$$

Flegmaning $\xi_8=0,315$ dagi entalpiyasi:

$$i_8 = 377 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa\mathcal{Z}$$

$i_8 > i_{15}$ bo`lgani uchun topilgan i_{10} qiymat keyingi hisoblashlar uchun ishlatiladi.

Issiqlik almashinish qurilmasining nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$q_k = i_1 - i_2 = 1660 - 500 = 1160 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa\mathcal{Z}$$

Sovuqlik eltkichi bug`larining sovutkichdan keyingi temperaturasi:

$$t_7 = t_3 - \Delta t_{n.o} = t_k - \Delta t_{3-7} = 30 - 10 = 20^0 C$$

Ammiakning $T-S$ diagrammasidan $i_7=1760 \text{ kJ/kg}$ ekanini aniqlaymiz. $T-S$ va $I-\xi$ diagrammalaridagi entalpiya qiymatlari o`rtasidagi farqning tuzatish kattaligini  $\Delta i = 285 - 210 = 75 \text{ kJ/kg}$  e`tiborga olib $i_7 = 1760 - 75 = 1685 \text{ kJ/kg}$ ni topamiz.

Sovutkichning nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$q_{n.o.} = i_7 - i_6 = 1685 - 1574 = 111 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa\mathcal{Z}$$

Suyuq ammiakning drosseldan oldingi entalpiyasi:

$$i_4 = i_3 - q_{n.o.} = 500 - 111 = 389 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa\mathcal{Z}$$

Qurilmaning nisbiy sovitish unumdorligi:

$$q_o = 1574 - 389 = 1185 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa\mathcal{Z}$$

Absorbtsiya jarayonida ajrab chiqayotgan nisbiy issiqlik miqdori:

$$q_a = (i_7 - i_{10}) + f(i_{10} - i_{13}) = (1685 - 62,8) + 8,62 = (62,8 - 0) \approx 2160 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa\mathcal{Z}$$

yoki

$$q_a = f(i_{12} - i_{13}) = 8,62(2,51 - 0) \approx 2160 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa\mathcal{Z}$$

Generatorning nisbiy issiqlik yuklamasi:

$$\begin{aligned} q_e &= (i_1 - i_9) + f(i_9 - i_{15}) + \varphi(i_1 - i_9) = \\ &= (1890 - 462) + 8,62 = (462 - 352) + 0,123(1890 - 377) = 25560 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa\mathcal{Z} \end{aligned}$$

Qurilmaning issiqlik balansi:

$$q_{y3am} = q_{a\kappa p}$$

$$q_{y3am} = q_z + q_0 = 2550 + 1185 = 3735 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa z$$

$$q_{y3am} = q_a + q_\kappa + q_D = 2160 + 1160 + 416 = 3736 \text{ } \kappa\mathcal{K}/\kappa z$$

Ishchi eltkich (ammiak) sarfi:

$$G = 1000/1175 = 0,85 \kappa z/c$$

Ёurilmalarning issiqlik yuklamalari:

a) generatorniki: $Q_z = Gq_z = 0,85 \cdot 2550 = 2170 \text{ } \kappa Bm$;

b) absorberniki: $Q_a = 0,85 \cdot 2160 = 1835 \text{ } \kappa Bm$;

v) sovitkichniki: $Q_{n.o.} = 0,85 \cdot 111 = 94,5 \text{ } \kappa Bm$;

g) kondensatorniki: $Q_\kappa = 0,85 \cdot 1160 = 985 \text{ } \kappa Bm$;

d) deflegmatorniki: $Q_D = 0,85 \cdot 416 = 354 \text{ } \kappa Bm$.

Issiqlikning nisbiy sarfi:

$$\mathfrak{Z} = \frac{q_z}{q_0} = \frac{Q_z}{Q_0} = \frac{2170}{1000} = 2,17$$

Sovitish koeffitsienti:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{q_z} = \frac{1000}{2170} = 0,463$$

Ёurilmaning sovuq eltkich bo'yicha eksergetik foydali ish koeffitsienti:

$$\eta_e = \frac{q_0(\tau_q)_0}{q_z(\tau_q)_B} = \varepsilon \frac{(\tau_q)_0}{(\tau_q)_B} = 0,463 \frac{0,22}{0,273} = 0,373$$

bu erda

$$(\tau_q)_0 = \frac{T_0 - T_{o.c.}}{T_0} = \frac{240 - 293}{240} = -0,22$$

$$(\tau_q)_B = \frac{T_B - T_{o.c.}}{T_B} = \frac{403 - 293}{430} = 0,273$$

bu erdan

$$\eta_2 = \frac{l_k^a}{l_x^a} = \frac{0,22}{0,592} = 0,373 \quad l_x^a = \frac{q_t(\tau_q)_B}{q_0} = \mathfrak{Z}(\tau_q)_B = 2,17 \cdot 0,273 = 0,592$$

$$l_k^a = \frac{T_{oi} - T_0}{T_0} = \frac{293 - 240}{240} = 0,22$$

Ёurilmaning sovuq eltkich bo'yicha foydali ish koeffitsienti:

$$\eta_d = \varepsilon \frac{(\tau_q)_i}{(\tau_q)_{\hat{A}}} = 0,463 \frac{0,181}{0,273} = 0,306 \approx 31\%$$

bu erda

$$(\tau_q)_u = 1 - \frac{T_{o.c.}}{T_h^{yp}} = 1 - \frac{293}{248} = -0,181, \quad T_h^{yp} = \frac{253 + 243}{2} = 248 K$$

○

11 – bob. KIMYO SANOATINING ENERGOTEXNOLOGIYA ASOSLARI

11.1. Umumiy tushunchalar

Yoqilg'i – energetik resurslarni tejash va material, issiqlik yo'qotilishlarisiz ishlab chiqarishni tashkil etish, texnologik va energetik jarayonlarning o'zaro bog'liqlik qonuniyatlarini o'rganuvchi energetikaning bo'limi **energotexnologiya** deb ataladi.

Hozirgi vaqtgacha kimyo, oziq-ovqat va boshqa sanoat korxonalari birlamchi energoresurslarining (yoqilg'i, issiqlik va elektr energiya) asosiy iste'molchilari hisoblanadi. Korxonaning energotexnologik sxemasi to'g'ri loyihalanganda, nafaqat birlamchi energoresurslar sarfini kamaytirish, balki tashqaridan jalb etilayotgan issiqlik va elektrenergiyaga hojat qolmaydi. Energetik jihozlar (issiqlik va bug' generatorlari, qozon-utilizatorlar, bug' va gaz turbinalari, issiqlik almashinish qurilmalari, sovitish qurilmalari, issiqlik nasoslari va transformatorlar) kimyo-texnologik jihozlariga bevosita bog'lanib, yagona sistemani hosil qiluvchi **energokimyo – texnologik sistema** (EKTS)larni yaratish eng istiqbolli hisoblanadi. Bunday EKTSda texnologik parametrlarning har bir o'zgarishiga, energetik parametrlarning tegishli o'zgarishlari mos keladi va aksincha. Shu tariqa EKTSda texnologik va energetik bosqichlar orasida o'zaro bog'liqlik vujudga keladi.

Birlamchi energoresurslarni tejash, ikkilamchi energoresurslardan unumli foydalanishga bog'liq; ikkilamchi energoresurslarga o'txona va texnologik gazlar, oqava suyuqliklar fizik issiqligi, sanoat chiqindilarining yonish issiqligi, kimyo korxonalari mahsulot va xom-ashyolarining ortiqcha bosim energiyalari kiradi. Barcha kimyo-texnologiya sistemalarida (KTS) birlamchi energoresurslardan maksimal darajada foydalanish tayyor mahsulot sifatini pasaytirmasligi zarur.

Kimyo korxonalari energotexnologiya sxemalarini yaratishda eng avval ishlab chiqarish chiqindilaridan maksimal foydalanish zarur. Buning imkoni bo'lmagan hollardagina issiqlik olish maqsadida ishlab chiqarishning yonuvchan chiqindilarini yoqish maqsadga muvofiq. EKTS yaratishga bunday yondoshish sababli energiya bo'yicha ham, material bo'yicha ham chiqindisiz texnologiyalarni yaratish mumkin. Boshqacha qilib aytganda, energotexnologiya energoresurslarni tejash va atrof muhitni himoya qilish imkonini beradi.

11.2. Energokimyo-texnologik sistemalarni (EKTS) termodinamik tahlil qilish usullari

EKTS ni yaratish uchun termodinamik tahlil qilish zarur. Bu tahlil quyidagi ikki maqsadlarda bajariladi:

1) EKTS haqida ishonchli ma'lumotlarni olish uchun undagi energetik o'zgarishlar aniqlanadi (sistema va uning elementlari foydali ish koeffitsient qiymatlari, sistemadagi yo'qotilishlar taqsimoti va xarakteri, sistema har bir elementining nisbiy massasi, elementlararo aloqalar xarakteristikasi, atrof muhit bilan o'zaro ta'siri va boshqalar). Bu ma'lumot sistemani mukammallashtirish va uni sanoatning boshqa sistemalari bilan solishtirish ishlariga asos bo'ladi;

2) Maksimal termodinamik va iqtisodiy unumdorlikka erishish uchun EKTS elementlarining turli xil parametrlari optimallashtiriladi. Bunda shuni nazarda tutish 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** (stiklar 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 xissalarini 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 koeffitsientlarni hisoblash va ularni ideal termodinamik jarayonlarning o'xshash koeffis-

tiytlari bilan taqqoslash mumkin. Bu jarayonlar qaytmasligi tufayli berilgan sistemadagi olinayotgan va sarflanayotgan ishlarning yo`qotilishlarini aniqlash imkonini beradi. Agar bu ma'lumotlar sistemaning muxandislik tahlili uchun etarli bo`lmasa, u holda stiklar tahlili sistemaning alohida qismlaridagi entropiya ortishi hisobi bilan to`ldiriladi.

Sistemaning unumdorligini termodinamik baholash uchun quyidagi 4 savolga javob topish zarur:

- 1) qurilma teskari stiklining foydali ish koeffitsienti 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 stikl foydali ish koeffitsientini oshirish maqsadida qurilmaning qaysi qismiga e`tibor berish zarur?

Ana shu vazifalarga binoan qurilmaning termodinamik tahlili ikki bosqichda amalga oshiriladi: avvaliga qaytar stikl tahlil qilinib, so`ngra yo`qotilishlarning asosiy manbalari e`tiborga olingan holda, qaytmas stikl tahlil qilinadi. Jaytar stiklning foydali ish koeffitsienti ushbu formuladan aniqlanadi:

$$\eta_t = \frac{q_u}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{l_u}{q_1} \quad (11.1)$$

va u termik foydali ish koeffitsienti deb nomlanadi. Haqiqiy stiklniki esa:

$$\eta_i = \frac{l_u^{\mathcal{A}}}{q_1} \quad (11.2)$$

ichki foydali ish koeffitsienti deyiladi. Ichki foydali ish koeffitsienti ishchi jism amalga oshirayotgan jarayonlarning mukammallik darajasini xarakterlaydi.

Berilgan stiklning mukammallik darajasi uning termik foydali ish koeffitsientini Karno stikli termik foydali ish koeffitsienti bilan solishtirish orqali xarakterlanadi. Solishtirish bir xil temperaturalar oraligida amalga oshiriladi va nisbiy termik foydali ish koeffitsienti, deb ataladi:

$$\eta_{ot} = \frac{\eta_t}{\eta_k} \quad (11.3)$$

Berilgan haqiqiy (qaytmas) stikl nazariy (qaytar) stiklga nisbatan qanchalik mukammal emasligini baholash uchun nisbiy ichki foydali ish koeffitsienti tushunchasi kiritilgan:

$$\eta_{oi} = \frac{\eta_i}{\eta_t} = \frac{l_u^{\mathcal{A}}}{l_u} \quad (11.4)$$

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 koeffitsienti**  $\eta$  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 koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

kengaytiruvchi qurilmalar uchun

$$\eta_{oi,j}^p = \frac{l_{p,j}^{\mathcal{A}}}{l_{p,j}} \quad (11.5)$$

bu erda $l_{p,j}^{\mathcal{A}}$ Ba $l_{p,j}$ - sistemaj – elementining haqiqiy va nazariy kengayish ishlari;

siquvchi qurilmalar uchun

$$\eta_{oi,j}^c = \frac{l_{c,j}}{l_{c,j}^{\mathcal{A}}} \quad (11.6)$$

bu erda $l_{c,j}$ Ba $l_{c,j}^{\mathcal{A}}$ - sistema j – elementining tashqi energiya hisobiga bajargan nazariy va haqiqiy ishlari; bunda haqiqiy siqish ishida, nazariy jarayondagiga nisbatan ko'proq energiya ($l_{c,j}^{\mathcal{A}}$) sarflashga to'g'ri keladi.

Demak, qurilmadagi stiklning qaytar ishi:

$$l_u = \sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j} - \sum_{j=1}^{j=n} l_{c,j} \quad (11.7)$$

qaytmas ishi esa:

$$l_u^{\mathcal{A}} = \sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j}^{\mathcal{A}} - \sum_{j=1}^{j=n} l_{c,j}^{\mathcal{A}} \quad (11.8)$$

yoki (11.5) va (11.6) formulalarni e'tiborga olsak:

$$l_u^{\mathcal{A}} = \sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j} \eta_{oi,j}^p - \sum_{j=1}^{j=n} (l_{c,j} / \eta_{oi,j}^c) \quad (11.9)$$

u holda (11.4) formulani nazarga tutgan holda:

$$\eta_{oi} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j} \eta_{oi,j}^p - \sum_{j=1}^{j=n} (l_{c,j} / \eta_{oi,j}^c)}{\sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j} - \sum_{j=1}^{j=n} l_{c,j}} \quad (11.10)$$

stiklning ichki foydali ish koeffisienti η_i (11.1), (11.7) va (11.10) formulalarni e'tiborga olgan holda:

$$\eta_i = \eta_{oi} \eta_t = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j} \eta_{oi,j}^p - \sum_{j=1}^{j=n} (l_{c,j} / \eta_{oi,j}^c)}{l_u} \cdot \frac{l_u}{q_1} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j} \eta_{oi,j}^p - \sum_{j=1}^{j=n} (l_{c,j} / \eta_{oi,j}^c)}{q_1} \quad (11.11)$$

Sistemani har bir elementidagi yo'qotilishlar, shu elementlar effektiv foydali ish koeffisienti $\eta_{e,j}$ bilan ham ifodalanadi. Cistema elementlarining barcha effektiv foydali ish koeffisientini stiklning absolyut ichki foydali ish koeffisientlariga ko'paytirib, butun sistemaning effektiv foydali ish koeffisientini hosil qilamiz:

$$\eta_e = \eta_{oi} \eta_t \prod_{j=1}^{j=n} \eta_{e,j} \quad (11.12)$$

bu erda $\prod_{j=1}^{j=n}$ - sistemaning barcha n elementlaridagi qaytmas yo`qotilishlarni xarakterlovchi effektiv foydali ish koeffitsienti ko`paytmasi.

η_e foydali ish koeffitsienti sistemadan ajralgan issiqlikning qancha qismi tashqi iste'molchiga berilgan va unda foydali ishga aylanganini ko`rsatadi:

$$l_{no.1} = \eta_e q_1 \quad (11.13)$$

Ma'lumki,

$$\Delta q = (1 - \eta_e) \cdot q_1 \quad (11.14)$$

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  $\Delta q_{II}$  atrof muhitga va boshqa yo`qotilishlardan tashkil topgan.

Ma'lumki,

$$\Delta q_{II} = l_y - l_{no.1} \quad (11.15)$$

bu erda l_{st} – qaytar jarayonda olingan ish.

(11.1) va (11.13) formulalarni nazarda tutib quyidagini olish mumkin:

$$\Delta q_{II} = \eta_t q_1 - \eta_e q_1 = (\eta_t - \eta_e) q_1 \quad (11.16)$$

Maksimal qaytar stikl ishi faqat Karno stiklida olinishi mumkinligi uchun sistemadagi eksergetik maksimal yo`qotilishlar  $\Delta l_p(\Delta q_p$  ning maksimal qiymatiga teng bo`lgan) quyidagiga teng:

$$\Delta l_{II} = q_1 (\eta_k - \eta_e) \quad (11.17)$$

EKTS larda energetik qurilmalardan farqli, mashinalar bilan bir qatorda hech qanday ish bajarmaydigan texnologik qurilmalar mavjud. Lekin temperaturalar farqi, kimyoviy reakstiya va boshqalar omillar tufayli bu qurilmalarda katta yo`qotilishlar bo`ladi. Ular, entropiya termodinamik usulida qurilmaning effektiv foydali ish koeffitsienti 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:

$$\Delta l_{ééé}^{\mathcal{KTC}} = T_0 \Delta S^{\mathcal{KTC}} \quad (11.18)$$

Sistema entropiyasining o`zgarishi, uning alohida elementlaridagi entropiya o`zgarishlari yig`indisiga teng, ya'ni:

$$\Delta S^{\mathcal{KTC}} = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta S_i \quad (11.19)$$

Atrof muhit temperaturasi T_0 ga ko`paytirib quyidagi ko`rinishni olamiz:

$$\Delta l^{\mathcal{KTC}} = T_0 \Delta S^{\mathcal{KTC}} = \sum_{i=1}^{i=n} T_0 \Delta S_i = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta l_i \quad (11.20)$$

ya'ni butun sistemaning energiya yo'qotilishi, uning alohida elementlaridagi energiya yo'qotilishlar yig'indisiga teng. ΔI ning topilgan qiymatlari EKT Sni qaysi elementlaridagi qaytmas jarayonlari $\Delta I^{EKT S}$ gako'proqtasiretishiniko'rsatadi. Demak, bu elementlardagi qaysi jarayonlar birinchi navbatda mukammallashtirilishi zarurligini ko'rsatadi.

Eksergetik usul. EKT Slarini 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 ishdur. Bu jarayon nihoyasida moddaning barcha turlari atrof muhitning hamma komponentlari bilan termodinamik muvozanat holatiga o'tishi zarur.

Eksergetik usul energiyani EKT S 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. EKT Sni termodinamik tahlil qilishning eksergiya usulini universalligi shundaki, tahlil qilinayotgan sistemaning xarakteri (masalan, yopiq yoki ochiq) prinsipial ahamiyatga ega emas: masalani echishga yondashish va uni echish usuli o'zgarmaydi. EKT S ni termodinamik tahlil qilishning eksergetik usulida sistemaning barcha elementlari alohida mustaqil sistema deb qaraladi. EKT S har bir elementning unumdorligini baholash, bu elementga kirishdagi eksergiyani, undagi qaytmas jarayonlar tufayli sodir bo'luvchi eksergiya yo'qotilishi bilan solishtirish orqali bajariladi. Shunday qilib, tadqiqot qilinayotgan EKT Sning 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 EKT S yaratiladi.

Eksergetik usulning amaliy qo'llanilishiga oid perspektiv izlanishlar ToshDTU ni "Sovitish kompressor mashinalari va qurilmalari" kafedrasida prof. Zokirov S.G. va xodimlari tomonidan olib borilmoqda.

11.3. Eksergiya turlari

Eksergiya asosan quyidagi ikki turga bo'linadi:

Entropiya bilan ifodalanmaydigan, energiyani o'zidan iborat eksergiya, ya'ni $e=E$ (mexanik, elektrik va boshqa energiyalar) va entropiya bilan ifodalanuvchi eksergiya, ya'ni $e \leq E$ (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 kimeviy (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, v, T, u, i, s bo'lgan moddaning atrof muhit bilan muvozanatga qaytar jarayonda o'tishidagi maksimal ishni aniqlaymiz. Muvozanat holatida atrof muhit parametrlari $p_0, v_0, T_0, u_0, i_0, s_0$ 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 temperaturasi teng bo'lgan, ya'ni $\delta q = T_0 dS$ o'zgarmas temperaturada amalga oshadi. Bunda yopiq hajmdagi modda eksergiyasi de_v ish δl va moddaning atrof muhit bosimini engishga sarflagan ishi $p_0 dv$ ayirmasiga teng, ya'ni

$$de_v = \delta l - p_0 dv = \delta q - du - p_0 dv = T_0 dS - du - p_0 dv \quad (11.21)$$

yoki integrallashdan so'ng

$$e_v = T_0 (S_0 - S) - (u_0 - u) - p_0 (v_0 - v) = (u - u_0) - T_0 (S - S_0) + p_0 (v - v_0) \quad (11.22)$$

Moddani o'rab turgan ushbu muhit uchun p_0, v_0, T_0, u_0 va s_0 kattaliklar o'zgarmas bo'lgani uchun (11.22) tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$e_v = u - T_0 S + p_0 v + c \quad (11.23)$$

bu erda $c = -u_0 + T_0 S_0 - p_0 v_0 = \text{const}$ va demak, e_v kattalik modda va muhit holatining parametri – **eksergetik funktsiya** ekan.

Modda oqimi termomexanik eksergiyasi. Bu eksergiyani aniqlash uchun moddaning p, v, T, u, i , Sparametrli holatidan $p_0, v_0, T_0, u_0, i_0, S_0$ parametrlari atrof muhit bilan muvozanat holatiga qaytar jarayonda o'tish maksimal ishini hisoblash zarur. Tabiiyki, modda oqimining eksergiyasi e yopiq hajmdagi modda eksergiyasidan e_v oqimni harakatlantirishiga sarflangan ish miqdoriga farq qiladi. Holatni to'liq o'zgartirish uchun bu ish $p v$ ishi bilan muhit qarshiligini engish ishi $p_0 v$ ayirmasiga teng:

$$p v - p_0 v = v \cdot (p - p_0) \quad (11.24)$$

Demak, modda oqimi eksergiyasi

$$e = e_v + v \cdot (p - p_0) \quad (11.25)$$

(11.25) formuladagi e_v o'rniga uning (11.24) dagi qiymatini qo'ysak, quyidagini olamiz:

$$e = i - T_0 S + C \quad (11.26)$$

bu erda e ham e_v kabi eksergetik funktsiyadir, chunki uning qiymati modda va muhit parametrlari bilan ifodalanadi.

Odatda, hisoblashlarda Δe_v va Δe kattaliklar ayirmasi sistemaning ikki holatida aniqlanadi. Bu holda Δe_v va Δe lar mos ravishda quyidagicha bo'ladi:

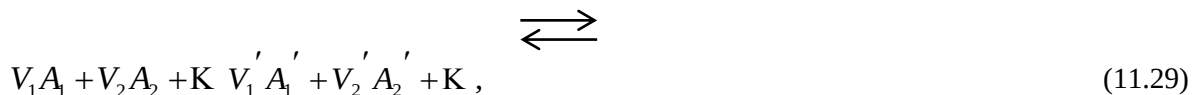
$$\Delta e_v = \Delta u - T_0 \Delta S + p_0 \Delta v \quad (11.27)$$

$$\Delta e = \Delta i - T_0 \Delta S \quad (11.28)$$

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_0 . Bu eksergiya modda va atrof muhitning tegishli komponentlari o'rtasidagi kimyoviy potentsiallar muvozanati bilan bog'liq bo'lib, p_0 va T_0 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_0 ni aniqlash uchun atrof muhit tarkibini bilish zarur. Lekin atrof muhit tarkibi ko'p jinslilik uchun e_0 ning absolyut qiymatini hisoblash aniqligi $e_{va} e_v$ larnikidek emas. Amaliyotda e_0 ni hisoblashda ma'lum soddalashtirishlar qilinishi zarur.

Kimyoviy o'zgarishlardagi kimyoviy (nol) eksergiyani hisoblaylik. Kimyoviy reaktorda quyidagi reaksiya borayotgan bo'lsin:



bu erda, $V_1, V_2, \dots$ va $V_1', V_2', \dots$ dastlabki $A_1, A_2, \dots$ moddalar va olinuvchi $A_1', A_2', \dots$ moddalarning stexiometrik koeffitsientlari.

Muxandislik 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:

$$E_{xp} = \Delta Z_{298}^0 - \sum_j E_{0,j} \quad (11.30)$$

bu erda

$$\Delta Z_{298}^0 - \sum_i V_i (\Delta Z_{298}^0)_i - \sum_i V_i' (\Delta Z_{298}^0)_i' = \sum_i V_i (\Delta i_{298}^0)_i - \sum_i V_i' (\Delta i_{298}^0)_i' - T_0 \left[\sum_i V_i (S_{298}^0)_i - \sum_i V_i' (S_{298}^0)_i' \right]$$

bu erda $\Delta Z_{298}^0 - T = 298K$ - standart izobar-izotermik potentsial, kJ/mol; $(\Delta H_{298}^0)'$ va (ΔH_{298}^0) - reaksiyani boshlanish va oxiridagi tashkil etuvchilar entalpiyalarining standart qiymatlari, kJ/mol; $(S_{298}^0)'$ va (S_{298}^0) - 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 $\text{Ca} + 0,5\text{O}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3$ 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:

$$e_q = \sum_{i=1}^{i=n} \delta q_i \frac{T_i - T_0}{T_i} = \sum_{i=1}^{i=n} \delta q \tau_e \quad (11.31)$$

bu erda $\tau_e = 1 - (T_0 / T)$ – eksergetik temperatura funktsiyasi deb ataluvchi kattalik.

Xususiy $T=idem$, $\tau_e=1-(T_0/T)=idem$ holda (11.31) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$e_q = q \cdot \tau_e \quad (11.32)$$

ma'lumki τ_e funktsiya universal ahamiyatga ega: u yopiq va ochiq termodinamik jarayonlarning maksimal eksergiyasini aniqlash uchun yaroqli.

Oqim termomexanik eksergiyasining o'zgarish bosimdagi entalpiya bo'yicha xususiy hosilasi τ_e ga teng:

$$\left(\frac{\partial e}{\partial i} \right)_p = \tau_e \quad (11.33)$$

$(di)_p = \delta q_p$ yoki $(\Delta i)_p = q_p$ bo'lgan uchun (11.31) va (11.32) tenglamalardan

$$(\Delta e)_p = (\Delta i)_p \tau_e = q_p \tau_e = (e_q)_p \quad (11.34)$$

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'zgarish 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.

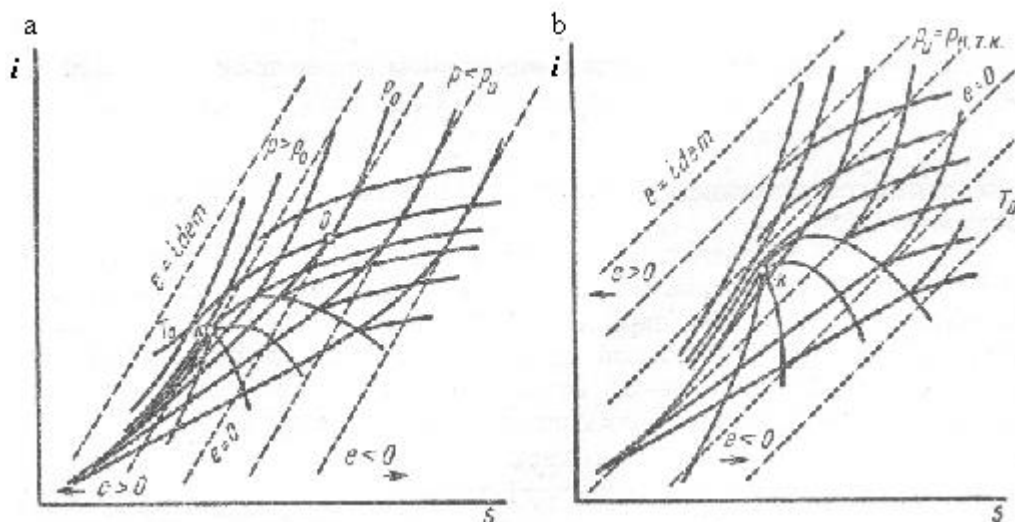
Nurlanish eksergiyasi - e_ϵ . Bu eksergiya nurlanish atrof muhit bilan muvozanat holatiga kelish (T_0) da qaytar jarayondagi maksimal ish bilan ifodalanadi. Uni quyidagi tenglamadan hisoblab topish mumkin:

$$e_\epsilon = \epsilon C_0 \left\{ \left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \frac{4}{3} T_0 \left[\left(\frac{T}{100} \right)^3 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^3 \right] \right\} \quad (11.35)$$

bu erda ϵ - yuzaning qoralik darajasi; S_0 – absolyut qora jismning nurlanish koeffitsienti.

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 kattaliklarning 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 temperaturasi belgilaymiz.



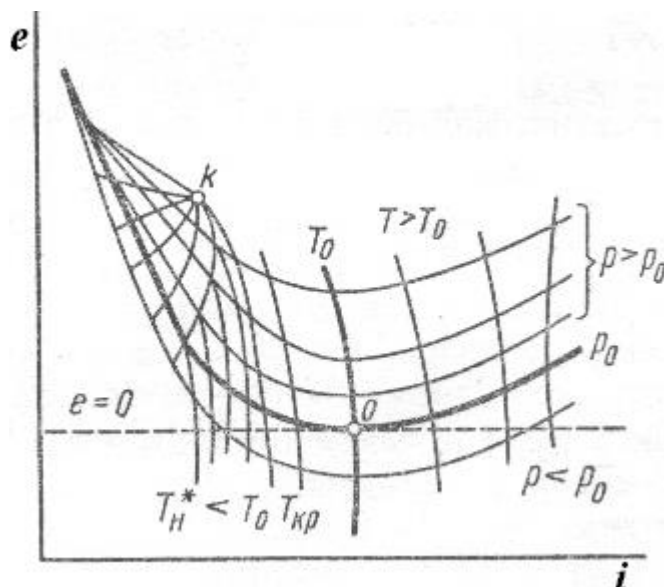
11.1 - rasm. Bug`ning $e=idem$ chiziqlari tortilgan $i-s$ - diagrammasi.
a) $T_0 > T_H^*$; b) $T_0 = T_H^*$

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 $T_0 > T_H^*$ 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  $\alpha$  qiymati eksergetik temperatura funktsiyasi  $\tau_e$ ga teng bo`ladi, chunki (11.33) formulaga ko`ra:

$$\tau_y = \left(\frac{\partial e}{\partial i} \right)_p = \operatorname{tg} \alpha_p \quad (11.36)$$



11.2-rasm. Havoning $e=idem$ chiziqlari tortilgan $e-i$ - diagrammasi

bunda 3 ta hol bo`lishi mumkin: agar $T > T_0$, u holda $\operatorname{tg} \alpha_p > 0$ va demak, $\tau_e > 0$; agar $T < T_0$, u holda $\operatorname{tg} \alpha_p < 0$ va $\tau_e < 0$; agar $T = T_0$, u holda $\operatorname{tg} \alpha_p = 0$ va $\tau_e = 0$.

$e-i$ – diagramma yordamida bajarilgan ishni, ochiq stikl, va jarayonlarning boshqa xarakteristikalarini topish mumkin.

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_{te} .

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:

$$D_{Te} = D_T + D_p + D_{oc} \quad (11.37)$$

Issiqlik almashinish qurilmasidagi temperaturalar farqi tufayli ro`y beruvchi yo`qotilishlar quyidagiga teng:

$$D_T = E_q^B - E_q^A = m_B e_{qb} - m_A e_{qA} = \sum \delta q \Delta \tau_e = Q \Delta \overline{\tau_e} \quad (11.38)$$

bu erda E_q^B va E_q^A – mos ravishda **B** 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:

$$D_t = E_q^B - E_q^A = m_B e_{qB} - m_A e_{qA} = m_B \Delta e_B - m_A \Delta e_A \quad (11.39)$$

bu erda 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`latgich-kondensatordagi yo`qotilishlar D_T quyidagicha aniqlanishini mumkin:

$$D_t = E_q^B - E_q^A = Q \tau_{eB} - Q \tau_{eA} = Q (\tau_e^B - \tau_e^A) = Q \left[\left(1 - \frac{T_0}{T_B} \right) - \left(1 - \frac{T_0}{T_A} \right) \right] = Q T_0 \left(\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_B} \right) \quad (11.40)$$

(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:

$$D_p = L_A + L_B \quad (11.41)$$

bu erda L_A va L_B – mos ravishda **A** va **B** 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_{os} quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$D_{oc} = m_A e_q^A + m_B e_q^B = m_A q_A \bar{\tau}_{eA} + m_B q_B \bar{\tau}_{eB} = m_A q_A \left(1 - \frac{T_0}{T_{u3A}}\right) + m_B q_B \left(1 - \frac{T_0}{T_{u3B}}\right) \quad (11.42)$$

bu erda q_A va q_B – A va B issiqlik eltkichlardan issiqlik qoplamasi orqali atrof muhit yoki teskari yo'nalishda (issiqlik eltkichlar temperaturalarini atrof muhit temperaturasidan T_0 kichik bo'lganda) tarqalayotgan issiq oqimining zichliklari; T_{izA} va T_{izB} – mos ravishda A va B issiqlik eltkichlarni tashqi issiqlik qoplamasining o'rtacha integral temperaturalarini. (11.42) formuladan ko'rinib turibdiki $T_{iz} \rightarrow T_0$ bo'lganda $D_{os} \rightarrow 0$.

Reaktorda kimyoviy reaktsiya tufayli ro'y beruvchi eksergiya yo'qotilishlari - D_{xp} . O'zgarmas temperatura va bosimda sodir bo'luvchi ekzotermik reaktsiyani ko'raylik. Reaktsiya issiqligi bironta – bir jismga (o'sha temperaturadagi) uzatilayotgan bo'lsin. U holda kimyoviy reaktordagi entropiya o'zgarishi:

$$\Delta S_{xp} = \Delta S + \Delta S_T \quad (11.43)$$

bu erda ΔS va ΔS_T – mos ravishda reaktsiya borayotgan sistema va boshqa jismdagi entropiya o'zgarishi.

Agar, o'zgarmas bosimda hajmi o'zgaruvchi sistemadagi ish faqat reaktsiya tufayligina bajarilsa, u holda boshqa jismga berilayotgan issiqlik shu sistema entalpiyasining kamayishiga teng, ya'ni ($-\Delta i$) va yuqoridagi tenglama quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\Delta S_{xp} = -\Delta S + \frac{\Delta i}{T} = \frac{-T\Delta S + \Delta i}{T} = \frac{\Delta Z}{T} \quad (11.44)$$

va qaytmas yo'qotilishlar, ya'ni eksergetik yo'qotilishlar

$$D_{xp} = T_0 \Delta S_{xp} = \frac{T_0 \Delta Z}{T} \quad (11.45)$$

Demak, o'zgarish 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 koeffitsienti

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 ob'ektlardan hayolan 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:

$$\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + \sum_{i=1}^{i=n} L_i + \sum D_i \quad (11.46)$$

yoki

$$\sum_{i=1}^{i=n} D_i = \sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - \left(\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + \sum_{i=1}^{i=n} L_i \right) \quad (11.47)$$

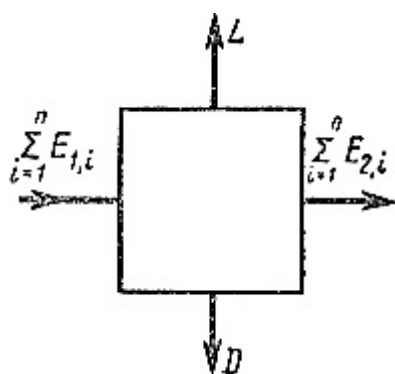
bu erda $\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}$ va $\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i}$ - EKTS ga kiruvchi va chikuvchi eksergiya yig'indilari; $\sum_{i=1}^{i=n} L_i$ - EKTS larda bajarilu-

vchi ishlar yig'indisi; $\sum_{i=1}^{i=n} D_i$ – EKTS dagi eksergetik yo'qotilishlar yig'indisi.

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.



11.3-rasm. Mashinaning eksergetik balansini aniqlashga oid.

Har qanday mashinaning eksergetik balansini 11.3 – rasmda tasvirlangan sxema asosida tuziladi:

m kg modda uchun

$$\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + L + D \quad (11.48)$$

$D=0$ da

$$L = \sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} \quad (11.49)$$

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 balansini shunga o'xshash yoziladi:

$$\sum_{i=1}^{i=n} e_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} e_{2,i} + l + d \quad (11.50)$$

EKTS ning har qanday qurilmasi uchun eksergetik balans quyidagicha yoziladi:

m kg modda uchun

$$\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + D \quad (11.51)$$

1 kg modda uchun

$$\sum_{i=1}^{i=n} e_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} e_{2,i} + d \quad (11.52)$$

$D = 0$ 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

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + \sum_{i=1}^{i=n} L_i}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - \sum_{i=1}^{i=n} D_i}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} \quad (11.53)$$

mashinalar uchun

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + L}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - D}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} \quad (11.54)$$

qurilmalar uchun

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i}}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - D}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} \quad (11.55)$$

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

$\sum E_{\text{ex}}$ deyiladi. $\sum E_{\text{ex}}$ kattalikni vaqt τ ga bo`lgan nisbati EKTS ning eksergetik unumdorligi deyiladi:

$$N_{\text{ex}} = \frac{\sum E_{\text{ex}}}{\tau} = \sum E_{\text{ex}} \quad (11.56)$$

Eksergetik quvvatning kimyo texnologiyasidagi energetik qurilmalar uchun aniq ifodalarini qo`raylik.

Ma`lumki, IEM (issiqlik elektrenergiya markazlari) elektrenergiya va issiqlikni bir vaqtda ishlab chiqarishga mo`ljallangan. Demak, IEM eksergetik quvvati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$N_{\text{ex}} = N_{\text{эл}} + \sum (m_{ni} e_{qni} - m_{ki} e_{qki}) \quad (11.57)$$

bu erda $N_{\text{эл}}$ - 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:

$$N_{\text{ex}} = \sum m_i \Delta e_i \quad (11.58)$$

agar siqish jarayonida hosil bo'layotgan issiqlik texnologik maqsadlarda ishlatilsa:

$$N_{ex} = \sum m_i \Delta e_i + m_b \Delta e_b \quad (11.59)$$

bu formulalarda: m_i - siqilayotgan gaz (bug') miqdori; Δe_b - sovutgichlardagi sovutuvchi muhit (bug', havo, gaz) eksergiyasining ortishi; m_b - sovutuvchi muhitning sarfi.

Issiqlik nasosi va sovitish mashinasidan iborat issiqlik va sovuqlik oluvchi kombinastiyalashgan qurilmaning eksergetik quvvati:

$$N_{ex} = \sum \dot{E}_{qi} + \sum \dot{E}_{qxi} \quad (11.60)$$

bu erda $\sum \dot{E}_{qi}$ va $\sum \dot{E}_{qxi}$ - issiq va sovuq oqimlar eksergetik quvvatlarining yig'indisi.

Odatda, issiqlik va sovuqlik oqimlari iste'molchiga o'zgarimas bosimda, issiqlik almashinish qurilmalaridagi issiqlik va sovitish eltkichlari orqali, uzatilgani uchun, $\sum \dot{E}_{qi}$ va $\sum \dot{E}_{qxi}$ lar issiqlik va sovuqlik eltkichlar eksergiyalari o'zgarishi orqali ifodalanishi mumkin, ya'ni

$$N_{ex} = \sum m_i \Delta e_i + \sum m_{xi} \Delta e_{xi} \quad (11.61)$$

bu erda Δe_i va m_i - mos ravishda issiqlik eltkich eksergiyasining o'zgarishi va uning sarfi.

Eksergetik quvvat ECTS eksergetik f.i.k.ni aniqlash imkonini beradi va sistemani optimallashtirish kriteriyalari sifatida ishlatiladi.

11.8. Termodinamik sistemalar energetik va eksergetik xarakteristikalarini o'rtasidagi bog'liqlik

Issiqlik almashinish qurilmasi. Bu qurilma energetik foydali ish koeffitsienti $\eta = L/Q_1$ va eksergetik foydali ish koeffitsienti $\eta_{ex} = E_{ef}/E_{zat} = A_{ef}/A_{zat}$ 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 $A_{zat} = E_{zat} = E_q = Q_1 \tau_e$. Demak:

$$\eta_{ex} = \frac{L}{Q_1 \tau_e} \quad (11.62)$$

(11.62) formula yordamida energetik foydali ish koeffitsienti quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\eta_t = L/Q_1 = \eta_{ex} Q_1 \tau_e / Q_1 = \eta_{ex} \tau_e \quad (11.63)$$

Sovitish qurilmasi. Bu qurilma sovitish koeffitsienti $\varepsilon = Q_x/L$ va eksergetik foydali ish koeffitsienti $\eta_{ex} = A_{ef}/A_{zat}$ bilan xarakterlanishi mumkin. Bu qurilmada A_{ef} kattalik sovuq oqimlar eksergiyasini, ya'ni $A_{ef} = E_{qx}$ sarf esa, $A_{zat} = L$ demak:

$$\eta_{ex} = \frac{E_{q,x}}{L} = \frac{Q_x \tau_{ex}}{L} \quad (11.64)$$

(11.64) formulada $Q_x/L = \varepsilon$ bo'lgani uchun

$$\varepsilon = \frac{\eta_{ex}}{\tau_{ex}} \quad (11.65)$$

Agar sovitish qurilmasi Q_1 issiqlik oqimi hisobiga ishlasa, u holda $A_{zat} = E_{q1} = Q_1 \cdot \tau_e$, demak,

$$\eta_{ex} = A_{\phi} / A_{zam} = Q_x \bar{\tau}_{ex} / (Q_1 \tau_e) \quad (11.66)$$

Issiqlik nasosi. Bu qurilma issiqlik koeffitsienti $\varphi = Q_2/L$ va eksergetik foydali ish koeffitsienti $\eta_{ex} = A_{ef}/A_{zat}$ bilan xarakterlanadi. Issiqlik nasosida A_{ef} kattalik qurilmadan iste'molchiga berilayotgan issiqlik Q_2 oqimining energiyasidir, ya'ni $A_{ef} = Q_2 \cdot \tau_{e2} \cdot T_0$ temperaturadagi atrof muhitdan olinayotgan issiqlik eksergiyasi nolga teng bo'lgani uchun $A_{zat} = L$ va unda, qurilmaning eksergetik foydali ish koeffitsienti quyidagicha ko'rinishni oladi:

$$\eta_{ex} = \frac{A_{\phi}}{A_{zam}} = \frac{Q_2 \tau_{e2}}{L} \quad (11.67)$$

Agar issiqlik nasosi Q_1 issiqlik oqimi hisobiga ishlasa, u holda $A_{zat} = E_{q1} = Q_1 \cdot \tau_{e1}$, demak,

$$\eta_{ex} = \frac{Q_2 \bar{\tau}_{e2}}{Q_1 \bar{\tau}_{e1}} \quad (11.68)$$

(11.67) formulada $Q_2/L = \varphi$, demak $\eta_{ex} = \varphi \cdot \tau_{e2}$ yoki

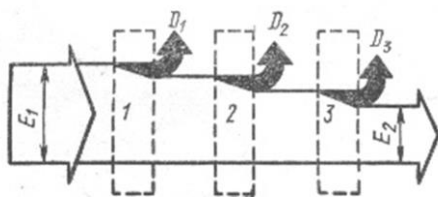
$$\varphi = \frac{\eta_{ex}}{\tau_{e2}} \quad (11.69)$$

Issiqlik yuritkichi bo'lgan holda issiqlik nasosining issiqlik koeffitsienti $\varphi' = Q_2/Q_1$. Bu holda (11.68) formula quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\eta_{ex} = \varphi' \frac{\bar{\tau}_{e2}}{\bar{\tau}_{e1}}$$

yoki

$$\varphi' = \eta \frac{\bar{\tau}_{e1}}{\bar{\tau}_{e2}} \quad (11.70)$$



11.4-rasm. Eksergiya yo'qotilishining EKTS dagi o'ziga hos tomoni.

11.9. EKTS umumiy ko'rsatkich va elementlarning xarakteristikalarini orasidagi bog'liqlik

Elementlar xarakteristikalarini 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:

$$Z_1 = \left(\frac{\partial x_e}{\partial x_{e,i}} \right)_{y=idem} \quad (11.71)$$

i – elementdagi xarakteristika o'zgarishining EKTS xarakteristikasiga ta'sirini ko'rsatadi; bu erda u –

EKTSning boshqa elementlarining parametrlari. $u=idem - x_{e,i}$ ta'siri vaqtida $x_{e,i}$ bilan bog'liq bo'lmagan boshqa kattaliklar o'zgarishini 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 optimal-lashtirish vaqtida asosiy e'tibor katta qiymatli Z_i elementlarga qaratilishi zarur. Shunday qilib, Z_i koeffitsient 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}^{EKTC} va η_{ex}^i 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 koeffitsienti uning barcha elementlari foydali ish koeffitsienti ko'paytmasiga teng bo'ladi, ya'ni

$$\eta_{ex}^{EKTC} = \prod_{i=1}^{t=n} \eta_{ex,i} \quad (11.72)$$

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.

$\eta_{ex,i}=(E_i - D)/E_i$ bo'lgani uchun $\eta_{ex,i}$ ham kamayib boradi. Demak, yo'qotilishlarni kamaytirish, texnologik jarayonning oxirgi bosqichlarida ayniqsa katta ahamiyatga ega. Buni EKTS larni optimallashtirish va takomillashtirishda nazarda tutish kerak.

11.10. Kimyoviy texnologiya jarayonlarining eksergetik tahlili

Gaz va suyuqliklarni siqish. Haqiqiy siqish jarayonlarining eksergetik balans tenglamasi quyidagicha:

$$l_{mex}^J = \Delta e + e_q + \sum d = \Delta e + q\bar{\tau}_l + \sum d \quad (11.73)$$

11.5-rasmda siqish jarayoni $e-i$ diagrammada tasvirlangan, jarayon $T \geq T_0$ uchun o'rinli, ya'ni $t_1 > 0$. 1-2 kesmada jarayon – $T_0=const$ chiziq bo'yicha boruvchi izotermik siqishni xarakterlaydi. Demak, $l_q = q(1-T_0/T) = 0$, ya'ni gazdan atrof muhitga tarqalayotgan issiqlik oqimining eksergiyasi nolga teng. Bu holda qaytmas jarayon uchun (11.73) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$l_{mex,u3}^J = \Delta e_{2-1} + \sum d \quad (11.74)$$

qaytar jarayon uchun:

$$l_{mex,u3} = \Delta e_{2-1} \quad (11.75)$$

Sovutiluvchi (izotermik) kompressorning haqiqiy ishi $e_{mex,u3}^J$ tajriba yoki hisob natijalaridan ma'lum bo'lganda uning η_{ex} ga teng bo'lgan izotermik foydali ish koeffitsientini hisoblash mumkin:

$$\eta_{u3} = \eta_{ex} = \frac{\Delta e_{2-1}}{e_{mex,u3}^J} \quad (11.76)$$

eksergetik yo'qotilishlar esa:

$$\sum d = e_{mex,u3}^J - \Delta e_{2-1} \quad (11.77)$$

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:

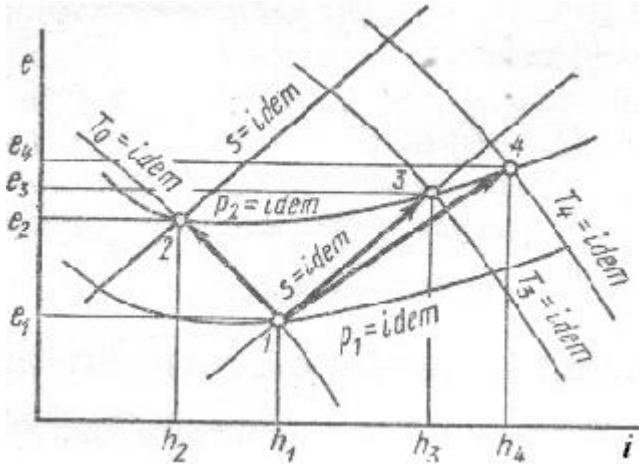
$$l_{mex,a0}^J = \Delta e_{3-1} + \sum d = \Delta i_{3-1} + \sum d \quad (11.78)$$

($q\tau_c=0$ bo'lgani uchun) va nazariy ish:

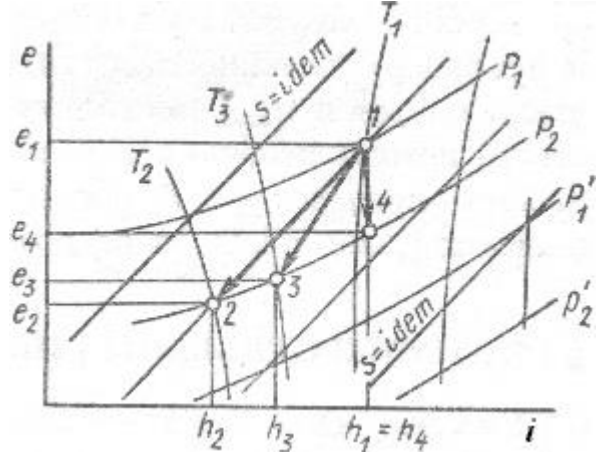
$$l_{mex,a0} = \Delta l_{3-1} = \Delta i_{3-1} \quad (11.79)$$

$e-i$ 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 engishga sarflanadi. Shuning uchun gaz eksergiyasi jarayon oxirida ortadi (nuqta 4): haqiqiy siqish jarayoni 1-4 chiziq bo'yicha boradi. Sovutilmaydigan (adiabatik) kompressorning haqiqiy ishi $l_{mex,u3}^J = \Delta i_{4-1} \cdot \Delta l_{4-1}$ parametrdan katta, chunki siqish jarayonining qaytmasligi ishqalanishdagi issiqlik hisobiga entalpiyani qo'shimcha ortishiga olib keladi. Bunda $d = l_{mex,u3}^J - \Delta e_{4-1}$ va sovutilmaydigan kompressor eksergetik foydali ish koeffitsienti:

$$\eta_{ex} = \frac{\Delta e_{4-1}}{l_{mex.u3}^{\mathcal{D}}} = \frac{\Delta l_{4-1}}{\Delta i_{4-1}} \quad (11.80)$$



11.5-rasm. e-i koordinatalarda siqish jarayonining tasviri



11.6-rasm. e-i koordinatalarda kengayish jarayonining tasviri

Ko`p bosqichli sovutilmaydigan kompressorning umumiy eksergetik foydali ish koeffitsienti quyidagicha:

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_i \Delta l_i}{\sum_i l_{mex.u3}^{\mathcal{D}}} = \frac{\sum_i \Delta l_i}{\sum_i \Delta i_i} \quad (11.81)$$

sovutiladigan kompressorniki esa:

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_i \Delta l_i}{\sum_i l_{mex.u3}^{\mathcal{D}}} \quad (11.82)$$

bu erda $i = 1, 2, 3, \dots$ - bosqichlar soni.

Yuqorida aytilgan gazning siqilishi qonuniyatlari suyuqliklarni siqishga ham tegishlidir.

Gaz va suyuqliklarni kengayishie-i diagrammada (11.6-rasm) ishchi jismning turlicha kengayishlari ko`rsatilgan. 1-2 jarayon – texnik ishi  $l_{tex\ 1-2} = i_1 - i_2 = e_1 - e_2$  bo`lgan ideal issiqlik mashinasida boruvchi qaytar adiabatik jarayon.

1-3 – texnik ishi $l_{tex\ 1-3} = i_1 - i_3 < l_{tex\ 1-2}$ bo`lgan haqiqiy issiqlik mashinasida boruvchi qaytmaz adiabatik jarayon. 1-4 jarayon -  $\Delta i_{1-4} = 0$ , demak  $l_{tex\ 1-4} = 0$  bo`lgan drossellanish jarayoni. Bu uchta jarayondagi eksergetik yo`qotilishlar birinchisidan uchunchisiga qarab oshib boradi:

$$d_{1-2} = (e_1 - e_2) - (i_1 - i_2) = 0 < d_{1-3} = (e_1 - e_3) - (i_1 - i_3) < d_{1-4} = (e_1 - e_4) - (i_1 - i_4) = T_0 \Delta S$$

Bu jarayonlarning eksergetik foydali ish koeffitsienti 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 koeffitsienti yordamida solishtiramiz. Adiabatiktermikfoydaliish-koeffitsientialpiyahaqiqiyfarqiningnazariy (qaytar) farqinisbatigateng, ya`ni

$$\eta_{ad} = \Delta i_{1-3} / \Delta i_{1-2} = l_{mex1-3}^{\mathcal{D}} / l_{mex1-2}^{\mathcal{D}} = l_{mex1-3}^{\mathcal{D}} / (e_1 - e_2), \quad \text{eksergetikfoydaliishkoeffitsientiesa}$$

$\eta_{ex} = l_{mex1-3}^{\mathcal{D}} / (e_1 - e_3)$. 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_t , D_p va D_{oc} . 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  $D_p \gg D_t$  va  $D_{os} \ll D_t$  bo`lsa, issiqlik almashinish qurilmasining η_{ex} foydali ish koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta_{ex} = \frac{E_q^A}{E_q^B} = \left| \frac{Q\bar{\tau}_e^A}{Q\bar{\tau}_e^B} \right| = \left| \frac{\bar{\tau}_e^A}{\bar{\tau}_e^B} \right| = \frac{\Delta E_A}{\Delta E_B} \quad (11.83)$$

Bunday foydali ish koeffitsienti qurilma unumdorligini ifodalovchi asosiy ko'rsatkich bo'lib, ya'ni Voqimdan **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 $E_2 > E_2$ eksergiyasi qizdirilgan yoqilg'i va oksidlovchi modda II yonish kamerasiga yuboriladi. U erda 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. $E_3 = E_2$ eksergiyasi 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 eltichlar 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.

Yoqilg'ini yonishi – kimyoviy, oksidlanish reakstiyasidir. 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 $e_{p.s}$ aniqlab, yoqilg'ining kimyoviy eksergiyasini yonish mahsuloti eksergiyasiga o'tishi bilan bog'liq eksergetik yo'qotilishlarni topamiz $d_1 = e_1 - e_{p.s}$. Yonish mahsulotlari eksergiyasi e quyidagicha aniqlanadi:

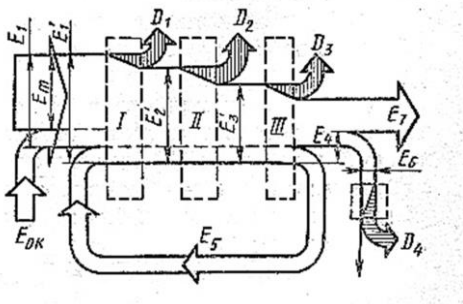
$$e_{n.c} = c_{p.n.c} (T_{meop} - T_0) - T_0 \left[c_{p.n.c} \ln \left(\frac{T_{meop}}{T_0} \right) - R_{n.c} \ln \left(\frac{p_{n.c}}{p_0} \right) - \sum R_i \ln \left(\frac{1}{r_i} \right) \right] =$$

$$= I_{meop} - T_0 \left[c_{p.n.c} \ln \left(\frac{T_{meop}}{T_0} \right) - R_{n.c} \ln \left(\frac{p_{n.c}}{p_0} \right) - \sum R_i \ln \left(\frac{1}{r_i} \right) \right]$$

bu erda I_{teor} – yonish mahsulotlarining nazariy entalpiyasi, kJ/kg; T_{teor} – nazariy yonish temperaturasi, K; $s_{p.s}$ - yonish mahsulotlarining o'tacha issiqlik sig'imi; $R_{p.s}$ - yonish mahsulotlarining gaz doimiysi; R_i va r_i - yonish mahsulotlar komponentlarining mos ravishda gaz doimiysi va hajmiy ulushi.

Yonish jarayonining eksergetik foydali ish koeffitsienti quyidagicha:

$$\eta_{ex}^r = \frac{e_{n.c}}{e_1} = \frac{e_1 - d_1}{e_1} \quad (11.84)$$



11.7-rasm. Yoqilg'i yonish jarayoni uchun Grossman - Shargut diagrammasi.

atmosfera bosimida η_{ex}^r 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}^r kattalik ham ortadi, masalan, gaz turbinalari uchun $\eta_{ex}^r = 0,55 \dots 0,6$.

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 $\Delta E_{p.s}$, balki isitilayotgan jism eksergiyasining $\Delta E_{n.s}$ ortishiga ham bog'liq. Shuning uchun bu jarayonning eksergetik foydali ish koeffitsienti quyidagicha:

$$\eta_{ex}^{III} = \frac{\Delta E_{n.m}}{\Delta E_{n.c}} = \frac{E_{qn.m}}{E_{qn.c}} = \frac{E_{qn.c} - D}{E_{qn.c}} \quad (11.85)$$

va

$$\eta_{ex}^{III} = \frac{e_{qn.c} - d}{e_{qn.c}} \quad (11.86)$$

uning qiymati temperatura o'sishi bilan ortib, zamonaviy bug` generatorlari uchun 0,8...0,85 ga etadi.
1 kg yoqilg'i yonishida olingan yonish mahsuloti issiqlik oqimining eksergiyasi:

$$e_{qn.c} = I_T \left(\frac{1 - T_0'}{T_T} \right) \quad (11.87)$$

bu erda $I_T = Q_{\eta}^p + Q_B + Q_T$ - nazariy entalpiya, kJ/kg; $T_T = [I_T / (\sum v_i C_{pTi})] + 273$ - yonishning nazariy temperaturasi, K; η - yonish kamerasining foydali ish koeffitsienti; Q_B va Q_T - yonish kamerasiga havo va yoqilg'i bilan kirayotgan issiqlik, kJ/kg.

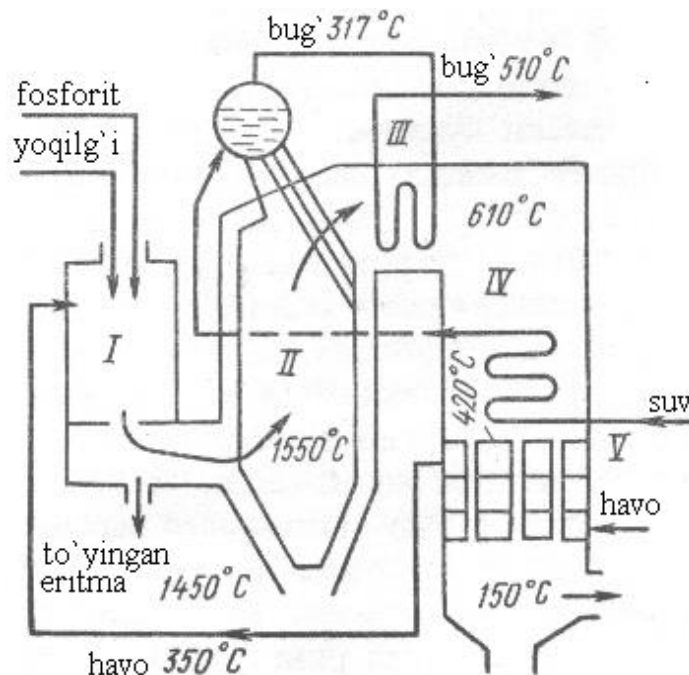
Bu formulalardan ko`rinib turibdiki, havo ko`proq qizishi bilan (Q_B) $e_{qn.c}$ ortadi, chunki I_T va T_T ham ko`payadi.

Havoni kislorod bilan to'yintirish yonish mahsulotlari miqdorini kamaytiradi (undagi azot miqdori kamayadi) va demak, T_T ortadi. Yoqilg'i yonishidagi α havo ortiqchalik koeffitsientining kamayishi T_T ni ortishiga olib keladi, chunki bunda yonish mahsulotlarining miqdori kamayadi. (11.87) formulaga binoan, bu ikkita tadbir $e_{qn.c}$ 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 optimallashtirish

EKTS ni eksergetik tahlilini suyuq fosfat olish stiklon qurilmasi misolida ko`raylik [61].

11.8-rasmda ftorsiz suyuq fosfat va energetik bug` olish stiklonli energotexnologik qurilmasining sxemi



11.8-rasm. Ftorsiz fosfat olish EKTS shemasi

I-ciklon; II-radiacion kamera; III-bug` isitkich;

IV-ekonomayzer; V-havo isitkich.

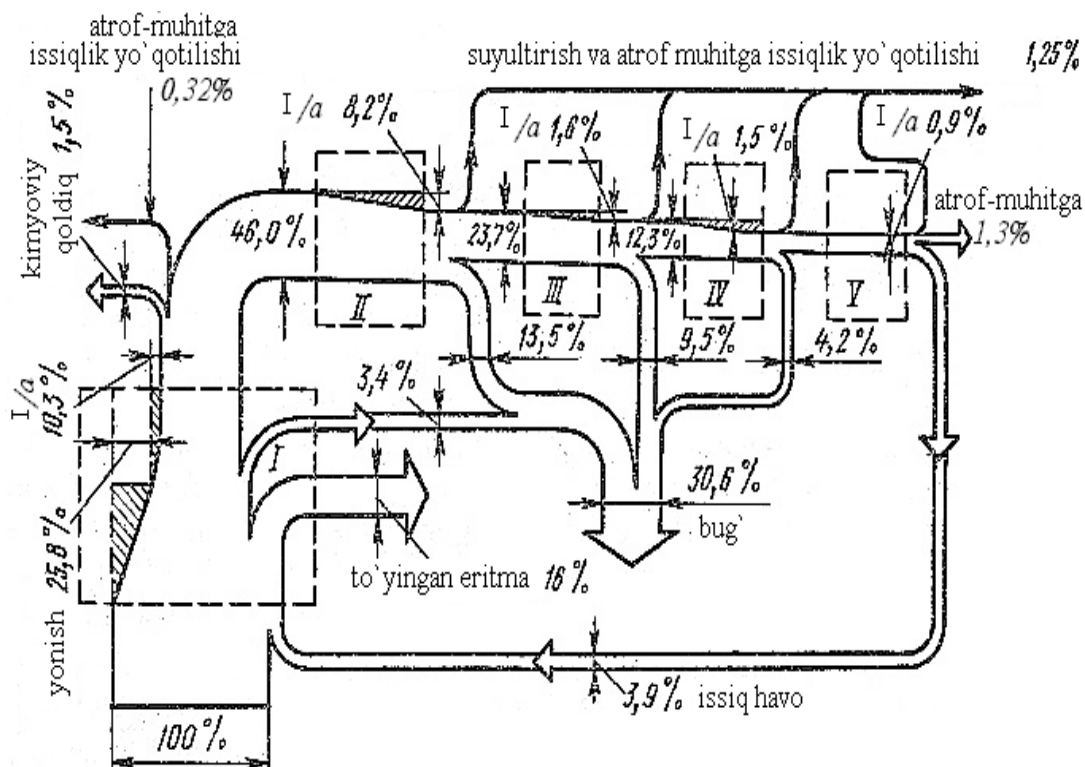
masi, 11.9-rasmda esa shu qurilmaning eksergetik balans oqimlari diagrammasi berilgan. Qurilmaning asosiy mahsulot bo'yicha (1723K temperaturali ftorsiz fosfat) unumdorligi - 10 t/soat; yordamchi mahsulot bo'yicha (10,6 MPa bosimli va 783K temperaturali qizigan suv bug'i) unumdorligi 15 t/soat.

Uzatiluvchi suv temperaturasi 488K, yoqilg'i - tabiiy gaz $Q_{\eta}^p = 35,8 \text{ MJ} / \text{m}^3$; havoni isitish temperaturasi 623K; ishlatib bo'lingan gaz temperaturasi 323K.

Eksergetik balans hisobi yonish mahsulotlarining nol eksergiyasini e'tiborga olmasdan bajarildi, natijada

11.9-rasmdan, butun qurilma uchun

O'sha parametrlari fosfat va bug' alohida-alohida ishlab chiqarilganida qurilmaning umumiy foydali ish koeffitsienti 36% bo'ladi. Foydali ish koeffitsienti 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 – stiklonda fosfat olish joylashadi; bunga stiklonning boshqa elementlarga nisbatan eng kichik eksergetik foydali ish koeffitsientiga (37,8%) egaligi ta'sir etmaydi; stiklonda termodinamik jihatdan eng mukammal bo'lmagan jarayon – yoqilg'i yonishi amalga oshadi.



Energetik balans bo'yicha qurilmaning foydali ish koeffitsienti $\eta_i^y = 27,4 + 63,5 = 90,9\%$. Energetik balans bo'yicha yuqori unumdorli qurilma haqida tasavvur hosil bo'ladi, bu esa haqiqatdan 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.

11.1-misol. Ikki bosqichli kompressorda freon – 12 tipidagi sovuqlik eltich $r_1=0,15\text{MPa}$ bosimgacha siqilyapti. Birinchi bosqichdan so`ng, freon oraliq sovutgichga yuborilmoqda; ajratilib olinadigan issiqlikdan foydalanilmaydi. Kompressorning ikkala bosqichining adiabatik foydali ish koeffitsienti $\eta_{ad}=0,8$. Birinchi bosqichga kirishdan avvalgi freonning parametrlari:

Birinchi bosqichdan so'ng $r'_1=0,7\text{MPa}$, $T'_1=331\text{K}$, $h'_1=506,0\text{ kJ/kg}$, $i'_1=6,62\text{ kJ/kg}$, $e'_1=-23\text{ kJ/kg}$. Ikkinchi bosqichga kirishdagi parametrlari esa: $r'_2=0,6\text{MPa}$, $T'_2=298\text{K}$, $i'_2=586,1\text{ kJ/kg}$, $e'_2=2,3\text{ kJ/kg}$. Ikkinchi bosqichdan keyingi parametrlar quyidagicha: $r'_2=1,2\text{MPa}$, $T'_2=343\text{K}$, $i_2=608,1\text{kJ/kg}$, $e'_2=16,1\text{ kJ/kg}$. 1 kg sovuq eltkichni siqishga sarflangan ish:

Eksergetik balans tenglamasi:

502

yuqoridagi tenglamadan to'liq eksergetik yo'qotilishlarni aniqlaymiz:

$$d = l - \Delta e = 58,6 - (16,1 + 23) = 19,5 \text{ kJ/kg} / \text{K}$$

Bu yo'qotilish ichki va tashqi yo'qotilishlardan iborat. Tashqi yo'qotilishlarga oralik sovutkichda issiqlik tarqalish bilan bog'liq eksergetik yo'qotilishlar kiradi, ya'ni $d_e = e'_2 - e'_1 = 6,62 - 2,3 = 4,32 \text{ kJ/kg}$.

Ichki yo'qotilishlar $d_i = d - d_e = 19,5 - 4,32 = 15,18 \text{ kJ/kg}$ ga teng ayirma bilan aniqlanadi.

Ichki yo'qotilishlarni tahlil qilish va texnik d_T hamda shaxsiy d_s yo'qotilishlarni aniqlash uchun siqish jarayoni $S = \text{const}$ chiziq bo'yicha amalga oshadigan va oralik sovutkichda bosim yo'qotilishi bo'lmagan, ikki bosqichli kompressor qurilmasini ko'rib chiqamiz. Bunday sharoitda freon-12 ning birinchi bosqichdan keyingi parametrlari: $r'_1 = 0,7 \text{ MPa}$, $i'_1 = 598,3 \text{ kJ/kg}$, $e'_1 = 5,9 \text{ kJ/kg}$; ikkinchi bosqichga kirishda $r''_2 = 0,7 \text{ MPa}$, $T''_2 = 303 \text{ K}$, $i''_2 = 588,2 \text{ kJ/kg}$, $e''_2 = 5,2 \text{ kJ/kg}$ va ikkinchi bosqichdan so'ng $r''_2 = 1,2 \text{ MPa}$, $i''_2 = 597,6 \text{ kJ/kg}$, $e''_2 = 14,6 \text{ kJ/kg}$.

Siqishga sarflangan ish:

$$l_{u0} = i''_2 - i'_1 + l'_2 - i'_2 = 598,3 - 569,4 + 597,6 - 588,2 = 38,3 \text{ kJ/kg} / \text{K}$$

Eksergiyani qurilmada ortishi:

$$\Delta i = 14,6 - (-23) = 37,6 \text{ kJ/kg} / \text{K}$$

Eksergiya yo'qotilishi:

$$d = l_{u0} - \Delta i = 0,7 \text{ kJ/kg} / \text{K}$$

Oralik sovutkichdan olinayotgan eksergiya:

$$\Delta e_{ome} = e'_2 - e'_1 = 5,9 - 5,2 = 0,7 \text{ kJ/kg} / \text{K}$$

Shunday qilib, tashqi eksergiya yo'qotilishi $d_e = 0,7 \text{ kJ/kg}$. Ideal qurilma tahlil qilinayotgani uchun, texnik eksergiya yo'qotilishlari yo'q. Shuning uchun $d_e = d_s$, haqiqiy qurilmaning ichki yo'qotilishlarini d_i ideal qurilmaning shaxsiy yo'qotilishlari d_s bilan solishtirib, bir me'yorda siqmaslik va gidravlik qarshiliklar tufayli paydo bo'layotgan umumiy texnik yo'qotilishlarni aniqlash mumkin:

$$d_T = d_i - d_e = 15,18 - 0,7 = 14,48 \text{ kJ/kg} / \text{K}.$$

11.2-misol. Freon – 13 da ishlovchi sovitish qurilmasining detanderida ishchi eltkich $r_1 = 0,098 \text{ MPa}$ bosimdan $r_2 = 0,0331 \text{ MPa}$ bosimgacha kengaymoqda. Bunda temperatura $T_1 = 0$ dan $T_2 = -20^\circ \text{S}$ gacha o'zgarmoqda. Freon – 13 ning $e-i$ diagrammasidan [55] $i_1 = 530,9 \text{ kJ/kg}$, $l_1 = 71,17 \text{ kJ/kg}$, $i_2 = 519,2 \text{ kJ/kg}$, $l_2 = 97,1 \text{ kJ/kg}$.

Detanderda bajarilgan ish $l = 530,9 - 519,2 = 11,7 \text{ kJ/kg}$.

Sovuqlik eltkichi eksergiyasining ortishi $\Delta l = l_1 - l_2 = 71,17 - 97,1 = -25,93 \text{ kJ/kg}$ teng.

Detanderdagi jarayon ideal bo'lganda ($S = \text{const}$ da kengayish) freon-13 entalpiyasi va eksergiyasi chiqishda mos holda $i_{2ad} = 504,5 \text{ kJ/kg}$, $l_{2ad} = 100,5 \text{ kJ/kg}$. U holda detanderning eksergetik quvvati:

$$N_{e0} = 530,9 - 504,5 + 100,5 - 71,17 = 55,73 \text{ kJ/kg} / \text{K}$$

Eksergiya yo'qotilishi

$$d = -71,17 + 100,5 - 26,4 = 2,93 \text{ kJ/kg}.$$

Bu erda eksergetik yo'qotilishlar ichki yo'qotilishlardan iborat va haqiqiy detander ishlaganda texnik $d_i = 14,23 + 2,93 = 17,16 \text{ kJ/kg}$ va shaxsiy $d_s = 2,93 \text{ kJ/kg}$ yo'qotilishlarga bo'linishi mumkin. Freon-13ning xususiyatlari bilan bog'liq minimal eksergiya yo'qotilishi shaxsiy yo'qotilishlardan d_s 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 erda E' va E'' - kamera kirish va undan chiqishdagi sovutuvchi eltkichning eksergiyalari; Q_0 – uzatilayotgan issiqlik; $\bar{\tau}_e$ – eksergetik temperaturafunktsiyasi.

Faraz qilaylik, sovitish uchun freon-12 ishlatilayotgan bo'lsin. Bug'latkichga kirishdagi uning parametrlari:

$T_{0,s} = 293 \text{ K}$, $i' = 529,08 \text{ kJ/kg}$, $s = 1,245 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$, $e' = 199,58 \text{ kJ/kg}$. Freonning qaynash temperaturasi 243 K , sovitish kamerasida 248 K temperatura hosil qilinmoqda.

Bug'latkichdan chiqishdagi freonning parametrlari

$$r'' = 0,1013 \text{ MPa}, T'' = 243 \text{ K}, i'' = 541,81 \text{ kJ/kg}, s'' = 1,5882 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}, e'' = 176,47 \text{ kJ/kg}.$$

1 kg freon – 12 dan olinayotgan issiqlik miqdori $Q_0 = 112,73 \text{ kJ}$.

To'liq eksergiya yo'qotilishi:

$$\sum D = (199,58 - 176,47) - 112,73 \cdot \left(\frac{293}{248} - 1 \right) = 2,65 \text{ kJ} / \text{kJ}$$

Buyo'qotilishqaynayotganfreonvasovitishkamasidagitemperaturalarfarqitufaylipaydobolayotganshaxsiy eksergetik yo'qotilishdaniborat.

11.4-misol. Temperaturat₁=1000°Cbo'lgandaQ=750 kJIssiqlikningeksergiyasivatemperaturasit₂=600°Clijarayonidagieksergetikyo'qotilishlarinianiqlang. Atrof muhit temperaturasi t₀=17°C.

Eksergiya miqdori va uning yo'qotilishlari T-S diagrammada sxematik ravishda tasvirlang.

Echish: Issiqlik eksergiyasi

$$E_{xa} = Q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_1} \right) = 750 \cdot \left(1 - \frac{290}{1273} \right) = 518 \text{ kJ}$$

Issiqlikningyuqoritemperaturalijsmdantemperaturasipastjismgaqaytmaso'tishinatijasidaeksergetikyo'qotilishlarquyidagitopiladi:

$$\begin{aligned} \Pi &= T_0 \Delta S_c = T_0 (\Delta S_1 + \Delta S_2) = T_0 \cdot \left(-\frac{Q}{T_1} + \frac{Q}{T_2} \right) = \\ &= 290 \cdot \left(-\frac{750}{1273} + \frac{750}{873} \right) = 58,8 \text{ kJ} \end{aligned}$$

T-S diagrammadagi 1-2-5-6-1 yuza t₁=1000°C (1273K) dagi issiqlikning eksergiyasini ifodalaydi.

6-7-9-8-6 yuza esa temperaturasi t₂=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 t₁=45°C li suv t₂=72°C gacha absolyut bosimi r=0,07 MPa li isituvchi bug' yordamida qizdirilmoqda. Lekin, korxonada ushbu bosimli bug' bo'lmagani uchun yuqori bosimli, ya'ni r'=0,3 MPa bug' ishlatilmoqda. Isitkichning loyiha va haqiqiy bug' bosimlari uchun termodinamik xarakteristikalarini aniqlang. Atrof muhitga issiqlikning yo'qotilishi inobatga olinmasin.

Echish: Isitkichning energetik balansi ikkala rejim uchun issiqlik yuklamani xarakterlaydi:

$$Q = \Delta H = mc_p (t_2 - t_1) = 24 \cdot 4,19 \cdot (72 - 45) = 2700 \text{ kJ/s}$$

Isituvchi bug'ning sekundli sarfi

$$D = \frac{Q}{h_{II} - h_K}$$

bu erda h_p va h_k – isituvchi bug' va kondensatlarning solishtirma entalpiyalari.

Isituvchi bug'ni quruq, to'yingan va kondensatni to'yinish temperaturasidan 20°C ga ko'proq sovutilgan deb hisoblab, quyidagilarni topamiz:

loyihalanayotgan rejimda (r=0,07 MPa)

$$D = \frac{2700}{2666 - 376} = 1,18 \text{ kJ/c}$$

haqiqiy rejimda (r'=0,3 MPa)

$$D' = \frac{2700}{2726 - 562} = 1,25 \text{ kJ/c}$$

Isitkichning eksergetik balansini tashkil etuvchilar.

isitilayotgan suv eksergiyasining o'sishi

$$\Delta Ex_b = \Delta H_b - T_0 \Delta S_b = 24 \cdot (113 - 288 \cdot 0,343) = 340 \text{ kJ/s}$$

loyiha rejimida isituvchi bug' eksergiyasining kamayishi

$$\Delta Ex_{II} = 1,18 \cdot (2290 - 288 \cdot 6,3) = 560 \text{ kJ/s}$$

haqiqiy rejimda

$$\Delta Ex'_{II} = 1,25 \cdot (2180 - 288 \cdot 5,3) = 800 \text{ } \kappa Bm$$

tegishli eksergetik yo`qotilishlar

$$II = 560 - 340 = 220 \text{ } \kappa Bm; \quad II' = 800 - 340 = 460 \text{ } \kappa Bm$$

Isitkich f.i.k.

$$\eta = \frac{340}{560} = 0,61; \quad \eta' = \frac{340}{800} = 0,43$$

ya'ni, loyiharejimidanchetgachiqilsa, isitkichningeksergetikf.i.k. tahminan 30% gakamayadi. Loyiha rejimidan chetga chiqilganda eksergetik yo`qotilishlar o`ishi quyidagiga teng:

$$\Delta II = II' - II = 460 - 220 = 240 \text{ } \kappa Bm$$

Yoqilg`ining ortiqcha sarfi

$$\Delta B = \frac{\Delta II}{Q_H^P}$$

bu erda $Q_H^P = 29300 \text{ kJ}$ - shartli yoqilg`ining yonish issiqligi.

Shartli yoqilg`ining bir sutkadagi ortiqcha sarfi:

$$\Delta B = \frac{240 \cdot 3600 \cdot 24}{29300} \approx 700 \text{ } \kappa z$$

○

I L O V A L A R

I 1. 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 konferenstiyasida 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 birlik nazarda tutilgan:

- Yassi burchak - radian (rad);
- Fazoviy burchak - steradian (sr);

Kattaliklar orasidagi bog'liqlikni ifodalovchi hosilaviy birliklar o'lchamlari fizika tenglamalari yordamida aniqlanadi. Juyida keltirilgan I-1 jadvalda Xalqaro birliklar sistemasining asosiy, qo'shimcha va ko'p ishlatiladigan hosilaviy, hamda boshqa sistemadagi birliklarning SI birliklariga o'tkazish koeffitsientlari keltirilgan.

Yuqorida keltirilgan nisbatlardan tashqari quyidagi birliklar tez-tez uchraydi: uzunlik – 1 mkm = 10^{-6}

m; Angstrom $\text{\AA} = 10^{-10}\text{m} = 10^{-8}\text{sm} = 0,1\text{ Nm}$; massa – 1 t = 1000 kg, 1 stentner = 100 kg; temperatura – Farengeyt gradusi $1^{\circ}\text{F} = [5/9(t-32)+273,15]\text{K}$; $t^{\circ}\text{C} = (t+273,15)\text{K}$; chastota 1 Gst = 1 s^{-1} ; 1 ayl/s = 1 Gst.

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 koeffitsienti
1.	Uzunlik	SI, MKGSS SGS	Metr (m) Santimetr (sm)	- 10^{-2}

2.	Massa	SI	Kilogramm (kg)	-
		MKGSS	Massaning texnik birligi (kgk·s ² /m)	9,81
		SGS	Gramm (g)	10 ⁻³
3.	Kuch	SI	Nyuton (N)	-
		MKGSS	Kilogramm-kuch (kgk)	9,81
		SGS	Dina (din)	10 ⁻⁵
4.	Bosim	SI	Paskal (Pa)	-
			Nyuton kvadrat metrğa (N/m ²)	-
			Kilogramm kuch kvadrat metrğa (kgk/m ²)	-
		MKGSS	Dina kvadrat santimetrğa (din/sm ²)	9,81
			Bar (bar)	10 ⁻¹
			texnik atmosfera (atm., kgk/cm ²)	10 ⁻⁵
		SGS	Millimetr suv ustuni (mm.suv.ust.)	9,81·10 ⁴
			Millimetr simob ustuni (mm.sim.ust.)	9,81
			Sistemadan tashqari birlik	133,3

5.	Dinamik qovushoqlik	SI	Paskal – sekund (Pa·s)	-
		MKGSS	Nyuton – sekund kvadrat metrğa (N·s/m ²)	-
			Kilogramm-kuch-sekund kvadrat metrğa (kgk·s/m ²)	9,81
			Dina-sekund kvadrat metrğa (di- na·s/m ²)	10 ⁻¹
		SGS	Puaz (P)	10 ⁻¹
			Santipuaz (sP)	10 ⁻³
6.	Kinematik qovushoqlik	SI	Kvadrat metr sekundğa (m ² /s)	-
		MKGSS	Kvadrat metr soatğa (m ² /soat)	-
		SGS	Stoks (St)	3600
			Santistoks (sSt)	10 ⁻⁴ 10 ⁻⁶
7.	Sirti taranglik	SI	Nyuton metrğa (N/m)	-
			Joul kvadrat metrğa (J/m ²)	-
			Dina santimetrğa (din/sm)	-
		SGS	Erg kvadrat santimetrğa (erg/sm ²)	10 ⁻³ 10 ⁻³
8.	Issiqlik sig`im	SI	Joul kilogramm-gradusga (J/kg·grad)	-
		Sistemadan tashqari birlik	Kilokaloriya kilogramm-gradusga [kkal/(kg·grad)]	4190
9.	Issiqlik o`tkazuvchanlik	SI	Joul-metr-soat-gradusga [J/(m·soat·grad)]	-
			Vatt metr-gradusga [Wt/(m·grad)]	-
			Kilokaloriya metr-soat-gradusga [kkal/(m·soat·grad)]	1,163
		Sistemadan tashqari birlik		
10.	Ish energiya	SI	Joul (J)	-

		MKGSS	Kilogramm-kuch-metr (kgk·m)	9,81
		SGS	Erg (erg)	10^{-7}
		Sistemadan tashqari birlik	Kilovatt-soat (kVt·soat)	$3,6 \cdot 10^{-6}$
			ot kuch/soat(o.k./soat)	$2,65 \cdot 10^{-6}$
11.	Quvvat	SI	Vatt (Vt)	-
		MKGSS	Kilogramm-kuch-metr sekundga (kgk·m/s)	9,81
		SGS	Erg sekundga (erg/s)	10^{-7}
12.	Issiqlik miqdori	SI	Joul (J)	-
		Sistemadan tashqari birlik	Kilokaloriya (kkal)	4190
13.	Issiqlik berish, o'tkazish	SI	Vatt metr kvadrat-gradusga [Vt/(m ² ·grad)]	-
		Sistemadan tashqari birlik	Kilokaloriya kvadrat metr-soat-gradusga [kkal/(m ² ·soat·grad)]	1,163

A D A B I Y O T L A R

1. Kasatkin A.G. Osnovnie prostessi i apparati ximicheskoy texnologii. - M.: Ximiya, 1973. – 752 s.
2. Planovskiy A.N., Nikolaev P.I. Prostessi i apparati ximicheskoy i nefteximicheskoy texnologii. - M.: Ximiya, 1987. – 496 s.
3. Gelperin N.I. Osnovnie prostessi apparati ximicheskoy texnologii. - M.:Ximiya, 1995. - t. 1-2. –768s.
4. Stabnikov V.N., Lisyanskiy V.M., Popov V.D. Prostessi i apparati piuevix proizvodstv. - M.: Agropromizdat, 1985. – 503 s.
5. Yusupbekov N.R, Nurmuhamedov H.S., Zokirov S.G., Ismatullaev P.R., Mannonov U.V. Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarining asosiy jarayon va qurilmalarini hisoblash va loyihalash. – T.: Jahon, 2000. – 231 b.
6. Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov X.S., Ismatullaev P.R. Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarning jarayon va qurilmalari fanidan hisoblar va misollar. - Toshkent: Nisim, 1999. – 351 s.
7. Rizaev N.U., Yusupbekov N.R., Yusipov M.M. Osnovi optimizastii ekstrakstionnoy i ionoobmennoy texnologii. – Tashkent, Ukituvchi, 1975. – 247 s.
8. Levsh I.P., Ubaydullaev A.K. Tarelchatie absorberi i skrubberi s psevdoojijennim slo-em oroshaemoy nasadki. - Tashkent, Uzbekistan, 1981. - 236 s.
9. Salimov Z., Tuychiev I.S. Ximiyaviy texnologiya prostesslari va apparatlari.- Toshkent: oqituvchi, 1987. – 408 b.
10. Brodyanskiy V.M., Fratsher V.F., Mixalek K. Eksergeticheskiy metod i ego primeneniye. – M.: Energoatomizdat, 1988. – 288 s.
11. Shargut Ya., Petela R. Eksergiya. – M.: Energiya, 1968. – 279 s.
12. Sokolov R.S. Ximicheskaya texnologiya. – M.: Vldos, 2000. – t.1-2.– 814 s.
13. Nurmuxamedov X.S. Nauchnie osnovi sozdaniya prostessov i apparatov dlya sushki i granu-lirovaniya zernisto-voloknistix materialov. – Diss.... dokt. tex. nauk, Tashkent, TashXTI, 1993. – 440 s.
14. Skoblo A.I., Molokanov Yu.K., Vladimirov A.I., Il'elkunov V.A. Prostessi i apparati nefte-gazopererabotki i nefteximii. – M.: Nedra, 2000. – 677 s.
15. Brodyanskiy V. M. , Fratter V.F., Mixalek K. Eksergeticheskiy metod i ego prilozheniya. – M.: Energoatomizdat, 1988. – 288 s.
16. Ditnerskiy Yu. I. Prostessi i apparati ximicheskoy texnologii. – M.: Ximiya, 1995. – t. 1-2. – 768 s.

17. Romankov P.G., Frolov V.F., Flisyuk O.M., Kurochkina M. I. Metodi rascheta prostessov i apparatov ximicheskoy tekhnologii. – S-Pb.: Ximiya, 1993. – 496 s.
18. Abrosimov A.A. Ekologicheskie aspekty proizvodstva i primeneniya nefteproduktov. – M.: Bars, 1999. – 732 s.
19. Mashini i apparaty ximicheskix proizvodstv: Ucheb. posobie dlya vuzov / Domanskiy I.V., Isakov V.P., Ostrovskiy G.M. i dr.; Pod obshch. red. V.N. Sokolova – 2-e izd., pererab. i dop. – S.-Pb.: Politehnika, 1992. – 327 s.
20. Nikolaev V.V., Busigina N.V., Busigin I.G. Osnovnye prostessi fizicheskoy i fiziko-ximicheskoy pererabotki gaza. – M.: OAO «Nedra», 1998. – 184 s.
21. Kavestkiy G.D., Vasilev B.V. Prostessi i apparaty pishchevoy tekhnologii. – M.: Kolos, 1999. – 551 s.
22. Vladimirov A.I., Il'elkunov V.A., Kruglov S.A. Osnovnye prostessi i apparaty nefte-gazopererabotki (kratkiy spravochnik). – M.: Neft i gaz, 1996. – 155 s.
23. Ponikarov I.I., Pereligin O.A., Doronin V.N., Gaynullin M.G. Mashini i apparaty ximicheskix proizvodstv:–M.: Mashinostroyeniye, 1989. – 368 s.
24. Idelchik I.E. Aerogidrodinamika tekhnologicheskix apparatov.–M.: Mashinostroyeniye, 1983. – 351 s.
25. Vargaftik N.B. Teplofizicheskiye svoystva veshchestv. –M.-L.: Gosenergoizdat, 1956. –368 s.
26. Guxman A.A. Vvedeniye v teoriyu podobiya. – M.: Vysshaya shkola, 1973. – 295 s.
27. Ginzburg A.S., Gromov M.A. Teplofizicheskiye svoystva kartofelya, ovoshey i plodov. – M.: Agropromizdat, 1987. – 272 s.
28. Lamminskiy A.A., Tolchinskiy A.R. Osnovy konstruirovaniya i rascheta ximicheskoy apparatury. – L.: Mashinostroyeniye, 1970. – 752 s.
29. Sokolov V.N., Domanskiy I.V. Gazozidkostnyye reaktory. – L.: Mashinostroyeniye, 1976. – 214 s.
30. Buevich Yu.A., Minaev G.A. Struynoye psevdoojijeniye. – M.: Ximiya, 1984. – 136 s.
31. Baskakov A.P., Frolov V.F., Sajin B.S. i dr. Raschety apparatov kipuyushchego sloya. Spravochnik. – M.: Ximiya, 1986. – 352 s.
32. Kafarov V.V. Metody kibernetiki v khimii i ximicheskoy tekhnologii –M.:Ximiya, 1971. –496 s.
33. Zakgeym A.Yu. Vvedeniye v modelirovaniye khimiko-tekhnologicheskix prostessov. – M.: Ximiya, 1982. – 288 s.
34. Loystyanskiy L.G. Mexanika zhidkosti i gaza. – M.: Nauka, 1978. – 736 s.
35. Jujikov V.A. Fil'trovaniye. – M.: Ximiya, 1984. – 336 s.
36. Psevdoojijeniye /pod redaktsiyei Aynshteyna A.G., Baskakova A.P. –M.:Ximiya, 1991. –400 s.
37. Cherkasskiy V.M. Nasosy, ventilyatory, kompressory. –M.: Energoatomizdat, 1984. –416 s.
38. Roev G.A. Ochistnyye sooruzheniya. Ohrana okruzhayushchey sredy: Ucheb. dlya vuzov. – M.: Nedra, 1993. – 281 s.
39. Fil'try dlya zhidkostey. Katalog NPO «NIIximnash». Fil'try periodicheskogo deystviya. – M.: StINTIximnash, 1992. – ch.2. – kn.1.- 44 s.
40. Elektrogidrotory. Trexfaznyye separatory. Elektrozdeliteli. Katalog VNIIneftemash. – M.: StINTIximnash, 1992. – 7 s.
41. Leytes I.L., Sosna M.X., Semenov V.P. Teoriya i praktika ximicheskoy energotekhnologii. – M.: Ximiya, 1988. – 280 s.
42. Straus V. Promyshlennaya ochistka gazov: Per. s angl. – M.: Ximiya, 1981. – 616 s.
43. Stentrobejnyye gorizontallyye i vertikalnyye ximicheskkiye nasosy s protochnoy chastyu iz metallay: Katalog. – M.: StINTIximnash, 1981. – 92 s.
44. Ostrovskiy G.M. Pnevmaticheskyy transport sipuchix materialov v ximicheskoy promyshlennosti. – L.: Ximiya, 1984. – 116 s.
45. Strenk F. Peremeshivaniye i apparaty s meshalkami.–L.: Ximiya, 1975.–384 s.
46. Kutateladze S.S. Osnovy teorii teploobmena. – M.: Atomizdat, 1979. – 416 s.
47. Kalinin E.K., Dreyster G.A., Yarxo S.A. Intensifikatsiya teploobmena v kanalax. – M.: Mashinostroyeniye, 1981. – 205 s.
48. Dzyubenko B.V., Dreyster G.A., Ashmantas L.-V.A. Nestatsionarnyy teploobmen v puchkax vitix trub. – M.: Mashinostroyeniye, - 1988. – 240 s.
49. Il'ukin V.K., Xalatov A.A. Teploobmen, massoobmen i gidrodinamika zakruchennix potokov v osesimmetrichnix kanalax. – M.: Mashinostroyeniye, 1982.– 200 s.
50. Yudaev B.N. Teploperedacha. – M.: Vysshaya shkola, 1981. – 319 s.
51. Koshkin V.K., Kalinin E.K. Teploobmennyye apparaty i teplonositeli. – M.: Mashinostroyeniye, 1971. – 200 s.

52. Kudinov V.A., Kartashov E.M. *Texnicheskaya termodinamika*. – M.: Visshaya shkola, 2000. – 261 s.
53. Bajan P.I., Kanevest G.E., Seliverstov V.M. *Spravochnik po teploobmennim apparatam*. – M.: Mashinostroyeniye, 1989. – 366 s.
54. Taubman E.I. *Viparivaniye*. – M.: Khimiya, 1982. – 328 s.
55. *Eksergeticheskie raschety texnicheskikh sistem: Spravochnoe posobie* // Brodyanskiy V.M., Verxivker G.P. i drugie: - Kiev: Naukova Dumka, 1991. – 360 s.
56. Chechetkin A.V. *Visokotemperaturnye teplonositeli*. – M.: Energiya, 1971. – 496 s.
57. Zokirov S.G., Karimov K.F. *Intensifikatsiya teploobmena v kanalax pri techenii vyazkikh jidkostey* // *QzR FA ma'ruzalari*, 1997. - №7. - S. 32-35
58. Zokirov S.G., Karimov K.F., Sattarov T. *Primeneniye dvuxmernoy sheroxovatosti dlya uvelicheniya teplootdachi vyazkoy jidkosti* // *Trudi II Rossiyskoy Natsionalnoy konferentsii po teploobmenu. Intensifikatsiya teploobmena*. – M.: MEI, 1998. – t.8. - S.114-117.
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. Karimov K.F., Umarov U.E., Aliev B.A. *Vibor optimalnogo teploobmennogo apparata po eksergeticheskomu k.p.d.* // *Texnikaviy, iqtisodiy va fundamental fanlar sohasining muhim masalalari*. - Tashkent, 2000. - №3 - S. 91-93
61. Chechetkin A.V., Zhanemovest N.A. *Teplotexnika*. – M.: Visshaya shkola, 1986. – 344 s.
62. Vladimirov A.I., Kosmin V.D. *Gidravlicheskiy raschet teploobmennix apparatov*. – M.: Izd. GANG im. I.M. Gubkina, 1997. – 58 s.
63. Golovachev V.L., Margolin G.A., Pugach V.V. *Spravochnik-katalog. Promishlennaya kojuxotrubchataya teploobmennaya apparatura*. – M.: Izd. INTEK LTD, 1992. – 265 s.
64. *Kojuxotrubchatie teploobmennye apparaty obshchego i spetsialnogo naznacheniya. Katalog VNIIneftemash*. – M.: StINTIkhimneftemash, 1991. – 106 s.
65. *Osnovi rascheta i proektirovaniya teploobmennikov vozdušnogo oxlazhdeniya: Spravochnik* / A.N. Bessonniy, G.A. Dreytser, V.B. Kntim i dr.; Pod obsh. red. V.B. Kntima i A.N. Bessonno. – SPb.: Nedra, 1996. – 512 s.
66. *Plastinchatie teploobmennye apparaty. Katalog UkrNIKhimmash*. – M.: StINTIkhimneftemash, 1990. – 51 s.
67. *Stalnie spirallnye teploobmenniki. Katalog UkrNIKhimmash*. – M.: StINTIkhimneftemash, 1976. – 22 s.
68. *Teploobmennye apparaty «truba v trube». Katalog VNIIneftemash*. – M.: StINTIkhimneftemash, 1992. – 23 s.
69. *Trubchatie pechi. Katalog AOOT «VNIIneftemash»*. – M.: StINTIkhimneftemash, 1998. – 27 s.
70. Zaychik St.R. *Sbornik zadach po raschetam oborudovaniya vinodelcheskogo proizvodstva*. – M.: Legkaya i pishhevaya promishlennost, 1983. - 200 s.
71. Taubman E.I. *Viparivaniye*. – M.: Khimiya, 1982. – 328 s.
72. *Viparnye apparaty vertikalnye, trubchatie obshchego naznacheniya: Katalog UkrNIKhimmasha*. – M.: StINTIkhimneftemash, 1979. – 38 s.
73. Planovskiy A.N., Mushtaev V.I., Ulyanov V.M. *Sushka dispersnykh materialov v khimicheskoy promishlennosti* – M.: Khimiya, 1979. – 287 s.
74. Beskov V.S., Safronov V.S. *Obshchaya khimicheskaya tekhnologiya i osnovy promishlennoy ekologii*. – M.: Khimiya, 1999. – 470 s.
75. Akselrud G.A., Lisyanskiy V.M. *Ekstragirovaniye. Sistema «tverdoe telo – jidkost»*. - L.: Khimiya 1974. – 254 s.
76. Akselrud G.A., Molchanov A.D. *Rastvoreniye tverdykh veshchestv*. – M.: Khimiya, 1977. - 272 s.
77. Ponomarenko M.G., Tkachenko K.P., Kurlyand Yu.A. *Kristallizatsiya v psevdoojijennom sloe* – Kiev : Tekhnika, 1972. – 132 s.
78. Gelperin N.I., Nosov D.A. *Osnovi tekhniki fraktsionnoy kristallizatsii*. – M.: Khimiya, 1986. – 304 s.
79. Ditnerskiy Yu.I. *Baromembrannye protsessy. Teoriya i raschet*. – M.: Khimiya 1986. – 272 s.
80. Kafarov V.V. *Osnovy massoperedachi*. – M.: Visshaya shkola, 1979. – 439 s.
81. Petlyuk F.B., Serafimov L.A. *Mnogokomponentnaya rektifikatsiya*. – M.: Khimiya 1983. – 304 s.
82. Shervud T., Pigford R.L., Uilki Ch. *Massoperedacha*. – M.: Khimiya 1982. – 696 s.
83. *Kolonne apparaty. Katalog VNIIneftemash*. – M.: StINTIkhimneftemash, 1992. – 26 s.

84. Sajin B.S., Sajin V.B. Nauchnie osnovi texniki sushki. – M.: Nauka, 1997. – 448 s.
85. Sushilnie apparati i ustanovki. Katalog NIIximnash. – M.: StINTIximnash, 1992. – 80 s.
86. Aleksandrov I.A. Massoperedacha pri rektifikastii i absorbstii mnogokomponentnix smesey. – L.: Ximiya, 1975. – 320 s.
87. Kelstev N.V. Osnovi adsorbstionnoy texnologii. – M.: Ximiya, 1984. – 591 s.
88. Ramm V.M. Absorbstiya gazov. – M.: Ximiya, 1976. – 656 s.
89. Treybal R. Jidkostnaya ekstrakstiya. – M.: Ximiya, 1966. – 742 s.
90. Tumenov S.N., Korbatov A.B., Kosoy V.D. Obrabotka myasnix produktov davleniem. – M.: Agropromizdat, 1991. – 271 s.
91. Rogov I.A., Zabashta A.G., Ibragimov R.M., Zabashta L.A. Proizvodstvo myasnix polufabrikatov i bistrozamorojennix blyud. – M.: Kolos, 1998. – 335 s.
92. Sapronov A.R. Texnologiya saxarnogo proizvodstva. – M.: Kolos, 1999. – 495 s.
93. Tixomirov V.G. Texnologiya piva i bezalkogolnix proizvodstv. – M.: Kolos, 1998. – 448 s.
94. Butkovskiy V.A., Ptushkin G.E. Texnologicheske oborudovanie mukomolnix proizvodstv. – M.: Xleboprodukti, 1999. – 202 s.
95. Nikulinko T.T., Lavrinenko Yu.I., Yastina G.M. Proektirovanie predpriyatiy obshchestvennogo pritaniiya. – M.: Kolos, 2000. – 212 s.
96. Sholst E.P., Ponamarev V.F. Texnologiya pererabotki vinograda. – M.: Agropromizdat, 1990. – 447 s.
97. Medvedev G.M. Texnologiya makaronnogo proizvodstva. – M.: Kolos, 1998. – 272 s.
98. Bredixin S.A., Bredixina O.V., Kosmodemyanskaya Yu.V., Nikiforov L.L. Texnologicheskoe oborudovanie myasokombinatov. – M.: Kolos, 1997. – 392 s.
99. Arutyunyan N.S., Yanova L.I., Arisheva E.A. i dr. Texnologiya pererabotki jirov. – L.– M.: Agropromizdat, 1985. – 368 s.
100. Rudobashta S.P. Massoperenos v sisteme s tverdoy fazoy. – M.: Ximiya, 1980. – 248 s.
101. Likov M.V. Sushka v ximicheskoy promishlennosti. – M.: Ximiya, 1976. – 432 s.
102. Mushtaev V.I. i dr. Sushka v usloviyax pnevmotransporta. – M.: Ximiya, 1984. – 230 s.
103. Klassen P.V., Grishaev I.G. Osnovi texniki granulirovaniya. – M.: Ximiya 1982. – 272 s.
104. Klassen P.V., Grishaev I.G. Osnovnie prostessi texnologii mineralnix udobreniy. – M.: Ximiya 1990. – 304 s.
105. Generalov M.B., Klassen P.V., Stepanova A.R., Shomin P.V. Raschet oborudovaniya dlya granulirovaniya mineralnix udobreniy. – M.: Mashinostroenie 1984. – 192 s.
106. Klassen P.V., Grishaev I.G., Shomin I.P. Granulirovanie. – M.: Ximiya, 1991. – 240 s.
107. Kazakov A.I., Klassen P.V. // Ximicheskaya promishlennost, 1986. - №6 - 357 s.
108. Guz M.A. Razrabotka metoda rascheta visokoskorostnogo granulyatora okativaniya dlya melkodispersnix materialov; Diss... kand.tex.nauk. – M.: MIXM 1982. – 206 s.
109. Kazakov A.I., Klassen P.V., Kann S.V. // Ximicheskaya promishlennost, 1989. - №2. – 220-224 s.
110. A.s. № 1724349, MKI⁴ F26B 1/04. Ustroystvo dlya granulyastii, izgotovleniya granul iz vyazkogo materiala. // Nurmuxamedov X.S., Agzamov X.K., Klassen P.V. – 4 s. – il. 3.
111. A.s. №1782514, MKI⁴ V02V 3/21. Sposob prigotovleniya korma iz maslosoderjajuego xlopkovogo shrota // Nurmuxamedov X.S., Agzamov X.K., Kazakov A.I. – 5 s.
112. Patent RUz №1966. MKI⁵ V02V 3/01. Sposob shelusheniya xlopkovix semyan //Yusupbekov N.R., Nurmuxamedov X.S., Nigmadjonov S.K., Zokirov S.G., T'ychiev I.S., Zufarov R.N. – 4 s.
113. Patent RUz №2062. MKI⁵F26V 3/084. Sposob sushki xlopkovix semyan v stirkulyastionnom psevdoojijennom sloe // Yusupbekov N.R., Nurmuxamedov X.S., Nigmadjanov S.K., Zokirov S.G., Sagitov A.M., Xayridinov X.A., Klassen P.V. – 5 s.
114. Patent RUz №2466. MKI⁵ A01S 1/00. Klassifikator xlopkovoy rushanki // Yusupbekov N.R., Nurmuxamedov X.S., Nigmadjanov S.K., Zokirov S.G., Zufarov R.N., Xayridinov X.A. – 5 s. - il 2.
115. Patent RUz №2493. MKI⁵ A23L 1/00. Sposob prigotovleniya myasa // Yusupbekov N.R., Nurmuxamedov X.S., Xakkulova N.K., Sagitov A.M. – 3 s.
116. Patent RUz №2539. MKI⁵ V07V 4/00. Sposob klassifikastii xlopkovoy rushanki // Yusupbekov N.R., Nurmuxamedov X.S., Nigmadjanov S.K., T'ychiev I.S., Zakirova N.S. – 4 s.
117. Patent RUz №2593. MKI⁵ S11V 1/04. Sposob podgotovki xlopkovoy myatki k pressovaniyu // Yusupbekov N.R., Nurmuxamedov X.S., Abdullaeva V.T., Sagitov A.M., Xakkulova N.K. – 3 s.

118. Patent RUz №2905. MKI⁵ A23N 15/00. Apparat «vzrивного» deystviya dlya ochistki ovoцey i maslosoderjashix materialov // Yusupbekov N.R., Nurmuxamedov X.S., Nigmadjanov S.K., Tuychiev I.S., Abdullaev A.Sh., Alieva K.K. i dr. – 4 s. – il. 3.
119. Patent RUz №3472. MKI⁵ A23L 1/064. Sposob polucheniya ovoцного i fruktoвого pyure // Yusupbekov N.R., Nurmuxamedov X.S., T'ychiev I.S., Abdullaeva V.T., Zufarov R.N., Abdullaev A.Sh. – 3 s.
120. Katalimov A.V., Lyubartovich V.A. Dozirovanie sipuchix i vyazkix materialov. – L.: Ximiya, 1990. – 240 s.
121. Ob'emnie pitateli i bunkera. Katalog UkrNIIximnash. – M.: StINTIximneftemash, 1991. – 40 s.
122. Sidenko P.M. Izmelchenie v ximicheskoy promishlennosti. – M.: Ximiya, 1977. – 368 s.
123. Orexov I.I., Obrezkov V.D. Xolod v ximicheskoy texnologii. – M.: LGU, 1980. – 256.
124. Grigorev V.A., Pavlov Yu.M., Ametistov E.V. Kipenie kriogennix jidkostey. – M.: Energiya, 1977. – 288 s.
125. Tong L. Teploperedacha pri kipenii i dvuxfaznoe techenie. – M.: Mir, 1969. – 344 s.
126. Fastovskiy V.G., Petrovskiy Yu.V., Rovinskiy A.E. Kriogennaya texnika. – M.: Energiya, 1974. – 495 s.
127. Kursovoe proektirovanie po prostessam i apparatam ximicheskoy texnologii / Pod red. G.S.Tarasovoy. Tashkent, TashPI, 1986. – 38 s.
128. Diplomnoe i kursovoe proektirovanie po prostessam i apparatam ximicheskoy texnologii // Pod red. Yu.I.Ditnerskogo. – M.: Ximiya, 1983. – 272 s.
129. Spravochnik ximika. – M.-L.: Ximiya, 1966. – t.3. – 544 s.
130. Pavlov K.F., Romankov P.G., Noskov A.A. Primeri i zadachi po prostessam i apparatam ximicheskoy texnologii. – M.: Ximiya, 1981. – 576 s.
131. Pinchuk L.S., Struk V.A., Mishkin N.K., Sviridenok A.I. Materialovedenie i konstruktsionnie materialy. – Minsk, Visheyshaya shkola, 1989. – 461 s.
132. Chirkin V.S. Teploprovodnost promishlennix materialov. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 515 s.
133. Yusupbekov N.R., Babayanst A.V., Lubenstov V.F. Upravlenie prostessami fermentastii. – Tashkent: Fan, 1986. – 164 s.

**Yusupbekov Nodirbek Rustambekovich
Nurmuhammedov Habibulla Sa'dullayevich
Zokirov Sanat Gapurovich**

O'zbek tilida

Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalari

(D a r s l i k)

Badiiy muharrir:	K.A. Axmerov
Texnik muharrir:	M.M. Yusipov
Musahhih:	M.R. Xaydarova
Sh.N. Nuritdinov	
Rasmlar muharrirlari:	Sh.Sh. Alieva
	R.J. Shaxabidinov

Bosishga ruxsat etildi - 05.01.2003 yil.
Bosma tabo'i 55,64. Adadi 1000 nusxa.
Buyurtma № ____.
“*oqituvchi*” nashriyotida bosildi.
Toshkent sh., Navoiy k'chasi, 28.

*coagulatio (лотинча) – ивиб йириклашиши ва og`ирлашиши.