

The background of the cover features a complex, three-dimensional molecular structure. It consists of numerous translucent, light blue spheres of varying sizes, which represent atoms, connected by thin, translucent blue rods representing chemical bonds. The structure is highly branched and symmetrical, resembling a large, intricate crystal or a complex organic molecule. The overall color palette is a range of blues, from light cyan to deep navy, creating a scientific and technological atmosphere.

M.M. NISHONOVA

**KIMYOVIY TEXNOLOGIYANING
JARAYONLARI VA QURILMALARI**

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

FARG'ONA POLITEKNIKA INSTITUTI

M.M. NISHONOVA

KIMYOVIY TEXNOLOGIYANING JARAYONLARI VA QURILMALARI

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan 5311000 – Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni
avtomatlashtirish va boshqarish ta'lim yo'nalishida tahsil
olayotgan talabalar uchun o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etilgan*

TOSHKENT – 2020

UO‘K: 66.02(075.8)

KBK: 35.11я73

H 69

H 69 M.M.Nishonova. Kimyoviy texnologiyaning jarayonlari va qurilmalari. –T.: «Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи», 2020, 192 bet.

ISBN 978-9943-6727-2-7

Mexanika, gidromexanika, issiqlik va modda almashinish jarayonlarining nazariy va amaliy tomonlari, texnologik jarayonlarni zamonaviy usullar bilan tezlatish va muqobil boshqarishning yo‘llari ham ko‘rsatilgan.

UO‘K: 66.02(075.8)

KBK: 35.11я73

Taqrizchilar:

Q.Axunov – Farg‘ona politexnika instituti dotsenti, texnika fanlari nomzodi;

O.X.Qo‘ldashev – TATU FF “Axborot xavfsizligi” kafedrası mudiri, t.f.n dotsent.

ISBN 978-9943-6727-2-7

KIRISH

Kimyo sanoati korxonalarida turli texnologik jarayonlar amalga oshiriladi. Bu jarayonlar davomida xomashyo va materiallarning ichki strukturasi, tarkibi, agregat holatlari o'zgaradi. Kimyoviy texnologik jarayonlar kimyoviy reaksiyalardan tashqari turli fizik-kimyoviy jarayonlardan iborat. Bunday jarayonlarga quyidagilar kiradi: suyuqlik va qattiq materiallarni uzatish, qattiq moddalarni maydalash va saralash, gazlarni siqish hamda uzatish, moddalarni isitish va sovitish, suyuqliklarni aralashtirish, har xil jinsli aralashmalarni ajratish, eritmalarni bug'latish, ho'l materiallarni quritish va boshqalar. Demak, turli kimyoviy materiallar va mahsulotlar (kislotalar, ishqorlar, tuzlar, mineral o'g'itlar, lak-buyoq, polimer va sintetik materiallar) ishlab chiqarish texnologiyasi umumiy qonuniyatlar bilan ifodalangan bir tipdagi fizik va fizik-kimyoviy jarayonlardan iborat bo'ladi. Bu texnologik jarayonlar turli ishlab chiqarishlarda ishlash prinsiplari bir xil bo'lgan mashina va qurilmalarda olib boriladi.

Kimyo texnologiyasining turli tarmoqlari uchun umumiy bo'lgan jarayon va qurilmalar *asosiy jarayonlar va qurilmalar* deb yuritiladi. Masalan, suyuqlik aralashmalarini ajratishda keng ishlatiladigan haydash jarayonini ko'ramiz. Haydash jarayoni kislorod ishlab chiqarishda suyuq havoni ajratish, nitrat kislota ishlab chiqarishda suv va nitrat kislota ajratish, sintetik kauchuk ishlab chiqarishda murakkab organik mahsulotlarni ajratish va boshqa bir qator ishlab chiqarishda keng ishlatiladi. Asosiy qurilmalar qatoriga, masalan, tarelkali va nasadkali kolonnalar kiradi. Bunday kolonnalar yoki qurilmalar haydash (suyuq aralashmalarni issiqlik ta'sirida ajratish), absorbsiyalash (gaz va bug' aralashmalaridan biror komponentni suyuqlikka yuttirish), ekstraksiyalash (suyuq aralashmalarni erituvchi yordamida ajratish) kabi jarayonlarni amalga oshirishda ishlatiladi.

Kimyo sanoatining ko'pchilik tarmoqlarida ishlatiladigan nasos va kompressorlar, filtr va sentrifugalar, siklon va scrubberlar, issiqlik almashtirgich va quritkichlar va asosiy qurilmalar jumlasiga kiradi. «Jarayon va qurilmalar» kursida asosiy jarayonlarning nazariyasi, ushbu jarayonlar amalga oshiriladigan mashina va qurilmalarning tuzilish prinsiplari va ularni hisoblash usullari o'rganiladi. Asosiy jarayonlarning qonuniyatlarini o'rganish va qurilmalarni hisoblash usullarini tuzishda fizika, kimyo, fizik-kimyo, termodinamika, iqtisodiyot kabi fanlarning fundamental qonunlari asos qilib olinadi.

«Jarayon va qurilmalar» kursi kimyo sanoatining turli tarmoqlarida ishlatiladigan va tashqi ko'rinishdan har xil bo'lgan jarayonlar va qurilmalarning o'xshashliklarini aniqlashga asoslanadi. Zamonaviy katta masshtabdagi ishlab chiqarish jarayonlarini loyihalashda ham foydalaniladi o'zlashtirilishi kerak bo'lgan jarayon avval laboratoriya sharoitida, kichik o'lchamdagi qurilmalarda (modellarda) o'rganiladi. So'ngra olingan tadqiqot natijalari katta o'lchamdagi sanoat qurilmalariga ko'chiriladi. Shunday qilib, kichik sistemalarda olingan natijalardan katta sistemalarda foydalanish qonuniyatlari **modellash** deb yuritiladi. Bu fan asosida tegishli jarayonlarni hisoblash va tahlil qilish, ularning optimal parametrlarini topish, kerakli qurilmalarni loyihalash va ularni hisoblash mumkin. Ushbu kurs mashina va qurilmalarni ratsional ishlatish haqida ma'lumot beradi hamda ularning quvvatini oshirish usullarini o'rgatadi.

I BOB. ASOSIY KIMYOVIY JARAYONLARNING XOSSALARI

1.1. Asosiy jarayonlarning turlari

Kimyo sanoatida o'rganiladigan asosiy jarayonlar 5 ta guruhga bo'linadi:

1. Gidromexanik jarayonlar.
2. Issiqlik jarayonlari.
3. Moddalar almashinuvi jarayonlari.
4. Kimyoviy jarayonlar.
5. Mexanik jarayonlar.

1. Gidromexanik jarayonlarda suyuqlik va gazlarning harakati o'rganiladi. Jarayonning tezligi gidromexanika qonunlari bilan aniqlanadi. Suyuqliklarni bir joydan ikkinchi joyga uzatish, gazlarni siqish va uzatish, turli jinsli gaz va suyuqlik aralashmalarini ajratish, suyuqliklarni aralashtirish gidromexanik jarayonlarga kiradi.

2. Issiqlik jarayonlari haroratlar farqi mavjud bo'lganda bir (harorati yuqori) jismdan ikkinchi (harorati past) jismga issiqlikning o'tishidir. Jarayonning tezligi issiqlik uzatish qonunlari bilan ifodalanadi. Bu guruhga isitish, sovitish, bug'latish, kondensatsiyalash va sun'iy sovuq hosil qilish jarayonlari kiradi. Issiqlik jarayonlarining harakatiga ham bog'liq.

3. Moddalar almashinuvi jarayonlari bir yoki bir necha komponentlarning bir fazadan, fazalarni ajratuvchi yuza orqali ikkinchi fazaga o'tishidir. Komponentlar bir fazadan ikkinchi fazaga molekular va konvektiv diffuziyalar yordamida o'tadi. Shu sababli, bu jarayonlar diffuzion jarayonlar ham deyiladi. Jarayonlarning tezligi fazalarning gidrodinamik harakatiga bog'liq bo'lib, moddalar almashinuv qonuniyatlari bilan ifodalanadi. Bu guruhga absorbsion, adsorbsion, ekstraksiya, suyuqliklarni haydash, quritish va kristallizatsiya jarayonlari kiradi.

4. Kimyoviy jarayonlar - moddalarning o'zaro ta'siri natijasida yangi birikmalar hosil bo'lishidir. Kimyoviy reaksiya vaqtida,

odatda, issiqlik va moddalar almashinuvi jarayonlari ham sodir bo'ladi. Bu guruhdagi jarayonlarning tezligi kimyoviy qonuniyatlar bilan ifodalanadi. Reaksiyaning tezligi, ayniqsa, sanoat miqyosida, moddalarning gidromexanik harakatiga ham bog'liq bo'ladi.

5. Qattiq moddalarni maydalash, saralash, uzatish va aralash-tirish mexanik jarayonlar jumlasiga kiradi. Bu jarayonlarning tezligi qattiq jismlarning mexanik qonuniyatlari bilan ifodalanadi.

Kimyo sanoatidagi texnologik jarayonlar davriy va uzluksiz ravishda o'tkaziladi. Jarayonlar vaqt davomida parametrlarning o'zgarishiga qarab turg'un va noturg'un bo'ladi. Tezlik, konsentratsiya, harorat kabi parametrlar vaqt davomida o'zgarsa jarayon *noturg'un*, aksincha, agar bu parametrlar o'zgarmasa jarayon *turg'un* deyiladi.

1.2. Jarayonning asosiy qonunlari

Modda va energiyaning saqlanish qonunlari. Kimyoviy texnologiyaning asosiy jarayonlari tezligi fizika, kimyo va fizik-kimyoning umumiy qonunlariga bo'ysunadi. Bu qonunlarni ma'lum bir jarayonga tatbiq etish asosida jarayonning nazariyasi yaratiladi. Bunda modda va energiyaning saqlanish va o'tkazish hamda sistemaning muvozanat qonunlari muhim ahamiyatga ega.

Modda va energiyaning saqlanish qonunlari «Jarayonlar va qurilmalar» fanida alohida o'rin egallaydi. Masalan, qurilmaga jarayonda qatnashayotgan A, V va S komponentlar kiritilmoqda. Ushbu komponentlar gaz, bug', suyuqlik yoki qattiq holatda bo'lishi mumkin. Qurilmada ruy bergan jarayon natijasida hosil bo'lgan moddalar D va E qurilmadan chiqadi. Qurilmaga kirayotgan moddalarning massaviy yig'indisi qurilmadan chiqayotgan moddalarning massaviy yig'indisiga teng bo'lishi kerak. Shunga asoslanib quyidagi tenglikni yozish mumkin:

$$M_A + M_V + M_S = M_D + M_E$$

Bu tenglama *moddiy balansni* ifodalaydi.

Qurilmaga kiritilayotgan yoki chiqayotgan modda o'zida ma'lum miqdorda energiya saqlaydi. Qurilmaga tashqaridan qo'-

shimcha energiya kiritilishi mumkin. Jarayon davomida energiya-ning ma'lum bir qismi atrof-muhitga yo'qotiladi. energiya-ning saqlanish qonuniga asosan quyidagi tenglamani yozish mumkin.

$$Q_A + Q_B + Q_C + Q_K = Q_D + Q_E + Q$$

bu yerda, $Q_A, Q_B, Q_C - A, V$ va S komponentlar bilan kelayotgan issiqlik miqdori; $Q_D, Q_E - D$ va E komponentlar bilan chiqib ketayotgan issiqlik miqdori; $Q_K -$ qurilmaga tashqaridan kelayotgan issiqlik miqdori; $Q_Y -$ atrof-muhitga yo'qotilgan issiqlik miqdori. Bu tenglama *energetik balansni* ifodalaydi va *issiqlik balansini* bildiradi.

Moddiy va issiqlik balansi tenglamalari texnologiya jarayonlarini o'rganishda ko'p ishlatiladi.

Sistemaning muvozanat qonunlari. Muvozanatda turgan sistemalarning holati vaqt davomida o'zgarmaydi. Sistemani muvozanatdan chiqarish uchun tashqaridan biror kuch ta'sir etishi kerak.

Le-Shatele prinsipiga asosan sistema muvozanatdan chiqarilganda hosil bo'lgan kuchlarning yo'nalishi sistemani muvozanatdan chiqarayotgan kuchlar yo'nalishiga qarama - qarshi bo'ladi.

Gibbsning fazalar qoidasi sistema komponentlari, fazalar soni va erkinlik darajasi soni o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalaydi:

$$S = K - F + 2$$

bu yerda, $S -$ erkinlik darajasi soni; $K -$ sistemadagi komponentlar soni; $F -$ fazalar soni.

Bir jinsli bo'lgan ma'lum miqdordagi modda *faza* deyiladi.

Komponent – toza kimyoviy birikma bo'lib, bir fazadan ikkinchi fazaga o'tishi mumkin.

erkinlik darajasi – sistemaning hech narsaga bog'liq bo'lmagan parametrlar sonini bildiradi.

Sistemaning holati *bosim, harorat, konsentratsiya, solishtirma hajm* kabi parametrlar orqali ifodalanadi.

Sistema holati parametrlaridan harorat va konsentratsiyalarni erkin holatda o'zgartirishimiz mumkin. Sistemaning tabiatiga bog'liq bo'lgan bosim, bizga bog'liq bo'lmagan ravishda o'zgaradi.

Kimyoviy texnologiya jarayonlarining asosini material oqimlar o'rtasidagi modda yoki energiya almashinuvi tashkil etadi. Jarayonlarni tahlil qilishda avval modda va energiyaning saqlanish qonunlariga asosan material va energetik oqimlarining miqdori aniqlanadi, So'ngra harakatlantiruvchi kuch topiladi.

Ishlab chiqarishda har bir jarayonning tezligini oshirishga harakat qilinadi, bu narsa o'z navbatida qurilmalarning ish unumini ko'paytiradi.

Gidromexanik jarayonlar uchun quyidagi kinetik tenglamani yozish mumkin:

$$dV/F d\tau = 1/R_1 \Delta R = K_1 \Delta R$$

bu yerda, V – filtrat miqdori; F – filtr yuzasining maydoni; τ – vaqt; R_1 – filtning qarshiligi; K_1 – filtrlovchi to'siqning o'tkazuvchanligi; ΔR – bosimlar farqi.

Issiqlik almashinish jarayonlari uchun quyidagicha:

$$dQ/F d\tau = 1/R_2 \Delta t = K_2 \Delta t$$

bu yerda, Q – issiqlik miqdori; F – issiqlik almashinish yuzasi; R_2 – issiqlik o'tkazishga bo'lgan qarshilik; K_2 – issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti; Δt – haroratlar farqi; τ – vaqt.

Modda almashinish jarayonlari uchun quyidagicha:

$$dM/F d\tau = 1/R_3 \Delta C = K_3 \Delta C$$

bu yerda, M – modda miqdori; F – modda almashinish yuzasi; R_3 – modda o'tkazishga bo'lgan qarshilik; K_3 – modda o'tkazish koeffitsiyenti; ΔC – konsentratsiyalar farqi.

Gidromexanik, issiqlik va modda almashinish jarayonlari uchun quyidagi umumiy kinetik tenglamani yozish mumkin:

$$I = K \times$$

bu yerda, I – jarayonning tezligi; x – harakatlantiruvchi kuch; K – kinetik koeffitsiyent.

Kinetik tenglamalarni tahlil qilish texnologiya jarayonlarini tezlashtirishning umumiy qonuniyatini ko'rsatib beradi: jarayonning tezligini oshirish uchun harakatlantiruvchi kuchning qiymatini ko'paytirish yoki qarshilikni kamaytirish kerak.

1.3. Kimyoviy qurilmalar yaratish va tayyorlash

Kimyoviy texnologiyada ishlatiladigan qurilmalar qator talablarga javob berishi kerak. Avvalo, qurilmada ma'lum bir jarayonni amalga oshirish uchun qulay shart-sharoitlar mavjud bo'lishi zarur. Bu sharoitlar jarayonning turiga, qatnashayotgan moddalarning agregat holatlariga bog'liq.

Qurilmaning muhim parametrlaridan biri uning ish unumidir. Ish unumi – vaqt birligi ichida qurilmada hosil bo'lgan tayyor mahsulotning miqdoridir. Qurilmaning samaradorligi uning ish unumini qurilmani xarakterlaydigan birorta kattalikka nisbatidir. Qurilmalarning ish unumini oshirish uchun qurilmalar ishini tezlashtirish zarur. Tezlashtirishning bir necha usullari mavjud:

- 1) davriy jarayonni uzluksiz jarayonga almashtirish;
- 2) qurilma ish mexanizmlarning tezligini oshirish;
- 3) qurilmadagi gidravlik rejimlarini yaxshilash;
- 4) yuqori harorat va katta bosimlarni qo'llash;
- 5) ultratovush, mexanik, mavhum qaynash, tebranishlar, elektromagnit maydon ta'sirlaridan foydalanish;
- 6) yangi texnologiyalarni qo'llash.

Sharoitni hisobga olgan holda qurilmalar ishini tezlashtirish usuli tanlab olinadi.

Qurilmani boshqarish katta jismoniy mehnat talab qilmasligi kerak. Qurilma ishini tekshirish va boshqarishni avtomatlashtirish ishlab chiqarishni boshqarishning oliy maqsadidir.

Katta o'lchamli qurilmalarni loyihalashda ularni tashish ham hisobga olinadi. Qurilma, mashina, asbob-uskunalarni tayyorlash materiallari korroziyaga chidamli, energiya sarfi kichik, uni tekshi-

rish, tozalash va sozlash uchun qulay hamda mustahkam bo'lishi kerak.

Kimyoviy qurilmalar tayyorlashda har xil navli po'latlar, cho'yanlar, rangli metallar, qotishmalar, nometallar ishlatiladi.

Uglerodli po'latlar (GOST 380-71) uchta guruhga bo'linadi:

A – mexanik xossalari bo'yicha etkazib beriladigan po'latlar;

B – kimyoviy tarkibi bo'yicha etkazib beriladigan po'latlar;

V – mexanik xossalari va kimyoviy tarkibi bo'yicha etkazib beriladigan po'latlar.

Quyidagi navli po'latlar tayyorlanadi:

A guruhi – St0, St1, St2, St3, St4, St5, St6;

B guruhi – BSt0, BSt1, BSt2, BSt3, BSt4, BSt5, BSt6;

V guruhi – VSt2, VSt3, VSt4, VSt5.

Tannarxi va nikel sarfini kamaytirish uchun qurilmalarni tayyorlashda tejamli - legirlangan va nikelsiz po'latlardan (08X22N6T, 08X12N6M2T, 08X18G82T) foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Korroziyaga barqaror va tanqis po'latni tejash usullaridan biri – qurilmalarni tayyorlashda ikki qatlamli foydalanishdir.

Bunda birinchi qatlam uglerodli po'latdan, ikkinchi - himoya qiluvchi qatlam esa korroziyaga chidamli po'latdan yoki metall va qotishmadan tarkib topgan bo'ladi. Ko'pincha himoya qiluvchi metall sifatida 08X13, 12X1810T, 08X17N13M2T, 06XN28MDT navli po'lat ishlatiladi.

Yuqori bosimda ishlaydigan, ko'p qatlamli idish va qurilmalarni tayyorlashda metallni tejash uchun taxtalangan va o'ramli po'latdan tayyorlanadi.

Rangli metallar (qo'rg'oshin, mis, aluminiy, nikel) payvandlash, qalayli va quyma usullar bilan tayyorlanadigan, o'rtacha va yuqori agressiv sharoitlarda ishlaydigan qurilmalar tayyorlashda ishlatiladi.

Korrozion muhitda ishlaydigan bir qator kimyoviy qurilmalarni ishlab chiqarishda nometall materiallardan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Bunday materiallar qatoriga plastmassalar (viniplast, faolit, ftorplast), shishali plastiklar, ko'mir grafitli material, keramika, kompozitsion materiallar kiradi.

Umuman olganda kimyoviy qurilmalarning yuzalari quyidagi usullar yordamida himoya qilinadi:

- 1) Qurilma sirti emal, rezina, polimer materiallari va o'tga chidamli material bilan qoplanadi yoki so'riladi; 2) bo'yash;
- 3) izolatsiya qilish ishlash sharoiti, maqsadi va qurilma turgan o'miga qarab bu usullardan foydalaniladi.

Fizik kattaliklarning o'lchov tizimi

Har qanday jarayon va qurilmalarni hisoblashda moddalarning fizik xususiyatlarini (*zichlik, solishtirma og'irlik, qovushqoqlik* va boshqalar) va modda holatining harakatini xarakterlovchi parametrlarni (*tezlik, bosim, harorat* va boshqalar) bilish kerak.

Texnologik jarayonlarni o'rganishda turli o'lchov birliklaridan foydalanish hisoblash ishlarini qiyinlashtiradi hisoblash ishlarini qiyinlashtiradi va qo'pol xatoliklarga olib keladi.

Respublikamizda va bir qancha chet davlatlarda o'lchov birligining yagona sistemasi sifatida 1980-yilning yanvaridan boshlab universal Xalqaro birliliklar sistemasi (SI) qabul qilindi.

Bu sistemada yettita asosiy kattaliklar, ikkita qo'shimcha, anchagina hosilaviy kattaliklar va ularga mos ravishda hosilaviy birliklar bor.

Asosiy kattaliklar va birliklar quyidagilar:

uzunlik birligi – metr (m), massa birligi – kilogramm (kg), vaqt birligi – sekund (s), elektr tok kuchi birligi – amper (a), termodinamik harorat birligi – kelvin (k), yorug'lik birligi – kandela (kd), modda miqdori birligi – mol (mol).

Birliklarning dastlabki nomiga ikki va undan ortiq old qo'shimcha qo'shish mumkin emas. Masalan, mikromikrofarad, ya'ni «faradning milliondan bir ulushidan milliondan bir ulushi» iborasi o'miga pikofarad (pF) ni ishlatish lozim.

Old qo'shimchali birliklar

Tera (T)	10^{12}	Santi (s)	10^{-2}
Giga (G)	10^9	Milli (m)	10^{-4}
Mega (M)	10^6	Mikro (mk)	10^{-6}
Kilo (K)	10^3	Nano (n)	10^{-9}
Desi (d)	10^{-1}	Piko (p)	10^{-12}

Jadvalda esa SI birliklari bilan ayrim eskirgan birliklar o'rtasidagi nisbatlarga misollar keltirilgan.

O'lov birliklari o'rtasidagi nisbatlar

Kattaliklar nomi	SI ga binoan birligi	SI birliklariga o'tkazish koeffitsiyentlari
Harorat	K	$T = (t + 273,15)$
Dinamik qovushqoqlik	Pa·s	$1 \text{ Puaz} = 10^{-8} \text{ Pa·s}$ $1 \text{ sP} = 10^3 \text{ Pa·s}$
Kinematik qovushqoqlik	m^2/c	$1 \text{ st (Stoks)} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{c}$
Bosim	Pa	$1 \text{ kgk}/\text{sm}^2 = 1 \text{ atm} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 735 \text{ mm simob ustuni}$ $1 \text{ kgk}/\text{m}^2 = 9,81 \text{ Pa}$ $1 \text{ atm} = 1,033 \text{ kgk}/\text{m}^2 = 1,011 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 760 \text{ mm sim ustuni} = 10,33 \text{ m suv ustuni}$ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
Hajm	m^3	$1 \text{ l} = 10^{-3} \text{ m}^3 = 1 \text{ dm}^3$
Zichlik	kg/m^3	$1 \text{ t}/\text{m}^3 = 1 \text{ kg}/\text{dm}^3 = 1 \text{ g}/\text{cm}^3 = 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$
Hajmiy sarf	m^3/c	$1 \text{ l}/\text{min} = 16,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$
Solishtirma issiqlik sig'imi	J/kg·K	$1 \text{ kkal}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C} = 4,19 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$
Issiqlik berish, o'tkazish koeffitsiyentlari	$\text{Vt}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$	$1 \text{ kkal}/\text{m}^2 \cdot \text{soat} \cdot ^\circ\text{C} = 1,163 \text{ Vt}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti	$\text{Vt}/\text{m} \cdot \text{K}$	$1 \text{ kkal}/\text{m} \cdot \text{soat} \cdot ^\circ\text{C} = 1,163 \text{ Vt}/\text{m} \cdot \text{K}$
Solishtirma entalpiya	J/kg	$1 \text{ kkal}/\text{kg} = 1 \text{ kal}/\text{g} = 4,19 \text{ kJ}/\text{kg}$
Solishtirma og'irlik	N/m ³	$1 \text{ kgk}/\text{m} = 1,163 \text{ N}/\text{m}^3$

1.4. O'xshashlik teoremlari va mezonlari

Yangi texnologiya jarayonini tashkil etish uchun avval laboratoriya sinov qurilmalarida tajriba olib boriladi. Bu qurilmalarda tekshirilayotgan jarayonning texnikaviy jihatdan mukammal va iqtisodiy jihatdan tejamli ekanligi aniqlanadi. Tekshirishlar natijasida barcha jarayonlarning bir xillik shartlariga muvofiq qurilmaning shakli va o'lchamlari, jarayonni olib borish sharoitlari, jarayonda qatnashayotgan moddalarning eng muhim o'zgarish kattaliklari, mahsulot chiqarishi, xomashyo va energiya solishtirma sarfi va boshqa masalalar hal qilinadi.

Laboratoriya va sinov qurilmalarida olingan natijani solishtirish uchun ular o'rganilayotgan sanoat qurilmalarida sinab ko'riladi. Yangi qurilmalarni loyihalash va ishlatish uchun laboratoriya hamda tajriba sharoitlarida olingan hisoblash tenglamalari va bir xillik shartlarining qonuniyatlari katta ahamiyatga ega. Bu kursda o'rganilayotgan barcha jarayonlar uchun kerakli hisoblash tenglamalarini keltirib chiqarish va ularni matematik yo'l bilan ifodalash qiyin. Ba'zi texnologiya jarayonlari fizika va kimyo qonunlari asosida differensial tenglamalar orqali ifodalanadi. Differensial tenglamalar o'xshashlik nazariyasidan foydalanib yechilsa, analitik tenglamalar kelib chiqadi. Bu analitik tenglamalar texnologiya jarayoni uchun zarur bo'lgan faktorlarni o'zaro bog'laydi va muhandislik hisoblash ishlarida ko'p ishlatiladi.

Ba'zan differensial tenglamalarni matematik yo'l bilan yechib bo'lmaydi. Bunda tajribalar o'tkazib, jarayonni xarakterlovchi o'zgaruvchan faktorlar o'rtasidagi bog'liqlik aniqlanadi. Tajriba natijalari asosida empirik tenglamalar keltirib chiqariladi. Bunday tenglamalar xususiy xarakterda bo'lib, ulardan faqat aniq shartlardagina foydalanish mumkin. Biroq istalgan murakkab jarayonni tadqiq qilishda umumiy bo'lgan qonuniyat va tenglamalar topish kerak. Chunki bu tenglama va qonuniyatlar yordamida biror xususiy tajriba natijalarini boshqa ko'pchilik jarayonlarni tekshirishga qo'llash kerak bo'ladi. Bunga tajriba natijalarining

o'xshashlik nazariyasi yordamida ularni qayta ishlash orqali erishish mumkin.

O'xshash jarayonlarda bu jarayonlarni ifodalovchi va o'xshash bo'lgan kattaliklar nisbati o'zgarmas bo'ladi. O'xshashlik nazariyasining nazariy va amaliy ahamiyati katta. O'xshashlik nazariyasi tajriba o'tkazish va tajriba natijalarini qaysi yo'l bilan qayta ishlash kerakligini o'rgatadi.

O'xshashlik shartlariga ko'ra o'xshash hodisalar 4 guruhga bo'linadi: geometrik o'xshashlik, vaqt bo'yicha o'xshashlik, fizik kattaliklar o'xshashligi, boshlang'ich va chegara shartlarining o'xshashligi.

Agar sistemada jismlar tinch holatda turgan bo'lsa, geometrik bir xillikka asosan ikki o'xshash jismning geometrik o'lchov kattaliklari o'zaro parallel bo'lib ularning nisbati o'zgarmas bo'ladi.

Geometrik o'xshashlik bo'lganda vaqt bo'yicha bir xillik hosil bo'ladi. Fizik kattaliklar birligiga asosan, fazoda joylashgan ikki sistema fizik xossalarning o'zaro nisbati vaqt birligida o'zgarmas bo'ladi.

O'xshash fazoda joylashgan jismlarning fizik va vaqt bo'yicha bir xillikka ega bo'lishi uchun ularning boshlang'ich va chegara shartlari bir xil bo'lishi kerak. O'xshashlik nazariyasi haqidagi fikrni birinchi bo'lib 1686-yili I.Nyuton taklif etgan. Keyinchalik bu nazariyani V.L.Kirpichyov, V.Nusselt, M.V.Kirpichyov, A.A.Guxman va boshqa olimlar rivojlantirgan.

O'xshashlik nazariyasi uchta teorema asoslanadi. Birinchi teoremani I.Nyuton kashf qilgan. Bu teorema muvofiq o'xshash hodisalar bir xil qiymatga ega bo'lgan o'xshashlik mezonlari bilan xarakterlanadi. Masalan, ikkita o'xshash sistemadagi (original va modeldagi) zarrachalarning mexanik harakati Nyuton o'xshashlik mezoni orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$N_e = f \tau / m w \quad (1.1)$$

Ikkinchi teorema Bekingem, Federman va Afanaseva - Erenfest tomonidan isbotlangan. Bu teorema asosan, biror jarayonga ta'sir etuvchi o'zgaruvchan parametrlarning bog'lovchi differensial

tenglamalarining echimini o'xshashlik mezonlarining O'zaro bog'liqliklari orqali ifodalash mumkin.

Uchinchi teorema M.V.Kirpichyov va A.A.Guxman tomonidan aniqlangan. Bu teoreмага asosan, son jihatdan teng aniqlovchi mezonlarga ega bo'lgan hodisalar o'xshash hisoblanadi.

O'xshashlik mezonlari. Jarayonlarni hisoblashda bir kator o'xshashlik mezonlaridan foydalaniladi. O'xshashlik mezonlari o'lcamsiz bo'lib, tekshirilayotgan jarayonni xarakterlaydigan fizik kattaliklardan tuziladi. Bu mezonlar olimlar nomlari bilan yuritiladi. O'xshashlik mezonlari asosan uchta guruhga bo'linadi:

1) gidromexanik; 2) issiqlik; 3) diffuzion o'xshashlik mezonlari.

Birinchi guruhga Reynolds, Eyler, Frud, Galiley, Gomoxron, Arximed na boshqa mezonlar kiradi. Reynolds mezon:

$$Re = \frac{wd\rho}{\mu} \quad (1.2)$$

bu yerda, w —suyuqlik yoki gaz oqimining tezligi, m/s; d - oqinning harakterli o'lchami, m; ρ — suyuqlik yoki gazning zichligi, kg/m³; μ —muhitning dinamik qovushqoqligi, Pa · s.

Reynolds mezon o'xshash oqimlardagi inersiya kuchlarining ishqalanish kuchlariga nisbatini va harakatning rejimini xarakterlaydi.

Eyler mezon:

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho w^2} \quad (1.3)$$

bu yerda, ΔP – suyuqlik oqimidagi bosimning yo'qolishi, Pa.

Bu mezon o'xshash oqimlardagi suyuqlikning gidrostatik bosimi va inersiya kuchlari orasidagi o'zaro bog'lanishni va trubalarda suyuqlik harakat qilganda o'lcamsiz bosimning yo'qolishini ifodalaydi.

Frud mezon:

$$Fr = \frac{w^2}{gl} \quad (1.4)$$

bu yerda, g – erkin tushish tezlanishi, m/s².

Frud mezoni og'irlik kuchi ta'sirini xarakterlaydi na o'xshash oqimlardagi inersiya kuchining og'irlik kuchiga nisbatini ifodalaydi.

Galiley mezoni:

$$Ga = \frac{gl^3}{v^2} \quad (1.5)$$

bu yerda, v — muhitning kinematik qovushqoqligi, m^2/s .

Bu mezon o'xshash oqimlardagi ishqalanish kuchlarining og'irlik kuchlariga nisbatini belgilaydi.

Gomoxron mezoni:

$$Ho = \frac{\omega \tau}{l} \quad (1.6)$$

bu yerda, τ — vaqt, s.

Gomoxron mezon o'xshash oqimlardagi harakatning turg'unmasligini aniqlaydi.

Arximed mezoni:

$$Ar = \frac{gl^3}{v^2} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \quad (1.7)$$

bu yerda, ρ_1 va ρ_2 oqimning ikki nuqtasidagi suyuqlikning zichligi, kg/m^3 .

Arximed mezoni erkin konveksiyani ifodalab, muhitning ayrim nuqtalaridagi zichliklar farqi va ishqalanish ta'sirida hosil bo'lgan kuchlarning O'zaro ta'sirini belgilaydi.

Ikkinchi guruhga Nusselt, Fure, Pekle, Prandtl, Bio, Grasgoff, Kutateladze va boshqa mezonlar kiradi.

Nusselt mezoni:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad (1.8)$$

bu yerda, α - issiqlik berish koeffitsiyenti, $Vt/(m^2 K)$; λ — muhitning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, $Vt/(m K)$.

Nusselt mezon o'xshash oqimlarning chegara qatlamidagi issiqlik berish tezligi va harorat maydoni o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalaydi.

Fure mezoni:

$$Fo = \frac{at}{l^2} \quad (1.9)$$

bu yerda, α —harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, m^2/s .

Fure mezoni issiqlik oqimlaridagi noturg'un jarayonlarning o'xshashligini belgilab, jismning harorat maydoni, fizik xossalari va o'lchamlari o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalaydi.

Pekle mezoni:

$$Pe = \frac{w \cdot l}{a} \quad (1.10)$$

Pekle mezoni jarayonning gidrodinamik sharoitini va muhitning issiqlik xossalarini belgilaydi. Bu mezon konvektiv issiqlik berish paytida konveksiya va issiqlik o'tkazuvchanlik usullari yordamida o'tkazilgan miqdorlar o'rtasidagi nisbatini harakterlaydi.

Prandtl mezoni:

$$Rr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c\mu}{\lambda} \quad (1.11)$$

bu yerda, ν —suyuqlik yoki gazning issiqlik sig'imi, J/(kg·K).

Prandtl mezoni konvektiv issiqlik berish jarayonidagi muhitning fizik xossalari o'xshashligini xarakterlaydi.

Bio mezoni:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot l_k}{\lambda_k} \quad (1.12)$$

bu yerda, l_k — qattiq jismning xarakterli o'lchami, m; λ_k — qattiq jismning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, W/(m·K)

Bio mezoni ichki va tashqi termik qarshiliklarning nisbatini, qattiq jism ichidagi harorat maydoni va uning yuzasidagi issiqlik berish shartlari o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalaydi. Hisoblashda $Bi < 0,1$ bo'lganda asosan tashqi termik qarshiliklar, $Bi > 100$ bo'lganda esa ichki termik qarshiliklar hisobga olinadi.

Grasgoff mezoni:

$$Gr = \frac{g l^3}{\nu} \beta \Delta t, \quad (1.13)$$

bu yerda, β suyuqlikning hajm bo'yicha kengayish koeffitsiyenti, 1/K; Δt —qattiq jism va undan ma'lum masofadagi oqim haroratlari orasidagi farq, K.

Grasgoff mezoni erkin issiqlik konveksiyasini harakterlab, ishqalanish kuchlari va noizotermik oqimning ayrim nuqtalaridagi

2) o'xshashlik mezonlari keltirib chiqariladi, ularning ichidan aniqlovchi mezon ajratib olinadi hamda shu aniqlovchi mezonning boshqa mezonlar bilan bog'laydigan funksional tenglama tuziladi.

3) model va originaldagi aniqlovchi kriteriylarning o'zaro tengligini hisobga olgan holda har bir fizik kattalik uchun o'xshashlik doimiyliklari yoki konstantalari aniqlanadi.

4) olingan natijalar asosida shunday model tayyorlanadiki, uning ish unumdorligi shunday hisobga olinishi kerakki, bunday holatda ish muhitlarining tegishli tezligi, sarfi, harorati va boshqa kattaliklari ta'minlanishi zarur.

5) tajribalar o'tkazilishda aniqlovchi mezonlarning o'zgarish chegaralari modelda ham, originalda ham bir me'yorda bo'lishi kerak.

Yuqoridagi shartlarni to'la bajarish kimyoviy texnologiya uchun yangi jarayonlar va qurilmalarni yaratish va ularni qisqa vaqtda sanoatga joriy etish imkoniyatini yaratadi.

II BOB. GIDRAVLIKA VA GIDRODINAMIKA ASOSLARI

2.1. Suyuqliklarning asosiy fizik xossalari.

Asosiy ta'riflar

Kimyo sanoatining barcha tarmoqlarida suyuqlik va gazlarni uzatish, suyuqliklarni aralashtirish, har xil jinsli gaz va gazlarni uzatish, suyuqlik aralashmalarini ajratish kabi jarayonlar ko'p uchraydi. Bu jarayonlarning tezligi gidromexanika qonunlari bilan ifodalanadi. Gidromexanika qonunlarini va ulardan amalda foydalanish usullarini gidravlika o'rganadi. Gidravlika ikki asosiy qismdan: suyuqliklarning muvozanat qonunlarini o'rganadigan *gidrostatika* va suyuqliklarning harakat qonunlarini o'rganadigan *gidrodinamikadan* tashkil topgan.

Suyuqliklar oquvchanlik xususiyatiga ega. Suyuqlik go'yo ma'lum hajmga ega, lekin shaklga ega emas (qanday idishga solinsa, o'sha idish shaklini oladi), ammo suyuq massa tashqi kuchlar bo'lmagan sharoitda, faqat molekular kuchlar ta'siri ostida shar shaklini oladi. Moddalarning suyuq holati o'z tabiatiga ko'ra, gaz holat bilan qattiq holat o'rtasidagi oraliq o'rinni egallaydi.

Suyuqlik va gazlarning harakat tezliklari tovush tezligidan past bo'lgani uchun ularning harakat qonunlari bir xil. Shuning uchun gidravlikada suyuqlik deyilganda gaz ham, suyuqlik ham tushuniladi. Ularni bir-biridan ajratish uchun suyuqliklar tomchili, gazlar esa elastik suyuqlik deb qaraladi. Suyuqlik va gazlar quyidagi xossalari bilan bir-biriga o'xshaydi:

1) suyuqliklar xuddi gazlar kabi ma'lum shaklga ega emas, uning fizik xossalari barcha yo'nalishda bir xil, ya'ni izotropdir;

2) gazlarning qovushqoqligi kichik bo'lib, suyuqliklarnikiga yaqinlashadi;

3) kritik haroratdan yuqori haroratda suyuqliklar bilan gazlar orasidagi farq yo'qoladi. Suyuqliklarning muvozanat va harakat qonunlari differensial tenglamalar bilan ifodalanadi.

Boshqa sohalarda bo'lgani kabi, gidravlikada ham nazariy tadqiqotlar natijalarini soddalashtirish maqsadida ideal suyuqlik modelidan foydalaniladi.

Ideal suyuqlik deb, bosim va harorat ta'sirida o'z hajmini o'zgartirmaydigan yoki siqilmaydigan, o'zgarmas zichlikka ega bo'lgan va ichki ishqalanishi (qovushqoqligi) bo'lmagan suyuqliklarga aytiladi. Aslida esa, har qanday suyuqlik bosim yoki harorat ta'sirida o'z hajmini o'zgartiradi. Har qanday suyuqlikda ichki ishqalanish kuchlari va qovushqoqlik bo'ladi.

Demak, haqiqatda tabiatda ideal suyuqlik bo'lmaydi, ya'ni barcha suyuqliklar real suyuqlikdir.

Ammo ba'zi suyuqliklarning qovushqoqligi juda kichik bo'ladi. Ular harorat va bosim ta'sirida o'z hajmini shu qadar kam o'zgartiradiki, bu o'zgarishni amalda hisobga olmasa ham bo'ladi. Bunday tushuncha real suyuqlik qonunlari o'rganishini osonlashtiradi. elastik suyuqliklarning hajmi harorat va bosim ta'sirida keskin o'zgaradi.

Suyuqliklarning asosiy fizik xossalari zichlik, solishtirma og'irlik, qovushqoqlik, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, solishtirma issiqlik sig'imi va harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti va boshqalar bilan xarakterlanadi.

Zichlik. Hajm birligidagi bir jinsli jismning (suyuqlikning) massasi zichlik deb ataladi va ρ bilan belgilanadi.

$$\rho = m/v \quad \text{kg/m}^3 \quad (2.1)$$

Solishtirma og'irlik. Hajm birligidagi suyuqlikning og'irligi solishtirma og'irlik deb ataladi va γ bilan belgilanadi:

$$\gamma = G/v \quad (2.2)$$

Massa bilan og'irlik quyidagicha bog'langan:

$$m = G/g \quad (2.3)$$

Massaning miqdorini tenglikka qo'ysak, zichlik bilan solishtirma og'irlikning O'zaro bog'lanish nisbati kelib chiqadi:

$$\gamma = \rho g \quad (2.4)$$

Tomchili suyuqliklarning zichligi va solishtirma og'irligi elastik suyuqliklarnikidan bir necha marta katta bo'lib, bosim va harorat ta'sirida juda kam o'zgaradi.

Gazlarning zichligi ideal gazlarning holat tenglamasidan aniqlanadi:

$$\rho = m/M \cdot RT \quad (2.5)$$

Tenglamadan zichlik quyidagi ifodaga teng bo'ladi:

$$\rho = m/v = RM/RT \quad (2.6)$$

Zichlik kattaligiga teskari bo'lgan kattalik *solishtirma hajm* deb ataladi va v bilan ifodalanadi:

$$v = v/m = 1/\rho = RT/RM = v/m \quad (2.7)$$

Qovushqoqlik. Real suyuqliklar truba ichida harakatlanganda, uning ichida ichki ishqalanish kuchlari hosil bo'lib, siljishiga to'sinlik qiladi.

Suyuqlikni bir qatlamdan ikkinchi qatlamga siljishi uchun sarf bo'lgan kuch *qovushqoqlik* (yoki ichki ishqalanish) deyiladi. Nyuton qonuniga binoan, suyuqlikning siljishi uchun zarur bo'lgan kuch shu qatlamning yuzasiga, surilish tezligi gradiyentiga va shu suyuqlikning qovushqoqlik koeffitsiyentiga to'g'ri proporsional bog'langan:

$$d\tau = \mu \cdot F \cdot dn \quad (2.8)$$

Tenglamadagi qovushqoqlik koeffitsiyenti μ *dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti* yoki qovushqoqlik deyiladi. Qovushqoqlik suyuqliklarning fizik xususiyatlariga va haroratiga bog'liq bo'lib, keng intervalda o'zgaradi.

Dinamik qovushqoqlik SI da Pa·s birligida o'lchanadi. Dinamik qovushqoqlik koeffitsiyentining shu suyuqlik zichligiga nisbati *kinematik qovushqoqlik* deyiladi va ν bilan belgilanadi.

$$\nu = \mu/\rho \quad (2.9)$$

Kinematik qovushqoqlik SI da m^2/s bilan o'lchanadi.

Ba'zan nisbiy qovushqoqlik tushunchasi ham ishlatiladi. Bunda biror suyuqlik qovushqoqligining suvning qovushqoqligiga nisbati olinadi. Harorat ortishi bilan suyuqliklarning qovushqoqligi kamayadi, gazlarda esa ortadi. Suyuqliklarning qovushqoqligi gazlarnikiga nisbatan bir necha marta kattadir.

Issiqlik o'tkazuvchanlik. Harorat gradiyenti ta'sirida bir-biriga tegib turgan kichik zarrachalarning tartibsiz harakati natijasida issiqlikning tarqalishi issiqlik o'tkazuvchanlik deyiladi. Bir jinsli tekis devor orqali o'tgan issiqlik oqimi Q quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$Q = \lambda / \delta F \Delta t \quad (2.10)$$

bu yerda, λ – issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti; δ – devor qalinligi; F – issiqlik o'tayotgan yuza; Δt – devorning ikkala tomonidagi haroratlar farqi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti SI da $W/m \cdot K$ birligida o'lchanadi. Uning qiymati harorat, bosim va moddaning turiga bog'liq.

Solishtirma issiqlik sig'imi. Moddaning massa birligi haroratini bir gradusga ko'tarish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori solishtirma issiqlik sig'imi deyiladi va u quyidagi tenglama orqali topiladi:

$$s = Q/m \Delta t \quad (2.11)$$

bu yerda, Q – jismni isitish uchun sarf bo'lgan issiqlik miqdori; m – jism massasi; Δt – jarayonning oxirgi va boshlang'ich haroratlari o'rtasidagi farq.

Solishtirma issiqlik sig'imi SI da $J/kg \cdot K$ birligida o'lchanadi.

Harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti. Harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti jismning issiqlik inersion xossalarini

ifodalaydi. Bu koeffitsiyent jismni fizik kattaligi hisoblanib, haroratning o'zgarish tezligini bildiradi.

Harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti (α , m^2/s) quyidagi nisbat orqali aniqlanadi:

$$\alpha = \lambda / \rho p \quad (2.12)$$

bu yerda, λ - issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti; ρ - zichlik; s - solishtirma issiqlik sig'imi.

Bu koeffitsiyentning son qiymati harorat, zichlik, mod-daning tarkibi va boshqa faktorlarga bog'liq bo'ladi.

Gidrostatik bosim

Sirt va hajm kuchlarining ta'sirida suyuqlikning ichida gidrostatik bosim paydo bo'ladi. Tinch turgan suyuqlik hajmidan elementar yuza ΔF ni ajratib olamiz. Ushbu yuzaning turgan holatidan tashqari unga normal bo'yicha yo'nalgan ma'lum bir kuch ΔR ta'sir qiladi. Ushbu kuchning elementar yuzaga nisbati ($\Delta R/\Delta F$) o'rtacha gidrostatik bosimni tashkil etadi:

$$p_{\pi} = \frac{\Delta P}{\Delta F} \quad (2.13)$$

Elementar yuzaning ayrim nuqtalaridagi haqiqiy bosim esa turlicha (bir nuqtada ko'proq, boshqa nuqtada esa kamroq) bo'lishi mumkin. ΔF ning qiymati qancha kichik bo'lsa, biror nuqtadagi haqiqiy bosim o'rtacha gidrostatik bosimga ancha yaqin bo'ladi.

Elementar yuzaning qiymati nolga yaqinlashtirilgan holatdagi kuchning yuzaga nisbati berilgan nuqtadagi haqiqiy *gidrostatik bosim* (yoki gidrostatik bosim) deb ataladi:

$$P = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F} \quad (2.14)$$

Bosimning yo'nalishi va ta'siri suyuqlikning hamma nuqtalarida bir xil, chunki bu kuch hamma vaqt normal bo'yicha yo'nalgan bo'ladi. Bundan ko'rinadiki, bosimning kattaligi yuzaning shak-

liga va uning qanday joylashganligiga bog'liq emas. Bosimning SI sistemasidagi o'lchov birligi N/m^2 yoki Pa. Bu birlik juda kichik bo'lganligi sababli, yiriklashtirilgan birliklar ishlatiladi: kilopaskal va megapaskal ($KPa=10^3 Pa$; $MPa=10^6 Pa$).

Amaliyotda gidrostatik bosimning qiymati boshqa o'lchov birliklari orqali ham ifoda qilinadi: texnik atmosfera (at); fizik atmosfera (atm); din/sm^2 ; bar; simob ustuni; suv ustuni va hokazo. 1 kgk/sm^2 ga teng bo'lgan bosim *texnik atmosfera* deb ataladi. 10^5 paskalga teng bo'lgan bosim bir barni tashkil etadi. Texnik atmosfera (at) fizik atmosfera (atm) dan farq qiladi. Fizik atmosfera dengiz sathidagi standart atmosfera bosimi bo'lib 1,033 kgk/sm^2 ga teng.

Paskal va boshqa birliklar o'rtasida yana quyidagi nisbat bor: 1 $din/sm^2 = 0,1 Pa$; 1 bar = $10^5 Pa$; 1 mm suv ust. = 9,81 Pa; 1 mm sim. ust. = 133,3 Pa.

Amaliyotda gidrostatik bosim turli usullar bilan hisoblanadi. Agar gidrostatik bosim o'lchanayotgan paytda suyuqlikning erkin yuzasiga ta'sir qilayotgan atmosfera bosimi ham hisobga olinsa, bu holatdagi gidrostatik bosimni to'la yoki *absolyut bosim* deb yuritiladi. Bunday sharoitda odatda texnik atmosfera o'lchanadi, u absolyut bosim (ata) ni tashkil etadi.

Ko'pincha gidrostatik bosimni o'ichashda suyuqlikning erkin yuzasiga ta'sir qilayotgan atmosfera bosimi hisobga olinmaydi. Bunda atmosfera bosimidan ortiqcha bo'lgan, manometrik bosim aniqlanadi. Manometrik bosim suyuqlikdagi absolyut bosim va atmosfera bosimi o'rtasidagi ayirmaga teng:

$$P_{man} = P_{abs} - P_{atm} \quad (2.15)$$

R_{man} — manometr bilan o'lchanadigan bosim. Manometrik bosim texnik atmosfera bilan o'lchanib, ortiqcha bosim (ati) ni tashkil etadi.

Agar jarayon siyraklanish sharoitida (vakuumda) ketsa, vakuumning qiymati atmosfera bosimi bilan suyuqlikdagi absolyut bosimning orasidagi ayirmaga teng bo'ladi:

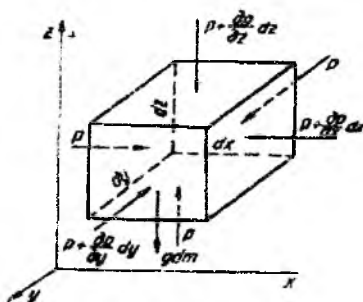
$$P_{\text{vak}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{abs}} \quad (2.16)$$

R_{vak} – vakuummetr bilan o‘lchanadigan siyraklanish. R_{vak} ning qiymati noldan atmosfera bosimi o‘rtasidagi chegarada o‘zgarishi mumkin. Masalan, absolyut bosim $R_{\text{abs}} = 0,3$ ata bo‘lganda vakuumning qiymati $R_{\text{vak}} = 1 - 0,3 = 0,7$ ati ni tashkil etadi.

Bosimning SI sistemasidagi o‘lchov birligi N/m^2 yoki Pa. Bu birlik juda kichik bo‘lganligi sababli, yiriklashtirilgan birliklar ishlatiladi: kilopaskal va megapaskal ($1\text{kPa}=10^3\text{Pa}$; $1\text{MPa}=10^6\text{Pa}$)

Muvozanat holatining differensial tenglamasi.

Biror idishda tinch turgan suyuqlikka og‘irlik va bosim kuchlari ta‘sir qiladi. Bu kuchlarning o‘zaro ta‘sirining suyuq ichida (ta‘sirilanishi) taqsimlanishi Eyler tomonidan ishlab chiqilgan differensial tenglama bilan ifodalanadi. Ushbu tenglamani keltirib chiqarish uchun idishdagi suyuqlik hajmidan kichkina parallelepiped sistemasida unga ta‘sir qilayotgan kuchlarni ko‘ramiz.



1-rasm.

Parallelepipedning hajmini koordinatalarga bogliqligini aniqlash.

Parallelepipedning hajmini dv , uning x, y va z koordinatalar o‘qiga parallel yo‘nalgan qirralarini dx, dy, dz bilan belgilaymiz. Paralelepipedga ta‘sir qilayotgan og‘irlik kuchi massa m bilan erkin tushish tezlanishi g ning ko‘paytmasiga teng, ya‘ni gdm . Hidrostatik bosimning kuchlari esa, gidrostatik bosimning

shu qirralar yuzasi ko'paytmasiga teng bo'lib, uning qiymati koordinatalar o'qlariga bog'liq:

$$R = f(x, u, z)$$

Statikaning asosiy qoidasiga muvofiq, tinch holatda turgan kichkina hajmga ta'sir qilayotgan barcha kuchlarning koordinatalar o'qlariga nisbatan olingan proyeksiyalarining yig'indisi, nolga teng, aks holda suyuqlik harakatda bo'lar edi. Kuchlar yig'indisini z o'qqa nisbatan proyeksiyalaymiz. Og'irlik kuchi z o'qqa parallel va unga qarama-qarshi tomonga yo'nalgan, shuning uchun bu kuch z o'qqa manfiy (-) ishora bilan proyeksiyalanadi:

$$-gdm = -g\rho dv = -\rho g dx dy dz \quad (2.17)$$

Parallelepipedning hajmi: $dV = dx dy dz$

Parallelepipedning pastki qirrasiga gidrostatik bosim normal bo'yicha ta'sir qiladi. Agar z o'q bo'yicha biror nuqtadagi gidrostatik bosimning O'zgarishi dr/dz bo'lsa, dz qirraning uzunligida bu bosim $dr/dz \cdot dz$ ga teng bo'ladi.

Bunda qarama - qarshi (yuqorigi) qirradagi gidrostatik bosim $(R + dr/dz \cdot dz)$ ga teng va uning z o'q bo'yicha proyeksiyasi:

$$- (R + dr/dz \cdot dz) dx dy \quad (2.18)$$

z o'qqa teng ta'sir etuvchi bosim kuchlarining proyeksiyasi:

$$R dx dy - (R + dr/dz \cdot dz) dx dy = - dr/dz dx dy dz \quad (2.19)$$

z o'qqa proyeksiyalangan umumiy kuchlarning yig'indisi nolga teng yoki:

$$-\rho g dx dy dz - dr/dz dx dy dz = 0 \quad (2.20)$$

Parallelepipedning hajmi hech qachon nolga teng emas, ya'ni $dV = dx dy dz = 0$ Shuning uchun,

$$- \rho g - dr/dz = 0 \quad (2.21)$$

Og'irlik kuchining x va y o'qlarga nisbatan proyeksiyasi nolga teng, bu o'qlarga faqat gidrostatik bosim ta'sir qiladi. Uning x o'qqa proyeksiyasi:

$$R dy dz - (R + dr/dz dx) dy dz = 0 \quad (2.22)$$

Qavsni ochib, tegishli qisqartirish ishlarini bajarsak:

$$\left. \begin{aligned} - dr/dz dx dy dz \\ - dr/dz = 0 \end{aligned} \right\}$$

Xuddi shuningdek Y o'q uchun:

$$\left. \begin{aligned} - dr/dy dx dy dz \\ - dr/dy = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

Shunday qilib, kichkina parallelepipedning muvozanat sharti quyidagi tenglamalar sistemasi bilan ifodalanadi:

$$\left. \begin{aligned} - dr/dz = 0 \\ - dr/dy = 0 \end{aligned} \right\}$$

$$- \rho g - dr/dz = 0 \quad (2.24)$$

Bu tenglamalar sistemasi Eylerning muvozanat holatining *differensial tenglamasi* deyiladi. Suyuqlikning istalgan nuqtasidagi gidrostatik va og'irlik kuchini aniqlash uchun bu tenglamalar sistemasini integrallash kerak.

Tenglamalarning integralli gidrostatikaning asosiy tenglamasi bo'lib, muhandislik hisoblash ishlarida keng qo'llaniladi.

2.2. Hidrostatikaning asosiy tenglamasi

Yuqoridagi tenglamalar sistemasi ko'rinib turibdiki, tinch turgan suyuqlikning istalgan nuqtasidagi bosimning x va y o'qlar bo'yicha o'zgarishi nolga teng bo'lib, bosim vertikal z o'q bo'yicha o'zgaradi.

Shuning uchun dr/dz xususiy hosila miqdorini dr/dz bilan almashtiramiz, u holda:

$$- \rho g - dr/dz = 0 \quad (2.25)$$

Bundan

$$- dr - \rho g dz = 0$$

Tenglamani chap va o'ng qismini ρg ga bo'lib, ishoralarini o'zgartiramiz:

$$dz + (1/\rho g) dr = 0$$

Bir jinsli ancha siqilmaydigan suyuqliklarning zichligi o'zgarmas bo'lgani uchun

$$dz + d(R/\rho g) = 0 \quad \text{yoki} \quad d(z + R/\rho g) = 0 \quad (2.26)$$

Bu tenglamani integrallaymiz, u holda:

$$Z + R/\rho g = \text{const} \quad (2.27)$$

Bu tenglama **gidrostatikaning asosiy tenglamasi** deyiladi.

Tenglamada Z – ixtiyoriy gorizontall tekislikka nisbatan olingan nuqtaning balandligi yoki geometrik napor, $R/\rho g$ – statik yoki poezometrik napor.

Gidrostatikaning asosiy tenglamasiga ko'ra, tinch turgan suyuqlikning har qanday nuqtasida nivelir balandlik va statik bosim kuchlarining yig'indisi o'zgarmas miqdorga teng. Umumiy holda tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$R = R_0 + \rho g z \quad (2.28)$$

R_0 – tinch turgan suyuqlik sirtiga ta'sir qilayotgan atmosfera bosimi. Har qaysi nuqtadagi gidrostatik bosimning kattaligi suyuqlik ustunining balandligiga bog'liq.

Nyuton va nonyuton suyuqliklar

Hamma gazlar va kichik molekulyar massaga ega ko'pchilik suyuqliklarning umumlashgan mexanik xossalarini Nyutonning ishqalanish qonuni orqali ifodalash mumkin. Bunday suyuqliklar Nyuton suyuqliklari deyiladi. Berilgan harorat va bosimdan Nyuton suyuqliklarining qovushqoqligi o'zgarmas qiymatga ega bo'ladi.

Ammo ba'zi suyuqliklar (buyoq, pasta, suspenziyalar) ancha murakkab qovushqoqlik xossalariga ega, bunday suyuqliklar *nonnyuton suyuqliklar* deyiladi. Nonyuton suyuqliklarda qovushqoqlikning qiymati siljish tezligiga va uning davomlilikiga qarab o'zgaradi.

Nyutonning ishqalanish qonunini quyidagicha yozish mumkin:

$$T/F = \tau = \mu^*(dw/dn) \quad (2.29)$$

Bu yerda, τ – siljish kuchlanishligi, Pa

Bu tenglamadagi τ ning qiymati doimiy musbat bo'ladi.

Agar bir – biriga nisbatan harakat qiluvchi suyuqlik qatlamlari yuzasi F ga normal o'tkazish paytida uning yo'nalishini tezlik kamroq tomonga qarab olinsa, u holda tezlik gradiyentining qiymati doimo manfiy bo'ladi. Bunday holatda tenglama quyidagicha yoziladi:

$$\tau = -\mu(dw/dn) \quad (2.30)$$

Yuqoridagi tenglamalar Nyutonning ichki ishqalanish qonunini ifodalaydi. Bu qonunga ko'ra, suyuqlikning oqishi paytida uning qatlamlari o'rtasida paydo bo'lgan ichki ishqalanish kuchlanish normal bo'yicha olingan tezlik gradiyentiga to'g'ri proporsionaldir.

$$\tau = -\mu(dw/dn) \quad (2.31)$$

bog'liqligini grafik shaklda ko'rsatish mumkin. Bunday bog'liqlik *oqish egri chizig'i* deyiladi.

Bingam yoki plastik suyuqliklar qatoriga suspenziyalar, ho'l qum, loy, pastalar kiradi. Siljish kuchlanishi kichik qiymatga ega bo'lganda bunday suyuqliklar oqmaydi, faqat ularning shakli o'zgaradi.

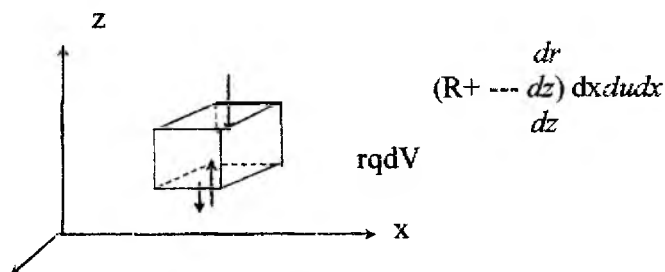
Mavhum plastik suyuqliklar (polimerlarning eritmalari, selulozalar) siljish kuchlanish juda kichik qiymatga teng bo'lgandayoq oqa boshlaydi, biroq ularning qovushqoqlik koeffitsiyenti tezlik gradiyentining ortishi bilan kamayib boradi.

Nonyuton suyuqliklar qatoriga tiksetrop va reopektant suyuqliklar ham kiradi. Tiksetrop suyuqliklarda (vaqt o'tishi davomida qovushqoqligi ortib boradigan buyoqlar) ma'lum qiymatdagi siljish kuchlanishligining ta'sir vaqti ortishi muhit tarkibini buzilishiga va oqish tezligining ko'payishiga olib kelishi mumkin.

2.3. Suyuqlik harakatining Eyler differensial tenglamasi

Bu tenglamani keltirib chiqarish uchun turg'un harakat qilayotgan ideal suyuqlik oqimidan elementar kichik zarrachaga harakat paytida tinch holatda ta'sir qilayotgan kuchlarning taqsimlanishini ko'rib chiqamiz.

Elementar zarracha parallelepiped shakliga ega. Parallelepipedning qirralari dx , dy va dz ga teng bo'lib, x , y va z o'qlariga parallel. Uning hajmi dV . Eylarning muvozanat tenglamasiga muvofiq og'irlik va gidrostatik kuchlarning koordinatalar o'qiga proyeksiyasi quyidagicha:



2-rasm.

y pdrdu

$$\left. \begin{array}{l} x \text{ o'qiga} - dr/dx \, dx \, dy \\ y \text{ o'qiga} - dr/dy \, dx \, dy \\ z \text{ o'qiga} - (\rho g + dr/dz) \, dx \end{array} \right\} \begin{array}{l} dz \\ dz \\ dy \, dz \end{array}$$

Parallelepipedning hajmini tezlik va tezlanishga bog'liqligi.

Parallelepiped hajmidagi suyuqlik massasi: $dm = dx \, dy \, dz$ suyuqlik x , y va z o'qlarda w_x , w_y va w_z tezlik bilan harakatlansa, uning tezlanishi dw/dt teng bo'lib, o'qlarga nisbatan tezlanishning proyeksiyasi esa dw_x/dt , dw_y/dt va dw_z/dt bo'ladi.

Dinamikaning asosiy qonuniga asosan:

$$\left. \begin{array}{l} \rho dx \, dy \, dz \frac{dw_x}{dt} = - \frac{\partial p}{\partial x} \, dx \, dy \, dz \\ \rho dx \, dy \, dz \frac{dw_y}{dt} = - \frac{\partial p}{\partial y} \, dx \, dy \, dz \end{array} \right\}$$

$$\rho dx \, dy \, dz \frac{dw_z}{dt} = - \left(\rho g + \frac{\partial p}{\partial z} \right) dx \, dy \, dz \quad (2.32)$$

Qisqartirishlardan So'ng quyidagi tenglamalar sistemasiga ega bo'lamiz:

$$\left. \begin{array}{l} \rho \frac{dw_x}{dt} = - \frac{\partial p}{\partial x} \\ \rho \frac{dw_y}{dt} = - \frac{\partial p}{\partial y} \\ \rho \frac{dw_z}{dt} = - \rho g - \frac{\partial p}{\partial z} \end{array} \right\} \quad (2.33)$$

Bu tenglamalar turg'un oqim uchun ideal suyuqliklar harakatini ifodalovchi Eylerning differensial tenglamasidir.

2.4. Harakatning Nave-Stoks differensial tenglamasi

Qovushqoqlikka ega haqiqiy suyuqliklar harakatida oqim zarrachalariga og'irlik va gidrostatik kuchlardan tashqari ishqalanish kuchlari ta'sirini aniqlash uchun harakat qilayotgan haqiqiy suyuqlik oqimida kichik parallelepiped shaklidagi elementar zarracha olamiz. Suyuqlikning x o'qi bo'yicha harakatlanishini ko'ramiz. Agar parallelepipedning pastki qirrasida kuchlanish urinmasi τ ga teng bo'lsa, yuqorigi qirrasida esa $(\tau + d\tau/dz)$ ni tashkil etadi. Teng ta'sir etuvchi ishqalanish kuchlarining x o'qqa proyeksiyasi:

$$\tau dx dy - (\tau + d\tau/dz) dx dy = - d\tau/dz dx dy dz$$

Ushbu ifodaga τ ning qiymatini qo'yamiz:

$$\mu \frac{d^2 \omega_x}{dz^2} dx dy dz = \mu \frac{d(d\omega_x/dz)}{dz^2} dx dy dz \quad (2.34)$$

Uch o'lchamli oqim uchun ω_x tezlikning tarkibi faqat Z o'qi yo'nalishi bo'yichagina emas, balki koordinataning barcha o'qlari bo'yicha o'zgaradi va quyidagi ko'rinishni oladi:

Koordinata o'qlari bo'yicha ikkinchi hosilalarning yig'indisi Laplas operatori deyiladi:

$$\frac{d^2 \omega_x}{dx^2} + \frac{d^2 \omega_x}{dy^2} + \frac{d^2 \omega_x}{dz^2} = \nabla^2 \omega_x \quad (2.35)$$

Natijada tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\mu \nabla^2 \omega_x dx dy dz$$

O'z navbatida teng ta'sir etuvchi ishqalanish kuchlarining u va z o'qlariga bo'lgan proyeksiyalarini yozamiz:

$$\begin{array}{lll} Y & \text{o'qiga} & \mu \nabla^2 \omega_y \, dx \, dy \, dz \\ Z & \text{o'qiga} & \mu \nabla^2 \omega_z \, dx \, dy \, dz \end{array}$$

Tomchili suyuqlikning elementar hajmiga ta'sir qiluvchi hamma kuchlar teng ta'sir etuvchilarining koordinata o'qlariga proyeksiyalari:

$$\begin{array}{lll} X & \text{o'qiga} & (-dr/dx + \mu \nabla^2 \omega_x) \, dx \, dy \, dz \\ Y & \text{o'qiga} & (-dr/dy + \mu \nabla^2 \omega_y) \, dx \, dy \, dz \\ Z & \text{o'qiga} & (-rg - dr/dz + \mu \nabla^2 \omega_z) \, dx \, dy \, dz \end{array}$$

Teng ta'sir etuvchi kuch proyeksiyasini massaning tezlanish proyeksiyasiga ko'paytmasiga tenglab, So'ngra $dx \, dy \, dz$ ga qisqartirib, quyidagi ifodalarga erishamiz:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{dw_x}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 w_x \\ \rho \frac{dw_y}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 w_y \\ \rho \frac{dw_z}{d\tau} &= -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w_z \end{aligned} \right\} \quad (2.36)$$

Bu tenglamalar haqiqiy suyuqliklar harakatini ifodalaydigan Nave- Ctoks diffensial tenglamalarini tashkil etadi.

Tenglamalar tizimi trubadan oqayotgan haqiqiy suyuqlikning turg'un harakatini ifodalaydi.

2.5. Bernulli tenglamasi

Bernulli tenglamasi suyuqliklar harakatini o'rganishda, nasos va kompressorlarning umumiy bosimini topishda, suyuqlik hamda gazlar tezligi va sarflanish miqdorini aniqlashda keng qo'llaniladi. Bu tenglama Eylerning harakat tenglamasidan topiladi. Tenglamani o'ng va chap tomonini dx , dy va dz ga ko'paytirib va suyuqlik zichligi ρ ga bo'lib quyidagini olamiz:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{d\tau} \cdot dw_x &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \cdot dx \\ \frac{dy}{d\tau} \cdot dw_y &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \cdot dy \\ \frac{dz}{d\tau} \cdot dw_z &= -q dz - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \cdot dz\end{aligned}\quad (2.37)$$

$dx/d\tau$, $dy/d\tau$, $dz/d\tau$ koordinata o'qidagi ω_x , ω_y , ω_z tezlik proyeksiyasini beradi va tenglamani soddalashtirib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\omega_x d\omega_x = d(\frac{\omega_x^2}{2}), \quad \omega_y d\omega_y = d(\frac{\omega_y^2}{2}), \quad \omega_z d\omega_z = d(\frac{\omega_z^2}{2})$$

Bundan
$$\frac{d(\omega^2)}{2} = -\frac{dr}{r} - r d\tau$$

Tenglamani og'irlik kuchiga r ga bo'lsak, y holda

$$d \cdot \left(\frac{w^2}{2g} \right) + \frac{dp}{\rho g} + dz = 0 \quad (2.38)$$

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

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

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

bu yerda,

$$z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{w^2}{2g} = \text{const} \quad (2.39)$$

Bu ideal suyuqlik uchun Bernulli tenglamasi hisoblanadi.

$\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g} \right)$ gidrodinamik napor deyiladi.

bu yerda, z – geometrik napor, ya'ni berilgan nuqtadagi holatning solishtirma potentsial energiyasi; r/rg – statik (poezometrik) napor, berilgan nuqtadagi bosimni solishtirma kinetik energiyasi; $\omega^2/2g$ – tezlik (dinamik) naponi, berilgan nuqtadagi solishtirma kinetik energiyasi.

Agar z ni h_g , r/rg ni h_c , $\omega^2/2g$ ni esa h_r bilan belgilasak, u holda

$$h_g + h_c + h_q = H$$

Bernulli tenglamasini binoan, ideal suyuqliklarning turg'un harakatida geometrik, statik va dinamik naporlar yig'indisi umumiy gidrodinamik bosimga teng bo'lib, u oqim bir trubadan ikkinchi trubaga o'tganida ham o'zgarmaydi:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} \quad (2.40)$$

Tenglamadagi uchala bosim ham uzunlik o'lchamiga ega bo'lib metr hisobida ifodalanadi.

Bernulli tenglamasi energiya saqlanish qonunining xususiy ko'rinishida bo'lib oqimning energetik balansini belgilaydi.

2.6. Suyuqlik harakatini tavsiflovchi asosiy kattaliklar

Suyuqlikning harakati *tezlik*, *sarf*, *bosim* va boshqa kattaliklar bilan xarakterlanadi.

Suyuqlikning tezligi va sarfi oqimni ko'ndalang kesimi bo'ylab oqayotgan suyuqlik miqdorini vaqtga nisbati *suyuqlik sarfi* deyiladi. U ikkiga bo'linadi: hajmiy sarf m^3/s , $m^3/soat$ va massaviy sarf kg/s , $kg/soat$.

Har xil nuqtalarda suyuqliklar oqimining tezligi har xil. Shuning uchun hisoblarda o'rtacha tezlikni ko'proq qo'llaniladi. Bu tezlik hajmiy sarfni oqimning ko'ndalang kesim yuzasiga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\omega = V/S \quad \text{yoki} \quad V = \omega S \quad (2.41)$$

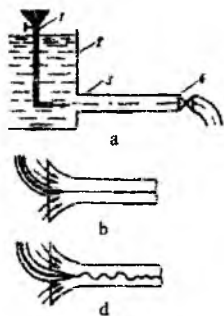
Massaviy sarf quyidagicha aniqlanadi: $M = \rho \omega S$ (2.42)
 $\rho \omega$ – bu kattalik suyuqlikning massaviy tezligi hisoblanadi, $\text{kg/m}^2\cdot\text{s}$.

Gidravlik radius va ekvivalent diametr. Ko'ndalang kesim yuza bo'ylab harakat qilayotgan suyuqlik uchun *gidravlik radius* yoki *ekvivalent diametr* degan kattalik kiritiladi. Suyuqlik oqib o'tayotib truboprovod yoki kanalning erkin ko'ndalang kesim yuzasining perimetrga nisbati gidravlik radius hisoblanadi.

$$R = S / P \quad (2.43)$$

Yumaloq truba uning ichki diametri d bo'lsa, $S = P d^2/4$, gidravlik radius orqali ifodalangan diametr ekvivalent diametr hisoblanadi:

$$d_e = 4S/P = d_i - d_i \quad (2.44)$$



3-rasm. Turbulent va laminar rejim.

Suyuqliklarning harakat rejimi.

Birinchii marta suyuqliklar harakatining rejimini 1883 y Reynolds tomonidan o'rganilgan. Idishda doimiy satx ushlab turiladi. Uncha katta bo'lmagan tezlikda rangli suyuqlik suvga aralashmasdan to'g'ri chiziq bo'ylab ip shaklida harakat qiladi. Bunday harakat *laminar rejim* deyiladi.

Trubadagi suv oqimi tezligi oshirilsa rangli suyuqlik truba bo'ylab to'liqsimon harakat qilib suvning butun massasiga aralashib ketadi.

Reynolds O'z tajribalarida faqat tezlikni emas, balki trubaning diametri, suyuqlikning qovushqoqligi va zichligini O'zgartirdi. Bu O'zgaruvchan kattaliklar: *tezlik w , diametr d , zichlik ρ , qovushqoqlik*

μ kabi kattaliklardan Reynolds o'lchamsiz kompleks keltirib chiqardi, ya'ni:

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu} = \frac{\omega d}{\nu} \quad (2.45)$$

Bu kompleks *Reynolds kriteriysi* (mezoni) deyiladi. Reynolds mezoni o'lchovsiz ma'lum son qiymatga ega.

Agar $Re < 2300$ bo'lsa, *laminar rejim* bo'ladi. Agar $Re > 10000$ bo'lsa, *turbulent rejim* bo'ladi. $Re = 2300 \sim 10000$ chegarada O'zgarsa *o'tish sohasi* bo'lib truba o'rtasida suyuqlik turbulent, devor yaqinida laminar harakatda bo'ladi.

Suyuqliklarning tezligi va sarfini o'lchash. Kimyo va oziq-ovqat sanoatida suyuqliklarning tezligi va sarfini o'lchash uchun drossel asboblari va pnevmatik trubalar keng ishlatiladi. Ochiq oqimda suyuqlikning tezligi Pito naychasi bilan o'lchanadi, u kichik diametr bukilgan nay, harakatlanayotgan suyuqlik oqimi yo'nalishiga ochiq uchi qarama-qarshi qilib o'rnatiladi va nayning o'qi oqim yo'nalishida mos keladi. Bunda nayning vertikal qismida suyuqlik dinamik bosimga teng bo'lgan h balandlikka ko'tariladi, ya'ni

$$h = \omega^2 / 2g \quad (2.46)$$

Bundan $\omega = \sqrt{2gh}$. Amalda oqim yo'nalishida nayning bo'lishi tezlikning umumiy taqsimlanishiga ta'sir qiladi, shuning uchun formulaga tuzatish koeffitsiyenti kiritiladi:

$$\omega = \xi \sqrt{2gh} \quad (2.47)$$

Bu koeffitsiyentning qiymati har qaysi nay uchun tajriba yo'li bilan topiladi. Suyuqlikning miqdori sekundli sarf tenglamasi orqali aniqlanadi: $V = S \omega$

Oqim tezligi va sarfini o'rganish uning yuqoridagi usullar sodda va qulaydir, lekin pnevmatik trubalarni oqimlarning o'qiga nisbatan o'rnatish juda qiyin. Shu sababli sanoatda oqim tezligi va sarfini o'lchash uchun drossel asboblari ishlatiladi.

Drossel asboblari sifatida o'lchovchi diafragma, soplo, Venturi trubalari ishlatiladi. Venturi trubasida o'lchovchi diafragma va soploga nisbatan bosimning yo'qotishi kam bo'ladi, chunki uning diametri asta-sekin torayib, So'ngra kengayib O'z holiga qaytadi. Shuning uchun Venturi trubalari sanoatda ko'proq ishlaydi.

Bosimlarning O'zgarishi Bernulli tenglamasi orqali ifodalanadi:

$$\frac{R_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = \frac{R_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} \quad (2.48)$$

$$\frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_1^2}{2g} = \frac{R_1 - R_2}{\rho g} = h$$

bu yerda, h – trubaning tor va keng kesimidagi bosimlar o'zgarishining difmanometrda o'lchangan miqdori, m.

w ning qiymatini dinamik naporlar ayirmasini ifodalovchi tenglamaga qo'ysak:

$$\frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_1^2}{2g} \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 = h$$

bundan

$$w_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4}} \quad (2.49)$$

Diafragma teshigi S_0 dan o'tayotgan suyuqlik sarfining miqdori:

$$V_c = \frac{\alpha \pi}{4} d_0^2 \cdot \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4}} \quad (2.50)$$

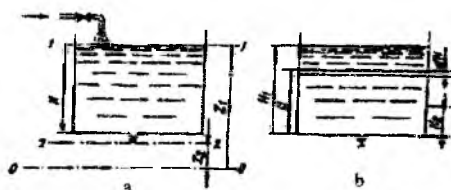
bu yerda, d - drossel asboblarning sarf koeffitsiyenti, $d <$

Dressel qurilmalarining diametri trubaning diametridan 3-4 marta kichkina shuning uchun $(d_2/d_1)^4$ nisbatlar miqdori juda kichik bo'ladi, demak, suyuqlikning sarfini quyidagicha topiladi:

$$V_c = \frac{\alpha \pi}{4} d_0^2 \sqrt{2gh} \quad (2.51)$$

2.7. Suyuqliklarni oqishi

Idishdagi suyuqlikning pastki yupqa devordagi dumaloq teshik orqali oqib tushgandagi sarflanish miqdorini aniqlashni ko'rib chiqamiz.



4- rasm. Idishning teshigidan suyuqlikning oqib chiqishi:

a) o'zgarmas balandlikda, b) o'zgaruvchan balandlikda.

Idishda ideal suyuqlik bo'lib, uning balandligi bir xil vaziyatda o'zgarmasdan turadi. Idishning pastki qismiga parallel bo'lgan 0-0 tekislikka nisbatan 1-1 va 2-2 kesimlar uchun Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g}. \quad (2.52)$$

Idishning ustki qismi ochiq bo'lgani uchun 1-1 va 2-2 kesimlardagi bosim o'zaro teng ($p_1 = p_2$) va suyuqlikning balandligi o'zgarmaganligi uchun uning yuqorigi qismidagi tezligi $w_1 = 0$, bundan tashqari, $z_1 - z_2 = H$, u holda:

$$\frac{w_2^2}{2g} = H. \quad \text{Bundan } w_2 = \sqrt{2gH}.$$

Demak, teshikdan oqib tushayotgan suyuqlikning tezligi suyuqlikning balandligiga bog'liq ekan. Haqiqiy suyuqlik teshikdan oqib chiqishida bosimning bir qismi ichki ishqalanish kuchlarini yengish uchun sarf bo'ladi, bunda bosimning yo'qolishi tezlik koeffitsiyenti φ orqali hisobga olinadi, ya'ni:

$$w = \varphi \sqrt{2gH} . \quad (2.53)$$

Suyuqlik oqimi teshikdan oqib tushayotganda siqilishi natijasida tezlik va bosim kamayadi, bunday holat teshikdan chiqayotgan oqimning siqilish koeffitsiyenti orqali hisobga olinadi va ε bilan belgilanadi:

bu yerda, S_2 – teshikdan o'tgan suyuqlik oqimining siqilgan joydagi ko'ndalang kesimi; S_0 – teshikdan o'tayotgan suyuqlik oqimining ko'ndalang kesimi.

Tezlik va oqimning siqilish koeffitsiyentlarining ko'paytmasi sarf koeffitsiyent deyiladi va α bilan belgilanadi:

$$\alpha = \varepsilon \varphi . \quad (2.55)$$

Bu koeffitsiyent suyuqlik turiga bog'liq bo'lib, har qaysi suyuqlik uchun tajriba orqali aniqlanadi hamda uning qiymati suyuqlik xususiyati, teshik shakli va oqim tezligiga bog'liq. Hajmiy sarf miqdori:

$$V = \alpha S_0 \sqrt{2gH} . \quad (2.56)$$

Bu tenglamadan ko'rinib turibdiki, idishdan teshik orqali oqib chiqayotgan suyuqlik miqdori idishning shakliga bog'lik bo'lmasdan teshik kattaligi va suyuqlik balandligiga bog'liqdir. Suv va qovushqoqligi suvning qovushqoqligiga yaqin bo'lgan suyuqliklar uchun sarf koeffitsiyenti $\alpha = 0,62$.

Bu tenglik orqali idishdagi suyuqlik balandligi ma'lum miqdorga kamayganda, ya'ni N_1 dan N_2 ga o'zgarganda suyuqlikning oqib tushish vaqti aniqlanadi. Idishdagi suyuqlikning butunlay oqib chiqish vaqti (bunda $H_2=0$):

$$\tau = \frac{2S\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}}{\alpha S_0 \sqrt{2g}}$$

Idishdan suyuqlik to'la oqib tushganda, ya'ni $N_2 = 0$ bo'lganda tenglama quyidagicha bo'ladi:

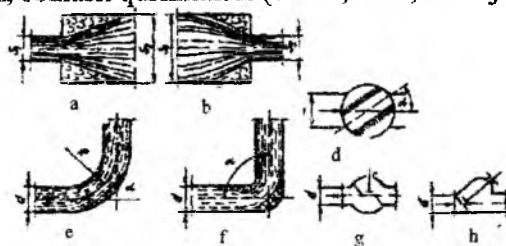
$$\tau = \frac{2S\sqrt{H_1}}{\alpha S_0\sqrt{2g}}$$

2.8. Gidravlik qarshiliklar

Real suyuqliklar harakatlanganda ularning gidravlik qarshiliklar hisobi gidrodinamikaning asosiy masalalaridan biri hisoblanadi. Naporning yo'qotilishi h_y yoki bosimning yo'qotilishi R_y ni aniqlashda energiyani sarfini hisobi va suyuqliklarning aralashishiga bog'liq bo'ladi. Naporning yo'qotilishi deganda umumiy holda ishqalanish va mexanik qarshilik yig'indisi tushuniladi.

Ishqalanish qarshiligi - bu real suyuqliklar trubaning uzunligi bo'ylab harakat qilganda sodir bo'ladi. Bu kattaliklarga suyuqliklarning harakat rejimi, gidrodinamik sharoitlar, energiya ning yo'qotilishi, suyuqliklar harakati kiradi.

Mahalliy qarshilik – oqim tezligini yo'nalishi o'zgarganda hosil bo'ladi. Bunga trubaga kirish va chiqish, siqilish va kengayish, burilish tirsak, sozlash qurilmalari (ventil, kran, zadviyka) kiradi.



5- rasm. Mahalliy qarshiliklar:

a - trubanning birdan kengayishi; b - trubanning birdan torayishi;
d - trubaning tekis burchak ostida to'g'ri burilishi; e - to'g'ri burchak ostida trubaning birdan burilishi; d - tiqinli kran; g - standart ventil;
h - to'g'ri ventil (egilgan shpindel bilan).

Gidravlik qarshiliklarni hisoblash katta amaliy ahamiyatga ega. Yo'qotilgan - bosimni bilmasdan nasos va kompressorlar yordamida suyuqlik va gazlarni uzatish uchun kerak bo'lgan energiya

sarfini hisoblash qiyin. Trubadan suyuqlik oqayotganda ichki ishqalanish kuchi trubaning butun uzunligi bo'yicha mavjud bo'lad. Uning kattaligi suyuqlikning oqish rejimiga (laminar, turbulent) bog'liq. Suyuqlik oqimining harakat yo'nalishi va tezligi o'zgar-ganda u mahalliy qarshiliklarga duch keladi. Trubadagi ventillar, tirsak, jo'mrak, toraygan hamda kengaygan qismlar va har xil to'siqlar **mahalliy qarshilik** deyiladi (5-rasm). Truba va kanallarda ichki ishqalanish va mahalliy qarshilik uchun yo'qotilgan bosim Darsi-Veysbax tenglamasi orqali aniqlanadi:

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{d_2} \frac{\rho \omega^2}{2}$$

bu yerda, λ – ichki ishqalanish koeffitsiyenti; l – truba uzunligi, m; ω – oqimning o'rtacha tezligi, m/s; d_2 – trubaning ekvivalent diametri, m; ρ – suyuqlikning zichligi, kg / m³.

To'g'ri va silliq trubalarda suyuqlik oqimi laminar harakatda bo'lsa, ishqalanish koeffitsiyenti trubaning g'adir-budurligiga bog'lik bo'lmaydi va quyidagi tenglik orqali aniqlanadi:

$$\lambda = \frac{A}{Re} \quad (2.57)$$

bu yerda, A - truba shaklini hisobga oluvchi koeffitsiyent: dumaloq trubalar uchun A = 64, kvadrat shakldagi kanallar uchun A = 57; Re - Reynolds mezon.

Gidravlik jihatdan silliq trubalar uchun Re ning qiymati 4.10³ dan 10⁴ gacha bo'lganda ishqalanish koeffitsiyentini Blazius tenglamasi orqali aniqlash mumkin:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{1/4}} \quad (2.58)$$

Turbulent oqimda ishqalanish koeffitsiyentining kattaligi rejimga hamda trubaning g'adir-budurligiga bog'lik. Trubaning g'adir-budurliqi absolyut geometrik va nisbiy g'adir-budurlik bilan xarakterlanadi. Truba devorlaridagi g'adir-budurliklar o'rtacha balandliklarning truba uzunligi bo'yicha o'lanishi absolyut **geometrik g'adir-budurlik** deyiladi.

Truba devorlaridagi g'adir-budurliklar balandligining (Δ) trubaning ekvivalent diametriga (d_e) nisbati *nisbiy g'adir-budurlik* deyiladi va ε bilan ifodalanadi:

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

Turbulent rejim uchun ishqalanish koeffitsiyenti λ ni topishda quyidagi tenglamadan foydalanish mumkin:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\frac{\varepsilon}{3.7} + \left(\frac{0.81}{Re} \right)^{0.9} \right]$$

Mahalliy qarshiliklardagi bosimning yo'qotilishi quyidagi tenglama orqali topiladi:

$$\Delta P_{mk} = \sum \xi_{mk} \frac{\rho w^2}{2} \quad (2.59)$$

bu yerda, ξ_{mk} — mahalliy qarshilik koeffitsiyenti (1-jadvalga qarang) uning qiymati tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

1- jadval

3-rasmdagi mahalliy qarshilik tartibi	Mahalliy qarshilik turi	Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti, ξ_{mq}
1.	Trubaga kirish	0,2...0,5
2.	Trubadan chiqish	1,0
3.	90° ga to'g'ri burchak ostida burilish $\alpha=90^\circ$ li tirsak	0,15 1,1... 1,3
4.	Tiqinli kran:	0,05
6.	Butunlay ochiq $\alpha=20...$ 50° Standart ventily $d_{st}=20\text{mm}$	2 ... 95 8

7.	$d_{st}=40\text{mm}$ va undan ortiq	4...6
	To'satdan kengayish	
	($Re>3500$):	0,50
	$f_1/f_2=0,1$	0,40
	0,3	0,35
8.	0,4	0,30
	0,5	0,25
	To'satdan torayish	0,45
	($Re>10^4$):	0,40
	$f_1/f_2=0,1$	0,35
	0,3	0,30
	0,4	0,25
	0,5	

Ichki ishqalanish va mahalliy qarshiliklarni yengish uchun umumiy sarf bo'lgan bosim quyidagiga teng:

$$\Delta p_{\text{ox}} = \left(\lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi_{\text{ox}} \right) \frac{\rho w^2}{2}$$

2.9. Suyuqliklarning donasimon qatlamdan o'tishi

Ko'pchilik kimyoviy texnologik jarayonlarda suyuqlik va gazlar sochiluvchan donasimon materiallar qatlamidan o'tkaziladi. Ishlatiladigan donasimon materiallar xilma-xil bo'lib, ularning shakli va o'lchamlari ham har xil bo'ladi. Agar donasimon materiallar bir xil bo'lsa, *bir o'lchamli qatlam* va har xil bo'lsa *ko'p o'lchamli qatlam* deyiladi.

Donasimon materiallar orasidagi bo'shliq hajmining qatlam hajmiga nisbati *bo'sh hajm* deyiladi va bilan belgilanadi:

$$\varepsilon = V - V_0 / V \quad (2.60)$$

bu yerda, V - donasimon qatlam hajmi; V_0 - qatlamdagi zarrachalar egallagan hajm; $V - V_0$ qatlamning bo'sh hajmi.

Bo'sh hajmning kattaligi donasimon materiallarning xiliga va ularning katta-kichikligiga bog'liq bo'lib, u tajriba orqali topiladi. Donasimon qatlamdagi gidravlik qarshilikni aniqlashda trubadan suyuqlik o'tganda bosimning yo'qolishini topishda qo'llaniladigan tenglamadan foydalanish mumkin:

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{d_s} \frac{\rho \omega^2}{2} \quad (2.61)$$

bu yerda, λ – faqat ishqalanish qarshiligini hisobga olmay, balki suyuqlik harakati davomidagi mahalliy qarshiliklarni, ya'ni suyuqlikning zarrachalari oraligidagi egri-bugri kanallardan va zarrachalar orasidan o'tayotgandagi qarshiliklarning hammasini hisobga oladi va umumiy qarshilik koeffitsiyenti deyiladi.

Tenglamalardagi ekvivalent diametr donador zarrachalarning diametri orqali aniqlanadi:

$$d_s = \frac{2\Phi \cdot \varepsilon \cdot d}{3(1-\varepsilon)} \quad (2.62)$$

bu yerda, F zarrachalarining shaklini belgilovchi kattalik,
 d - zarrachaning o'lchami.

$$F = F_{sh} / F \quad (2.63)$$

bu yerda, F – tekshirilayotgan zarrachalarning yuzasi; F_{sh} – tekshirilayotganda zarrachaning hajmiga teng bo'lgan sharning yuzasi.

Masalan: sharsimon zarrachalar uchun $F = 1$; kub uchun $F = 0,806$; balandligi radiusidan 10 marta katta bo'lgan silindr uchun $F = 0,69$ ga teng.

F ning qiymati odatda maxsus adabiyotlarda beriladi. Agar qatlamning bo'sh hajmi va solishtirma yuzasi ma'lum bo'lsa, d_s ni quyidagiga nisbatdan topish mumkin:

$$d_s = \frac{4 \cdot \varepsilon}{a}$$

bu yerda, a – solishtirma yuza, m_2 / m_3

Solishtirma yuza qatlamning hajm birligida joylashgan hamma zarrachalarining yuzasini ifodalaydi.

Agar qatlam ko'p o'lchamli qatlamlardan iborat bo'lsa, u holda zarrachalarning diametri quyidagicha topiladi:

$$d = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}} \quad (2.64)$$

bu yerda, x_i – diametri d_i bo'lgan zarrachalarning massaviy ulushi. Qatlam kanallaridagi suyuqlikning haqiqiy tezligini aniqlash qiyin. Shu sababli dastlabki suyuqlikning mavhum tezligi topiladi. So'ngra quyidagi nisbatdan foydalanib, suyuqlikning haqiqiy tezligi aniqlanadi:

$$\omega = \frac{\omega_0}{\varepsilon} \quad (2.65)$$

bu yerda, $\omega_0 = V/F$ mavhum tezlik suyuqlik hajmiy sarfini qatlamning ko'ndalang kesimi yuzasiga bo'lgan nisbatiga teng.

Qarshilik koeffitsiyenti λ ni aniqlash uchun bir qator tenglamalar taklif etilgan. Suyuqliklarning donasimon qatlamlardan o'tishdagi hamma rejimlar uchun umumiy gidravlik qarshilik koeffitsiyentini quyidagi umumiy tenglama orqali topish mumkin:

$$\lambda = \frac{133}{Re} + 2,54$$

Tenglamadagi Reynolds mezonini quyidagicha topiladi:

$$Re = \frac{4 \cdot \omega_0 \cdot \rho}{a \mu} \quad (2.65)$$

bu yerda, ρ va μ – suyuqlikning zichligi va dinamik qovushqoqligi, a – solishtirma yuza, ω_0 – suyuqlikning mavhum tezligi.

Mavhum tezlik suyuqlik hajmiy sarfini qatlamning ko'ndalang kesimi yuzasiga bo'lgan nisbatiga teng: $\omega_0 = V/F$

Qatlam kanalidagi suyuqlikning haqiqiy tezligi:

$$w = \frac{\omega_0}{\varepsilon}$$

bu yerda, ε – qatlamdagi bo'sh hajmning ulushi.

Donasimon materiallar orasida bo'sh hajmning qatlamning hajmiga nisbati *bo'sh hajmning ulushi* (yoki *g'ovaklilik*) deyiladi va ε bilan belgilanadi:

$$\varepsilon = \frac{V - V_3}{V} = \frac{V_6}{V}, \quad (2.66)$$

bu yerda, V – donasimon qatlam hajmi; V_3 – qatlamdagi zarrachalar egallagan hajm; V_6 – qatlamdagi bo'sh hajm.

Zarrachalarning solishtirma yuzasi ($f_c, m^2/m^2$) va ularning oraliq'idagi kanallarning ekvivalent diametri (d_e, m) quyidagi tenglamalar yordamida aniqlanadi:

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{6(1-\varepsilon)}{d}, \\ d_e &= \frac{2}{3} d \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}, \end{aligned} \quad (2.67)$$

bu yerda, d –zarrachalarning diametri, m.

Kanallarning uzunligi qatlam balandligi orqali aniqlanadi:

$$l = \varphi H$$

bu yerda, φ – tajriba koeffitsiyenti, $\varphi > 1$.

d_e, ω, l qiymatlarini yuqoridagi tenglamaga qo'yib, quyidagi tenglamaga erishamiz:

$$\Delta P_k = \frac{32\varphi H(1-\varepsilon)\omega^2}{4d_e^3}. \quad (2.68)$$

Laminar oqim uchun qatlamning qarshilik koeffitsiyenti:

$$\lambda_k = \frac{64}{Re_k} = \frac{64 \cdot 3\mu(1-\varepsilon)}{2\omega_0 d \varphi}. \quad (2.69)$$

Bunday holatda:

$$\Delta P_s = 72 \frac{(1-\epsilon)^3}{\epsilon^3} \eta \frac{w_{0H}}{d^2} \quad (2.70)$$

Yuqoridagi tenglama yordamida suyuqlik yoki gazning g'ovak-simon qatlam orqali filtrlash paytida qatlamning gidravlik qarshiligini aniqlash mumkin.

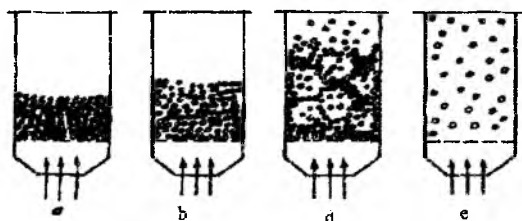
Donasimon qatlamdagi suyuqlikning turbulent oqimi uchun uning qiymatini aniqlash juda qiyin vazifa hisoblanadi. Shu sababli, bunday sharoitda ΔR_k ning qiymati quyidagi empirik tenglama bilan topiladi:

$$\Delta P_s = \left[150 \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \frac{\eta w_0}{d} + 1,75 \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon} \cdot \frac{\rho w_0^2}{d} \right] H. \quad (2.71)$$

2.10. Mavhum qaynash qatlamining gidrodinamikasi

Hozirgi vaqtda kimyo sanoatini barcha texnologik jarayonlarida mavhum qaynash usuli keng qo'llanilmoqda. Issiqlik almashinish, quritish, absorbsiyalash kabi jarayonlarda mavhum qaynash usulining ishlatilishi katta natijalar bermoqda. Mavhum qaynash jarayonida fazalar o'rtasidagi kontakt yuza katta bo'lishi tufayli jarayon bir necha marta tezlashadi, natijada qurilmaning unumdorligi oshadi. Donasimon zarrachalar qatlamini hosil qilish uchun ixtiyoriy shakldagi vertikal idishga donasimon qattiq material solinadi.

Mavhum qaynash qatlamining gidravlik qarshiligi nisbatan katta emas. Qatlamning o'zgarmas holatdan mavhum qaynash holatiga o'tishga to'g'ri keladigan gaz yoki suyuqlikning tezligi mavhum qaynashning *boshlanish tezligi* yoki *birinchi kritik tezlik* deb yuritiladi. Qattiq material donachalarining gaz oqimi bilan chiqib ketish holatiga to'g'ri keladigan tezlik *chiqib ketish tezligi* yoki *ikkinchi kritik tezlik* deb ataladi. (6-rasm).



6- rasm. Mavhum qaynash qatlamining holatlari:

- a) qo'zg'almas qatlam (filtrlash rejimi);
- b) bir jinsli mavhum qaynash qatlami;
- d) turli jinsli mavhum qaynash qatlami;
- e) qattiq donachalarning oqim bilan chiqib ketishi.

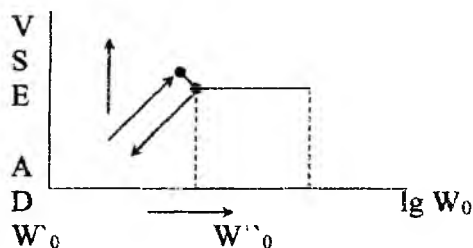
Shunday qilib, mavhum qaynash holati birinchi va ikkinchi tezliklar o'rtasida yuz beradi.

Mavhum qaynash 2 xil (bir jinsli va turli) ko'rinishda yuz beradi. Bir jinsli mavhum qaynashda 1 chi va 2 chi kritik tezliklar o'rtasida qattiq material zarrachalari butun qatlam balandligi bo'yicha 1 xil tarqalgan bo'ladi. Amaliy jihatdan bunday mavhum qaynash jarayoni tomchili suyuqlik (masalan, suv) yordamida amalga oshirilishi mumkin.

Turli jinsli mavhum qaynash asosan qattiq modda zarrachalari gaz oqimi yordamida mavhum qaynash holatiga keltirilganda yuz beradi. Turli jinsli qatlamning hosil bo'lish darajasi zarrachalarning yuzasi va shakliga, zarrachalarning diametriga, oqimning tezligiga, gaz tarqatuvchi to'ring xiliga bog'liq.

Sanoatda ko'pincha qattiq modda - gaz sistemasidagi mavhum qaynash qatlami jarayonlari ko'proq ishlatiladi. Bunday sistemalar ko'pincha turli jinsli bo'ladi.

Ayrim sharoitlarda gaz ko'piklariga ega bo'lgan mavhum qaynash qatlami hosil bo'ladi. Nam qattiq materiallar yoki juda kichik o'lchamli materiallar mavhum qaynash holatiga keltirilganda kanal hosil qiluvchi qatlam paydo bo'ladi. Bunda gaz kanallar orqali o'tib ketadi, qattiq materiallarning asosiy massasi o'zgarmay qolaveradi.



7- rasm. Donador metallar gidravlik qarshi metallning tezlik bilan o'zaro bog'liqligi.

Konussimon va konusli-silindrsimon qurilmalarda kanal hosil qiluvchi qatlam fontanli qatlamga aylanadi.

Qattiq materiallarning mavhum qaynash holatiga keltirishda og'irlik kuchidan tashqari magnit va markazdan qochma kuchlar maydonidan ham foydalansa bo'ladi.

Mavhum qaynash jarayonining boshlanishi bilan oqimning gidrodinamik bosim kuchlari qatlamdagi qattiq zarrachalar og'irligini muvozanatga solib turadi. Gaz oqimi tezligining ortishi bilan zarrachalar og'irligi o'zgarmaydi, zarrachalarni mavhum qaynash holatida ushlab turish uchun zarur bo'lgan energiya sarfi ham bir xil bo'ladi. O'zgarmas qatlamdan mavhum qaynash holatiga o'tish uchun bosim cho'qqisi xarakterlidir. Zarrachalar o'rtasidagi o'zaro tortishish kuchlarini yengish uchun qo'shimcha energiya sarflanishi sababli bosim cho'qqisi hosil bo'ladi.

Bosim cho'qqisining kattaligi zarrachalar shakli va yuzasiga bog'liq. Agar gaz tezligi asta-sekin kamaytirilsa, egri chiziq A nuqtada kesishmay pastroqdan o'tib, cho'kma hosil qilmaydi. Bu hodisa *gisteresis* deb ataladi. Mavhum qaynash hosil bo'lishining kritik tezligini topish uchun juda ko'p tenglamalar taklif etilgan. Sharsimon bir jinsli zarrachalar uchun birinchi kritik tezlikni topishda Todes tenglamasidan foydalanish eng qulaydir:

$$Re_{sp} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} \quad (2.72)$$

bu yerda,

$$Re_{sp} = \frac{\omega_0 \cdot \rho \cdot d}{\mu} \quad (2.73)$$

$$Ar = \frac{d^3 \cdot (\rho_{qz} - \rho_m) \rho \cdot g}{\mu^2} \quad (2.74)$$

d – qattiq zarrachalar diametri, m; ρ_{qz} – qattiq zarrachalar zichligi, kg/m^3 ; μ – muhitning dinamik qovushqoqligi, Pa s; r – erkin tushish tezlanishi, m/s^2 , ρ_m – muhitning zichligi, kg/m^3 .

O'zgarmas qatlam va mavhum qaynash qatlami balandliklari quyidagi bog'lanishga ega:

$$N = (1 - E) N_0 (1 - E_0) \quad (2.75)$$

bu yerda, N – mavhum qaynash qatlamining balandligi, m; E – mavhum qaynash qatlamidagi zarrachalar orasidagi bo'shliq; N_0 – o'zgarmas qatlam balandligi, m; E_0 – o'zgarmas qatlamdagi zarrachalar orasidagi bo'shliq.

Mavhum qaynash jarayoni mavhum qaynash soni K_w bilan harakatlanadi:

$$K_w = w_0 / w'_0$$

bu yerda, w_0 – qurilmaning to'la kesimiga nisbatan olingan oqimning ish tezligi, m/s; w'_0 – mavhum qaynash qatlami hosil bo'lish kritik tezligi, m/s.

Mavhum qaynash soni K_w zarrachalarining qatlamdagi aralashish intensivligini ko'rsatadi. Mavhum qaynash qatlamida eng intensiv aralashish $K_w = 2$ da bo'ladi. Lekin har bir texnologik jarayon uchun K_w ning optimal qiymati tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

Zarrachalarning qatlamda o'rtacha bo'lish vaqti:

$$\tau_0 = \frac{G_s}{Q_s} \quad (2.76)$$

bu yerda, G_m – qatlamda bo‘lgan qattiq materialning massasi, kg;
 Q_s – qattiq material sarfi kg/s.

Qattiq zarrachalarning gaz yoki suyuqlik oqimi bilan chiqib ketish tezligi Todes tenglamasi orqali topiladi:

$$Re_{sp} = \frac{Ar}{18 + 0,62\sqrt{Ar}}$$

bu yerda,

$$Re_{sp} = \frac{\omega_s \cdot \rho \cdot d}{\mu} \quad (2.77)$$

Mavhum qaynash qatlamining gidravlik qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta R = N (\rho_{kz} - \rho_m) (1 - \varepsilon) \quad (2.78)$$

2.11. Donasimon tolali materiallarning mavhum qaynashi

Toshkent Kimyo-texnologiya instituti «Jarayonlar va qurilmalar» kafedrası olib borilgan tadqiqotlarga ko‘ra donasimon tolali materiallar (paxta chigiti) ning mavhum qaynash qatlami o‘ziga xos xususiyatlarga ega. Chunki paxta chigitining donasi noksimon noto‘g‘ri shaklga ega bo‘lib, yuzasida turli uzunlikka ega bo‘lgan to‘siqlari bo‘ladi. Paxta chigiti uchun birinchi kritik tezlikning qiymati chigitning tola ushlashiga bog‘liq ekanligi tasdiqlanadi. Chigit qatlami uchun $E_0 = 0,43 - 0,55$ ma‘lum bo‘ldi, ko‘pchilik sochiluvchan materiallar uchun $E_0 = 0,38 - 0,42$ (o‘rtacha $E_0 = 0,4$).

Tajribalardan ma‘lum bo‘ldiki, paxta chigitining ekvivalent diametri d_e va zichligi uning tola ushlashligi T ga bog‘liq ekan.

To‘qsiz va tola ushlashligi 13% gacha bo‘lgan to‘qli paxta chigiti uchun Re mezoni quyidagi tenglama orqali aniqlash taklif etildi:

$$Re_{sp} = 0,456 \cdot \left(\frac{Ar}{10^4} \right)^{1,63} \quad (2.79)$$

Tadqiqotlarga ko'ra Re mezonining qiymati shakl koeffitsiyentiga va zarrachaning tola ushlashligiga bog'liq ekan. Shu sababdan donasimon tolali materiallarning ushbu xossalari zarrachaning tola ushlashlik darajasini belgilovchi koeffitsiyent η orqali hisobga olinishi maqsadga muvofiq bo'ladi:

$$\eta = \frac{Re_{sp}}{Re_{sp}^0} \quad (2.80)$$

bu yerda, Re_{kr}^0 – to'qsiz chigit ($T=0$ %) uchun Re_{kr} ning qiymati. Turli navdagi paxta chigiti uchun η ning qiymati $\eta = 1 - 2,32$ ga teng bo'lib, quyidagi empirik tenglama orqali topiladi:

$$\eta = 1 + 0,43 T^{0,44}$$

bu yerda, T – chigitning tashqi yuzasidagi tolaning miqdori, %.

Qattiq zarrachaning tola ushlashlik darajasi topilgandan So'ng mavhum qaynashning birinchi kritik tezligi quyidagi tenglamadan topiladi:

$$Re_{sp} = \eta \frac{Ar}{1400 + 5,22 \sqrt{Ar}}$$

Donasimon tolali materiallarning qurilmadan chiqib ketish holatiga to'g'ri kelgan ikkinchi kritik tezlikni aniqlash uchun quyidagi tenglama taklif qilindi:

$$Re_2 = \frac{\eta^{0,422} Ar}{20,16 + 0,683 \sqrt{Ar}} \quad (2.81)$$

Olib borilgan tajriba natijalarini $Re = f(Ar)$ ko'rinishda qayta ishlash natijasida qo'zg'almas, kengaytirilgan va mavhum qaynash holatlarining chegaralari aniqlanadi.

Kengaytirilgan qatlamning boshlanish chegarasini aniqlash uchun quyidagi empirik tenglamadan foydalanish mumkin:

$$Re_{kr} = (431,2 - 111,15 \eta) R^{0,183} \quad (2.82)$$

bu yerda, R – qatlam massasining yuzaga nisbati, kg/m^2 .

Shunday qilib, olib borilgan tadqiqot natijalariga ko'ra donasimon tolali materiallar uchun mavhum qaynash holati 2 va 3 chegara chiziqlari oralig'ida mavjud bo'ladi

2.12. Suyuqlik muhitlarida aralashtirish

Kimyoviy reaksiyalarni amalga oshirish, gomogen sistemalar hosil qilish, issiqlik va modda almashinish jarayonlarini tezlatish uchun suyuqlik muhitlarini aralashtirish keng qo'llaniladi.

Aralashtirgich, suyuqlik yoki gazning ingichka oqimi ta'sirida qurilma hajmidagi oquvchan muhit zarrachalarini bir-biriga nisbatan ko'p marotaba siljitishga asoslangan jarayon **aralashtirish** deyiladi.

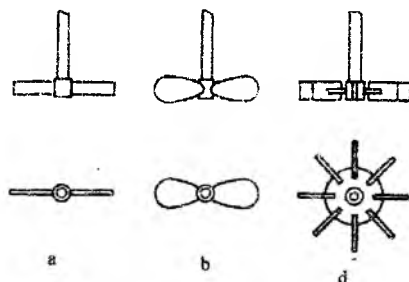
Aralashtirish quyidagi maqsadlar uchun ishlatiladi: a) qattiq zarrachalarni suyuqlik hajmida bir tekisda tarqatish (suspenziya hosil qilish); b) suyuqlik zarrachalarini tegishli o'lchamlargacha maydalash va ularni suyuqlik muhitida bir tekisda tarqatish (emulsiya hosil qilish); d) gaz zarrachalarini suyuqlikda bir tekisda tarqatish (aeratsiya); e) suyuqlikni isitish yoki sovitish jarayonlarini tezlashtirish; f) aralashadigan sistemalardagi (masalan, qattiq materiallarni suyuqlik yordamida eritish) modda almashinishini tezlashtirish.

Kimyo sanoatida aralashtirishning quyidagi usullaridan foydalaniladi: 1) mexanik; 2) sirkulatsion; 3) turbulizator yordamida; 4) pnevmatik. Bu usullarni tanlash paytida bir necha shart-sharoitlar hisobga olinadi: aralashtirishning maqsadi; jarayonning asosiy xarakteristikalar (harorat, bosim); aralashadigan muhitning xossalari; qurilmaning ish unumdorligi.

Samaradorlik va tezlik aralashtiruvchi qurilmalarning eng muhim xarakteristikalar hisoblanadi.

Mexanik usulda aralashtirish

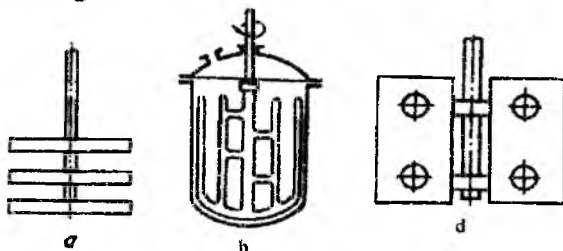
Sanoat ishlab chiqarishlarida ishlatilayotgan aralashtirgichlar uchga bo'linadi: parrakli, propellerli va turbinali (8 - rasm). Parrakli aralashtirgichlar bir va bir nechta parrakdan iborat bo'ladi. Bir parrakli aralashtirgichlar qovushqoqligi ($1N\ s/m^2$) kichik bo'lgan suyuqliklarni aralashtirish uchun ishlatiladi. Ko'p parrakli aralashtirgichlar qovushqoqligi katta bo'lgan suyuqliklarni aralashtirish uchun ishlatiladi.



8-rasm.

a-parrakli; b – propellerli; d – turbinali.

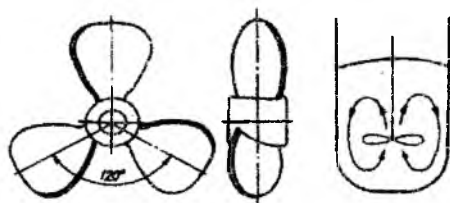
Parrakli aralashtirgichlarni diametri qurilma diametrining 0,66 - 0,9 qismini tashkil qiladi. Aylanishlar soni minutiga 15 - 45 gacha bo'ladi. Cho'kma ajratuvchi sistemalarni aralashtirish uchun yakorli aralashtirgichlar ishlatiladi.



9-rasm. Parrakli aralashtirgichlarning turlari.

a) ramali; b) yakorli; d) yaproqsimon.

Propellerli aralashtirgichlarning asosiy ish organi o'qqa o'rnatilgan propeller yoki vintdan iborat. O'q gorizontal, vertikal yoki kiya o'rnatilgan bo'lishi mumkin. Vintlar ikki yoki uch qanotli bo'ladi. Qanotlar suyuqlikda xuddi vint kabi harakat qiladi. Bitta val o'qiga bittadan uchtagacha propeller aralashtirgichlar o'rnatiladi. Propellemlni o'rab olgan suyuqlik esa xuddi gayka kabi aralashtirgichning o'qi yo'nalishida harakat qiladi.

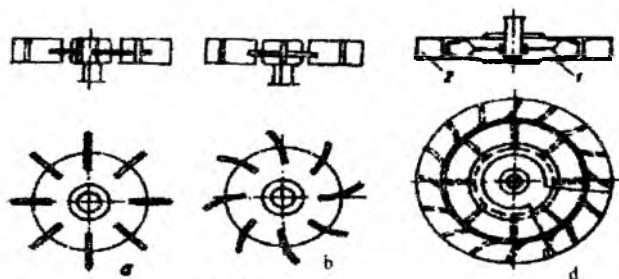


10-rasm. Propellerli aralashtirgich.

Propeller aralashtirgichlar muhitlarni yaxshi aralashtirganda katta tezlikda aylanadi. Propellemlarning diametri qurilma diametrini 0,25 - 0,3 qismini tashkil etadi. Aylanishlar soni daqiqasiga 150-1000 gacha bo'ladi. Propellerli aralashtirgichlarni harakatchan va qovushqoqligi biroz katta bo'lgan (6 N s/m^2) suyuqliklarni aralashtirish uchun ishlatiladi. Propellerli aralashtirgichlar parrakli aralashtirgichlarga qaraganda samaradorligi ancha yuqori, lekin ularni ishlashi uchun ko'p energiya sarflanadi.

Turbinali aralashtirgichlarning asosiy ish organi turbina g'ildiragi bo'lib, u vertikal o'qqa joylashtirilgan bo'ladi.

G'ildirak daqiqasiga 200 - 2000 gacha aylanma harakat qiladi. Turbina g'ildiragining ishlash prinsipi markazdan qochma kuchlarning ta'siriga asoslangan. Suyuqlik aralashtirgichninig markaziy teshiklaridan kirib, u yerda markazdan qochma kuchlar ta'sirida tezlanish olgan holda g'ildirakdan radial yo'nalishda chiqib ketadi. G'ildirakda suyuqlik vertikal yo'nalishdan gorizontal yo'nalishga utib, undan katta tezlik bilan chiqadi. Bu aralashtirgichlarni samaradorligi juda yuqori.



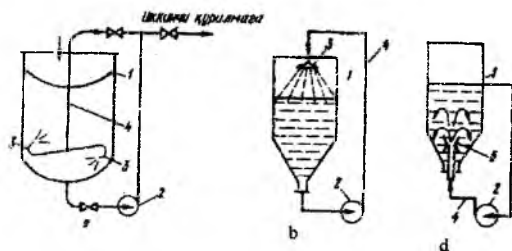
11 - rasm. Turbinali aralashtirgich turlari:

a) ochiq to'g'ri kurrakchali; b) ochiq qiya kurrakchali; d) yopiq turbinali; 1 - turbina; 2 - yo'naltirgich.

Turbinali aralashtirgichlarning diametri qurilma diametrining 0,17-0,33 qismini tashkil qiladi. Bu aralashtirgichlar ($1-700 \text{ N s/m}^2$) suyuqliklarni aralashtirish uchun ishlatiladi.

Sirkulatsion aralashtirish. Suyuqlik muhitini tezda aralashtirish uchun sirkulatsion nasosdan foydalaniladi.

Suyuqlik haydaladigan truboprovodlar gorizontal yuziga nisbatan bir oz qiya qilib, qurilma devoriga urinma holatida birlashtiriladi. Truboprovodlarning uchlari maxsus nasadkalar bilan ta'minlangan bo'ladi. Nasadka yordamida suyuqlik qurilmaning hajmi bo'yicha sochib beriladi. Sirkulatsion nasos sifatida markazdan qochma va ingichka oqimli nasoslar ishlatiladi. Nasosning ish unumdorligi ko'paygan sari sirkulatsiyaning samaradorligi ortadi.



12-rasm. Sirkulatsion aralashtirshning chizmasi.

Turbulizatorlar yordamida aralashtirish. Suyuqlikni oqim buylab ko'p marotaba aralashtirish uchun truboprovodlarga yoki ularga joylashtirilgan aralashtirgichlarga maxsus turbulizatorlar o'rnatiladi. Turbulizatorlar (boshqacha qilib aytganda statik aralashtirgichlar) qatoriga diafragma oqim, kesuvchi yarimta to'siq va vintlar kiradi. Turbulizatorlarga kirganda oqim O'zining qiymati va yo'nalishini O'zgartiradi. Aralashtirishning ushbu turida oqimning energiyasi sarf bo'ladi. Turbulizatorlar yordamida olib boriladigan aralashtirish ko'p energiya talab qiladi. Bu usul suyuqliklar o'zaro eruvchanlik xossalriga ega bo'lgan va aralashma komponentlarining qovushqoqligi nisbatan kam bo'lgan sharoitda ishlatiladi. Suyuqlik oqimi katta tezlik bilan harakatlenganda va truboprovodning uzunligi nisbatan katta bo'lganda turbulizatorlar yordamida aralashtirish maqsadga muvofiqdir.

Oqimning o'zida aralashtirishni hisoblash paytida turbulizatorlar mahalliy qarshiliklar sifatida olinadi.

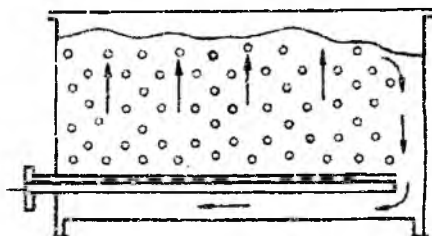
2.13. Pnevmatik aralashtirish

Qovushqoqligi uncha yuqori bo'lmagan (200 N s/m^2) suyuqliklarni aralashtirish hamda dolnasimon materiallarni suvda yuvish uchun pnevmatik aralashtirgichlar ishlatiladi.

Ayrim sharoitlardi pnevmatik aralashtirish uchun havo o'rniga suv bug'i ishlatiladi, bunda aralashtirishdan tashqari suyuqlikni isishi ham yuz beradi. Pnevmatik aralashtirish uchun gaz yoki bug' suyuqlik tarkibiga soplodagi teshiklar orqali o'tadi. Bunda gaz (yoki bug')ning ingichka oqimlari pufakchalarga ajralib, suyuqlik massasi bo'ylab yuqoriga ko'tariladi. Bunday sharoitda hosil bo'lgan pufakchalar o'zi bilan birga suyuqlikning zarrachalarini ergashtirib ketadi, bundan tashqari pufakchalarning harakatiga qarama-qarshi, suyuqlikning barbotaj qilinmagan qismining harakati boshlanadi.

Yengil uchuvchan suyuqliklarni pnevmatik usul bilan aralashtirish mumkin emas, chunki bunda aralashtirilayotgan suyuqlik havo bilan birga chiqib ketishi mumkin. Aralashtirish uchun turli tuzilishli barbotyor ishlatiladi. Agar aralashtirish paytida gaz bilan suyuqlik-

ning zich to'qnashuvi zarur bo'lsa, u holda 13 - rasmda ko'rsatilgan barbotyor qo'llaniladi.

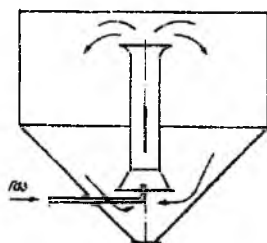
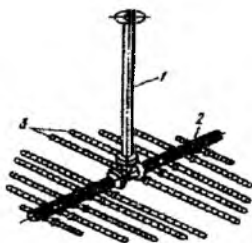


13- rasm.

Barbotyordagi gazning tezligi $0,1 \text{ m/s}$ gacha yetishi mumkin, sirkulatsion oqimning tezligi esa $0,25 - 0,4 \text{ m/s}$ ni tashkil qiladi. Bunday aralashtirish jarayoni sekin boradi va juda ko'p energiya sarf bo'ladi. Bundan tashqari, havo yordamida aralashtirishda keraksiz jarayonlar: oksidlanish yoki mahsulotning bug'lanishi yuz berishi mumkin.

Sochiluvchan moddalarni siqilgan havo yordamida aralashtirish uchun Erlift prinsipidan foydalaniladi. Havo kompressor yordamida markaziy trubaga yuboriladi. Bunday sharoitda markaziy truba ichida gaz, suyuqlik va qattiq jismning aralashmasi paydo bo'ladi. Markaziy trubadagi aralashmaning zichligi qurilmaning boshqa qismida joylashgan aralashma zichligidan kam bo'ladi. Ushbu zichliklar ayirmasi o'rtasidagi farq natijasida butun massaning sirkulatsion harakati paydo bo'ladi. Erliftidagi gazning keltirilgan tezligi 2 m/s gacha, sirkulatsion oqimning tezligi esa 1 m/s ga cha yetadi.

Ayniqsa gazni suyuqlik bilan kimyoviy reaksiyaga kirishi zarur bo'lganda pnevmatik usulni qo'llash maqsadga muvofiq. Bunday aralashtirish *aeratsiya* deyiladi. Aeratsion qurilmalarning samaradorligi suyuqlik muhitning aralashishidan tashqari kislorod bilan to'yinish darajasi orqali ham xarakterlanadi.



14-rasm. Barboterning tuzilishi. 15 - rasm. Erliftidan foydalanish.

- 1-vertikal havo uzatuvchi qurilma;
- 2-aralashtirgich.
- 3-gorizontaal havo uzatuvchi qurilma;
- 4-havoni tarqatuvchi qurilma.

Har qanday aralashtirish jarayonida 2 xil kattalik (energiya sarfi va aralashtirish samaradorligi) bilan xarakterlanadi. Har xil jarayonlarda aralashtirish samaradorligi turlicha belgilanadi. Masalan, agar qattiq moddaning suyuqlikdagi suspenziyasi tekshirilayotgan bo'lsa, aralashtirish samaradorligi qattiq modda zarrachalarining suyuqlikda bir xil tarqalish vaqti bilan belgilanadi. Agar aralashtirish issiqlik almashinishni tezlatish uchun ishlatilsa, u holda jarayon samaradorligi muhitdagi issiqlik berish koeffitsiyentlarining qanchaga ko'payishi bilan belgilanadi.

Pnevmatik aralashtiruvchi qurilmalarni hisoblash tegishli bosimni, siqilgan havo sarfini va aralashtiruvchi qurilmaga sarf bo'ladigan quvvatni aniqlashdan iborat.

Aralashtirish uchun zarur bo'lgan siqilgan havo bosimi quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$R = 1,2 N \rho_s g + R_0 \quad (2.83)$$

bu yerda, N – aralashayotgan suyuqlik ustunining balandligi, m; ρ_s – aralashayotgan suyuqlikning zichligi, kg/m^3 ; R_0 – suyuqlik ustunidagi bosim, Pa.

Havo yo'lidagi bosimning yo'qolishini suyuqlik ustuni qarshiligining 20 foiziga teng deb olinan.

Qurilmadagi suyuqlikning 1 m^2 erkin yuzasiga to'g'ri kelgan havo sarfini quyidagicha qabul qilinadi: sekin aralashtirishda - $0,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ min}$. Tez aralashtirishda - $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ min}$. Barbotyor teshiklaridan chiqayotgan gazning tezligi $20 - 40 \text{ m/s}$ ni tashkil qiladi.

Aralashtiruvchi qurilmaga sarf bo'ladigan quvvat quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$N = R_n R_{ik} K_N \rho n^3 d \quad (2.84)$$

bu yerda,

$$R_n = \left(\frac{H_c}{D} \right)^{0.5}$$

D - qurilma diametri; R_n - suyuqlik balandligining qurilma diametriga nisbatini hisobga oluvchi koeffitsiyent; N_s - qurilmadagi suyuqlik balandligi; R_{ik} - ichki qurilmalar borligini hisobga oluvchi koeffitsiyent; ρ - suyuqlik yoki aralashmaning zichligi; n - aralashtiruvchi qurilmaning aylanishlar soni; d - aralashtiruvchi qurilma diametri; K_N - quvvat mezoni.

Quvvat mezoni grafiklar yordamida aralashtirgichlarning geometrik o'lchamlariga va harakat rejimiga qarab aniqlanadi.

Hozirgacha aralashtirish samaradorligini aniqlashga yordam beradigan ma'lumotlar yetarli darajada emas, chunki suyuqlik muhitlarida aralashtirish juda ko'p parametrlarga bog'liq bo'lgan jarayon hisoblanadi.

III BOB. TURLI JINSLI SISTEMALARNI AJRATISH

3.1. Turli jinsli sistemalarning hosil bo'lishi va ularning klassifikatsiyasi

Har xil fazalardan (masalan, suyuqlik – qattiq modda, suyuqlik–gaz va hokazo) tashkil topgan aralashmalar *turli jinsli sistema* deb ataladi. Ko'pchilik turli jinsli sistemalar ishlab chiqarish sharoitida texnologik jarayonlarni amalga oshirish paytida hosil bo'ladi. Har qanday turli jinsli sistema *ikki* yoki *undan ko'p* fazalardan tashkil topadi. Zarrachalari juda maydalangan holatdagi faza dispers yoki ichki faza deyiladi. Dispers faza zarrachalarini o'rab olgan fazasi esa *dispersion* yoki *tashqi faza* deyiladi.

Fazalarning fizik holatiga ko'ra turli jinsli sistemalar quyidagi guruhlariga bo'linadi: *suspenziyalar, emulsiyalar, ko'piklar, changlar, tutunlar, tumanlar*.

Suyuqlik va qattiq modda zarrachalaridan tashkil topgan aralashmalar *suspenziya* deyiladi. Qattiq modda zarrachalarining o'lchamiga ko'ra suspenziyalar (zarrachalar o'lchami 100 mkm dan ortiq); mayin suspenziyalar (zarrachalar o'lchami 0,5 - 100 mkm); loyqasimon-suspenziyalar (zarrachalar o'lchami 0,5 - 0,1mkm); kolloid eritmalar (zarrachalar o'lchami 100 mkm dan kichik).

Sanoatda suspenziyalar juda ko'p uchraydi. Qattiq sochiluvchan moddalarni suyuqlik bilan aralashtirish paytida suspenziyalar hosil bo'ladi.

emulsiyalar ikki xil O'zaro aralashtirilgan suyuqliklardan iborat bo'lib, bunda birinchi suyuqlikning ichida ikkinchi suyuqlikning tomchilari tarqatilgan bo'ladi. emulsiyaga sut eng xarakterli misol bo'la oladi. Sut tarkibida suv va 3-4 xil yog' zarrachalaridan iborat.

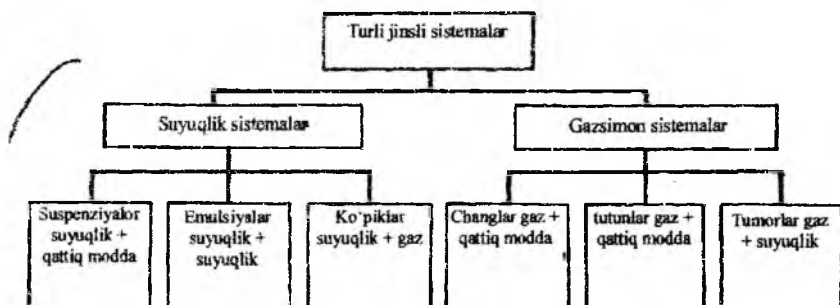
O'z tarkibida gaz pufakchalari tutgan suyuq sistemalar *ko'piklar* deb ataladi. Suyuqlik – gaz sistemasi O'zining xossasiga ko'ra emulsiyalarga yaqin turadi.

Changlar deb O'z tarkibida qattiq moddaning mayda zarrachalarini tutgan gaz sistemalariga aytiladi. Chang tarkibidagi qattiq zarrachalar o'lchami 3...70 mkm oralig'ida bo'ladi.

Tutunlar tarkibida o'lchami 0,3...5 mkm ga teng bo'lgan qattiq modda zarrachalari bo'ladi. Tutunlar bug' yoki gazlarning suyuq yoki qattiq holatga kondensatsiyalanish jarayoni orqali o'tishda hosil bo'ladi.

Tumanlar suyuq va gaz fazalaridan tashkil topgan bo'ladi. Tuman tarkibidagi suyuqlik zarrachalarining o'lchami 0,3... 0,5 mkm ga teng.

Chang tutun va tumanlar *aerodispers sistemalar* yoki *aerozollar* deb ataladi. Quyidagi rasmda turli jinsli sistemalarning klassifikatsiyasi berilgan.



Texnikada turli jinsli sistemalarni tashkil etuvchi fazalar yoki komponentlarga ajratishga to'g'ri keladi. Ajratish usullarini tanlashda turli jinsli sistemani tashkil etuvchi fazalarning holatiga (suyuq, qattiq va gazsimon), qattiq yoki suyuq zarrachalarning o'lchamiga, fazalar o'rtasidagi zichlik farqiga, muhit qovushqoqligiga ahamiyat berish kerak.

Ajratish usullari

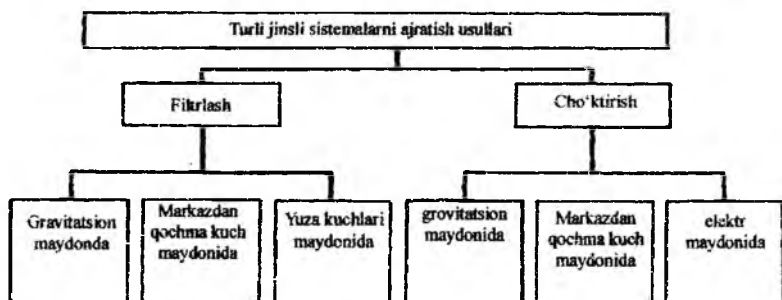
Texnikada turli jinsli sistemalarni tashkil etuvchi fazalar yoki komponentlarga ajratish to'g'ri keladi. Ajratish usullarini tanlashda

turli jinsli sistemani tashkil etuvchi fazalarning holatiga, qattiq yoki suyuq zarrachalarning o'lchamiga, fazalar o'rtasidagi zichliklar farqiga, muhitning qovushqoqligiga ahamiyat berish kerak.

Kimyoviy texnologiyada turli jinsli sistemalarni ajratish uchun quyidagi gidromexanik usullardan foydalaniladi:

1) cho'ktirish, 2) filtrlash, 3) sentrifugalash, 4) suyuqlik yordamida ajratish.

Turli jinsli sistemalarni texnikada ajratish uchun gravitatsion, markazdan qochma kuch va elektr maydonlaridan hamda suyuqlik va gazlardagi yuza kuchlari bosimining maydonidan foydalaniladi.



yordamida suyuqlik va gazsimon turli jinsli sistemalar tarkibidagi qattiq yoki suyuq zarrachalarni ajratish **cho'ktirish** deb ataladi.

Agar cho'ktirish og'irlik kuchi ta'sirida borilsa, bu jarayon **tindirish** deb yuritiladi. Tindirish asosan turli jinsli sistemalarni birlamchi ajratish uchun ishlatiladi.

Filtrlash – suyuq va gazsimon aralashmalarni g'ovaksimon to'siq filtr yordamida ajratishdan iborat. Filtrlash bosim yoki markazdan qochma kuch ta'sirida olib boriladi va asosan suspenziya hamda changlarni to'la tozalash uchun ishlatiladi.

Sentrifugalash – suspenziya va emulsiyalarni markazdan qochma kuchlar ta'sirida yaxlit yoki g'ovaksimon to'siqlar yordamida ajratish jarayonidir.

Suyuqlik yordamida **ajratish usuli** deb gaz tarkibida bo'lgan qattiq zarrachalarni biror suyuqlik ishtirokida ushlab qolish

jarayoniga aytiladi. Bu jarayon og'irlik yoki inersiya kuchlari ta'sirida olib boriladi va gazlarni tozalash uchun ishlatiladi.

Turli jinsli sistemalarni ajratishning yuqorida bayon etilgan usullari sanoatda *cho'ktirish, filtrlash qurilmalari, siklonlar, elektrofiltrlar, sentrifugal, skrubberlar* va shu kabi qurilmalarda olib boriladi.

3.2. Cho'ktirish. Cho'ktirish qurilmalari

Cho'ktirish usuli suspenziya, emulsiya va changli gazlarni ajratish uchun ishlatiladi. Cho'ktirish tezligi kichik bo'lgani sababli bu usul asosan turli jinsli sistemalarni birlamchi ajratish uchun qo'llaniladi. Cho'ktirish jarayoni changli gazlar, suspenziya va emulsiyalar tarkibidagi mayda qattiq zarrachalarning og'irlik kuchi ta'sirida qurilma tubiga cho'kishiga asoslangan. Cho'ktirish jarayonlari tindiruvchi qurilmalarda olib boriladi.

Cho'kish tezligini aniqlash uchun alohida olingan sharsimon qattiq zarrachalarning suyuqlik muhitda erkin cho'kishini tekshiramiz: cho'ktirish jarayonlari *tindiruvchi* qurilmalarda olib boriladi. Bu jarayonda cho'kish tezligini hisoblash muhimdir.

Zarracha dastlab tez cho'ka boshlaydi, So'ngra og'irlik kuchi qarshilik kuchiga teng bo'lgandan So'ng O'zgarmas tezlik bilan bir xilda cho'kadi. Shu O'zgarmas tezlik *cho'kish tezligi* deyiladi. Umumiy holda tezligi quyidagi formuladan topiladi:

$$\omega_s = \frac{d^2 \cdot g(\rho_s - \rho_n)}{18\mu_n} \quad (3.1)$$

Bu tenglama *Stoks tenglamasi* deb yuritiladi va $Re < 2$ bo'lganda ishlatiladi. Turbulent rejimda $Re > 500$ bo'lganda inersiya kuchlaridan ustun turadi. Turbulent rejim uchun cho'kish tezligi quyidagi tenglamadan topiladi:

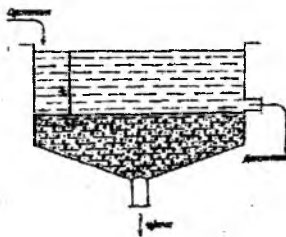
$$\omega_s = 5,45 \sqrt{\frac{d(\rho_s - \rho_n)}{\rho_n}} \quad (3.2)$$

Sharsimon bo'lmagan zarrachalarning cho'kish tezligi quyida-gicha aniqlanadi:

$$w = w_{ch} \cdot \varphi \quad (3.3)$$

bu yerda, φ – shakl koeffitsiyenti; 0,77 – dumaloq bo'lgan zarrachalar uchun; 0,43 – plastinkasimon zarrachalar uchun; 0,66 – uch-burchak shaklidagi zarrachalar uchun.

Cho'ktirish turli jinsli sistemalarni ajratishning boshqa usullariga nisbatan eng oddiy usuli hisoblanadi. Odatda, cho'ktirish jarayonidan birlamchi ajratish usuli sifatida foydalaniladi. Bu jarayon suspenziyani filtrlash orqali ajratishni tezlashtiradi. Cho'ktirish jarayoni cho'ktiruvchi yoki quyultiruvchi qurilmalarda olib boriladi. Cho'ktirish qurilmalari *davriy*, *uzluksiz* va *yarim uzluksiz* rejimda ishlatiladigan qurilmalarga bo'linadi. O'z navbatida, uzluksiz ishlaydigan cho'ktirish qurilmasi *bir*, *ikki* va *ko'p yarusli* bo'ladi.



16-rasm. Davriy ishlaydigan cho'ktiruvchi qurilma.

Yuqorida davriy ishlaydigan cho'ktirish qurilmasi ko'rsatilgan. Bu qurilma konus asosli silindrsimon idish bo'lib, unga aralashma masalan, suspenziya yuqoridan beriladi. Aralashma qurilmada ma'lum vaqt tindirilgandan so'ng (agar zarrachalar zichligi muhitning zichligidan katta, ya'ni $\rho_k > \rho_m$ bo'lsa) zarrachalar qurilmaning pastki qismiga cho'kadi. Qurilmaning yuqori qismida esa tozalangan va balandligi h ga teng bo'lgan qatlam hosil bo'ladi. Tozalangan mahsulot (*dekantar*) qurilmaning yon tomonida

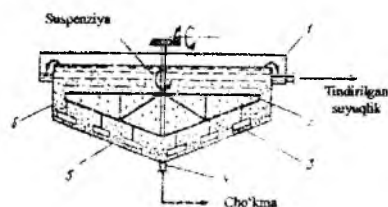
joylashgan shtuser orqali chiqarib olinadi, So'ngra esa cho'kma tushiriladi. Shundan So'ng qurilma yuviladi va jarayon qaytadan boshlanadi.

Agar $\rho_k > \rho_m$ (masalan, sutlarni tindirish paytida) bo'lsa, dispers fazaning zarrachalari qurilmaning yuqorigi qismida yig'iladi. Qurilmaning pastki qismida esa tozalangan qatlam hosil bo'ladi.

Uzluksiz ishlaydigan cho'ktirish qurilmalarida turli jinsli sistemalarni ajratish jarayoni ancha tez boradi va cho'kmani tushirish uchun kam vaqt ketganligi sababli mehnat sarflaridan kamayadi. Bunday qurilmalarga aralashmalarni berish va ajratilgan mahsulotlarni chiqarib olish uzluksiz ravishda olib boriladi.

Ajratilayotgan zarrachalarning zichligi tindirilayotgan suyuqlik zichligidan kichik bo'lsa ($\rho \leq \rho_m$), u holda chiqindilar qurilmaning yuqori qismida, suyuqlik fazasining erkin yuzasida to'planadi. Tindirilgan faza qurilmaning quyi qismidan davriy ravishda tushirib turiladi.

Ushbu tipdagi tindirish qurilmalarining ayrim turlari aralash-tiruvchi moslamalar (taroqlar) bilan jihozlanadi. Bunday qurilmani (16-rasm) samaradorligi yuqori, cho'kindilarni qurilma tubining o'rtasiga yig'ish va tushirish imkoniyati mavjud.



17 - rasm. Uzluksiz ishlovchi cho'ktirish qurilmasi: 1- halqasimon tarnov;

2- aralashtirish moslamasi;

3- parrak (suruvchi taroq);

4-cho'kma tushirish moslamasi;

5- konussimon tublik;

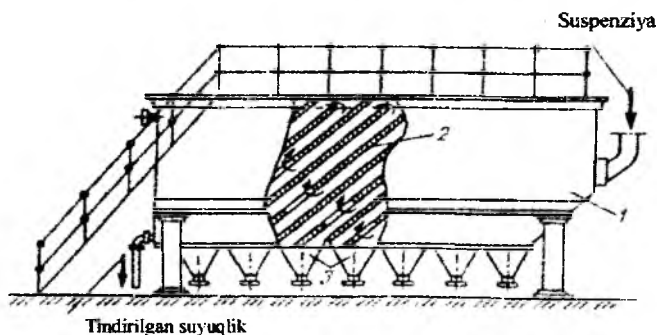
6- silindrik idish.

Taroqlar harakati o'ta kichik ($n=0,02 \div 0,05 \text{ min}^{-1}$) bo'lganligi sababli cho'kish jarayoniga salbiy ta'sir ko'rsatmaydi.

Yuqorida ta'rifli keltirilgan qurilmalarning diametrlari katta (bino ichida $12 \div 20 \text{ m}$, ochiq maydonlarda $\leq 120 \text{ m}$), balandligi esa ancha kichik bo'ladi. Ajratilgan cho'kma tarkibidagi namlik 60% gacha bo'ladi.

Turli jinsli sistemalarni ajratish uchun ko'p yarusli cho'ktiruvchi qurilmalar ishlatiladi. Cho'ktiruvchi qurilmalarni hisoblashda eng birinchi navbatda cho'kish yuzasi aniqlanadi.

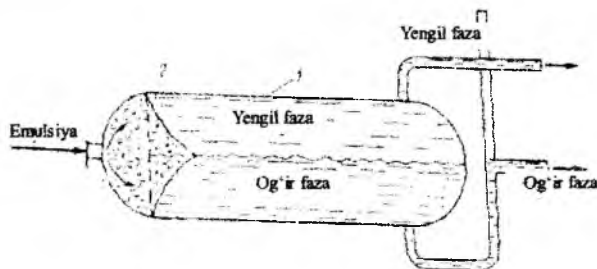
Cho'ktirish qurilmalari egallaydigan maydonlarni qisqartirish maqsadida ko'p yarusli qurilmalardan foydalaniladi (20-rasm).



20-rasm. Ko'p yarusli cho'ktirish qurilmasi:

1- korpus; 2- qiya to'siq; 3- bunker.

Emulsiyalarni uzluksiz ravishda ajratish uchun qo'llaniladigan tindirgichning prinsipial sxemasi 19-rasmدا tasvirlangan. Qurilma perforatsiyalangan to'siqli 2 gorizontaal rezervuar 1 shaklida bajarilgan. To'siqning asosiy vazifasi qurilmaga berilayotgan emulsiya oqimi ta'sirida idishdagi suyuqlik aralashmasining to'liqlanishini oldini olishdan iboratdir.



19-rasm. Emulsiya ajratuvchi qurilma sxemasi:

1- korpus; 2- perforatsiyalangan to'siq.

Fazalarning o'zaro aralashuvini oldini olish va ajratish jarayonini bir maromda olib borilishini ta'minlash maqsadida qurilmadagi oqim rejimi laminar bo'lishi kerak. Qatlamlarga ajralayotgan suyuqliklar tindirgich panjarasining qarama-qarshi tomonidan chiqariladi. Og'ir fraksiya chiqariladigan quyi quvurda havoning to'planishini oldini olish maqsadida u teskari sifon shaklida ishlanadi va atmosfera havosi bilan tutashtiriladi.

Vaqt birligi ichida tozalangan suyuqlik hajmi quyidagi tenglamadan topiladi:

$$V = \frac{hF}{\tau} \quad (3.4)$$

Tozalangan suyuqlikning miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$G_2 = G_1 (1 - x_1 / x_2) \quad (3.5)$$

Cho'kish yuzasi umumiy holda quyidagi tenglamadan topiladi:

$$F = \frac{13 \cdot G_1}{\rho_c \cdot \omega_c} (1 - \beta) \quad (3.6)$$

Cho'ktirish qurilmalarining balandligi odatda hisobga olinmaydi va 2,5 - 3,5m ga teng deb olinadi.

3.3. Filtrlash va sentrifugalash

Suspenziya va changli gazlarni filtr to'siqlar orqali o'tkazib tozalash jarayoni *filtrlash* deyiladi. Filtr to'siqlar qattiq zarrachalarni ushlab qolib, suyuqlik yoki gazni o'tkazib yuborish qobiliyatiga ega. Filtr to'siqlar yoki filtr sifatida mayda teshikli to'rlar, turli gazlamalar, sochiluvchan materiallar (qum, maydalangan ko'mir, bentonitlar) kerakli buyumlar va boshqalar ishlatiladi. Filtr sifatida paxta, yung va sintetik gazlamalardan tayyorlangan materiallardan ham foydalaniladi.

Filtrlash paytida suspenziya tarkibidagi mayda zarrachalar filtrlovchi materiallarning ustki qismida cho'kma holida yoki

filtrlovchi materialning (ustki qismida) O'zida teshiklarini to'ldirgan holda o'tirib qolishi mumkin.

Bu xususiyaga ko'ra filtrlash ikkiga bo'linadi.

1. Cho'kma hosil qilish yo'li bilan filtrlash.
2. Filtrllovchi materialning teshiklarini to'ldirish orqali filtrlash.

Sanoatning ko'p tarmoqlarida cho'kma hosil qilish yo'li bilan filtrlash keng qo'llaniladi. Filtrlash jarayonida siqiluvchi va siqilmaydigan cho'kmalar hosil bo'ladi. Siqiluvchi cho'kmalardagi zarrachalar bosim ortishi bilan deformasiyaga uchrab, ularning o'lchami kichiklashadi. Siqilmaydigan cho'kmalarda bosim ortishi bilan zarrachalarning shakli va o'lchami deyarli O'zgarmaydi. Sanoatda filtrlashdan So'ng quyidagi qo'shimcha jarayonlar amalga oshiriladi:

1. Cho'kmani yuvish.
2. Cho'kmani oddiy havo va inert gazlar bilan dudlash.
3. Cho'kmani issiq havo bilan quritish.

Filtrlash jarayonining unumdorligi va olinadigan filtrlashning tozaligi asosan, filtr to'siqlarining xususiyalariga bog'liq. Filtr to'siqlarning teshiklari katta va gidravlik qarshiliklari kichik bo'lishi zarur. Filtr to'siqlar struktura tuzimiga qarab *egiluvchan* va *egilmas* bo'ladi.

Filtr to'siqlardan oldingi va keyingi bosimlar farqi yoki filtrlovchi materiallarga suyuqlik bosimini hosil qiluvchi markazdan qochma kuchlar filtrlash jarayonining harakatlantiruvchi kuchi vazifasini bajaradi.

Harakatlantiruvchi kuchlar turiga karab filtrlash ikki gupaga bo'linadi:

1. Bosimlar farqi ta'sirida filtrlash.
2. Markazdan qochma kuchlar ta'sirida filtrlash (sentrifugalash).

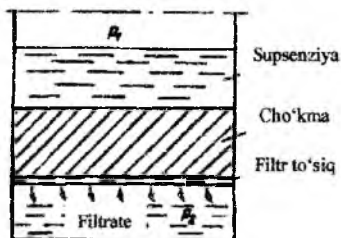
Filtr to'siqning ikkala tomonidagi bosimlar farqi quyidagi usullar bilan hosil qilinishi mumkin: a) suspenziya ustunining massasidan foydalanish (ΔR 0,05 mPa gacha); b) vakuum hosil qilish ($\Delta R = 0,05-0,09$ MPa gacha); d) suyuqlikni nasoslar yordamida haydash ($R = 0,5$ mPa gacha); g) siqilgan havo berish (R 0,05-0,3 mPa gacha).

18 - rasmda filtrlash jarayonining sxemasi berilgan, bu yerda, $R_1 > R_2$, harakatlantiruvchi kuch bosimlar farqi bilan belgilanadi:

$$\Delta R = R_1 - R_2 \quad (3.7)$$

R_1 – suspenziyaning ustidagi bosim, R_2 – filtr to'siqdan keyingi bosim.

Filtrlash jarayoni uch xil rejimda olib boriladi: 1) doimiy o'zgarmas bosimlar farqi bilan filtrlash ($\Delta R = \text{sonst}$); 2) doimiy filtrlash tezligi bilan filtrlash ($dV/d\tau = \text{sonst}$); 3) bir vaqtning o'zida bosimlar farqi va filtrlash tezligi o'zgarib turgan holatda filtrlash.



19 - rasm. Filtrlash jarayonining sxemasi.

O'zgarmas bosimlar farqi ta'sirida cho'kma qatlami hosil qilish yo'li bilan filtrlash eng ko'p qo'llaniladi. Filtrlash jarayonining modelini ko'rib chiqamiz (18-rasm). Bu model bo'yicha filtr to'siq va cho'kmaning hamma kanallari (yoki g'ovaklari) teng qiymatli bo'lib, filtrat ushbu kanallar bo'ylab laminar rejim bilan harakat qiladi. Bunday holatda filtratning kanallar bo'ylab o'tishiga bo'lgan gidravlik qarshilikni Gagen-Puazeyl tenglamasi yordamida aniqlash mumkin:

$$\Delta P = \frac{32L\mu w}{d^2} \quad (3.8)$$

bu yerda, ΔR – bosimlar farqi; L – cho'kma va filtr to'siq, kanallarining uzunligi; d – ushbu kanallarning diametri;

ω – filtratning kanallardagi harakat tezligi; μ – filtratning qovushqoqligi.

Filtr to'siqning yuzasini F bilan, to'siqdagi hamma ko'ndalang kesimining umumiy yuzasini S bilan belgilasak, u holda: $S = aF$ yoki $F = S/a$, bu yerda, $a < 1$ – umumiy yuzaga nisbatan ulushni bildiradi.

Filtrlash jarayonining intensiv va filtr qurilmasining ish unumi filtrlash tezligi bilan ifodalanadi.

Filtrlash tezligi. *Filtrlash tezligi* vaqt birligi ichidagi filtratning hajmini ko'rsatadi. Filtrlash tezligi ajratilayotgan suspenziyaning fizik-kimyoviy xossalari, hosil bo'layotgan cho'kmaning xarakteri, filtrlashning xossasi, filtrlash rejimi va boshqa kattaliklarga bog'liq. Shuni aytib o'tish kerakki, filtrlash jarayoni laminar rejimda boradi. Filtrlash tezligi quyidagi differensial ifoda bilan aniqlanadi.

$$W = dV_f / F_f dt_f \quad (3.9)$$

bu yerda, dV_f – filtratning hajmi, m^3 ; F_f – filtrlash yuzasi, m^2 ; dt_f – filtrlash vaqti, S

Filtrlash tenglamasi

Filtrlash jarayonida vaqt o'tishi bilan bosimlarning farqi va cho'kmaning gidravlik qarshiligi o'zgarib boradi. Shu sababli filtrlash tezligi differensial ko'rinishida quyidagicha yoziladi:

$$W = \frac{dV_f}{F_f dt_f} = \frac{\Delta R}{\mu(R_2 + R_f)} \quad (3.10)$$

bu yerda, ΔR – bosimlar farqi, MPa ; μ – suspenziyaning qovushqoqligi, $Pa \cdot s$;

R_2 – cho'kma qatlamining qarshiligi; R_f – filtr to'siqlarining qarshiligi.

Filtrlash tezligini aniqlash uchun (7.2) tenglikni integrallab, cho'kmaning gidravlik qarshiligi bilan olinayotgan filtrat hajmi orasidagi bog'liqlikni bilish lozim.

Tenglamani integrallashda filtr to'siqlarining qarshiligi o'zgar-mas deb olinadi. Chunki qattiq zarrachalar filtni tengliklarini to'ldirmaydi. Shuning uchun filtr to'siqlarini qarshiligi inobatga olinmaydi. Bunda cho'kma qatlamini balandligi ortib boradi. Cho'k-ma gidravlik qarshiligining qiymati esa noldan maksimumgacha o'zgaradi.

Shuning uchun tezlik cho'kmaning gidravlik qarshiligi va filtrat hajmiga bog'liq bo'ladi. Cho'kma hajmini V_{ch} filtrat V_f hajmiga nisbatini X_0 bilan belgilaymiz.

$$\frac{V_{ch}}{V_f} = X_0 \quad \text{bu yerda,} \quad V_{ch} = X_0 V_f \quad (3.11)$$

Cho'kmaning hajmi cho'kma qatlam balandligining (h_{ch}) filtrat yuzasiga (F) ko'paytmasiga teng. Natijada

$$X_0 V_f = h_{ch} F \quad (3.12)$$

Bu tenglamadan cho'kma qatlamining balandligini topish mumkin:

$$H_{ch} = X_0 V_f / F \quad (3.13)$$

Cho'kma qatlamining qarshiligini quyidagicha aniqlanadi:

$$R_{ch} = r_0 h_{ch} = r_0 X_0 V_f / F \quad (3.14)$$

bu yerda, r_0 – cho'kmaning hajmi jihatidan olishgan solishtirma qarshiligi (1 m qalinlikda bo'lgan cho'kma qatlamining filtrat oqimiga ko'rsatgan qarshiligi), $1/m^2$.

(7.4) tenglikdagi R_{ch} ning qiymatini 2 tenglamaga qo'yib, quyidagi ifodalarga erishamiz:

$$\frac{dV_f}{F d\tau} = W = \frac{\Delta R}{\mu(r_0 X_0 V_f/F + R_n)} \quad (3.15)$$

Bu tenglik filtrash jarayonining *asosiy tenglamasi* deyiladi. Agar filtr to'siqlarining gidravlik qarshiligi hisobga olinmasa, va (3.15) tenglamaga (3.13) tenglikdagi x_0 ning qiymatini kuysak, u holda quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$r_0 = \Delta R / \mu h_{ch} W \quad (3.16)$$

Agar $\mu = 1 \text{ N s/m}^2$ va $h_{ch} = 1 \text{ m}$, $W = 1 \text{ m/c}$ bo'lsa, qovushqoqligi 1 N s/m^2 bo'lgan suspenziya 1 m qalinlikdagi cho'kma qatlamda filtrlanganda cho'kmaning hajmi jihatdan olingan solishtirma qarshiligining miqdorini belgilaydi va bosimlar farqiga teng bo'ladi.

Filtrlash rejimlari. Amalda filtrlash jarayoni uch xil rejimda olib boriladi.

1. $R = \text{const}$. Bunda vaqt birligi ichida filtrlash tezligi kamayib boradi. Bu rejimda siqilgan havo yordamida filtr bilan cho'kma ketida doimiy O'zgarmas bosim hosil qilinib, filtrat vakuum yordamida tortib olinadi.

2. $W = \text{const}$. Tezlik O'zgarmas bo'lishi uchun bosimlar farqini oshirish kerak. Bu rejimda ishlaydigan filtrlangan suspenziya porshenli nasoslar yordamida beriladi.

3. Bir vaqtning o'zida bosim va filtrlash tezligi o'zgarib turadi. Bu rejimda ishlaydigan filtrlarga suspenziya vakuum nasos orqali bajariladi.

Agar (5) tenglikning bosimlar farqi bir xil ravishda ishlaydigan $\Delta R = \text{const}$ filtrlar uchun integrallasak quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$V = F \sqrt{\frac{2\Delta P \tau}{\mu x_0 x_0}} \quad (3.17)$$

bu yerda, $\Delta R = \Delta R_0 - \Delta R_{fi}$ — umumiy bosimlar farqi, ΔR_0 — cho'kmaning ikki tomonidan olingan bosimlar farqi, ΔR_{fi} — filtr to'sig'ining ikki tomonidan olingan bosimlar farqi.

(3.17) tenglama orqali vaqt davomida olingan filtrlashning unumdorligini aniqlash mumkin. (3.17) tenglamadagi bosimlar farqi suspenziyaning qovushqoqligini cho'kmaning solishtirma qarshiligi r_0 cho'kma va filtrlash hajmining nisbatlari faqat tajriba orqali

aniqlanadi. Shu sababli, o'zaro bog'lanish filtrlash doimiysi K orqali ifodalanadi:

$$K = 2 \Delta R / \mu r_0 x_0 \quad (3.18)$$

Filtrlash doimiyligi bosimlar farqi cho'kmaning tarkibi va suspenziyalarning qovushqoqligini hisobga oladi, xuddi shuningdek filtr to'siqlarining gidravlik qarshiliklarini ham filtrlash doimiyligini S bilan belgilash mumkin:

$$C = R_R / r_0 x_0 \quad (3.19)$$

Filtr to'siq va filtrlash doimiylarining qiymatlarini (5) tenglamasiga qo'ysak quyidagi ko'rinishga keladi:

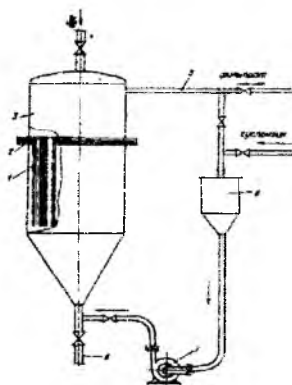
$$V^2 + 2VC = K\tau \quad (3.20)$$

3.4. Filtrlash qurilmalari

Filtrlarning turlari. Kimyo va oziq-ovqat sanoatida ishlatiladigan filtrlar tozalanishi kerak bo'lgan muhitning kimyoviy ishlash prinsiplari, filtr to'siqlarining turiga va ish bosimlarning miqdoriga qarab bir necha turlarga bo'linadi. Texnologiya maqsadlariga ko'ra filtrlash qurilmalari ikki turga bo'linadi:

- 1) suyuqliklarni tozalash filtrlari;
- 2) gazlarni tozalash filtrlari.

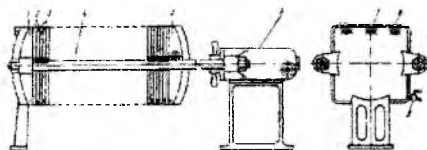
Bundan tashqari filtrlar ishlash rejimiga ko'ra davriy va uzluksiz ishlaydigan bo'ladi.



21-rasm.

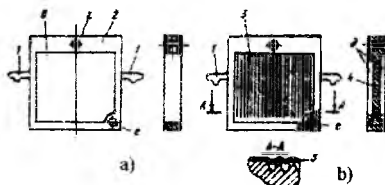
Patronli filtr. Bu filtrlarda silindrsimon korpusdagi maxsus metall to'siqqa metall yoki keramik trubalardan tayyorlangan yuqori tomoni ochiq bo'lgan g'ovaksimon patronlar joylashtiriladi (19-rasm). Patronlarning diametri 15-25 mm bo'lib, ularga filtrlovchi gazlamalar kiydiriladi. Filtrga suspenziya bosim ostida beriladi, filtrat patronlardan o'tib, qurilmaning yuqorigi qismida yig'iladi va shtuser orqali qurilmalardan chiqariladi. Hosil bo'lgan cho'kma patronlarning tashqi qismidan siqilgan havo yoki suv bug' yordamida ajratiladi va qurilmaning pastki qismidan chiqariladi

Filtr - presslar. Filtr - press plita va ramalardan tuzilgan bo'lib, unda ramalarning soni 12 tadan 42 ta gacha bo'ladi (21 va 22 - rasm).



22-rasm.

Ramalarning qalinligi 25-46 mm. Plita va ramalar yon tomonidan ikkita parallel joylashgan sterjenga o'matiladi. Har bir plitaga filtrlovchi gazlama joylashtiriladi. Rama va plitalar gidravlik qurilma plunjer hosil qilgan bosim yordamida siqiladi. Suspenziya kanalcha orqali ramaning ichiga kirib, filtrlovchi materialdan o'tadi, So'ngra yuzasidagi ariqchalar orqali pastga tushadi.



Filtrat plitasining pastki qismida joylashgan kanal orqali chiqib, umumiy tarnovga tushadi. Ramaning ikki qismi cho'kma bilan to'lganda, suspenziya berish to'xtatiladi. Shundan So'ng yuvish

Filtrlarni hisoblash. Filtrlash jarayonining tezligi bir qator kattaliklarga bog'liq bo'lganligi uchun filtrlash qurilmalarini hisoblash ancha murakkab ishdir. Shuning uchun filtrlash davomida og'irlik kuchi ta'sirida cho'kayotgan zarrachalarni, filtrlashning solishtirma qarshiligi va filtr to'siqning qarshiligini vaqt davomidagi o'zgarishlarni hisobga olmaymiz. Uzlüksiz ishlaydigan filtr qurilmalarni hisoblashni ko'rib chiqamiz. Bunda filtrning berilgan yuzasi bo'yicha qurilmaning soni, filtrlash miqdori va filtrlash vaqti aniqlanadi.

$$1. \text{ Filtrat miqdori: } V = h_{ch} F / x_0$$

$$2. \text{ Filtrlash siklining umumiy vaqti: } T = \tau + \tau_{yu} + \tau_{yo}$$

$$\text{bundan} \quad \tau = \frac{\mu x_0 h_0}{2 \Delta P x_0} \quad (3.21)$$

bu yerda, τ – filtrlashning umumiy vaqti, s; τ_{yu} – yuvishga ketgan vaqt, tajriba yo'li bilan aniqlanadi, s; τ_{yo} – yordamchi jarayonlarning bajarish uchun ketgan vaqt, s.

3. Filtrlovchi qurilmaning unumdorligi quyidagi tenglamadan topiladi:

$$Q_f = 3600 V F / T \quad (3.22)$$

4. Agar filtrlovchi qurilmaning unumdorligi berilgan bo'lsa, yuqoridagi tenglikdan filtrlash yuzasini aniqlash mumkin:

$$F = Q_f T / 3600 V \quad (3.23)$$

3.5. Sentrifugalash qurilmalari

Emulsiyadagi suyuqlik tomchilarni va suspenziyadagi qattiq modda zarrachalarini markazdan qochma kuchlar maydonida ajratib olish jarayoni **sentrifugalash** deyiladi. Sentrifugalash jarayoni **sentrifugalarda** amalga oshiriladi.

Sentrifugalash paytida hosil bo'lgan markazdan qochma kuchlar cho'ktirish jarayonidagi og'irlik kuchi va filtrlashdagi gidrostatik kuchlarga nisbatan ko'proq ta'sir qiladi. Shuning uchun turli jinsli

sistemalarni ajratish uchun qo'llaniladigan cho'ktirish va filtrlash jarayonlariga nisbatan juda samarali hisoblanadi.

Sentrifugalarning asosiy qismi gorizontal yoki vertikal o'qqa joylashgan katta tezlikda aylanuvchi baraban bo'lib, u elektr dvigatel yordamida aylanma harakatga keltiriladi. Markazdan qochma kuch ta'sirida suspenziyadagi qattiq modda zarrachalari cho'kmaga tushib, suyuq fazadan ajraladi. Suyuq faza *fugat* deyiladi. Hosil bo'lgan cho'kma baraban ichida qolib, suyuq faza esa ajratib olinadi.

Turli jinsli aralashmalarni ajratish prinsipiga ko'ra sentrifugalarni ikki turga bo'linadi:

1. *Filtrlovchi sentrifugalarni.*

2. *Cho'ktiruvchi sentrifugalarni.*

Filtrlovchi sentrifugalarning barabani g'ovaksimon turli metallardan ishlanib, uning yuzasiga material (mato) qoplanadi. Filtrlovchi sentrifugalarda suspenziya yoki emulsiya markazdan qochma kuch ta'sirida baraban devorlariga qarab otiladi, bunda qattiq modda zarrachalari filtr materiallarning yuza qismida qolib, suyuq faza (fugat) bu kuch ta'sirida cho'kma qatlami va filtr to'siqlardan o'tadi hamda barabandan uzluksiz chiqarib turiladi.

Cho'ktiruvchi sentrifugalarda baraban yaxlit metall plastinkalardan qilinadi. Bu sentrifugalarda bosimlar farqi markazdan qochma kuch ta'sirida hosil qilinadi. Barabanning aylanishi natijasida markazdan qochma kuch ta'sirida suspenziya yoki emulsiya baraban devorlari tomon harakat qiladi. Zichligi katta bo'lgan suyuqlik va qattiq fazalar baraban devorlari yaqinida, zichligi kamroq bo'lgan boshqa faza esa o'q atrofida yig'iladi.

Ish rejimiga ko'ra sentrifugalarni *davriy* va *uzluksiz* bo'ladi. Baraban valining o'rnatilishi holatiga qarab gorizontal va vertikal sentrifugalarni bo'ladi. Davriy ishlaydigan sentrifugalarda cho'kma qo'l yordamida, gravitasion kuch (og'irlik kuchi) va pichoq bilan tushiriladi. Uzluksiz ishlaydigan sentrifugalarda cho'kma shnek yordamida inersion va pulpsasion kuchlar ta'sirida tushiriladi.

Sentrifugalarning ish unumdorligi ajratilish ko'effitsiyentiga bog'liq. Ajratilish ko'effitsiyenti sentrifugalarda markazdan qochma

kuchlar maydonida hosil bo'lgan kuchlanish bilan xarakterlanadi. Sentrifugada hosil bo'layotgan markazdan qochma kuchlar miqdorining og'irlik kuchi tezlanishdan necha marta ko'pligini ko'rsatuvchi kattalik *ajratish koeffitsiyenti* deyiladi va quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi:

$$k_a = w^2 / r g$$

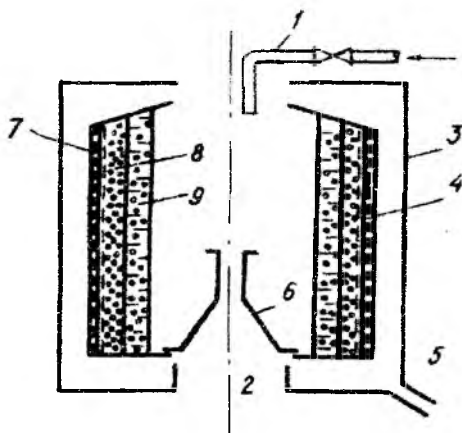
bu yerda, r – baraban radiusi; w – aylanayotgan barabanning burchak tezligi; g – erkin tushish tezlanishi.

Ajratish koeffitsiyentiga ko'ra hamma sentrifugalar ikki guruhga bo'linadi:

1. *Normal sentrifugalar* ($Ra < 3500$). Bunday sentrifugalar suspenziyalardan katta, o'rtacha va maydaroq zarrachalarni ajratish uchun ishlatiladi.

2. *O'rta sentrifugalar* ($Ra > 3500$). Bunday sentrifugalar mayda zarrachali suspenziyalarni va emulsiyalarni ajratish uchun ishlatiladi.

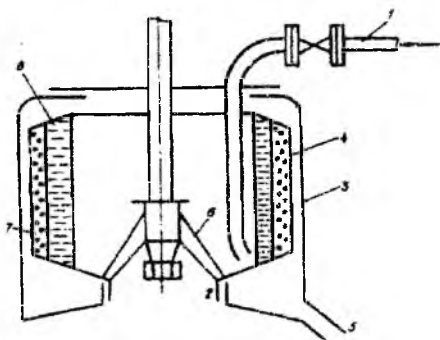
Sanoatda emulsiya va suspenziyalarning tarkibiga qarab, ularni ajratish uchun turli xildagi sentrifugalar ishlatiladi.



24-rasm.

Filtrlovchi sentrifuga. (24-rasm.) Bu sentrifuga barabandan yoki rotordan iborat. Barabanning ichki yuzasi katta teshikli to'ra va uning ustki yuzasi mayda teshikli material bilan qoplangan. Truba orqali barabanga turli jinsli suspenziya beriladi. Baraban elektr dvigatel yordamida aylanma harakat qiladi. Baraban ichidagi suspenziya aylanma harakat qilganda unga markazdan qochma kuch ta'sir qiladi. Bunda suyuq fazada gidrostatik bosim hosil bo'ladi. Bu bosim sentrifugada filtrlashning *harakatlantiruvchi kuchi* hisoblanadi. Bu kuch ta'sirida suyuq faza filtr to'siqlar ustida hosil bo'lgan cho'kmadan o'tib tozalanadi. Filtrlovchi sentrifugada boruvchi jarayon uchta fizik jarayonlar yig'indisidan iborat: cho'kma hosil qilish bilan filtrlash, cho'kmaning zichlanishi, cho'kmadan suyuqlikni chiqarish. Filtrat (*fugat*) qurilmadan patrubka orqali chiqariladi. Ajratishdan So'ng cho'kma suv bilan yuviladi. Barcha jarayonlar tugagach sentrifuga to'xtatiladi, konus yuqoriga ko'tariladi va cho'kma tushiriladi.

Cho'ktiruvchi sentrifuga. Cho'ktiruvchi sentrifuganing barabani yaxlit bo'ladi. Bunday sentrifuganing ishlash prinsipi cho'ktirish qurilmalarining ishlashiga o'xshash.



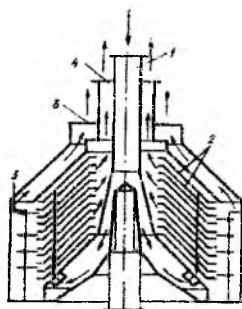
25-rasm.

Turli jinsli sistema barabanga truba orqali beriladi. Barabanning aylanishida markazdan qochma kuch ta'sirida zichligi kattaroq bo'lgan komponent barabanning ish yuzasiga yig'iladi, zichligi

kamroq bo'lgan komponent esa aylanish o'qiga yaqinroq joyda yig'iladi (25-rasm.).

Fugat truba orqali tashqariga chiqariladi. Cho'kma qatlami amaliy jihatdan barabanni to'ldirgandan so'ng, qurilma to'xtatiladi, So'ngra cho'kma tushiriladi.

Tarelkali seperatorlar. Bunday seperatorlar emulsiyalar va mayda zarrachali suspenziyalarni ajratish uchun ishlatiladi. Tarelkali seperatorlarning ichiga bir necha konussimon tarelkalar o'rnatilgan. Shu sababli, suyuqlik bir necha yupqa qatlamlarga bo'linadi.



26-rasm.

Natijada suyuqlik laminar rejim bilan harakat qiladi va shuning uchun zarrachalarning cho'kish yo'li kamayadi. Aralashma markaziy truba orqali pastga tushadi. Markaziy truba baraban bilan birga aylanadi. Markazdan qochma kuch ta'sirida suyuqlik qurilmaning devorlari tomon harakat qiladi, So'ng tarelkalarga o'tadi. Yengil suyuqlik markaziy trubaga yaqin joyga yig'iladi va yuqoriga tomon harakat qilib, qurilmadan chiqib ketadi. Og'irroq, quyuqlashgan komponent esa qurilma devori yoniga yig'ilib, So'ngra yuqoriga tomon harakat qiladi va boshqa patrubkadan chiqib ketadi.

Sentrifugalarni hisoblash. Sentrifugalarda yuzaga keladigan markazdan qochma kuch quyidagi tenglamadan topiladi:

$$G = Mn^2R = M\omega^2R = 40 Mn^2R = 20 Mn^2D \quad (3.24)$$

bu yerda, M - sentrifuga barabani ichida joylashgan cho'kma va suyuqlikning massasi, kg; ω - burchak tezligi, s^{-1} ; $D = 2R$ - barabanning diametri, m; R - barabanning radiusi, m; n - sentrifuganing aylanishlar chastotasi, s^{-1} .

Sentrifugalash paytidagi filtrlashning bosimi quyidagi tenglamadan topiladi:

$$\Delta R_s = G / F \quad (3.25)$$

bu yerda, $F = \pi D H$ — o'rtacha filtrlash yuzasi, m^2 ; D - barabanning balandligi yoki filtrlash zonasining uzunligi, m.

ΔR_s ning qiymati quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$\Delta R_s = 20 \rho_s n^2 (R_2^2 - R_1^2) = 5 \rho_s n^2 (D_2^2 - D_1^2)$$

bu yerda, ρ_s - suspenziyaning zichligi, kg/m^3 ; $D_1 = 2R_1$ - suyuqlik ichki qatlamining diametri, m; $D_2 = 2R_2$ - barabanning ichki diametri, m.

Cho'kmasi pichoq bilan olinadigan cho'ktiruvchi sentrifuganing ish unumdorligi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$V_s = 25,3 \quad \eta \quad L n^2 R_o^2 w_e k \quad (3.26)$$

bu yerda, L - barabanning uzunligi, m; R_o - suspenziya halqasimon qatlamining ichki radiusi, m; w_e - zarrachaning cho'kish tezligi, m/s; η - sentrifuganing haqiqiy va nazariy ish unumdorliklarining nisbatini oluvchi koeffitsiyent ($\eta=0,4 - 0,5$); k - suspenziyani berish vaqtini sentrifuganing umumiy ishlash vaqtiga nisbati.

Ultrafiltrlash

Ultrafiltrlashning asosiy mazmuni *eritmalar*ni yarim o'tkazuvchan membranalar orqali bosim bilan o'tkazishdan iborat. Maxsus tayyorlangan g'ovakli membranalar quyidagi talabalarga javob berishi kerak: 1) kerakli komponentni o'tkazish, qolganlarini o'tkazmaslik; 2) yuqori ajratishga ega bo'lish; 3) mexanik

chidamlilik; 4) unumdorligi katta; 5) ishlatish jarayonida o'zgarmasligi; 6) ajratilayotgan muhit ta'siriga qarshilik ko'rsatishi; 7) tarkibida zaharli moddalar bo'lmazligi; 8) narxi arzon.

Ultrafiltrlash va teskari osmos tushunchalari o'rtasida farq juda kam. Agar ultrafiltrlash yuqori molekulyar moddalarni quyuglashtirish va bir vaqtning o'zida ular esa berilgan eritmani quyuglashtirish yoki toza erituvchini eritmada ajratib kichik molekulyar moddalardan tozalash usuli hisoblansa, teskari osmos ratib olish usulini tashkil etadi.

Membrananing tanlash qobiliyati, ϕ % quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\phi = \frac{x_1 - x_2}{x_1} \cdot 100 = \left(1 - \frac{x_2}{x_1}\right) \cdot 100 \quad (3.27)$$

bu yerda, x_1 – erigan moddaning dastlabki konsentratsiyasi, %; x_2 – erigan moddaning filtratdagi konsentratsiyasi, %.

Membranadagi g'ovaklarning o'rtacha diametri Puazeyl qonuniga asosan quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$d_p = \sqrt{\frac{32V\mu\delta}{\beta F \Delta P}} \quad (3.28)$$

bu yerda, V – filtratning sarfi, m^3/s ; μ – suyuqlik qovushqoqligining dinamik koeffitsiyenti, $Pa \cdot s$; δ – membrana g'ovaklarining qalinligi, m ; β – membraning g'ovakligi; F – $1 m^2$ maydondagi g'ovaklarning yuzasi, m^2 ; ΔP – bosimlar farqi, Pa .

Membraning ish unumdorligi quyidagi tenglamadan topiladi:

$$W = V/F \cdot T$$

bu yerda, W – filtrlash tezligi, $m^3/(m^2 \cdot s)$; V – filtratning hajmi, m^3 ; F – ish yuzasi, m^2 ; T – jarayonning davomiyligi, s .

Darsi qonuniga asosan membraning ish unumdorligi quyidagi tenglamadan topiladi:

$$W = \Delta R / h_r r \quad (3.29)$$

bu yerda, ΔR – filtrdagi bosimlar farqi; h_r – choʻkma qatlamining balandligi; r – uzunlik birligiga nisbatan olingan choʻkma qatlamining qarshiligi.

Ultrafiltrlash va teskari osmos usullari istiqbolli hisoblanadi, chunki bir qator afzalliklarga ega. Membranali qurilmalarning tuzilishi oddiy. Jarayon oddiy haroratda olib boriladi. Iqtisodiy jihatdan ancha tejamli.

Membranalar yordamida ajratish jarayoni fazaviy oʻzgarishlarsiz olib boriladi, shu sababdan energiya asosan eritmani membrana orqali bosim bilan oʻtkazishga sarflanadi. Membranali filtrlashga ketgan energiya sarfi ajratishning boshqa usullariga nisbatan ancha kam. Masalan, dengiz suvini teskari osmos usuli bilan chuqurlashtirish uchun taxminan 7kVt soat/m³ energiya ketsa, bunday suvni haydash usuli bilan chuchuklashtirilganda taxminan 80 kVt soat/m³ energiya sarflanadi.

Yaqin kelajakda ultrafiltrlash va teskari osmos usullaridan keng foydalanish suyuqlik aralashmalarini ajratish, quyuqlash-tirish va tozalash hamda tabiiy suv havzalarini muhofaza qilish muamolarini hal etishdan muhim ahamiyatga ega boʻlishi mumkin.

IV BOB. GAZLARNI TOZALASH

4.1. Gazlarni tozalash

Kimyo sanoati korxonalaridan chiqayotgan gaz aralashmalarini tozalash texnologik jihatdan muhim va katta ahamiyatga ega.

Gazlar quyidagi maqsadlarda tozalanadi:

- 1) gaz aralashmalaridan qimmatbaho mahsulotlarni ajratib olish uchun;
- 2) jarayonga salbiy ta'sir qiluvchi va qurilmalarni buzilishga olib keluvchi gaz aralashmalarini chiqarib tashlash uchun;
- 3) atrof-muhit havosini ifloslanishini kamaytirish uchun.

Ishlab chiqarish jarayonlarida hosil bo'ladigan har xil fizik kimyoviy xususiyatlarga ega bo'lgan gaz aralashmalari turli jinsli gaz deyiladi. Gaz aralashmalari tarkibidagi zarrachalarning o'lchamiga qarab ikki sistemaga bo'linadi: mexanik va kondensirlangan.

Qattiq moddalar maydalanganda, ularni bir joydan ikkinchi joyga uzatganda qattiq moddalarning gazlarda taqsimlanishi mexanik sistema yoki changlar deyiladi. Aralashmadagi qattiq modda zarrachalarining o'lchami 5-50 mikrongacha bo'ladi.

Kondensirlangan sistema suyuqliklarni bug'latganda, quritish jarayonlarida bug'larning suyuqlikka aylanishida hosil bo'ladi. Buning natijasida tutun va tuman paydo bo'ladi.

Sanoatda gazlarni tozalash quyidagi usullarda olib boriladi:

- 1) markazdan qochma kuchlar ta'sirida cho'ktirish.
- 2) filtr to'siqlar yordamida ajratish.
- 3) gazlarni namlash usuli bilan tozalash.
- 4) yuqori kuchlanishli elektr maydon yordamida tozalash.

Gazlarni tozalash uchun cho'ktirish kamerali, siklonlar, filtrlash qurilmalari, (skrubber va elektrofiltrlar) ishlatiladi.

Amalda gaz aralashmalaridagi mayda zarrachalarni birgina tozalash qurilmalarida butunlay ajratish mumkin emas, shuning uchun ikki va ko'p bosqichli qurilmalar ishlatiladi, ya'ni avval katta zarrachalar chang cho'ktirish kameralarida, So'ngra elektrofiltrlarda cho'ktiriladi.

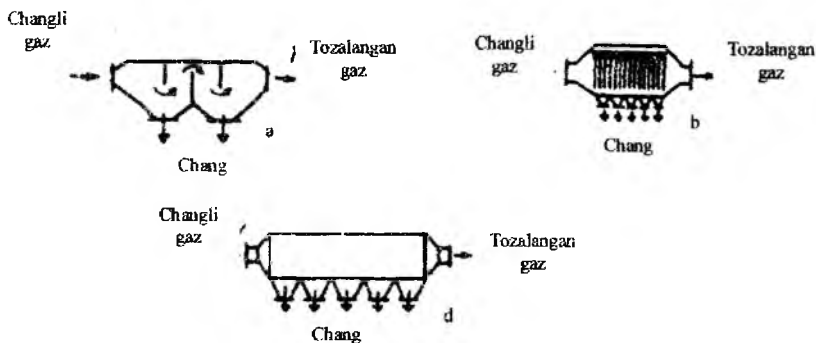
Har bir qurilmaning unumdorligi gaz aralashmalarining tozalanish darajasi bilan aniqlanadi:

$$n = \frac{G_1 - G_2}{G_1} 100\% = \frac{V_1 x_1 - V_2 x_2}{V_1 x_1} 100\% \quad (3.30)$$

bu yerda, G_1 va G_2 – tozalangan va tozalanmagan gaz aralashmasining qattiq zarrachalar miqdori; V_1 va V_2 -- dastlabki va tozalangan gaz aralashmasining hajmi; x_1 va x_2 – changli va tozalangan gaz aralashmalaridagi qattiq zarrachalar konsentratsiyalari, kg/m^3 .

4.2. Chang cho'ktirish kameralari

Og'irlik kuchi ta'sirida changli gazlarni tozalash uchun davriy yoki yarim uzluksiz rejimda ishlaydigan turli chang cho'ktirish kameralari ishlatiladi. Chang cho'ktirish kameralari changli gazlarni (50-100 mkm) birlamchi tozalash uchun ishlatiladi. Bunday qurilmalarning tozalash darajasi 40—50 % dan ortmaydi. Chang cho'ktirish kameralarining o'lchamlari ancha katta bo'ladi. Qattiq zarrachalarning yaxshi cho'kishi uchun gaz oqimining tezligi 3 m/s dan oshmasligi kerak. 27- rasmda chang cho'ktirish kamerasining sxemasi ko'rsatilgan. Eng oddiy tuzilishga ega chang cho'ktirish kamerasi 27- rasm, a da ko'rsatilgan.



27- rasm. Chang cho'ktirish kameralari:

a — gorizontal kamera; b — ko'p polkali kamera;

v — to'siqli kamera.

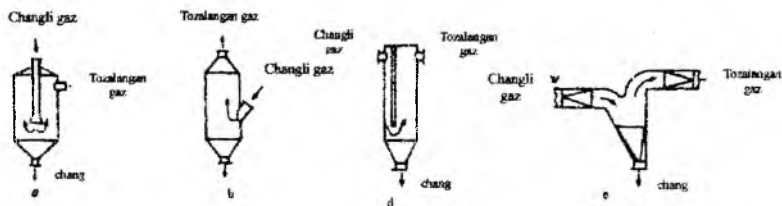
Changli gaz oqimi separasion bo'shliqda sekin harakat qiladi, qattiq zarrachalar esa chang yig'adigan seksiyalardan biriga tushadi. Bunday konstruksiya oddiy tuzilishga ega bo'lsa ham katta joyni egallaydi. Gaz oqimining sekin harakatini ta'minlash uchun separatsion kameraning hajmi ancha katta bo'ladi.

Ko'p polkali kamerada (27-rasm, b) separasion bo'shliq gori-zontal polkalar yordamida bir necha seksiyalarga bo'lingan. Bunday sharoitda chang zarrachasining cho'kish vaqti ancha kamayadi. Changni chiqarish uchun polkalar qiya qilib joylashtiriladi. Polkalar qo'zg'atuvchi qurilmalar bilan ta'minlanishi mumkin.

To'siqlari bo'lgan kamerada (27- rasm, d) gravitatsion kuchdan tashqari inersion kuchdan ham foydalaniladi. Og'irlik va inersion kuchlardan birgalikda foydalanish qurilmalarning tozalash darajasini ko'paytirishga olib keladi.

25-rasmda ko'rsatilgan kameraning separatsion bo'shlig'ida halqali yoki simli parda joylashtirilgan bo'ladi. Bunday pardalarga gaz oqimi urilganda filtrlanish jarayoni yuz berib, chang ajraladi tasodifiy turbulent oqimlar esa buziladi.

Inersion chang ushlagichlarda tozalash darajasini oshirish uchun og'irlik kuchidan tashqari inersion kuchlardan foydalaniladi. Bunday holatda qurilmaning o'lchami ancha kamayadi.



28-rasm. Inersion chang ushlagichlar:

a — markaziy qismdan gaz beriladi; b — yon tomondan gaz beriladi;
d — qaytaruvchi to'siq; e — gaz oqimini yo'nalishi o'zgaradi.

28-rasmda eng oddiy inersion chang ushlagichning sxemasi ko'rsatilgan. Inersion chang ushlagichning ishlash prinsipi quyidagidan iborat: changli gaz oqimi yo'nalishining birdan

O'zgarishi paytida, qattiq zarrachalarning zichligi havo zichligiga nisbatan taxminan 1000 marotaba katta bo'lganligi sababli, zarrachalar O'z inersiyasi bilan oldingi yo'nalishda harakatini davom ettirib, gazdan ajralgandan So'ng, chang yig'gichga tushadi, tozalangan gaz oqimi esa qurilmadan tashqariga chiqib ketadi.

28-rasm, a, b, da ko'rsatilgan chang tutgichlarni changli qoplar deb ham yuritiladi. Uning ishlashi juda oddiy bo'lib, changli gaz kirish patrulkasi orqali pastga qarab harakatlanadi, So'ngra gaz birdaniga yuqoriga buriladi, bunda chang gaz oqimidan ajralib, qurilmaning pastki qismiga tushadi. Masalan, tarkibida diametri 30 mm dan katta zarrachalarni ushlagan changli gazni tozalashga mo'ljallangan changli qopning ajratish darajasi 65-7-85 % ni tashkil etadi. Gazning kirish patrulkasidagi tezligi taxminan 10 m/s qurilmaning silindrsimon qismida esa 1 m/s ga teng bo'ladi. Bunday chang tutgichning gidravlik qarshiligi 150 - 390 Pa.

Qaytaruvchi to'siqli chang tutgich (28-rasm, d) ning samaradorligi changli qoplarnikiga nisbatan kam, qurilmaning gidravlik qarshiligi ham ancha kichik. 28-rasm, e da ko'rsatilgan chang tutgichni ishlatish qulay bo'lib, ularni to'g'ridan to'g'ri gaz trubalariga joylashtirish mumkin, bunda gaz o'tadigan trubalarning diametri 2 m dan kam bo'lmasligi kerak.

4.3. Markazdan qochma kuch ta'sirida ajratish

Oddiy cho'ktirish qurilmalarida gaz aralashmasidagi mayda changlarni ajratish qiyin. Cho'ktirish qurilmalarining gabariti katta bo'lib ko'p joy egallaydi va tozalash darajasi kichik. Shuning uchun sanoatda siklonlar ishlatiladi. Siklon silindrik va konussimon qismlardan iborat. Changli gaz siklonga tangensial yo'nalishda 15-20 m/s tezlikda kiradi, So'ngra pastga spiralsimon aylanma harakat bilan yo'naladi. Natijada markazdan qochma kuch hosil bo'ladi. Bu kuch ta'sirida gaz oqimidagi qattiq zarrachalar o'qdan siklonning ichki devori tomon harakatlanadi va devorga urilib O'z kinetik energiyasini yo'qotadi va og'irlik kuchi ta'sirida pastga tushadi. Tozalangan gaz markaziy truba orqali qurilmadan chiqib

ketadi. Siklondagi changli gazlarni tozalanish darajasi qattiq zarrachalarning kattaligi, gaz oqimining tezligi va qurilmaning geometrik o'lchamiga bog'liq bo'ladi. Siklonlarning diametri 100-1000 mm gacha, changli gazlarning tozalanish darajasi 30-85%ga teng.

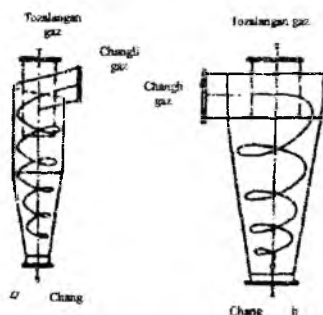
Siklonlar tuzilishiga ko'ra ikki turga bo'linadi: silindrli va konusli (29- rasm). Silindrli siklonlarda qobiqning silindrli qismi ancha uzun qilib, konusli siklonlarda esa konussimon qismi ancha uzun qilib tayyorlangan bo'ladi. Silindrli siklonlar yuqori ish unumdorlikka, konusli siklonlar esa yuqori tozalash darajasiga ega. Biroq konusli qurilmalarda bosimning yo'qolishi ko'proq bo'ladi. Konusli siklonlarda yuqoridan pastga qarab ko'ndalang kesim yuzasining kamayib borishi sababli qurilma devori yaqinida chang zarrachalarining ajralishi tezlashadi. Silindrli siklonning diametri 2 m dan, konusli siklonning diametri esa 3 m dan ortmasligi kerak. Siklonlarning diametri 2—3 m dan ortib ketsa, qurilmaning tozalash darajasi kamayadi.

NIIOGAZ siklonlarda changli gaz kiradigan patrulkalar qiya qilib joylashtirilgan. Ushbu siklonlarning uchta turi eng ko'p ishlatiladi: 1) qiyalik burchagi 24° (SN-24) -bunday siklonlar yuqori ish unumdorlikka va kichik gidravlik qarshilikka ega bo'lib gaz oqimidagi katta o'lchamli changlarni tutish uchun ishlatiladi; 2) qiyalik burchagi 15° (SN-15) nisbatan kichik gidravlik qarshilik bilan yuqori darajadagi tozalashni ta'minlaydi; 3) qiyalik burchagi 11° (SN-11) yuqori samaradorlikka ega va takomillashtirilgan chang ushlagich sifatida taklif etilgan.

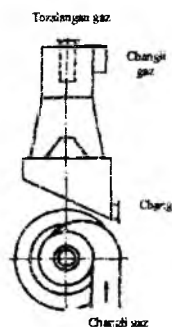
VSNIOT konstruksiyali siklonning sxemasi ko'rsatilgan. Ushbu siklonning konusi yuqoridan pastga qarab kengaygan. Qurilma ko'ndalang kesimining kengayishi ta'sirida gazning aylanma harakati va zarrachaning devorga bosimi kamayadi. Shu sababdan bunday siklonlarni gaz tarkibidan yuqori abraziv xossaga ega bo'lgan zarrachalarni ajratib olish uchun ishlatish kerak.

Siklonlarni so'rish yoki haydash liniyalariga o'rnatilgan bo'ladi. Biroq, ayniqsa gaz oqimining tarkibida abraziv yoki yopishuvchan zarrachalar bo'lsa ventilatorlarning ishlash muddatini uzaytirish

uchun siklonlarni so'rish liniyasiga, ventilatordan oldin joylashtirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Boshqacha aytganda, chang zarrachalari ventilatorga kirib, uni tezda ishdan chiqarishi mumkin. Siklon bilan bunker juda zich qilib o'rnatilishi kerak, chunki ozgina miqdordagi havoning sistemaga tortilishi tozalash samaradorligini ancha pasaytiradi.



29- rasm. NIIOGAZ
konstruksiya siklon chizmasi.
 a-silindri; b-konusli.



30- rasm. VSNIOT
Konstruksiya siklon chizmasi.

Siklonlarda gaz tarkibidagi suv bug'larining kondensatsiyaga uchrashiga yo'l qo'ymaslik uchun gazning temperaturasi shudring nuqtasidan 10-25°C yuqori bo'lishligi kerak. Buning uchun siklonlar tegishli izolatsiya qatlami bilan qoplanadi, ayrim paytda ularning devorlari qizdiriladi.

Umuman olganda, siklonlar tarkibida 400 g/m³ gacha qattiq faza tutgan changli gazlarni tozalash uchun ishlatiladi. NIIO gaz tomonidan ishlab chiqarilayotgan siklonlarning diametri 100-1000 mm ga, changli gazlarning tozalanish darajasi 30-85 % ga teng. Changli gaz aralashmalaridagi qattiq zarrachalarning diametri kattalashgan sari gazlarning tozalanish darajasi 90-95% gacha ortishi mumkin.

Changli gaz aralashmalaridagi qattiq zarrachalarning diametri kattalashgan sari gazlarning tozalanish darajasi 90-95% gacha ortishi mumkin.

Siklonlarda gaz aralashmalarining tozalanish darajasi ajratish koeffitsiyentga bog'liq:

$$k_a = \omega^2 / r g$$

bu yerda, r – siklon radiusi, m; ω – gaz oqimining tezligi, m/s.

Bu tenglamadan ko'rinib turibdiki, gazlarning tozalanish darajasini oshirish uchun gaz oqimi aylanma harakatining radiusini, ya'ni siklonning radiusini kamaytirish yoki gaz oqimining harakat tezligini oshirish kerak.

Siklon qurilmalar quyidagi afzalliklarga ega: tuzilishi sodda, harakatlantiruvchi qismlari yo'q, foydalanish oson, ixcham va arzon.

Bu siklonlarni turli jinsli suyuqlik sistemalarni ajratish uchun ham ishlatga bo'ladi. Bunda ular *gidrosiklonlar* deyiladi. Gidrosiklonlarni suspenziyalarni quyultirish va tozalash uchun, zarrachalarni o'lchamiga ko'ra fraksiyalarga ajratish va boshqa maqsadlar uchun ham ishlatish mumkin.

Keyingi vaqtlarda gidrosiklonlar bilan bir qatorda *multigidrosiklonlar* va *sentrisklonlar* sanoatda qo'llanilmoqda. Multigidrosiklonlarda kuchli markazdan qochma kuchlar maydoni hosil qilinadi, ularning diametri 10 – 15 mm ga teng.

Sentrisklonning silindrsimon qismiga esa elektr dvigatel yordamida aylanadigan rotor - parrak o'rnatilgan bo'lib, u kuchli markazdan qochma kuchlar maydonini yuzaga keltiradi.

Siklonlarni hisoblash. Siklonlarni hisoblash uchun quyidagi parametrlar ma'lum bo'lishi kerak:

- tozalanayotgan gazning hajmi, m^3/coat ;
- gazninig siklonga kirishdagi harorati, $^{\circ}\text{C}$;
- gazning normal sharoitdagi zichligi, kg/m^3 ;
- gazdagi suv bug'larining miqdori, kg/kg yoki %;
- siklonga kirishda gaz tarkibidagi chang miqdori, g/m^3 ;
- changning qovushqoqligi, zichligi; $\text{N s}/m^2$;
- siklonga kirishdagi gazning bosimi, N/m^2 ;

- zaruriy tozalash koeffitsiyenti, %;
- changning fraksiyalar bo'yicha disperslik tarkibi (massaviy %).

Siklonlarni hisoblash quyidagi tartibda olib boriladi. Avval uning tipi va diametri tanlanadi. So'ngra bitta siklondan yoki batareyali siklonning bitta elementidan o'tadigan gazning ish hajmi topiladi:

$$V_c = 0,785 \cdot \omega_\phi \cdot D^2 = 3,48 \cdot D^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_t \cdot g \cdot \xi}} \quad (4.1)$$

yoki

$$V_c = 5,8 \cdot D^2 \sqrt{\frac{\Delta P(273+t)}{\rho_0 \cdot \rho_t \cdot g \cdot \xi}} \quad (4.2)$$

bu yerda, ω_t – gazning mavhum (shartli) tezligi, m/s; ρ_0 va ρ_t – gazning normal va ish sharoitidagi zichligi, kg/m³; D – siklonning yoki batareyali siklon elementining ichki diametri, m; ξ – siklonning gidravlik qarshilik koeffitsiyenti; ΔR – gazning siklonga kirishdagi absolyut bosimi, Pa; t – gazning ish harorati, °C.

Siklonlarning gidravlik qarshiligi quyidagi tenglamadan topiladi:

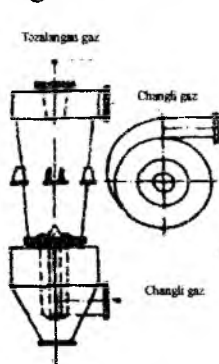
$$\Delta P = \xi \frac{\rho_t \cdot \omega_\phi^2}{2} \quad (4.3)$$

4.4. Uyurmali va rotatsion chang ushlagichlar

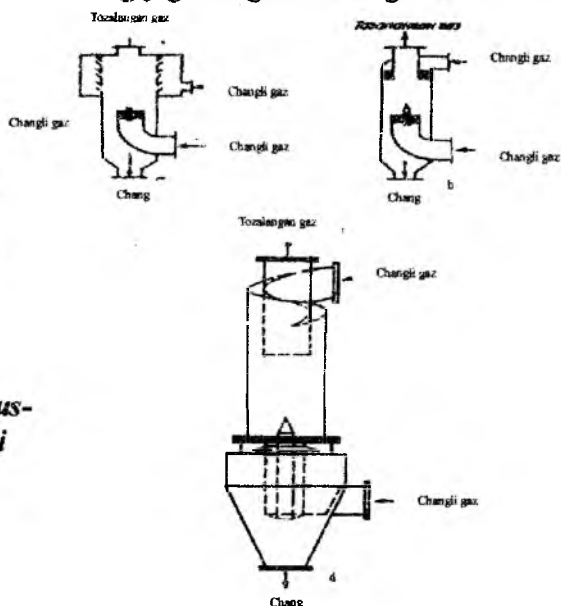
Uyurmali chang ushlagichlar siklonlarga nisbatan ancha keyinroq taklif etilgan. Bunday qurilmaning o'q yo'nalishida pastki va yuqori uyurmali oqimlarning bir-biriga qarama-qarshi harakati mavjud.

Uyurmali chang ushlagichning sxemalari 31 va 32 - rasmlarda ko'rsatilgan. Yuqorigi oqim bilan qurilmaga kirgan chang zarrachalari markazdan qochma kuch ta'sirida devor yuzasi tomon uloqtiriladi, yuza bo'ylab pastga qarab spiralsimon harakat qilib, chang yig'iladigan bunkerga tushadi. Pastki oqim bilan qurilmaga kirgan chang zarrachalari dastlab gaz oqimi bilan birga spiralsimon

harakatlanib yuqoriga ko'tariladi, keyinchalik markazdan qochma kuch yordamida devor tomon uloqtiriladi va yuqorigi oqim birga pastga karab harakatlanib chang yig'iladigan bunkerga tushadi.



31-rasm. Konus-simon uyurmali chang tutgich.



32-rasm. Silindrsimon uyurmali chang tutgich.

Changli gazning kirish usuliga ko'ra uyurmali chang ushlagichlar bir necha turga bo'linadi: 1) yuqori gaz oqimini soplo yordamida kirituvchi; 2) pastki va yuqorigi gaz oqimlarini parrak yordamida kirituvchi; 3) pastki va yuqorigi gaz oqimini tangensial yo'nalishda kirituvchi qurilmalar.

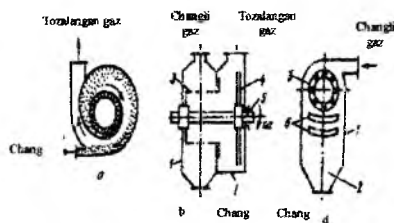
Sanoat ishlab chiqarishlarida yuqorigi va pastki gaz oqimlari tangensial yo'nalishda kiradigan uyurmali chang ushlagichlardan foydalanish qulay va arzonga tushadi. Bundan tashqari, qurilmaning tuzilishi sodda va bosimning yo'qolishi kamroq. Soplo yordamida gaz oqimi kiradigan qurilmaning yuqorigi qismida gorizontga nisbatan 15-30° qiya qilib joylashgan bir necha qator soplolar o'rnatilgan; ushbu tangensial soplolar yordamida ikkilamchi gaz oqimi

uyurma hosil qiladi. Soplodan chiqayotgan gazning tezligi 60-80 m/s ni tashkil etadi. Bunday qurilmalarda ikkilamchi gaz oqimining hajmiy sarfi umumiy gaz sarfining 30-50 % ini tashkil etadi.

Gaz oqimi parrak yordamida yoki tangensial yo'nalishda kiritiladigan qurilmalarda ikkilamchi gaz oqimining bosimi soplo yordamida kiradigan gaz bosimiga nisbatan ancha kam bo'ladi. Odatda, ikkilamchi gazning qurilmaga kirishidagi bosimi va tezligi taxminan siklonlardagi ko'rsatkichlarga juda yaqin. Sanoat ishlab chiqarishlarida yuqorigi va pastki gaz oqimlari tangensial yo'nalishda kiradigan uyurmali chang ushlagichlardan foydalanish qulay va arzonga tushadi. Bundan tashqari, qurilmaning tuzilishi sodda va bosimning yo'qolishi kamroq.

Rotatsion chang ushlagichlar. Rotatsion yoki dinamik chang tutgichlarda chang zarrachasiga ta'sir qiluvchi markazdan qochma va Koriolis kuchlari ish g'ildiragining aylanishi natijasida hosil bo'ladi. Ularning afzalligi ishlashi uchun qo'shimcha tortish-puflash qurilmasi kerak emas. Rotorning aylanishlar sonini oshirish bilan yuqori samaradorlikka erishish mumkin.

Bu qurilmalarning asosiy kamchiligi ko'p energiya talab qilishidir, biroq ancha ixcham tuzilishga ega. Sanoatda bu qurilmalar ikki turli bo'ladi: *spiralsimon qobiqli* va *aylanuvchi barabanli*.



33-rasm. Aylanuvchan teshikli barabanli rotatsion chang tutgich.

Changli gaz yuzasi perforatsiya qilingan aylanuvchi baraban orqali o'tadi, chang zarrachalari esa markazdan qochma kuch ta'sirida barabanning tashqarisida qoladi. Chang markazdan qochma

kuch ta'sirida barabanning perforatsiya qilingan yuzasidan ajraladi va qobiqning pastki qismidagi chang yig'ichda to'planadi.

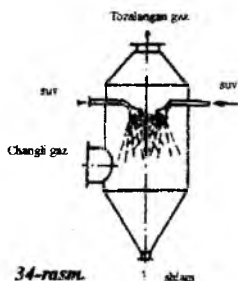
Rotatsion chang tutgichlar qatoriga maxsus turbina bilan ta'minlangan *turbosiklonlar* va *turbokompressorlar* kiradi. Turbina markazdan qochma kuch maydonini hosil qiladi va uni kuchaytiradi. Natijada gazlarni changdan tozalash darajasi ko'payadi.

4.5. Gaz yuvuvchi qurilmalar

Toza gaz olish uchun changli gazlarni suv yoki boshqa suyuqliklar bilan yuvib ularni chang zarrachalaridan tozalanadi. Bunda oqindi suvlar hosil bo'lib ularni tozalash talab qilinadi. Bu usul ayniqsa sovigan gazlarni tozalash ancha oson, chunki gazlar soviganda suv bug'lari kondensatsiyalanib changlar jamlanadi va ularning og'irligi ortib, chang zarrachalari gazdan oson ajraladi. Bu qurilmalarni chang tutishdan tashqari gazlarni sovitish yoki namlash, tumanlarni tutib qolish, gaz qo'shimchalarini absorbsiyalash kabi ishlar bajariladi.

Gaz yuvuvchi qurilmalarni kamchiligi, a) qurilma va truboprovodlar yuzalariga chang zarrachalari yopishib qolishi; b) suyuqlikning sarfi ancha katta; d) gazlarni, ayniqsa agressiv gazlarni tozalashda korroziyadan himoya qilish talab qilinadi.

Gaz yuvuvchi qurilmalar quyidagi sinflarga bo'linadi: 1) fazalar kontakt yuzasining turiga ko'ra: suyuqlik sochib beruvchi, nasadkali, tarelkali, plyonkali; 2) ish prinsipiga ko'ra: gravitasion, markazdan qochma, oqimchali va mexanik; 3) energiya sarfiga ko'ra: past bosimli, o'rta bosimli, yuqori bosimli qurilmalar.



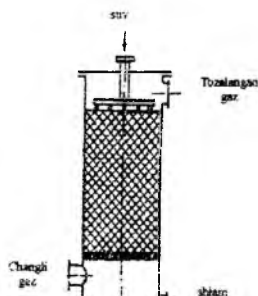
34-rasm.

Suyuqlik sochib beruvchi qurilmalar.

Bunday qurilmalar (*skrubberlar*) ichi bo'sh qobiqdan iborat bo'lib, silindrsimon va to'g'ri to'rtburchakli kolonnalar ko'rinishida bo'ladi. Skrubber aralashmasi 0,8-1,5 m/s tezlikda qurilmaning pastki qismidan beriladi. Skrubberning yuqori qismidan forsunkalar orqali so-

chilgan suv qurilmaning balandligi bo'ylab devor yuzasi bo'ylab harakat qilib, gaz qurilmaning yuqori qismidan chiqib ketadi. Oddiy skrubberlarda gaz aralashmasinig tozalanish darajasi 60-75% bo'ladi. Zarrachaning o'lchami 10 mkm dan katta bo'lsa 99% ni tashkil etadi.

Nasadkali skrubberlar



35-rasm.

Tozalash jarayonining intensivligini va tezligini oshirish uchun nasadkali skrubberlar ko'p ishlatiladi. Nasadkalar gaz fazasi bilan suyuqlik fazalari orasidagi kontakt yuzasini oshiradi. Nasadkali skrubberlarda korpusning ichiga nasadkalar tartibli va tartibsiz joylashtiriladi. Ko'pincha koks, kvarts va halqasimon nasadkalar ishlatiladi. Nasadkali skrubberning o'rtacha tozalash darajasi 75-85% bo'ladi. Biroq o'lchami 2 mkm dan katta bo'lgan zarrachalarni tutganda tozalash

darajasi 90% dan ortib ketishi mumkin. Nasadkali skrubberlar oddiy skrubberlarga nisbatan samaradorligi katta, biroq ularning gidravlik qarshiligi ham kattaroq.

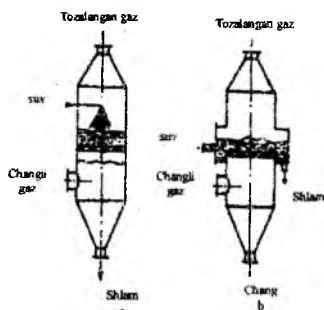
Markazdan qochma skrubberlar. Gaz aralashmasi tangensial yo'nalishda qurilma korpusining silindr qismiga kirib, markazdan qochma kuch ta'sirida aylanma harakat qiladi. Korpus devori yuzasidan soplo orqali berilgan suv plyonkaga o'xshab oqib turadi. Gaz markazdan qochma kuch ta'sirida skrubberning devorlariga urilib plyonka holida oqayotgan suv bilan yuvilib tushib ketadi.

Markazdan qochma skrubberlarda oddiy va nasadkaliga nisbatan gaz aralashmasini tozalash darajasi yuqori bo'lib, o'lchamlari 5-30 mkm zarrachalar uchun 95% gacha va zarrachalarning o'lchami 2-5 mkm bo'lganda 85-90% ga teng bo'ladi.

Tarelkali gaz yuvuvchi qurilmalar. Bunday qurilmalarda gaz bilan suyuqlik o'rtasidagi kontakt garizontal joylashgan tarelkalar ustida yuz beradi. Gazning tezligi kichik bo'lganda (1 m/s atrofida) gaz suyuqlik qatlami orqali o'tib pufaklar hosil bo'ladi, bu jarayon

barbotaj jarayoni deyiladi. Agar gazning tezligi katta bo'lsa turbulentlashgan ko'pik qatlami hosil bo'ladi. Shu sababdan tarelkali skrubberlar 2 turga **ko'pikli** va **barbotajliga** bo'linadi.

Sanoatda **ko'pik qatlamli** tarelkali skrubberlar keng ishlatiladi. Tarelkadagi gazlarning tezligi 2,5-4,5 m/s, teshiklarning diametri 4-8 mm, tozalash darajasi 99% gacha. Bu qurilmalar kimyo va metallni qayta ishlash sanoatida, ayniqsa mineral o'g'itlar ishlab chiqarishda gazlarni fluor, oltingugurt, fosfor changlaridan tozalashda yaxshi samara bermoqda.



36 - rasm.

Ag'darilma tarelkali skrubberlarda teshikli va tirqishli panjaralar ishlatiladi. Teshiklarning diametri 4-8 mm, tirqishlarning kengligi 4-5 mm. Tarelkaning erkin kesimi (umumiy kesimga nisbatan teshiklarning ulushi) $0,2-0,5 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Quyilish tarelkali qurilmalarda qalpoqchali, S-simon, yig'gichi bo'lgan teshikli va boshqa tipdagi tarelkalardan foydalaniladi.

35 - rasmda ko'pik hosil qiluvchi tarelkali gazyuvuvchi qurilmalarning ikki turi ko'rsatilgan: a) ag'darilma tarelkali; b) quyilish tarelkali.

Bu turdagi qurilmalarda perforatsiya qilingan tarelkalarning soni bir nechta bo'lishi mumkin, bunday sharoitda tozalash darajasi ortadi (99% gacha). Bitta tarelkaning gidravlik qarshiligi taxminan 600 Pa ga teng bo'ladi. Sanoatda ko'pik qatlamini barqarorlashtirib ko'pikli gaz turadigan qurilmasi:

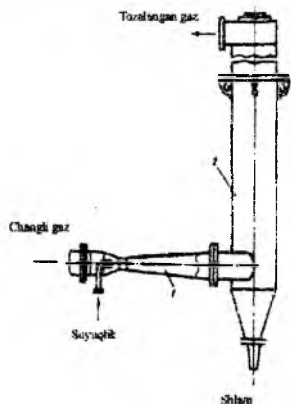
a – ag'darilma tarelkali:

Barqarorlashtiruvchi qurilma (stabilizator)

b – qo'shilish tarelkali.

ko'pikli rejimning tezlik intervalini ancha kengaytiradi (4 m/s gacha) va ko'pik qatlamining balandligini ko'paytiradi. Bunday qurilmalarning gaz bo'yicha ish unumdorligi standartlashtirilgan va 3 dan 90 ming m^3/soat gacha o'zgarishi mumkin. Tarelkalardagi gazning

optimal tezligi 2,5-4,5 m/s, suyuqlikning solishtirma sarfi 0,05-0,1 l/m³. Ko'pikli qurilmalar kimyo va metallni qayta ishlash sanoatida, ayniqsa mineral o'g'itlar ishlab chiqarishda gazlarni fluor, oltingugurt, fosfor changlaridan tozalashda yaxshi samara bermoqda.



37-rasm. Venturi skrubberi:
qayta ishlash yo'li bilan
sifliqlantiriladi. 1-suyuqlikni
sochib beruvchi truba;
Gaz - suyuqlik oqimining
bo'g'izdan keyin
2-siklon tomchi ushlagich.

Venturi skrubberi. 37 - rasm Bunday qurilma suyuqlikni sochib beruvchi truba (Venturi trubasi) va suyuqlik tomchilarini gaz oqimidan ajratadigan separatoridan tashkil topgan. Venturi trubasi 1 torayuvchi qism (konfuzor), qiska silindrsimon qism (bo'g'iz) va kengayib boruvchi qism (diffuzor) lardan tuzilgan. Suyuqlik maxsus sochib beruvchi qurilma yoki mexanik forsunka yordamida konfuzor (yoki bo'g'iz) ga beriladi. Trubaning xarakteristikalari quyidagicha o'zgarishi mumkin: konfuzorning qiyalik burchagi 25-28°; diffuzorning qiyalik burchagi 6-7°; bo'g'izning uzunligi diametrining 0,15-0,5 ulushi; bo'g'izning diametri truboprovod diametrining 0,4-0,5 ulushi. Bosim yo'qolishini kamaytirish uchun

Venturi trubasining ichki yuzasi mexanik.

Diffuzorga o'tib, kengayishi paytida suyuqlikning qo'shimcha mayda tomchilarga ajralishi yuz beradi. Bu yerda suyuqlik tomchilari chang zarrachalarini o'zi bilan birga olib ketadi. Tomchilarning gaz oqimidan ajralish jarayoni siklon - tomchi ushlagich (2) da ro'y beradi.

Bo'g'izdagi gazning tezligi 60-150 m/s ga yetadi. Suyuqlik ortiqcha bosim (0,03-0,1 MPa) bilan beriladi. Diffuzorda oqimning tezligi 20-25 m/s gacha kamayadi. Siklonda gaz-suyuqlik oqimining tezligi 4-5 m/s ni tashkil qiladi.

Venturi skrubberida chang zarrachalarini ushlab turgan suyuqlik tomchilariga nisbatan gazning katta tezligiga erishiladi.

Shu sababdan Venturi qurilmasida gaz tarkibidagi o'Ichami 1 mkm dan kichik bo'lgan qattiq zarrachalarni ushlash imkoniyati mavjud. Tozalash darajasi 99 % gacha yetadi, biroq qurilmaning gidravlik qarshiligi juda katta (2200-12800 Pa).

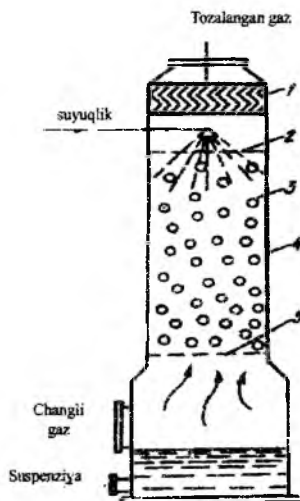
Mavhum qaynash qatlamli skrubber. Bunday gaz yuvuvchi qurilmaning chizmasi 35-rasmda ko'rsatilgan. Silindrsimon qobiq (4) ning pastki tayanch (5) va yuqorigi chegaralovchi (2) panjaralari oralig'ida nasadka qatlamli mavjud. Nasadka sifatida ichi bo'sh yoki yaxlit sharlar ishlatilishi mumkin. Panjara (5) bir vaqtning O'zida nasadka uchun tayanch va gazni bir tekisda tarqatuvchi qurilma vazifasida xizmat qiladi. Nasadka qo'zg'almas qatlamining balandligi 200-300 mm, panjaralar oralig'idagi masofa esa 1200-1500 mm bo'lishi mumkin. Sharlar polietilen, polistirol, rezina, shisha va boshqa materiallardan tayyorlanadi; sharning diametri qurilma diametrining 0,1 ulushidan katta bo'lmasligi kerak. Bu turdagi sanoat qurilmalarining diametri 6,5 m gacha bo'lishi mumkin.

Qaynovchi qatlamli nasadkali skrubberlarda ko'pincha past unumli va shar shaklidagi nasadkali ishlatiladi. Qurilma to'la mavhum qaynash rejimida ishlaydi. Uning yuqori qismidan suyuqlik forsunka yordamida sochilib turiladi. Gazning tezligi 4-6 m/s bo'ladi. Mavhum qaynash holatidagi nasadkalar ta'sirida gaz oqimi turbulizatsiya qilinadi, fazalar o'rtasidagi yuza ko'p marotaba yangilanadi, oqibatda gaz bilan suyuqlik yaxshi kontaktga uchraydi.

Toshkent kimyo-texnologiya instituti «Kimyoviy texnologiya jarayonlari va qurilmalari» kafedrasida qaynovchi qatlamli nasadkali skrubberlar uchun nasadkaning turli xillari - kublar, halqachalar, har xil qarshilik koeffitsiyentiga ega bo'lgan sharlar ishlab chiqarishga joriy qilindi va natijada qurilmaning samaradorligi ikki marta ortdi.

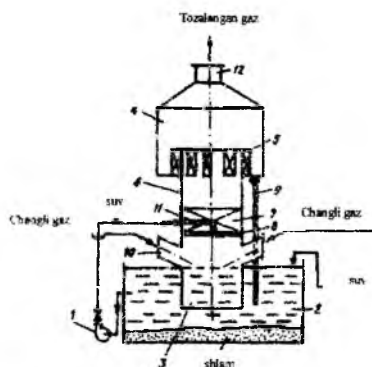
Aylanib yuruvchi nasadkali skrubberlar. Hozirda mavhum qaynash qatlamli gaz yuvuvchi qurilmalarning qator samarali konstruksiyalari ishlab chiqildi. Jumladan, Toshkent Davlat texnika universiteti mutaxassislari tomonidan aylanib yuruvchi nasadkali skrubberning bir necha yangi turlari taklif etildi. Nasadkalar aylanib yuruvchi holatga yetganida qatlamdagi bo'sh hajmning ulushi $\epsilon = 1$

bo'ladi. Ushbu skrubberlar Chirchiq shahridagi O'zbekiston qiyin eruvchan va o'tga chidamli metallar kombinatining gazlarni changdan tozalash sistemasida muvaffaqiyatli ishlatilmoqda.



38-rasm.

39 – rasm. Aylanib yuruvchi nasadka va suyuqlik sirkulyasiya qilib beriladigan chang tuigich.



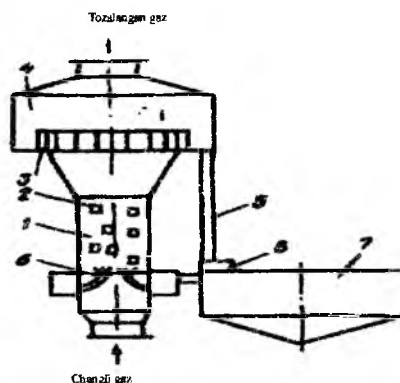
- 1 – nasos; 2 – shlam yig'ich;
- 3 – qurilma kubi; 4 – separator;
- 5 – uyurma hosil qiluvchi qurilma;
- 6 – qurilmaning ish sohasi;
- 7 – aylanib yuruvchi nasadkali qatlam; 8 – tayanch panjarasi;
- 9 – quyilish trubasi; 10 – changli gaz kiradigan shtutser;
- 11 – forsunka; 12 – tozalangan gaz chiqadigan potrubok.

39-rasmda aylanib yuruvchi nasadkali va suyuqlik sirkulyatsiya qilib beriladigan skrubberning sxemasi ko'rsatilgan. Qurilmaga suyuqlik markazdan qochma nasos (1) yordamida beriladi. Changli gaz panjara (8) ning pastki qismiga shtuser (10) yordamida yuboriladi. Gaz kiradigan shtuser vertikal, o'qqa nisbatan $5-10^\circ$ qiyalik bilan o'rnatilgan. Suyuqlik panjara yuzasi tomonga qarab, sohib beruvchi qurilma (2) yordamida tarqatiladi. Panjaraning ustida nasadka qatlami (7) joylashgan. Panjara orqali o'tgan gaz oqimi nasadkalarni aylanib yuruvchi holatga keltiradi. Gazning tezligiga ko'ra suyuqlik panjara orqali qisman ag'darilib, qurilmaning kub qismiga tushadi yoki ish zonasi (6) orqali qurilmaning yuqorigi qismidagi separator (4) ga o'tadi. Separatorda markazda qochma uyurma hosil qiluvchi (5) yordamida suyuqlik gazdan ajraladi. Ajralgan suyuqlik quyilish trubasi (9) orqali shlam yig'gichga tushadi. Tozalangan gaz patrubok (12) orqali atmosferaga chiqariladi, Gazning tezligi 3–12 m/s chegaralarida o'zgarishi mumkin.

Mayda dispersli zarrachalarni tutib qolish darajasi gaz tezligining ortishi bilan ko'payadi, buning uchun qurilmada to'g'ri yo'nalishli rejim tashkil qilinadi. Gazning tezligi 7–8 m/s dan yuqori bo'lishi kerak. Bunday sharoitda suyuqlik panjaradan ag'darilib, qurilmaning pastki qismida yig'ilmaydi. Nasos ishlatishga ehtiyoj qolmaydi. 39-rasmda suyuqlik injeksion usul bilan beriladigan chang tutgichning chizmasi ko'rsatilgan. Gaz qurilmaning pastki qismiga berilib, ish sohasi (1) dan o'tadi va bu sohada joylashgan nasadkalar (2) ni aylanuvchan holatga-keltiradi. Gaz changdan ish sohasida turbulizatsiya qilingan gaz-suyuqlik qatlami yordamida tozalanadi. Suyuqlik separator (4) da ajraladi va resirkulyatsiya qilish uchun ishlatiladi. Suyuqlik truba (5) orqali shlam yig'gich (7) ga quyiladi. Suyuqlik tarkibidagi mayda zarrachalar shlam yig'gich (7) da cho'kmaga tushadi.

Aylanib yuruvchi nasadkali skrubberlarda gaz-suyuqlik oqimi nasadkalar yordamida kuchli turbulizatsiya qilinadi. Zarrachalarning tomchilarda cho'kishi turbulent – impulsli mexanizm asosida yuz beradi. Buning uchun qurilmada optimal masshtabli intensiv

turbulent pulsatsiyalari tashkil etiladi. Ushbu skrubberlar yordamida gaz aralashmalari tarkibidagi mikronli o'lcham va turli fizik xossalarga ega bo'lgan qattiq zarrachalarni ajratib olish mumkin.



40 – rasm. Aylanib yuruvchi nasadkali va injenksion tarelkali chang tutgich.

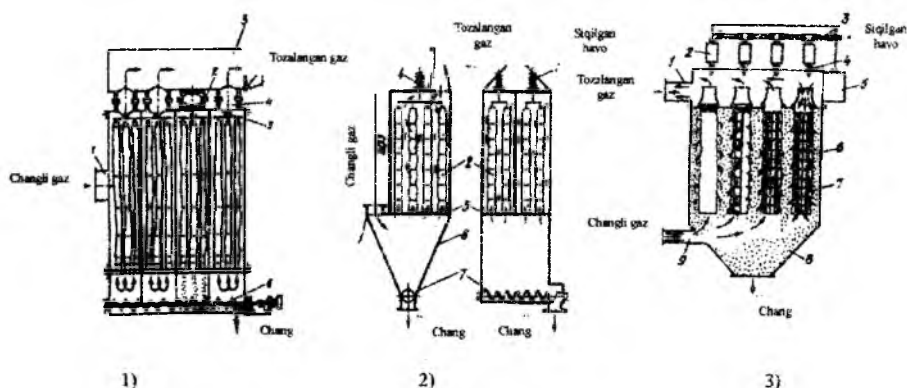
Sanoat miqyosida olib borilgan tajribalar shuni ko'rsatdiki, aylanib yuruvchi nasadkali skrubberlarda yuqori darajadagi chang ushlashlikka erishiladi: 93—96 % 1—2 mkm li zarrachalar uchun; 98—99,9 % 5 mkm dan katta bo'lgan zarrachalar uchun.

4.6. Filtrlar. Elektrofилtrlar

Mayda zarrachali, uzun tolali va yengil changli gaz aralashmalarini tozalash uchun *filtrlar* ishlatiladi. Filtrlarning teshiklari mayda bo'lganligi uchun gaz undan o'tib, chang esa ushianib qoladi. Filtrlovchi to'siq sifatida *paxtali ip* va *junli materiallar*, *sochiluvchan (qum, aktivlangan ko'mir)* va *kerakli materiallar* ishlatiladi.

Gazlarni tozalash uchun yengil filtrlar ko'p ishlatiladi (40–rasm). Yenglar qobiq ostidagi trubali to'siqlarga mahkamlanadi. Changli gaz filtrlanadi. Changlar va mayda zarrachalar filtr yenglarining teshiklarida qoladi. Vaqt o'tishi bilan chang qatlami

ko'payib filtr to'siqlarning qarshiligi ortadi va natijada qurilmaning unumdorligi kamayadi. Shuning uchun vaqti-vaqti bilan silkituvchi qurilma yordamida silkitilib changlar to'kiladi va shnek orqali tashqariga chiqariladi.



41 – rasm. 1) Yengli filtr. 2) Metallo-keramikadan.
 3) Ko'p seksiyali tayyorlangan patronli filtr.
 yengli filtr.

Ba'zi filtrlar silkitish bilan birga gaz yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalishda havo bilan puflab tozalanadi. Bunday filtrlarning yengini diametri 20-25 sm, uzunligi 2,5-4 m bo'lib, bir necha seksiyalardan iborat bo'ladi. Agar filtrning yenglari paxtali gazlamadan bo'lsa, u 65°C gacha, junli gazlamadan bo'lsa $80-90^{\circ}\text{C}$ gacha ishlaydi.

Kamchiligi: englar tezda ishdan chiqadi va teshiklari berkilib qoladi; yuqori haroratli gazlarni tozalash mumkin emas.

Yuqori haroratli gazlarni tozalash uchun junli gazlamalarga kapron tolalaridan qo'shib tayyorlanadi. Filtr yenglari sifatida *shisha tolali materiallar* ham ishlatiladi. Yuqori haroratdagi changli gazlarni tozalash uchun g'ovaksimon patronlari metallo-keramikadan tayyorlangan filtrlar ishlatiladi (40-rasm). Changli gaz filtrlovchi elementlardan o'tib uning yuzasida va teshiklarida ush-

lanib qoladi. Tozalangan gaz qurilmaning yuqori qismidan chiqib ketadi. Filtrlovchi elementlarning g'ovaklari to'lib qolgandan keyin ular chiqilgan havo yoki tozalangan gaz bilan puflab regeneratsiya qilinib yana qaytadan tozalash sikli davom ettiriladi.

Sanoatda ko'pincha toza havo olish uchun moyli gaz filtrlar qo'llaniladi. Bu filtrlar bir necha xil kassetali yacheykalardan iborat. Filtrning yacheykasi metall qutichasidan iborat bo'lib, uning ikki yon tomoni to'r bilan berkitilgan quticha metall halqachalar bilan to'ldirilgan. Changli gaz turi orqali berilganda changlar halqachalarning yuzasiga yopishib, tozalangan gaz esa tur orqali chiqib ketadi. Halkalarning ustki qismiga *vissin (mashina yog'i, gliserin)* surtiladi. Moyli filtrlarda havo 99% gacha tozalanadi.

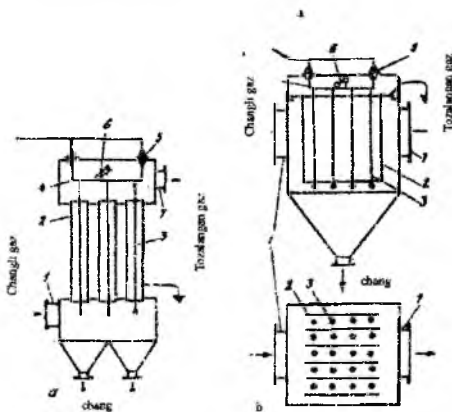
Yuqori haroratli va fizik-kimyoviy usullar bilan gazlarni changdan tozalash uchun donador material qatlamiga ega bo'lgan filtrlardan foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi. Bunday filtrlarda nasadka sifatida *shag'al, qum, shlak, qipiq, rezina va plastmassali mayda uvoqlar*, turli ishlab chiqarish chiqindilari ishlatilishi mumkin.

Elektrofiltrlar. Changli gazlar tarkibidagi qattiq zarrachalarni elektr maydon ta'sirida cho'ktirish boshqa cho'ktirish usullariga qaraganda ko'p afzalliklarga ega elektrofiltrlar yordamida gaz tarkibidagi eng kichik zarrachalarni ushlash mumkin. Bunday qurilmalarda gaz aralashmalarini ajratish darajasi 99% gacha yetadi.

elektrofiltrlarning gidravlik

qarshiligi 100-150 Pa gacha bo'ladi, Changli gazning harorati - 20 dan + 500°C gacha bo'lishi mumkin.

Elektrofiltrning kamchiligi: yuqori metall ushlashlik; o'lchamlari katta; ish rejimining o'zgarishiga ta'sirchan; changning portlash va o't



42-rasm. Elektrofiltr

olish xavfsizligini ta'minlashga yuqori kapital sarfi katta bo'lganda foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Tarkibida qattiq zarrachalari bo'lgan gaz oqimi yuqori kuchlanishli elektr maydondan o'tganda ionizatsiya hodisasiga uchraydi. Ya'ni uning molekularlari musbat va manfiy zaryadlangan zarrachalarga ajraladi. Bunda butunlay ionlashgan gaz qatlami cho'g'lanib nur va charsillanib ovoz chiqaradi. Bu sim *nurlanuvchi elektrod* deyiladi.

Manfiy zaryadlangan changning elektronlari nurlanuvchi elektrodan musbat zaryadlangan cho'ktirish elektrodleri tomon harakat qilganda o'z yo'lida qattiq zarrachalarga uchraydi va ularni zaryadlaydi. Zaryadlangan zarrachalar cho'ktirish elektrodiga yaqinlashganda o'zining zaryadini beradi va og'irlik kuchi ta'sirida cho'kadi.

Elektrofiltrlar yuqori kuchlanishli *o'zgarmas tokda* ishlaydi. Elektrofiltrning nurlanuvchi elektrodleri tok manbaining manfiy qutbiga, cho'ktiruvchi elektrodleri esa musbat qutbiga ulanadi. Cho'ktirish elektrodining tayyorlanishiga qarab trubali va plastinali elektrofiltrlar bo'ladi, biroq ularning ishlash rejimida prinsipial farqi yo'q. Elektr cho'ktirish qurilmasining ishlash prinsipi changni gazlarning xususiyati, tarkibi va haroratiga bog'liq. Harorat va havoning molekular og'irligi ortishi bilan sistemadan o'tayotgan tokning miqdori ko'payib boradi. Chang zarrachalarining kattaligi kamayishi bilan qurilmaning foydali ish koeffitsiyenti kamayadi.

4.7. Gaz tozalash qurilmalarni tanlash

Gaz tozalaydigan qurilmalarni tanlashda quyidagi asosiy faktorlarga ahamiyat berilishi kerak: chang zarrachasining o'lchami, uning tozalanishi lozim bo'lgan gaz tarkibidagi konsentratsiyasi va zarur bo'lgan tozalash darajasi. Yuqori konsentratsiyali gazlar uchun hamda qattiq faza muhim mahsulot hisoblanganda, tozalashning quruq usullaridan foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Gazni tozalash darajasiga bo'lgan talab atmosfera havosi tozaligining zarur bo'lgan sanitariya-gigiyena normalari bilan

texnologiya uskunalarining ishlash shartlari bilan bog'liq bo'ladi. Gaz tozalaydigan qurilmalarni va ularning materiallarini tanlashda gaz tarkibida namlik va agressiv komponentlarning borligi, ularning miqdori va harorati hisobga olinadi.

Tozalashning tegishli darajasi qurilmaning turini, konstruksiyasini va o'lchamini to'g'ri tanlash va uni to'g'ri ishlatish orqali erishiladi. Chang ushlashni yaxshilash odatda qurilmaning o'lchamini yoki uning energiya hajmini ko'paytirishni talab qiladi. Masalan, yangli filtrlar, cho'ktirish kameralari, elektrofiltrlar gazning tezligi kam bo'lganda, ya'ni qurilmaning o'lchami katta bo'lganda ancha samarali ishlaydi.

Chang ushlagichning tegishli turini tanlashda uning imkoniyatlari hisobga olinishi kerak. Changli kameralar, siklonlar va boshqa inersion chang ushlagichlar arzon va tuzilishi oddiy, biroq ular gaz tarkibidagi faqat katta zarrachalarni ushlashi mumkin.

Yangli filtrlar va elektrofiltrlar yordamida gaz tozalashning yuqori darajasiga erishiladi, bunda aralashma tarkibidagi mayda zarrachalar ham tutib qolinadi, biroq gazni tozalashda oldin ma'lum haroratgacha isitish talab qilinadi. Katta tezlik bilan ishlaydigan gaz yuvuvchi qurilmalar ishlatilganda gaz tarkibidagi juda kichik zarrachalarni ushlash imkoniyati paydo bo'ladi, biroq ularni ishlatish uchun ko'p energiya talab qilinadi. Nam chang ushlagichlar ishlatilganda hosil bo'lgan suspenziyalarni qayta ishlashga hamda qurilmalarni korroziyadan himoya qilishga ahamiyat beriladi.

Zarur bo'lgan tozalash darajasiga ko'ra gaz aralashmalarini ajratish bir yoki bir necha bosqichli bo'lishi mumkin. Gazlarni birlamchi, ya'ni katta o'lchamli chang zarrachalaridan ajratishda, bir bosqichli tozalash usulidan foydalaniladi. Birlamchi tozalashni amalga oshirish qiyinchilik tug'dirmaydi.

Gazlarni o'ta mayda zarrachalardan ajratishda tozalashning ko'p bosqichli tasviridan foydalaniladi. Birlamchi tozalash uchun bir yoki bir necha chang ushlagich qurilmalari ishlatiladi, So'ngra nozik tozalash qurilmalaridan foydalaniladi. Gazlarni nozik tozalash qurilmalariga yuqori talablar qo'yiladi. Odatda, gazlarni nozik tozalash maqsadida yangli filtrlar, elektrofiltrlar va uyurmali chang tutgichlar ishlatiladi.

V BOB. SUYUQLIKLARHI UZATISH

5.1. Suyuqliklarni uzatish

Kimyo sanoatining barcha tarmoqlarida suyuqliklar gorizontalar va vertikal trubalar orqali uzatiladi. Suv, neft, benzin, kerosin, moylar va boshqa suyuqliklarni uzatish uchun mo'ljallangan mashinalar *nasoslar* deyiladi. Trubalarning boshlang'ich va oxirgi nuqtalaridagi bosimlar farqi trubalardan suyuqlikning oqishi uchun harakatlantiruvchi kuch hisoblanadi. Suyuqlik oqimining trubalardagi harakatlantiruvchi kuchi gidravlik mashinalar yoki nasoslar orqali hosil qilinadi.

Hasos elektr dvigateldan mexanik energiya olib, uni suyuqlikning harakatlanayotgan oqim energiyasiga aylantirib, bosimni oshiradi. Hasoslar xalq xo'jaligining barcha sohalarida: mashinasozlikda, metallurgiyada, kimyo sanoatida, yer ishlarini gidromexanizatsiyalashtirishda va ko'pchilik boshqa tarmoqlarda keng qo'llaniladi.

Nasoslar asosan ikki turga: dinamik va hajmiy nasoslarga bo'linadi. Dinamik nasoslarda suyuqlik tashqi kuch ta'sirida harakatga keltiriladi. Hasos ichidagi suyuqlik nasosga kirish va undan chiqish trubalari bilan uzluksiz bog'langan bo'ladi.

Suyuqlikka ta'sir qiladigan kuchning turiga ko'ra, dinamik nasoslar parrakli va ishqalanish kuchi yordamida ishlaydigan nasoslarga bo'linadi.

Parrakli nasoslar o'z navbatida *markazdan qochma va propellerli nasoslarga* bo'linadi. Markazdan qochma nasoslarda suyuqlik ish g'ildiraklarining markazidan uning chetiga qarab harakat qilsa, propellerli nasoslarda esa suyuqlik g'ildirakning o'qi yo'nalishida harakat qiladi.

Ishqalanish kuchiga asoslangan nasoslar ikki xil (*uyurmaviy va oqimli*) bo'ladi. Uyurmaviy va oqimli nasoslarda suyuqlik asosan ishqalanish kuchi ta'sirida harakatga keladi.

Hajmiy nasoslarning ishlash prinsipi suyuqlikning ma'lum bir hajmini yopiq kameradan itarib chiqarishga asoslangan.

Hajmiy nasoslar jumlasiga porshenli, plunjerli, diafragmali, shesterniyali, plastinali va vintsimon nasoslar kiradi.

Sanoatda suyuqliklarni siqilgan gaz yoki havo yordamida uzatish uchun gazliftlar va montejoylar ham ishlatiladi.

Nasoslarning asosiy parametrlari

Hasoslardan foydalanish ish unumdorligini *napor* va *quvvat* kabi kattaliklar bilan belgilanadi. Hasosning vaqt birligi ichida uzatib beradigan suyuqlik miqdori *ish unumdorligi* yoki *sarfi* deyiladi.

Hasosning massa birligiga ega bo'lgan suyuqlikka bergan solishtirma energiyasi *napor* deb yuritiladi. Hasosning bosimi oqimning nasosga kirish va chikishidagi solishtirma energiyalari ayirmasiga teng.

Suyuqlikka energiya berish uchun sarflangan nasosning foydali quvvati N_f suyuqlik sarfi miqdori $\gamma \cdot Q$ ning solishtirma energiyaga ko'paytirilganiga teng:

$$N_{\phi} = \gamma \cdot QH = \rho g QH \quad (5.1)$$

Hasosning o'qidagi quvvati foydali quvvatdan kattaroq bo'ladi. Chunki nasosda energiyaning bir qismi yo'qoladi. energiyaning yo'qolishi nasosning FIK η_n bilan belgilanadi. Demak, nasosning o'qidagi quvvat quyidagi tenglama bilan topiladi.

$$N_e = \frac{N_{\phi}}{\eta_n} = \frac{\rho g V H}{\eta_n} \quad (5.2)$$

FIK η_n nasosdagi quvvatning nisbiy yo'qolishini nasosning mukammalligini va uni ishlatishning arzonligini ifodalaydi, hamda quyidagi ko'paytma orqali topiladi:

$$\eta_n = \eta_v \cdot \eta_T \cdot \eta_{\text{mek}} \quad (5.3)$$

bu yerda, η_v – hajmi F I K η_g – gidravlik F I K
 η_m – mexanik F I K

Hajmiy FIK nasosning haqiqiy ish unumdorligining nazariy ish unumdorligiga nisbatiga teng bo'lib, nasos konstruksiyasining zich bo'lmagan joylaridan sizib chiqqan suyuqlikning miqdorini belgilaydi.

Gidravlik FIK nasos suyuqlikning nasosdan o'tishida gidravlik va mahalliy qarshiliklarni yengish uchun sarf bo'lgan naporning yo'qolishini ifodalaydi.

Mexanik FIK nasos mexanizmlaridagi ishqalanishni yengishga sarflangan quvvatning yo'qolishini belgilaydi.

Dvigatel iste'mol qiladigan quvvat nasos o'qidagi quvvatdan ortiqroq bo'ladi, chunki quvvatning bir qismi elektr dvigatelning o'qida va elektr dvigatelda mexanik energiya nasosga berilayotganda sarf bo'ladi, ya'ni:

$$N_{\text{de}} = \frac{N_e}{\eta_y \cdot \eta_{\text{de}}} = \frac{N_{\text{q}}}{\eta_n \cdot \eta_y \cdot \eta_{\text{de}}} \quad (5.4)$$

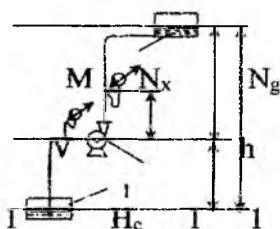
Ko'paytma η_n , η_y , η_{dv} nasos qurilmasining to'la FIK deb yuritiladi va η bilan belgilanadi. Hasos qurilmalarini o'rnatish uchun zarur bo'lgan quvvat quyidagiga teng:

$$N_n = \beta N_{\text{dv}} \quad (5.4a)$$

bu yerda, β – quvvatning zapas koeffitsiyenti, bu koeffitsiyentning qiymati dvigatelning nominal quvvatiga nisbatan topiladi.

5.2. Nasoslarning umumiy nabori va so'rish balandligi

Suyuqlikning pastki idishdan so'rish va haydash trubalari orqali haydash uchun dvigatel nasosga zarur energiya berishi, ya'ni nasos bosimi hosil qilishi lozim. Hasosning umumiy naporini 43 - rasmdagi nasos qurilmasidan aniqlash uchun so'rish va haydash trubalari uchun Bernulli tenglamasining o'zgarishidan foydalanamiz. Buning uchun so'rish va haydash vaqtidagi parametrlarning o'zgarishini quyidagi tartibda aniqlaymiz:



43-rasm. Nasosning umumiy bosimini aniqlash.

R – suyuqlik soʻrib olinayotgan idishdagi bosim;

R – yuqorida joylashgan idishdagi bosim;

R_c, R_x – suyuqlikning nasosga kirishidagi va chiqishdagi bosimi;

H_s – soʻrish balandligi;

H_x – haydash balandligi;

H_g – suyuqlikning geometrik koʻtarilishi balandligi;

h – vakuumetr va manometr oʻrnatilgan nuqtalar orasidagi vertikal masofa.

Hasosning naporini aniqlash uchun pastki idishdagi suyuqlik balandligining tekistligiga nisbatan soʻrish vaqtidagi 1-1 va 1'-1' kesimlar uchun Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = H_c + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} + h_c \quad (5.5)$$

Xuddi shuningdek, nasos oʻqidan oʻtuvchi tekislikka nisbatan haydash vaqtidagi 1-1 va 2-2 kesimlar uchun Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$\frac{P_x}{\rho g} + \frac{w_x^2}{2g} = H_x + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} + h_x \quad (5.6)$$

bu yerda, ω_1, ω_2 – pastki va yuqorigi idishlardagi suyuqlikning tezligi;

ω_s, ω_x - soʻrish va haydash trubalaridagi suyuqlik tezligi; h_c, h_x —soʻrish va haydash trubalaridagi gidravlik qarshiliklarni yengish uchun ketgan napor miqdori.

Soʻrish va haydash trubalaridagi tezlikka nisbatan pastki va yuqorigi idishlardagi suyuqlik tezligining Oʻzgarishi juda kichik boʻlib, u nolga teng.

Hasosning nabori oqimning nasosga kirish va chikishdagi solishtirma energiyalari ayirmasiga teng:

$$H = \frac{P_s - P_c}{\rho \cdot g} \quad (5.7)$$

(5.5) va (5.6) tenglamalardan ayirmalar farqini aniqlasak:

Bunda $\omega_s = \omega_x$, chunki haydash va soʻrish trubalarining diametri bir xil. $h_u = h_c + h_x$ trubaning umumiy gidravlik qarshiligi. Bundan tashqari 41-rasmdan: $N_s + N_h + N_g$. Bu holda yuqoridagi tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$H = H_c + \frac{P_s - P_1}{\rho g} + h_y \quad (5.8)$$

Demak, nasosning umumiy nabori suyuqlikni geometrik balandlik H_g ga koʻtarish uchun, pastki va yuqorigi idishlardagi bosimlar orasidagi farqni hamda soʻrish va uzatish trubalaridagi gidravlik qarshilikni yengish uchun sarflanadi. Agar pastki yuqorigi idishlardagi bosim oʻzaro teng boʻlsa, u holda nasosning umumiy nabori:

$$H = H_g + h_y \quad (5.9)$$

Suyuqlik gorizontal trubalar orqali uzatilsa ($H_g = 0$):

$$H = \frac{P_s - P_1}{\rho \cdot g} + h_y \quad (5.10)$$

Xuddi shuningdek, nasosning umumiy naborini manometr va vakuumetrning koʻrsatishi boʻyicha ham aniqlash mumkin:

$$H = \frac{P_{man} + P_{vac}}{\rho \cdot g} + h \quad (5.11)$$

Shunday qilib, nasosning umumiy nabori manometr va vakuumetrlar koʻrsatishlarining yigʻindisi bilan bu asboblal ulangan nuqtalar orasidagi vertikal masofaning yigʻindisiga teng.

So‘rish balandligi. Pastki idishdagi suyuqlikni erkin sirtiga atmosfera bosimi R_0 ta‘sir etadi. Suyuqlik so‘rish trubasi orqali balandlikka ko‘tarilib, nasosning ish kamerasini to‘ldirish uchun bu kamerada siyraklanish vujudga keltirish kerak. Bunda ish kamerasiga qoldiq absolyut bosim $R_s < R_0$ ta‘sir etadi. Bosimlar farqi $R_0 - R_s$ hosil bo‘lganligi sababli suyuqlik ustunining metrlarda ifodalangan nabori $R_0 - R_s / \rho g$ hosil bo‘ladi. Bu bosimning bir qismi suyuqlikning so‘rish trubasida H balandlikka ko‘tarish uchun qolgan qismi esa suyuqlikning trubada ω tezlik bilan harakatlanishiga yoki tezlik bosimini hosil qilish uchun va so‘rilayotgan suyuqlik yo‘lida uchraydigan barcha qarshiliklarni yengishga sarflanadi. U holda:

$$\frac{P_0}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g} = H_c + \frac{\omega^2}{2g} + h_c \quad (5.12)$$

Uzatilayotgan suyuqlikning qaynab ketishini hisobga olgan holda so‘rilish trubalaridagi bosim shu haroratdagi suyuqlikning to‘yingan bug‘ bosimi R_t dan yuqori bo‘lishi kerak. Bunda nasosning normal ishlashi uchun tenglama quyidagicha yoziladi:

$$\frac{P_0}{\rho g} = \frac{P_s}{\rho g} - \left(H_c + \frac{\omega^2}{2g} + h_c \right) \geq \frac{P_t}{\rho g} \quad (5.13)$$

Bu yerdan

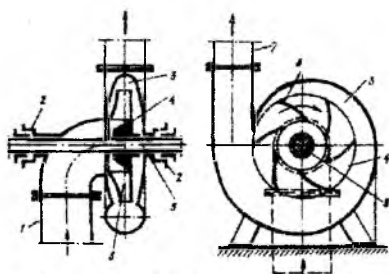
$$H_c \leq \frac{P_0}{\rho g} - \left(\frac{P_t}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g} + h_c \right) \quad (5.14)$$

Harorat ortishi bilan suyuqlikning to‘yingan bug‘ bosimi ham ortib, u qaynash haroratida tashqi atmosfera bosimiga tenglashadi, bu vaqtda so‘rish balandligi nolga teng bo‘ladi.

Shuning uchun qovushqoqligi yuqori va issiq suyuqliklarni uzatayotganda nasos qabul qiluvchi idishga nisbatan pastroq o‘rnatilishi zarur. Xuddi shuningdek, so‘rish balandligini hisoblashda gidravlik va mahalliy qarshiliklarni yengish uchun ketgan sarflardan tashqari, markazdan qochma nasoslarda esa inersion kuch ta‘sirida bo‘ladigan bosim yo‘qolishlari inobatga olinishi lozim.

5.3. Markazdan qochma tipdagi nasoslar

Markazdan qochma nasoslarda spiralsimon qobiq ichida parrakli ish g'ildirak joylashgan. Ish g'ildirakning aylanishida markazdan qochma kuch hosil bo'ladi. Bu kuch ta'sirida suyuqlikning so'rilishi va uni haydash bir me'yorda uzluksiz boradi. Nasos ishga tushirilishdan oldin so'rish trubasi, ish g'ildiragi va qobiq suyuqlikka to'ldiriladi. So'ngra dvigatel tok manbaiga ulanadi: ish g'ildiragi harakatga keltiriladi. Suyuqlik g'ildirak bilan birga aylanib, markazdan qochma kuch ta'sirida parraklar vositasida g'ildirakning markazidan chekkasiga o'tilib, spiralsimon qo'zg'almas kamerani to'ldiradi va haydash trubasi orqali balandlikka ko'tariladi. Bunda ish g'ildiragining kirish oldida siyraklanish vujudga keladi. Suyuqlik so'rish trubasidan nasosga kirib, ish g'ildirakning markaziy qismini to'ldiradi hamda g'ildirakning chekkalariga chiqarib tashlanadi va hokazo.



44-rasm. Markazdan qochma nasos:

- 1-so'rish patrubkasi; 2-salnik;
- 3-qobiq; 4-ish g'ildiragi;
- 5-ish g'ildiragining kuraklari;
- 6-haydash patrubkasi.

Suyuqlik ish g'ildiragi orqali oqib o'tishida dvigatelning mexanik energiyasi suyuqlik oqimi energiyasiga aylanadi. Markazdan qochma nasoslarning unumdorligini oshirish uchun ikki yoqlama so'radigan nasoslar ham ishlatiladi. Nasosning ishlashini tekshirish uchun so'rish yo'liga vakuummetr va haydash trubasiga esa manometr o'rnatiladi.

Nasosda suyuqlikning miqdorini rostlash uchun haydash trubasiga kran-ventil yoki zadviyka o'rnatiladi. G'ildiraklar soniga qarab markazdan qochma nasoslar bir va ko'p bosqichli bo'ladi. Ko'p bosqichli nasoslarda g'ildiraklar soni 5 tagacha bo'ladi.

Markazdan qochma nasoslarning afzalligi: suyuqlik vaqt o'tishi bilan bir me'yorda uzatiladi, tuzilishi sodda, ixcham, vazni yengil va o'lchamlari kichkina, hamma qismlari quyma shaklida oddiy tayyorlangan.

Kamchiligi: nasosni ishlatishdan oldin ish g'ildiraklarini suyuqlik bilan to'ldirish kerak. Foydali ish koeffitsiyenti yuqori emas $\eta = 0.6 \dots 0.7$.

Nasosning foydali ish koeffitsiyentini oshirish uchun ish g'ildiragi bilan qobiq o'rtasiga diffuzorlar o'rnatiladi.

Markazdan qochma nasoslarning asosiy tenglamasi. Nasos ishlaganida suyuqlikning har bir zarrachalari bir vaqtning O'zida kanalda w tezlikda parrak bo'ylab hamda ish g'ildiragi bilan birgalikda nasos o'qi atrofida u tezlikda aylanma harakat qiladi. Mexanika qonunlariga asosan, vaqt birligidagi O'zgaruvchan harakat miqdori sistemaga teng ta'sir qiluvchi tashqi kuchlarning momentiga teng. Agar suyuqlik massasini G desak, vaqt birligida nasos g'ildiragidan o'tayotgan suyuqlik miqdori:

$$G (R_2 C_2 \cos \alpha_2 - R_1 C_1 \cos \alpha_1) = M \quad (5.15)$$

Aylanish momentida suyuqlikning sarfi bo'lmasa va g'ildirak aylanish momentining burchak chastotasi w bo'lsa, g'ildirak parraklarining suyuqlikka beradigan quvvati quyidagicha bo'ladi:

$$M\omega = G g H_n \quad (5.16)$$

bu yerda, N_n – nasos g'ildiragi hosil qiladigan nazariy napor. Shunday qilib:

$$G\omega = (R_2 C_2 \cos \alpha_2 - R_1 C_1 \cos \alpha_1) = G g H_n \quad (5.17)$$

$$\omega R_1 = u_1 \text{ va } \omega R_2 = u_2 \text{ bo'lgani uchun} \quad (5.16)$$

renglamadan nazariy naporni aniqlasak, u holda:

$$N_n = 1/g (u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1) \quad (5.18)$$

Bu tenglik markazdan qochma nasoslarning asosiy tenglamasi bo'lib, nazariy naporini aniqlash uchun ishlatiladi.

Nasoslarda naporning maksimal qiymatiga erishish uchun ish g'ildiragi parraklarga suyuqlik radial yo'nalishda kiradigan qilib tayyorlanadi.

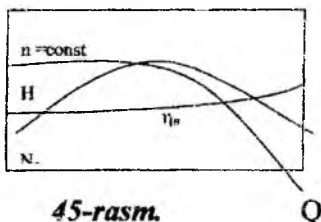
Yo'qotilgan naporlarning miqdori gidravlik foydali harakat koeffitsiyenti η_g va hajmiy koeffitsiyenti η_v bilan hisobga olinadi. Shunday qilib, nasosning haqiqiy naporu quyidagicha aniqlanadi:

$$N_x = \eta_g \eta_v (u_2 c_2 \cos \alpha_2 / g) \dots\dots (5.19)$$

η_g ning qiymati nasos konstruksiyasi, kattaligi va tayyorlanish sifatiga bog'liq bo'lib $\eta_g = 0,7 - 0,9$; $\eta_v = 0,8$ ga teng bo'ladi.

5.4. Nasoslarning ish va umumiy tavsifi

Nasoslarning tavsifi. Ish g'ildirakning aylanishlar chastotasi n o'zgarmas bo'lganda nasos ish unumdorligi Q ning napor N , nasosning o'z quvvati N_e va η_n bilan grafik usuldagi bog'liqligi *nasoslarning tavsifi* deyiladi. Bunday grafik bog'liqlar markazdan qochma nasoslarni tekshirish paytida olinadi. Bunda haydash liniyasidagi zadvijskaning ochilishi har xil olinadi. Bu vaqtda nasos oladigan quvvat nasosning salt ishlashiga mos keladi. Bunday sharoitda FIK ham $\eta_n = 0$ bo'ladi, chunki nasos suyuqlikni uzatishga oid foydali ish bajarmaydi, salt ishlash quvvati esa nasosdagi barcha ishqalanishlar vujudga keladigan mexanik isroflarni qoplashga sarflanadi (45 rasm).



45-rasm.

Q

Ish unumdorligini zadviykani ochish bilan ko'paytirsak, nasosning napori kamayib, nasos oladigan quvvat ortib boradi va FIK maksimal qiymatga ega bo'ladi. Bu hol shuni ko'rsatadiki, aylanish g'ildiragining tezligi O'zgarmas bo'lganda, nasosning tavsifidan foydalanib energiyaning eng tejimli foydalanish rejimi topish mumkin.

Proporsionallik qonuni. G'ildirakning aylanishlar chastotasi o'zgarganda nasosning ish unumdorligi, napori va nasos iste'mol qiladigan quvvat o'zgaradi. G'ildirakning bir minutdagi maksimal aylanishlar chastotasi n_1 dan n_2 qadar oshirilsa, nasosning ish unumdorligi Q_1 ham Q_2 ish unumdorligiga nisbatan proporsional ravishda ortadi:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Suyuqlikning tegishli N_1 va N_2 naporlari aylanishlar chastotasining kvadratlari nisbatiga proporsionaldir:

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

Nasos iste'mol qiladigan quvvat N_1 suyuqlik sarfi Q ning suyuqlik bosimi R ga ko'paytmasiga proporsional bo'lganligi sababli, g'ildirakning bir minutdagi aylanishlar chastotasi turlicha bo'lgandagi nasosning oladigan quvvati N_2 va N_1 bir minutdagi aylanishlar chastotasining kublari nisbatiga proporsional bo'ladi:

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

Demak, nasos g'ildiragining aylanishlar chastotasi ortishi bilan uning ish unumdorligi birinchi darajada, napori ikkinchi darajada, talab qilinadigan quvvat esa uchinchi darajada oshadi. Ammo amalda proporsionallik qonuni g'ildirak aylanishlar chastotasining ikki martadan kam o'zgargan sharoitdagina o'z kuchini saqlaydi.

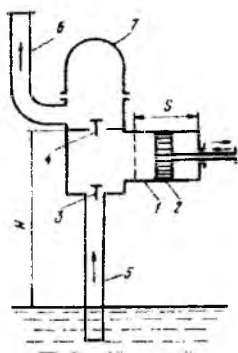
Kavitatsiya hodisasi. Nasos g'ildiragining tez aylanishida va issiq suyuqliklar markazdan qochma nasoslar yordamida

uzatilganda kavitatsiya hodisasi yuz beradi. Bu vaqtda nasosdagi suyuqlik tez bug'lanadi. Hosil bo'lgan bug' suyuqlik bilan yuqori bosimli zonaga o'tib tezda kondensatsiyalanadi. Natijada nasos qobig'ida katta bo'shliq hosil bo'ladi, nasos qattiq silkinadi va taqillab ishlaydi. Nasos kavitatsiya rejimda ko'proq ishlasa u tezda buziladi. Shuning uchun harorati yuqori bo'lgan suyuqliklarni uzatayotganda bu hodisa qo'shimcha kavitasion koeffitsiyent bilan hisobga olinishi kerak.

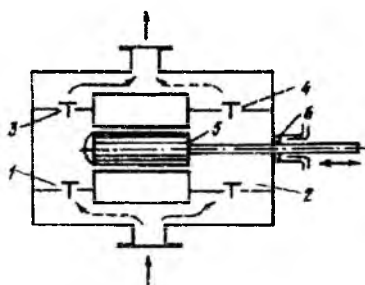
5.5. Porshenli nasoslarning tuzilishi va ish prinsipi

Porshenli nasoslarda suyuqlik haydash trubasiga ilgarilama-qayta harakat qiluvchi mexanizmlar orqali uzatiladi. Porshenli nasoslar vositasida har qanday qovushqoqlikdagi suyuqliklarni uzatish mumkin. Bu nasoslarda porshen nasos qobig'ida vertikal va gorizontol holatda joylashgan bo'lishi mumkin. Ishlash prinsipiga ko'ra porshenli nasoslar oddiy, ikki va ko'p bosqichli bo'ladi.

Porshen suyuqlikning faqat oldi tomoni bilan siqib chiqaradigan nasos oddiy bir tomonlama ishlaydigan nasos deyiladi (46 - rasm).



46-rasm. Porshenli nasos:
1-silindr; 2-porshen; 3-so'rish klapani; 4-haydash klapani; 5-so'rish trubasi; 6- haydash trubasi; 7-havo.



47-rasm. Ikki tomonlama ishlaydigan plunjerli nasos:
1,2-so'rish klapanlari; 3,4-uzatuvchi klapanlar; 5-plunjer; qalpoqchasi 6- salnik.

Agar nasos silindrda porshenning ikkala tomonidan joylashgan ish kamerasi bo'lsa va porshen ulardan suyuqlikni ketma-ket siqib chiqarsa, bunday nasos ikki bosqichli yoki ikki tomonlama ishlaydigan nasos deyiladi (47 - rasm). Oddiy porshenli nasosning ishlash prinsipini ko'rib chiqamiz. Nasos porsheni so'rish jarayonida o'ngga harakatlanganda ish kamerasining hajmi kattalashadi. Undagi bosim kamayadi va kamerada siyraklanish hosil bo'ladi. Natijada suyuqlik rezervuardan so'rish trubasi bo'ylab silindrga ko'tariladi hamda so'rish klapani ochilib nasosning ish kamerasi bo'shlig'ini to'ldiradi. Porshenning chapga harakatida porshen silindr va ish kamerasi bo'shlig'ini to'ldiruvchi bo'shliqga bosim beradi va uni haydash klapani orqali uzatish trubasiga chiqarib beradi.

Suyuqlikning harakat tezligi va bosimlarining pulsatsiyalanishini tenglashtirish hamda suyuqlikning so'rish va haydash trubalarida bir me'yorda tekis oqishini ta'minlash uchun nasosga maxsus qurilma (havo qalpoqchalari) o'rnatiladi.

Yuqori bosim hosil qiluvchi nasoslarda porshenlar o'miga silindrsimon plunjerlar ishlatiladi. Bunday nasoslar *plunjerli nasoslar* deyiladi.

Nasosning ish unumdorligi. Porshenning bir marta borib, ish vaqti birligi ichida nasos uzatib bergan suyuqlik miqdori porshenli nasosning *ish unumdorligi* yoki boshqacha aytganda *uzatilishi* deyiladi. Nasosning o'rtacha ish Q unumdorligi bir sekundda yoki soatda taqsimlangan hajm birliklarida (l/s , m^3/s , $m^3/soat$) o'lchanadi. Bir tomonlama ishlaydigan nasosning ish unumdorligi quyidagicha aniqlanadi.

$$Q = \frac{F - S_n}{60} \cdot \eta \quad (5.20)$$

bu yerda, F – porshenning ko'ndalang kesim yuzasi; η – uzatish koeffitsiyenti; S – porshen yo'li, n – krivoship shatunli mexanizmining bir minutdagi aylanishlar chastotasi.

Uzatish koeffitsiyenti suyuqlikning nasosdan klapanlar va boshqa zichmas joylar orqali sizib chiqishini, kameraga haydalayotgan suyuqlik bilan havo o'tib, uning to'ldirilishini kamaytirishini hisobga

oladi. Ikki tomonlama ishlaydigan nasoslarda silindrda shtok bo'lgani uchun ularning hajmi biroz kamayadi. Nasosning ish unumdorligi quyidagicha aniqlanadi.

$$Q = \frac{\eta(2F-1)n \cdot s}{60} \quad (5.21)$$

bu yerda, f – shtokning ko'ndalang kesim yuzasi.

Porshenli nasosning quyidagi afzalliklariga ega: yuqori bosim ostida ishlashi mumkin, foydali ish koeffitsiyenti yuqori, qovush-qoqligi yuqori bo'lgan va tez alangalanuvchan suyuqliklarni uzatish mumkin.

Shu bilan birga nasoslar ayrim kamchiliklarga ham ega: bir necha klapanlarning bo'lishligi, unumdorlikni yuqori emas, suyuqliklarni bir me'yorda uzatmaydi.

5.6. Maxsus nasoslarning turlari va ish prinsipi

Ishlab chiqarishda suyuqliklarni uzatish uchun markazdan qochma va porshenli nasoslardan tashqari maxsus nasoslar ham ishlatiladi. Maxsus nasoslar qovushqoqligi yuqori bo'lgan, juda ifloslangan, cho'qur quduqdagi suyuqliklarni uzatish uchun qo'llaniladi. Maxsus nasoslar sifatida rotorli, vintli, oqimli, propellerli, gazlift, Erliiftlar va montejoyular ishlatiladi.

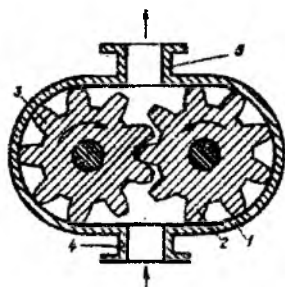
Rotorli nasoslar. Qovushqoqligi juda yuqori, ifloslangan va uzatilishi qiyin bo'lgan suyuqliklarni uzatish uchun rotorli nasoslardan foydalaniladi. Bu nasoslar porshenli nasoslardan klapan va havo qalpoqchalarining yo'qligi bilan farqlanadi. Rotorli nasoslar shesternyali va plastinali nasoslarga bo'linadi. Sanoatda ko'pincha shesternyali (tishli) nasoslar ishlatiladi.

Nasos qobig'ida O'zaro ilashgan holatdagi uzluksiz aylanib turuvchi shesternyalar jufti joylashgan.

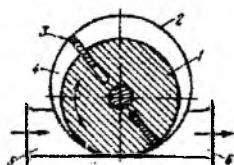
Shesternyalar aylanganda bir shesternyaning har qaysi tishi ilashgan holatdan chiqib, ikkinchi shesternyaning chuqurchasidagi tegishli hajmni bo'shatadi. Shesternyalarning keyingi aylanishida

tishlar orasidagi suyuqlik tishlar bilan birgalikda so'rish sohasidan haydash sohasiga o'tadi (49-rasm).

Rotor nasoslar konstruksiyasining soddaligi, ishonchli ishlashi, o'lchamlarining kichikligi va arzonligi bilan boshqa nasoslardan ajralib turadi. Shuning uchun bu nasoslar sanoatda keng ishlatiladi.



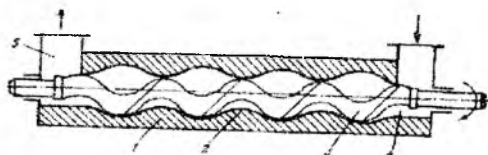
48-rasm. Shesternyali nasos.



49-rasm. Plastinali nasos.

Plastinali rotorli nasoslar. Bu nasoslarning ishlash prinsipi porshenli nasoslar kabi ish bo'shlig'i hajmining kamayishiga asoslangan. Bu nasos katta silindrdan iborat bo'lib, uning kengligi bo'yicha ekssentrik ravishda rotor joylashgan (48-rasm). Silindrning ichidagi korpusga to'g'ri burchakli plastinalar o'rnatilgan. Rotorning aylanishi natijasida bu plastinalar markazdan qochma kuch ta'sirida silindrning ichki yuzasiga mahkam zichlanib, o'roqsimon ish bo'shlig'ini korpus va rotor orasidagi kameralarga ajratib turadi. Plastinalar so'ruvchi patrulkadan nasosning vertikal o'qi tomon harakatlanganda har bir kameraning hajmi kengayadi, natijada kamerada siyraklanish hosil bo'lib, so'rish patrulkasi orqali suyuqlik so'riladi. Plastinalar vertikal o'qdan rotor yo'nalishi bo'yicha aylanma harakat qilganda kameraning hajmi kichiklashadi va suyuqlik nasosdan siqib chiqarilib, uzatish trubasiga beriladi. Plastinali rotorli nasoslar toza holdagi, qovushqoqligi yuqori bo'lgan suyuqliklarni uzatish uchun ishlatiladi.

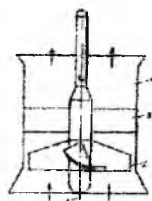
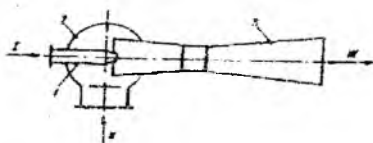
Vintli nasoslar. Bu nasoslar shesternyali nasoslar singari ishlaydi. Suyuqlik so'rish sohasidan vint o'yiqlarining o'lchamlari o'rtasidagi oraliqqa kiradi va vintlarning aylanish o'qi yo'nalishi bo'yicha haydash sohasiga o'tadi.



50-rasm. Vintli nasos.

Vintli nasos suyuqlikni bir me'yorda uzatadi (50-rasm). Nasosning vali bevosita dvigatelning valiga biriktiriladi. Uzatilayotgan suyuqlik miqdorini oshirish uchun ikki va uch vintli nasoslar ishlatiladi. Bu nasoslar ham qovushqoqligi yuqori bo'lgan suyuqliklarni uzatish uchun ishlatiladi.

Oqimchali nasoslar. Oqimli nasosning ishlashi ish suyuqligining kinetik energiyasidan foydalanishga asoslangan. Bu suyuqlik nasos haydayotgan suyuqlik bilan aralashib, o'zining kinetik energiyasining bir qismini unga beradi va hosil bo'lgan aralashma tarmoqqa xaydaladi. Ish suyuqligi sifatida bug' yoki suv ishlatiladi (48 - rasm).



51-rasm. Ingichka oqimli nasos.

52-rasm. Propellerli nasos.

Soploga bosimi nasos hosil qiladigan bosimdan ancha katta bo'lgan ish suyuqligi beriladi. Ish suyuqligi torayib boruvchi saplodan o'tayotganda bosimning bir qismini yo'qotadi va natijada tezligi ortadi. Soplodan chiqish oldida ish suyuqligining oqimi atrofida siyraklashgan bosim vujudga keladi, turba orqali haydalayotgan suyuqlik so'rish trubasi yordamida aralashtirgich kamerasiga so'riladi va ish suyuqligi bilan aralashadi. Shu yo'sinda olingan aralashma diffuzorga yuboriladi. U yerda suyuqlikning tezligi kamayadi, bosim ortib haydash trubasiga utadi.

Oqimli nasoslarning konstruksiyasi sodda, ularda harakatlanuvchi detallarni yo'qligi bilan boshqa nasoslardan farq qiladi.

Oqimli nasoslarning FIK yuqori emas, ular tez ishdan chiqadi, shu sababli qimmat turadigan nasoslarni ishlatish nomaqbul bo'lgan joylarda ulardan foydalaniladi.

Propellerli nasoslar. Bu nasoslar kam naporli ko'p miqdordagi suyuqliklarni uzatish uchun ishlatiladi (52 - rasm). Propellerli nasoslar ko'pincha bug'latish qurilmalarida suyuqliklarini sirkulatsiya qilish uchun qo'llaniladi. Bu nasoslarning ish g'ildiraklari propeller parraklari shaklidagi bir necha vintsimon kurakchalardan iborat. Bu nasoslarni ba'zan o'qli nasoslar ham deyiladi, chunki suyuqlik ish g'ildiragidagi vintsimon kurakchlari bilan qamrab olinib, g'ildirak o'qining yo'nalishi bo'ylab aylanma harakat qiladi.

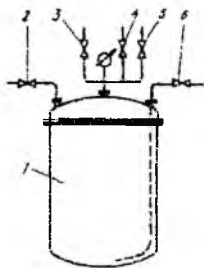
Nasoslarning tuzilishi oddiy, ixcham, vazni yengil, FIK markazdan qochma nasoslarning FIK ga nisbatan birmuncha yuqori. Bunday nasoslar ifloslangan suyuqliklarni ham uzata oladi.

n, agressiv va radiaktiv suyuqliklarni siqilgan havo yoki inert gazlarning energiyasi yordamida uncha yuqori bo'lmagan balandlikka uzatish uchun montejoylar ishlatiladi (53-rasm). Montejoy vertikal yoki gorizontaal silindrsimon qopqoq yordamida zich yopilgan bo'lib, qopqoqqa uchta patrubka o'rnatiladi. Bu patrubka yordamida montejoyga uzatilayotgan suyuqlik, siqilgan havo beriladi. Uchinchi patrubka esa montejoy ichidagi uzatuvchi truba bilan biriktiriladi.

Agar uzatiladigan suyuqlikning bug'larini havo bilan portlovchan, alanganuvchan aralashmalar hosil qilsa, bunda siqilgan havo o'miga inert gazlar ishlatiladi.

Montejyuning tuzilishi oddiy, yasash oson, harakatlanuvchi qismlarining yo'qligi sababli korroziyaga uchramaydi. Qurilma tez yedirilib ishdan chiqmaydi.

Gazlift. Gazlift chuqur quduqlardagi suyuqliklarni yuqoriga ko'tarish hamda kimyo sanoatidagi ba'zi jarayonlarda gaz bilan suyuqlik o'zaro ta'sir qilganida, ularning aralashtirish sirkulatsiyasini tezlashtirish uchun ishlatiladi.



53-rasm. Montejyu: 1- idish; 2-suyuqlik 3-siqilgan gaz beradigan truba; 4- tomchi ushlagich; 5- suyuqlik yig'iladigan idish. bog'lanuvchi kran; 6-uzatish trubasining krani.

54-rasm. Erlift. 1-havo yoki gaz kiradigan kran; 2- gaz taqsimlagich; beriladigan kran; 4-atmosfera bilan 3- ko'tarish trubasi; bog'lanadigan kran; 5-vakuum bilan

Agar gazlift suyuqlikni sirkulatsiya qilish uchun ishlatilsa, u holda qurilmaning ichiga uning o'qi bo'ylab ikki tomoni ochiq bo'lgan vertikal truba tushiriladi. Trubaning suyuqlikka botirilgan pastgi qismidan soplo orqali siqilgan gaz beriladi. Trubada yuqoriga uzatilishi kerak bo'lgan gaz massasi pufakchalar holida suyuqlikni ham o'zi bilan ilashtiradi va hosil bo'lgan gaz-suyuqlik emulsiyasi oqimlari yuqoriga qarab ko'tariladi. Trubaning yuqori qismida gaz

suyuqlikdan ajralib, qurilmadan chiqib ketadi. Suyuqlik trubaning yuqori qismidan qurilmaga qaytib tushadi va yana gaz oqimi bilan trubada yuqoriga qarab ko'tariladi.

Gaz va suyuqlik aralashmasi ko'tarilish trubasida 7 m/s tezlik bilan harakat qiladi. Ko'tarilish trubasining maksimal balandigi 30-35 m. Gazliftning FIK yuqori emas, $\eta = 0,15 \dots 0,30$.

Erlift. Ularning ishlashi tutash idishlarning ishlash prinsipiga asoslangan. Erlift ko'tarish trubasidan siqilgan havo beruvchi truba va aralashtirgichdan iborat. Truba orqali berilgan siqilgan havo aralashtirgichda suyuqlik bilan aralashib, hosil bo'lgan suyuqlik va gaz aralashmasining solishtirma og'irligi idish ichidagi suyuqlikka nisbatan past bo'lganligi uchun ko'tarilish trubasida yuqoriga qarab ko'tariladi.

Suyuqlik va yuz aralashmasi ko'tarilish trubasidan chiqayotganda ajratgichga urilib, gaz ajralib chiqadi va suyuqlik yig'gichga tushadi.

Erliftlar har xil suyuqliklar, kislota, ishqorlarni yuqoriga ko'tarish uchun ishlatiladi. Ularning tuzilish oddiy, ortiqcha mexanizmi va harakatlanuvchi qismlari yo'q hamda yuqori haroratda ham ishlayveradi. Erliftning FIK kichik ($\eta=0,25 \div 0,35$). Unumdorligi ham kam, siqilgan havo berish uchun ortiqcha kompressor qurilmalari talab qilinadi.

5.7. Gazlarni siqish va uzatish

Kimyo sanoatida gazlarni trubalar orqali uzatish va siyraklantirish uchun ular siqiladi. Bu siqilgan gazlar suyuqliklarni aralashtirish, sochib berish uchun ishlatiladi. Gazlarni siqish va uzatish uchun kompressorlar ishlatiladi.

Siqilgan gaz bosimi R_2 ning siqilmagan gaz bosimi R_1 ga nisbati siqish darajasi deyiladi. Siqish darajasi kattaligiga qarab kompressor mashinalar quyidagi turlarga bo'linadi:

1. Ventilatorlar ($R_2 / R_1 = 1,1$) – ko'p miqdordagi gazlarni uzatish uchun ishlatiladi.

2. Gazoduvkalar ($1,1 < R_2 / R_1 < 3$) – gaz trubalarida katta qarshilik bo'lganda ishlatiladi.

3. Kompresorlar ($R_2 / R_1 > 3$) – yuqori bosim hosil qilish uchun ishlatiladi.

4. Vakuum nasoslar – bosimi atmosfera bosimidan past bo‘lgan gazlarni so‘rish uchun ishlatiladi.

Ishlash prinsipiga kura kompressorlar hajmiy va parrakli bo‘ladi.

Hajmiy kompressorlarda gaz bosimi uning hajmini majburiy kamaytirish hisobiga ortadi. Ular trubokompressorlar ham deyiladi va markazdan qochma kuch ta’sirida ishlaydigan ventilator va turbogazoduvkalarga bo‘linadi.

Porshenli kompressorlar kam miqdordagi gazlarni katta bosimlargacha siqishda ishlatiladi. Trubokompressorlar esa aksincha, katta miqdordagi gazlarni nisbatan past bosimlarda uzatib berishga mo‘ljallangan.

Gaz holatining tenglamasi va termodinamik diagrammalar. Gaz siqilish jarayonida uning hajmi, bosimi va harorati o‘zgaradi. Bu uchala kattaliklarning o‘zaro bog‘lanishi gazning bosimi 1 MPa gacha bo‘lgan gazlarning holat tenglamasi bilan ifodalanadi.

Yuqori bosimlarda gazning bosimi, hajmi va harorati orasidagi bog‘lanish Vander-Vaals tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$(R + a/b^2)(v - b)RT \quad (5.22)$$

bu yerda, R – gaz bosimi, n/m^2 ; V – gazning solishtirma hajmi, m^3/kg ; R – gazlarning universal konstantasi, J/kg ; T – harorat, K .

a va b koeffitsiyentlar bo‘lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$a = \frac{27R^2T_{sp}^2}{64P_{sp}} \quad b = \frac{RT}{8P_{sp}} \quad (5.23)$$

Amaliy hisoblashlarda termodinamik diagramma, ya’ni tajribalar asosida qurilgan T-S diagramma qulay va ishonchlidir. Diagrammada ordinata o‘qiga absolyut harorat va absissa o‘qiga entropiyaning qiymatlari qo‘yiladi.

Bu nuqtalarni birlashtiruvchi egri chiziqli gazning jarayon boshlanishidan va oxiridagi muvozanat holatni belgilaydi. egri chiziqning ko‘rinishi jarayonning ketish xarakteriga bog‘liq.

Gazlarni siqish natijasida uning hajmi, bosimi o‘zgarishi bilan harorati ko‘tarilib, issiqlik ajralib chiqadi. Nazariy jihatdan gaz

ikki xil jarayonda siqiladi. Siqish vaqtida ajralib chiqqan issiqlik tashqi muhitga tortib olinsa *izotermik*, agar faqat gazni isitish uchun sarflansa *adiabatik* jarayon deyiladi.

Izotermik jarayonda issiqlik ajratib olinib turilgani uchun, gazning va jarayonning harorati o'zgarmas bo'ladi. Adiabatik jarayonda tashqi muhit bilan issiqlik almashmaydi. Haqiqatda esa siqish vaqtida ajralgan issiqlikning bir qismi tashqi muhitga tarqaladi va qolgan qismi gazni isitishga sarflanadi.

Gazlarni issiqdan talab qiladigan quvvat (idishdan) siqishdagi ish miqdori uning unumdorligiga ko'paytmasiga teng bo'ladi.

Izotermik jarayon uchun:

$$N_{iz} = \frac{l_{iz} Q_c \rho}{1000 \eta_{iz} \eta_{uz}} \quad (5.24)$$

$$N_{ad} = \frac{l_{ad} Q_c \rho}{1000 \eta_{ad} \eta_{uz}} \quad (5.25)$$

Adiabatik jarayon uchun:

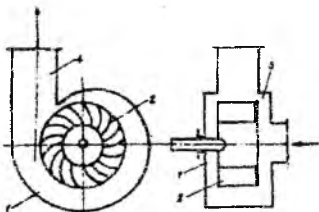
Markazdan qochma mashinalar ventilatorlar, turbokompresorlar va turbogazoduvklarga bo'linadi.

Ventilatorlar. Gazni past bosimda uzatish uchun mo'ljallangan mashinalar *ventilatorlar* deyiladi. Ular ishlash prinsipiga ko'ra markazdan qochma va o'qli bo'ladi. Markazdan qochma ventilatorlar gazni nisbatan yuqori bosimlarda uzatib borish uchun, o'qli ventilatorlar esa kichik bosimlarda lekin ko'p miqdordagi gazni uzatish uchun mo'ljallangan. Sanoatda o'qli ventilatorlar kam ishlatiladi, ulardan faqat binolarni sovitishda foydalaniladi. Markazdan qochma ventilatorlar bosimining kattaligiga qarab uch guruhga bo'linadi:

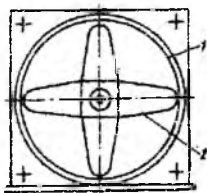
1. Past bosimli ($r < 10^3 \text{ n/m}^2$)
2. O'rta bosimli ($R = 10 - 3 \cdot 10^3 \text{ n/m}^2$)
3. Yuqori bosimli ($R = 3 \cdot 10^3 - 10^4 \text{ n/m}^2$)

Markazdan qochma ventilatorning asosiy qismi parraklar va spiralsimon qobiq ichiga joylashtirilgan ish parraklari bor g'ildirakdir. Ish g'ildiragi aylanganda ventilatorning ish bo'shlig'idagi havo yoki gaz g'ildirak bilan birga aylanadi va markazdagi qochma

kuch ta'sirida g'ildirakning chekkalariga haydaladi. Gaz g'ildirak parraklaridan spiralsimon kameraga va undan haydash trubasiga o'tadi. Past bosimda ishlaydigan ventilatorlarda ish g'ildiragidagi parraklar orqa tomonga egilgan, yuqori bosimda ishlaydiganlarida esa oldi tomonga egilgan bo'ladi. Shu g'ildirakdagi parraklar sonini o'zgartirib past bosimli ventilatorlardan o'rta bosimli ventilatorlar hosil qilish mumkin.



55-rasm. Markazdan qochma ventilator.



56-rasm. O'qli ventilator.

Ventilatorlar gazlarning bir me'yorda uzatadi, ammo foydali ish koeffitsiyenti porshenli nasoslarga nisbatan kam.

O'qli ventilatorlar (56-rasm) korpusi qisqa silindr shaklida bo'lib, unga ishchi g'ildirak o'rnatilgan bo'ladi. Ishchi g'ildirakka vintsimon yuza bo'ylab egilgan kurakchalar – propellerlar o'rnatiladi. Ishchi g'ildirakning aylanishi paytida kurakchalar gazni qamrab oladi va uni g'ildirak o'qi bo'ylab uzatadi. Parraklar yuzasiga gazni ishqalanish qarshiligi sezilarsiz va ventilatorning gaz oqimiga ko'rsatadigan qarshiligi kichik bo'lganligi uchun o'qli ventilatorlarning f.i.k. yuqori ($0.6 \div 0.9$) bo'ladi.

O'qli ventilatorlarning bosimi, markazdan qochma tipdagi ventilatorlarga nisbatan, 3÷4 marotaba kichik. Shu sababdan, o'qli

ventilatorlar gidravlik qarshiligi kichik bo'lgan uzatish tarmoqlari bo'ylab katta miqdordagi gazlarni so'rish uchun qo'llaniladi.

O'qli ventilatorlar ixcham va reversiv (ikki tomonlama yo'nalish bo'yicha) aylanish qobiliyatiga ega.

Gazlarni yuqori darajada siqish uchun turbokompressor va turbogazoduvkalar ishlatiladi.

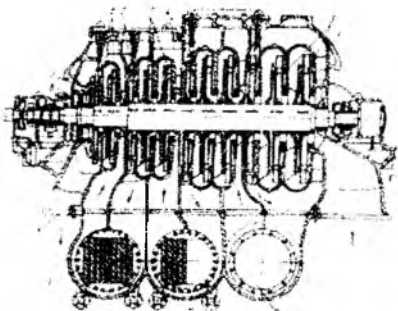
Turbokompressorlar. Turbokompressorlarda siqish jarayoni sovitish bilan boradi. Gazni siqish jarayoni kompressor g'ildiraklarining parraklararo kanallarida va So'ngra, qo'zg'almas kanallar (diffuzor)da sodir bo'ladi. Ish g'ildiragining parraklarida gazning olgan kinetik energiyasi qo'zg'almas kanallarda tormozlanishi natijasida siqilgan gazning potensial energiyasiga aylanadi. Trubokompressor g'ildiragi aylanishlar tezligining ortishi bilan uning siqish darajasi ham ortadi.

Lekin ish g'ildiragi aylanishlar tezligining miqdori g'ildirak materialining mustahkamligi tufayli cheklangan bo'ladi va shunga muvofiq ravishda bir bosqichda siqish bosimining ko'tarilishi ham cheklangan. Shu sababli gazning yuqori bosimlarini hosil qilish uchun aylanishlar chastotasi yo'l qo'yilgan qiymatidan ortmaydi, bunda ko'p bosqichli siqish usulidan foydalaniladi.

Ko'p bosqichli nasoslarda g'ildiraklarning kattaligi bir xil bo'lsa, turbokompressorlarda siqilgan gaz bosimining ko'tarilishi bilan g'ildiraklarning kattaligi kichiklashib boradi. Ko'p bosqichli kompressorlar yordamida 1,5-1,6 MPa gacha bosim hosil qilinadi.

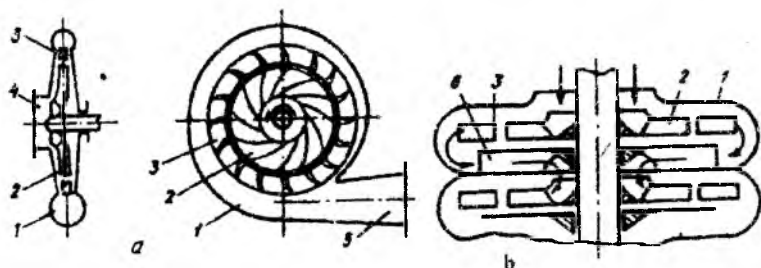
Turbokompressorlarda gazlar bir me'yorda uzatiladi, ammo foydali ish koefitsiyenti porshenli kompressorlarga nisbatan kamroq.

Turbogazoduvkalar. Bosimi kamroq bo'lgan ko'p miqdordagi moyli, yog' aralashgan gazlarni uzatish uchun turbogazoduvkalar ishlatiladi. Valdagi ish



57-rasm.
Turbokompressor.

g'ildiraklarining soniga qarab ular bir va ko'p bosqichli bo'ladi. Ularning korpusidagi parakkli ish g'ildiraklari xuddi markazdan qochma nasoslarinikiga o'xshash aylanma harakat qiladi.



58-rasm. Turbogazoduvkalar.

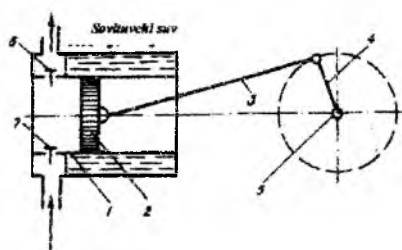
Gaz turbogazoduvkalar so'rish patrubkasi orqali kirib, siqilgan gaz haydash patrubkasi orqali uzatiladi.

Ko'p bosqichli turbogazoduvkalarda ish g'ildiraklarining soni 3-4 ta bo'ladi. Bular da gaz birinchi ish g'ildiragidan yo'naltiruvchi qurilma va qaytma kanal orqali keyingi ish g'ildiragiga o'tadi. Turbogazoduvkalarda gaz 0,3 ... 0,35 MPa bosimga siqiladi, shuning uchun gaz sovitilmaydi.

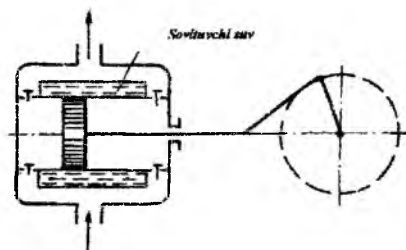
5.8. Porshenli va rotorli kompressorlar

Porshenli kompressorlar. Porshen silindrda o'ngga va chapga krivoship mexanizm yordamida ilgarilanma-qaytma harakat qiladi. Porshen silindrning ichki devoriga zich qilib o'rnatiladi va silindr bo'shlig'ini ikki qismga bo'lib turadi. Porshen chapdan o'ngga tomon ilgarilanma harakat qilganida so'rish klapani ochilib silindr gazga to'ladi, orqaga qaytganida esa silindrdagi gazning siqilishi natijasida bosim orta borib, uzatilish yo'lidagi bosimga teng bo'lganda, uzatuvchi klapan ochilib gaz uzatila boshlanadi. Gaz siqilganda uning harorati ko'tariladi, qizigan gaz yog'lab turuvchi

moyni kuydirib yubormasligi uchun silindrning devori uzluksiz suv bilan sovutilib turiladi.



59-rasm. Bir tomonlama ishlaydigan kompressor.



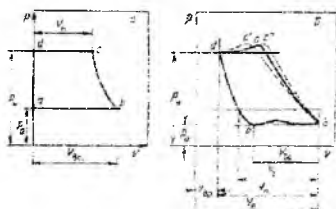
60-rasm. Ikki tomonlama ishlaydigan kompressor.

Bir bosqichli kompressorning unumdorligi kam bo'lganligi uchun ikki tomonlama harakatlanuvchi porshenli kompressorlar ko'p ishlatiladi. Bu kompressorlarda silindrdagi gaz porshenning ikkala qismida (chap va o'ng) siqiladi; ularda ikkita so'rish va ikkita uzatish klapani bor. Porshen krivoship - shatunli mexanizm yordamida ilgarilanma harakat qiladi. Val bir marta aylanganida silindrga gaz ikki marta so'riladi va ikki marta uzatiladi. Kompressorning unumdorligi bir tomonlama ishlaydigan kompressormikiga qaraganda deyarli ikki marta ko'p.

Bir bosqichli kompressorlarning unumdorligini oshirish hamda gazlarning siqilish darajasi 0,4... 0,6 MPa bo'lishi uchun ko'p silindrli bir va ikki tomonlama siqadigan kompressorlar ishlatiladi. Bu kompressorlarda gaz birinchi silindrdan keyingi silindrga o'tgani sari bosimi ko'tarilib boradi. Kompressorlarning porsheni umumiy bir ish valiga o'rnatilgan. Gazning siqilishi natijasida uning harorati bir silindrdan ikkinchi silindrga o'tganida ortib boradi. Shu sababli ikkita silindr orasiga sovutkichlar o'rnatiladi.

Indikator diagramma. Porshenli nasoslarni tekshirish uchun indikator diagrammasi olinadi. Bunda kompressorning tirsakli

o'qi bir marta aylanganda, bosim va uzatilgan gaz hajmi orasidagi bog'liqlik quriladi. 62-rasmda bir tomonlama, bir bosqichli kompressorning nazariy $p-V$ diagrammasi ko'rsatilgan. Nazariy kompressorda diagrammadagi b va d nuqtalarga mos keladigan holatlarda silindr qopqog'iga yaqin keladi va gazni so'rish jarayoni uzatish tamom bo'lishi bilan boshlanadi. Diagrammada so'rish jarayoni ab , siqish bc va uzatish cd chiziqlar bilan tasvirlanadi.



61-rasm. Indikator diagrammalari:
a-nazariy; b-ishchi.

Haqiqiy kompressorda siqish jarayoni nazariy siqishdan ancha farq qiladi. Silindr qopqog'i va porshenning orasida doimo bo'sh hajm hosil bo'ladi va u «zararli bo'shliq» deb nomlanadi. Bu bo'shliqda uzatish va siqishdan

jarayonidan so'ng porshen orqaga qaytganda, gaz kengayadi va so'rish klapani ochiladi, ya'ni porshen ma'lum bir oralikda a nuqtagacha bekor harakatlanadi. Buning oqibatida kompressor unumdorligi pasayadi, «zararli bo'shliq» silindrning ish hajmiga nisbatan ulushlarda olinadi: $\epsilon \cdot V$ (bu yerda, ϵ -- zararli bo'shliq hajmining porshen harakati tufayli hosil bo'lgan foydali hajmga nisbati teng) odatda, «zararli bo'shliq» silindr hajmining 3...5% ni tashkil etadi.

61-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.

Porshenli kompressorlarning unumdorligi vaqt birligi ichida uzatilgan gaz hajmiga teng:

$$V_c = \lambda V_p$$

bu yerda, V_p – soʻrilayotgan gazning hajmi, λ – uzatish koeffitsiyenti.

$$\lambda = \lambda_0 \lambda_g \lambda_t$$

Bir tomonlama siquvchi kompressorning haqiqiy ish unumdorligi (m^3/sek) quyidagi tenglama yordamida hisoblanadi:

$$Q = \lambda F S n / 60, \quad (5.26)$$

bu yerda, λ – uzatish koeffitsiyenti; F – porshenning koʻndalang kesim yuzasi, m^2 ; S – porshen yoʻlining uzunligi, m ; n – krivoshpning aylanish chastotasi, min^{-1} .

Uzatish koeffitsiyentining qiymati $\lambda = (0.8 \div 0.95) \lambda_0$ chegaralarda qabul qilinadi.

Kompressorning hajmiy foydali ish koeffitsiyenti quyidagi tenglama boʻyicha hisoblanadi

$$\lambda_0 = 1 - \varepsilon_0 [(R_2/R_1)^{1/m} - 1], \quad (5.27)$$

bu yerda, $\varepsilon_0 = V_k/V_1 = 0.03 \div 0.08$; V_k – silindrdagi boʻshliqning qoldiq hajmi; V_1 – porshenning silindrdagi siljishi tufayli hosil boʻladigan ishchi hajm; $m = 1.2 \div 1.35$ – qoldiq hajmdagi siqilgan gazning kengayishini politropik koʻrsatkichi.

Koʻp bosqichli kompressorlarning ish unumdorligi ularning birinchi bosqichini ish unumdorligi bilan aniqlanadi.

Porshenli kompressorlarning foydali ish koeffitsiyenti yuqori boʻlib, ular yordamida gazlarni keng intervalda, 100 MPa gacha siqish mumkin. Mazkur mashinalarning asosiy kamchilliklari - gazlarni bir meʼyorda uzatib boʻlmasligi, ish unumdorligining pastligi va klapanlarning koʻpligidir.

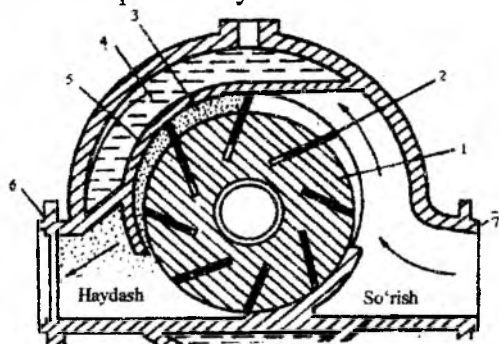
Rotorli kompressorlar. Bu kompressorlar ham porshenli kompressorlar singari, ish boʻshligʻi hajmining kamayishi prinsipida ishlaydi. Rotorli kompressorlar konstruktiv belgilarga kura plastinali, yumalaydigan rotorli, suv halqali, gazoduvka va ikki rotorli kompressorlarga boʻlinadi.

Plastinali kompressor. Bu kompressor xuddi plastinali nasoslar kabi ishlaydi, ular bir bosqichli va ikki bosqichli boʻladi. Plastinali rotorli kompressorning soʻrish vaqtidagi unumdorligi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = 2L e n \lambda (\pi D - \delta z) \quad (5.28)$$

bu yerda, L – plastinalar uzunligi, m; e – rotorning eksentrisiteti, m; n – rotorning aylanishlar chastotasi, s^{-1} ; D – nasos korpusining ichki diametri, m; δ – plastina qalinligi, m; $z=30\div 40$ – plastinalar soni; λ – uzatish koeffitsiyenti. Odatda $e/D=0,06\div 0,07$.

Bir bosqichli rotorli plastinali kompressorlarda gazlar 0,25-0,5 MPa bosimgacha, ikki bosqichlilarda esa 0,8-1,5 MPa bosimgacha siqiladi. Bunday kompressorlardan past bosim va katta unumdorlik olish maqsadida foydalaniladi.



62- rasm. Plastinali rotorli kompressor sxemasi:

- 1- rotor;
- 2- plastina;
- 3- ishchi bo'shliq;
- 4- so'vutuvchi suv kamerasi;
- 5- qobiq;
- 6- haydash patrubkasi;
- 7- so'rish patrubkasi.

Kompressor korpusining ichki yuzasiga nisbatan uning rotori muayyan eksentrisitet bilan joylashtiriladi. Rotorning o'yiqlariga (pazlariga) radial yo'nalishda erkin suriladigan plastinalar joylashtirilgan. Plastinalar rotor va korpus orasidagi o'roqsimon konstruktiv bo'shliqni bir nechta o'zaro teng bo'lmagan, o'zgaruvchan ishchi hajmlarga ajratadi.

So'rish patrubkasi hududida plastinalar markazdan qochma kuch ta'sirida rotorning o'yiqlaridan surilib chiqadi va korpus devorlariga kuch bilan zichlanadi. Bu paytda gaz ikki plastina orasidagi bo'shliqqa kiradi. Rotor ma'lum bir burchakkacha burilganda plastinalar eng yuqori nuqtaga intiladi. Bu paytda bo'shliqning ishchi hajmi asta-sekin ortib boradi. Rotorning kelgusi burchaklarga burilishi pazlardan to'la chiqqan plastinalarni o'yiqlarga qayta kirishiga sabab bo'ladi. Natijada, plastinkalar

orasidagi ishchi hajm asta-sekin kichrayib boradi. Bu hajmni to'ldirgan gazning bosimi ortib, harorati ko'tariladi.

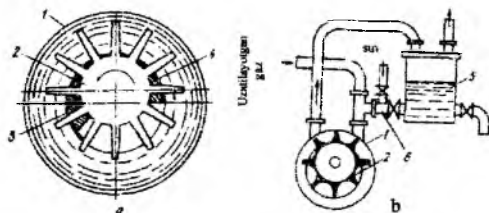
Rotorning keyingi burilishlari davomida ishchi hajm haydash patrubkasi bo'shlig'i bilan tutashadi va bu yerdan siqilgan gaz resiverga, undan esa haydash tarmog'iga o'tadi. Shundan So'ng ish sikli qaytariladi.

Kompressorlarning ishlashi vaqtida qobig'ining devorlari qizib ketmasligi uchun u suv bilan sovutib turiladi.

Rotorli kompressorlarning porshenli kompressorlarga nisbatan quyidagi afzalliklari bor: 1) o'lchamlari va og'irligi kichik, porshenli kompressorga nisbatan kam joy egallaydi; 2) krivo-ship-shatunli mexanizm bo'lmagani uchun ancha ravon ishlaydi; 3) aylanishlar chastotasi katta, kompressorning harakatga keltirish uchun uni bevosita elektr dvigateliga ulash mumkin; 4) konstruksiyasi oddiy detallari soni kam va arzon.

Lekin rotorli kompressorlarning porshenli kompressorlarga nisbatan muhim kamchiliklari ham bor: 1) FIK kichik; 2) detallari nihoyatda aniq ishlanishi tufayli ularni tayyorlash texnologiyasi ancha murakkab; 3) siqilgan gazning bosimi katta emas; 4) bir ta'mirlashdan keyingi ta'mirlashgacha ishlash muddati qisqa.

Suv halqachali kompressorlar. Kompressorning qobig'ida eksentrik hamda yassi kurakchalari bo'lgan rotor joylashgan (63-rasm). Kompressorni ishga tushirishdan oldin uning yarimigacha suv quyiladi. Rotor aylanganida suv atrofiga sochilib, kompressorning qobig'i bilan rotorga nisbatan eksentrik suv halqachalari hosil qiladi. Hajmdagi kurakchalarning pastki qismi suv halqachalaridagi suyuqlikka botirguncha kompressorlarga suv quyiladi.



63 – rasm. Suv halqachali kompressor:

a – kompressorning tuzilishi;

b – gazlarni uzatish qurilmasi.

1 – qobiq; 2 – rotor;

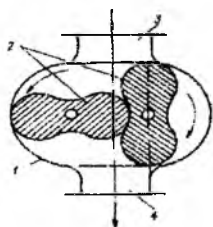
3 – uzatuvchi teshik; 4 – so'rish teshigi; 5 – idish;

6 – kompressorni suv bilan to'ldiruvchi quyilish trubasi.

kurakchalari bilan suv halqachalari orasida yacheykalar hosil bo'ladi. Yacheykalarining hajmi rotorning birinchi yarim aylanishida kengayadi, ikkinchi yarim aylanishida esa torayadi. Yacheykani hajmi kengayganda gaz so'riladi va rotorning keyingi aylanishida yacheykani hajmi torayishi natijasida gaz siqilib uzatish patrulkasi orqali uzatiladi. Bu kompressorda suv halqachalari porshen vazifasini bajaradi, chunki halqachalar vositasida ish kameraning hajmi o'zgaradi. Shuning uchun bunday kompressorlarni *suyuqlik porshenli kompressorlar* ham deyiladi.

Gazoduvkalar. Gazoduvkaning qobiq'ida ikkita parallel valda barabanlar yoki porshenlar jufti aylanma harakat qiladi. Barabanlarning bittasi elektr dvigatel yordamida aylanma harakat, ikkinchisi esa unga tishlari bilan ilashib harakat qiladi (65 - rasm). Barabanlar bir-biriga qarama-qarshi yo'nalishda aylanma harakatda bo'ladi. Barabanlar aylanganida bir-biriga va qobiq devoriga zich joylashib, ikkita bir-biridan ajratilgan kamera hosil qiladi. Pastki kamerada vakuum hosil bo'lib unga gaz so'riladi, yuqorigi kamerada gaz siqib chiqariladi.

Gazoduvkalar daqiqasiga 2-800 m³ gacha havo uzatadi. Uzatish koeffitsiyenti 0,8; umumiy foydali ish koeffitsiyenti 0,6-0,7. Gazoduvkalarining tuzilishi sodda, ixcham, klapanlari bo'lmaganligi uchun ularda gaz bir me'yorda uzatiladi. Lekin yuqori bosim hosil qilmagani sababli kam ishlatiladi.



64-rasm. Rotasion gazoduvka:

1-qobiq; 2-rotor.

3 va 4 – so'rish va uzatish patrulkalari.

5.9. Vakuum nasoslar

Kimyo texnologiyasining ko'pchilik jarayonlari atmosfera bosimida va siyraklanish muhitida olib boriladi. Bu sharoitlarning

qo'llanilishi kimyoviy reaksiyalarning olib borish sharoitiga bog'liq. Qaynash jarayonini past haroratda olib borish uchun vakuum ishlatiladi. Vakuum hosil qiluvchi mashinalar ***vakuum nasoslar*** deyiladi.

Vakuum nasoslarda gazlar juda past atmosfera bosimida so'riladi va atmosfera bosimiga nisbatan kattaroq qiymatda uzatiladi.

Konstruktiv jihatdan vakuum nasoslar kompressorlardan siqilish darajasining kattaligi bilan farq qiladi. Vakuum nasoslarda gazlarning siqilish darajasi juda yuqori bo'ladi. Siqilish darajasining yuqori bo'lishi sababli vakuum nasosning hajmiy koeffitsiyenti va unumdorligi birdan kamayadi.

Vakuum-nasoslarni kompressorlardan konstruktiv farqini belgilovchi ko'rsatkichi, bu ulardagi siqish darajasining yuqoriligidir.

Masalan, vakuum-nasos gaz (havo)ni 0,05 atmosfera bosimida so'rib olsa (siyraklanish 95%) va uni nasosdan chiqishida 1,1 at gacha siqadi (ortiqcha bosim 0,1 at ga teng bo'lib, u turli qarshiliklarni yengish uchun sarflanadi). Bu holda nasosning siqish darajasi:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1,1}{0,05} = 22 \quad (5.29)$$

ga teng bo'ladi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, bir bosqichli porshenli kompressorlarda siqish darajasi 8 dan oshmaydi.

Bunday yuqori siqish darajasi bilan vakuum-nasosning hajmiy koeffitsiyenti va unumdorligi birdan pasayib ketadi. Shuning uchun nasosning ishchi hajmidan to'liq foydalanish uchun «zararli bo'shliq» 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 koeffitsiyenti $\lambda_v < 0,8 \dots 0,9$ ga teng bo'ladi.

Porshenli vakuum nasoslar. Bular quruq va suyuqlik nasoslariga bo'linadi. Quruq vakuum nasoslar gazlarni so'rib tashqariga chiqarib tashlash uchun, suyuqlik vakuum nasoslari esa bir vaqtning O'zida gaz va suyuqliklarni so'rib tashlash uchun

ishlatiladi. Quruq vakuum nasoslarni tuzilishi konstruktiv jihatdan xuddi porshenli kompressorlarga o'xshaydi.

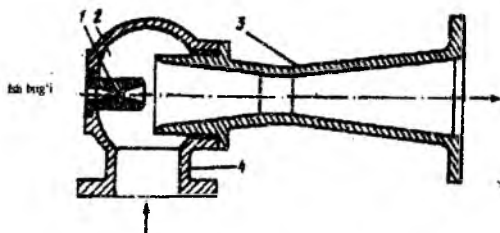
Suyuqlik vakuum nasoslarida ortiqcha miqdordagi suyuqlikni chiqarib tashlash maqsadida so'rish va haydash klapanlari kattaroq bo'ladi. Shuning uchun bu nasoslarda qoldiq hajm egallagan qismi katta bo'lib, ular quruq vakuum nasoslarga nisbatan kam siyraklanish beradi. Suyuqlik vakuum nasoslarida zolotniklar bo'lmaydi.

Rotor plastinali va suv halqachali vakuum nasoslar. Bu nasoslar konstruktiv jihatdan plastinali va suv halqachali (64 va 65 - rasm) kompressorlarga o'xshaydi. Rotorli vakuum nasoslarda qoldiq hajm maxsus kanal yordamida past bosimli kamera bilan birlashtirib, gazning bosimi tenglashtiriladi. Bunda vakuum nasoslarning hajmiy koeffitsiyenti va unumdorligi ortadi.

Suv halqachali vakuum nasoslarda hosil bo'lgan siyraklanish miqdori nasosga quyiladigan ish suyuqligining porsial bosimiga va haroratiga bogliq. Suyuqlik harorati ortishi bilan siyraklanish miqdori kamayadi. Shu sababli suv halqachali vakuum nasoslarga past haroratli suyuqliklar quyiladi.

Oqimli vakuum nasoslar. Bularning ish prinsipi xuddi suyuqlik uzatuvchi ingichka oqimli nasoslarnikiga o'xshaydi. Ingichka oqimli vakuum nasoslarda ish suyuqligi sifatida bug' ishlatiladi (65 - rasm). Bunday nasoslar kislota bug'larini so'rib olish uchun ishlatiladi.

Katta yoki chuqur vakuum olish uchun ko'p bosqichli ingichka oqimli vakuum nasoslardan foydalaniladi.



65- rasm. Ingichka oqimli bug' vakuum- nasosi:

1- bug' soplosi; 2 – aralashtirish kamerasi; 3 – diffuzor; 4 – so'rish patrubkasi.

5.10. Nasos va kompressorlarni tanlash

Nasoslarni tanlash. Sanaotning barcha ishlab chiqarish tarmoqlarida suyuqliklarni uzatish uchun markazdan qochma nasoslar ishlatiladi. Chunki bu nasoslar boshqa nasoslarga nisbatan quyidagi afzalliklarga ega:

a) massasi yengil, ixcham, tayyorlash uchun kam metall sarflanadi; b) unumdorligi yuqori, suyuqliklarni bir me'yorda uzatadi; d) boshqarish va tuzatish oson hamda to'g'ridan-to'g'ri yordamchi mexanizmlarsiz elektr dvigatelga ulanadi; e) so'rish va haydash klapanlari bo'lmagani uchun iflosroq suyuqliklarni uzatish mumkin; f) uzoq muddat davomida ishonchli ishlaydi.

Yuqoridagi bosimli kam miqdordagi suyuqliklar hamda qovushqoqligi yuqori, oson alangalanuvchan suyuqliklarni uzatish uchun porshenli nasoslar ishlatiladi.

Past bosimli ko'p miqdordagi ifloslangan kristallanuvchi suyuqliklarni uzatish uchun propellerli nasoslar tanlanadi. Chunki bu nasoslarning foydali ish koeffitsiyenti yuqori, gidravlik qarshiligi kam va ishlashi ixcham. Bu nasoslar vositasida ifloslangan, kristallanuvchi suyuqliklar uzatiladi. Qovushqoqligi yuqori, mayda kattik zarrachalar aralashmagan kam miqdordagi suyuqliklarni katta bosimda uzatish uchun shesternyali (tishli) nasoslar qo'llaniladi.

Unumdorligi past va kam naporli toza suyuqliklarni uzatish uchun plastinali nasoslar ishlatiladi. Qovushqoqligi yuqori, neft mahsulotlarini, agressiv hamda ifloslangan suyuqliklarni uzatish uchun vintli nasoslar qo'llaniladi. Vintli nasoslar quyidagi afzalliklarga ega: ishlanishi ixcham, tez aylanadi va shovqinsiz ishlaydi. Bosimning o'zgarishi bilan vintli nasoslarni unumdorligi o'zgarmaydi.

Uzatilish jarayoniga harakatlanuvchi va silkinuvchi qismlarning salbiy ta'siri bo'lsa, oqimli nasoslar, gazliftlar va Erliftlar ishlatiladi, bu nasoslarning FIK juda past.

Kompressorlarni tanlash. Kimyo sanoatining barcha tarmoqlarida keng miqyosda porshenli va markazdan qochma kompressor mashinalari ishlatiladi.

Turbokompressor va turbogazoduvkalarining tuzilishining soddaligi, ixchamligi va gazlarni bir me'yorda uzatishi bilan boshqa kompressorlaridan farqlanadi. Bularning eng katta afzalligi shundaki, ular gazni toza holda uzatadi. Trubokompressorlar va turbogazoduvkalarda tezyurar va inersion kuchlanishlar bo'lmagani uchun ularni yengil fundamentlarga o'rnatish hamda to'g'ri-dan-to'g'ri elektr dvigatelga ulash mumkin.

Trubokompressorlar ko'p miqdordagi gazlarni 10000...20000 m³/soat, 3,0 MPa gacha bosimda uzatadi. Hozirgi vaqtda ko'p bosqichli trubokompressorlarda gazlarni 30 MPa gacha bosimda uzatish mumkin. Trubokompressorlarning FIK porshenli kompressorlarga nisbatan kamroq.

Kam miqdordagi (10000 m³/soat gacha) gazlarni yuqori bosimda (100 MPa gacha) uzatish uchun porshenli kompressorlar ishlatiladi.

Rotorli kompressorning FIK markazdan qochma va turbokompressorlarga nisbatan yuqori bo'lib, ular bosimi 1,5 MPa gacha, unumdorligi 6000 m³/soat gacha bo'lgan gazlarni uzatish uchun mo'ljallangan. Rotorli kompressorlarni tayyorlash qiyin, rotordagi plastinalar tez yedirib, ish kameralarining zich yopilmasligi natijasida gazlarni siqish darajasi kamayadi.

Kimyo sanoatida suv halqachali vakuum nasoslar keng miqyosda agressiv, portlovchan va nam gazlar hamda bug'larni uzatish, o'rta (90-95%) vakuum olish uchun ishlatiladi. Ular porshenli vakuum nasoslarga nisbatan birmuncha afzalliklarga ega, lekin ularning FIK kam.

Ko'p bosqichli bug' oqimli vakuum nasoslarda 95-99,8% siyraklanish mumkin. Bu qurilmalarning tuzilishi oddiy, harakatlanuvchi qismlari yo'q. Shu sababali bular kimyoviy aktiv gazlarni so'rib olish uchun keng ishlatiladi. Bug' oqimli vakuum nasoslarni o'rnatish uchun sim va fundamentlarning hojati yo'q, ularni istalgan yerga o'rnatish mumkin.

Bug' oqimli vakuum nasoslarda ko'proq bug' sarflanadi va so'rib olinayotgan gaz bug' bilan aralashishi mumkin.

VI BOB. ISSIQLIK UZATISH ASOSLARI

6.1. Issiqlik almashinish jarayoni

Har xil haroratga ega bo'lgan jismlarda issiqlik energiyasining biridan ikkinchisiga o'tishi *issiqlik almashinish jarayoni* deb ataladi. "Issiq" va "sovuq" jismlarning harorati o'rtasidagi farq issiqlik almashinishning harakatlantiruvchi kuchi hisoblanadi. Haroratlar farqi bo'lganda termodinamikaning ikkinchi qonuniga ko'ra issiqlik energiyasi harorati yuqori bo'lgan jismdan harorati past bo'lgan jismga o'z-o'zidan o'tadi. Jismlar o'rtasidagi issiqlik almashinishi hisobiga sodir bo'ladi. Issiqlik almashinishida qatnashadigan jismlar issiqlik tashuvchilar deb ataladi. Issiqlik o'tkazish jarayonlari (isitish, sovitish, bug'larni kondensatsiyalash, bug'latish) kimyo sanoatida keng tarqalgan. Issiqlik tarqalishining uchta prinsipial turi bor: *issiqlik o'tkazuvchanlik, konveksiya va issiqlikning nurlanishi*.

Bir-biriga tegib turgan kichik zarrachalarning harakati natijasida yuz beradigan issiqlikning o'tishi *issiqlik o'tkazuvchanlik* (yoki konduksiya) deyiladi. Gaz va tomchili suyuqliklarda molekulalarning harakati natijasida yoki qattiq jismlarda kristall panjaradagi atomlarning tebranishi ta'sirida yoxud metallarda erkin elektronlarning diffuziyasi oqibatida issiqlik o'tkazuvchanlik jarayoni sodir bo'ladi. Kattiq jismlarda va gaz yoki suyuqliklarning qatlamlarida issiqlik asosan issiqlik o'tkazuvchanlik orqali tarqaladi.

Gaz yoki suyuqliklarda makroskopik hajmlarning harakati va ularni aralashtirish natijasida yuz beradigan issiqlikning tarqalishi *konveksiya* deb ataladi. Konveksiya ikki xil (erkin va majburiy) bo'ladi. Gaz yoki suyuqlik ayrim qismlaridagi zichlikning farqi natijasida hosil bo'ladigan issiqlikning almashinishi *tabiiy* yoki *erkin konveksiya* deyiladi. Tashqi kuchlar ta'sirida (masalan, suyuqliklarni nasoslar yordamida o'zatish yoki ularni mexanik almashtirgichlar bilan aralashtirish paytida) majburiy konveksiya paydo bo'ladi.

Issiqlik energiyasining elektr magnit to'lqin yordamida tarqalishi *issiqlikning nurlanishi* deb yuritiladi. Har qanday jism o'zidan energiyani nurlatish qobiliyatiga ega. Nurlangan energiya boshqa

jismga yutiladi va qaytadan issiqlikka aylanadi. Natijada nur bilan issiqlik almashinish jarayoni sodir bo'lib, u o'z navbatida nur chiqarish va nur yutish jarayonlaridan tashkil topadi.

Haqiqiy sharoitlarda issiqlik almashinish alohida olingan biror usul bilan emas, balki bir necha usullar yordamida yuzaga keladi, ya'ni murakkab issiqlik o'tkazish jarayonlari amalga oshiriladi.

Qurilmalarning ishlash rejimiga ko'ra jarayonlar ikki xil (turg'un va noturg'un) bo'ladi. O'zliksiz ishlaydigan qurilmalarning turli nuqtalaridagi harorat vaqt davomida o'zgarmaydi, bunday qurilmalarda ketayotgan jarayon turg'un bo'ladi. Noturg'un jarayonlarda (davriy ishlaydigan issiqlik almashinish qurilmalarida) harorat vaqt davomida o'zgarib turadi (masalan, isitish yoki sovitish paytida).

Issiqlik o'tkazuvchanlik. Issiqlik o'tkazuvchanlikning mexanizmi jismlarning agregat holatiga bog'liq bo'ladi. Suyuqliklar va qattiq jismlar – dielektrlarda issiqlik o'tkazuvchanlik yonma-yon joylashgan zarrachalar atom va molekulalarning issiqlik harakati ta'sirida energiya almashinishiga asoslangan. Metallarda issiqlikning almashinishi asosan erkin elektronlarning molekula va atomlarning o'zaro to'qnashuvi va ularning diffuziyasi ta'sirida yuz beradi.

Harorat maydoni va gradiyenti. Jismning hamma nuqtalaridagi harorat qiymatlarining yig'indisi harorat maydonini tashkil etadi. Harorat maydoni turg'un va noturg'un bo'lishi mumkin. Agar har bir nuqtadagi harorat vaqt davomida o'zgarmasa, bunday harorat maydoni turg'un bo'ladi. Mabodo harorat vaqt o'tishi bilan o'zgarsa, unday maydon noturg'un harorat maydoni deb yuritiladi.

Harorat maydoni umumiy holatda quyidagi funksional bog'liqlik bilan ifodalanadi:

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad (6.1)$$

bu yerda, t – tekshirilayotgan nuqtadagi harorat; x, y, z – tekshirilayotgan nuqtaning koordinatalari; τ – vaqt.

Koordinatalarning soniga ko'ra, harorat maydoni bir o'lchamli izotermik yuza deb yuritiladi. Harorat bir izotermik yuzadan ikkinchi izotermik yuza yo'nalishiga qarab o'zgaradi. Haroratlarning eng ko'p

o'zgarishi izotermik yuzalarga o'tkazilgan normal chiziqlar bo'yicha yuz beradi. Haroratlar farqi (Δt) ning izotermik yuzalar oralig'idagi normal bo'yicha olingan masofa (Δn) ga nisbati harorat gradienti ($\text{grad } t$) deb ataladi.

$$\text{grad } t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{dt}{dn}. \quad (6.2)$$

Harorat gradiyenti nolga teng bo'lmagan taqdirda ($\text{grad } t \neq 0$) issiqlik oqimi yuzaga keladi. Bunda issiqlik oqiminng yo'nalishi harorat gradienti chizig'i bo'yicha boradi, ammo harorat gradiyentiga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi:

$$\vec{q} \rightarrow \left(- \frac{\partial t}{\partial n} \right)$$

Fure qonuni. Bu qonunga ko'ra, issiqlik o'tkazuvchanlik orqali issiqlik miqdori dQ harorat gradiyentiga $\left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)$, vaqtga ($d\tau$) va issiqlik oqimi yo'nalishiga perpendikular bo'lgan maydon kesimiga (dF) proporsionaldir, ya'ni:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau. \quad (6.3)$$

Agar $\frac{Q}{F\tau} = q$ deb olinsa, u holda:

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} \quad (6.4)$$

bu yerda, q – issiqlik oqimi zichligi; λ – issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti.

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti quyidagicha o'lchov birligiga ega:

$$[\lambda] = \left[\frac{dQ \partial Q}{\partial t \cdot dF \cdot d\tau} \right] = \left[\frac{\text{Ж} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}} \right] = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right].$$

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti issiqlik almashinish yuzasi birligidan (1m^2) vaqt birligi davomida (τ) izotermik yuzaga normal bo'lgan, 1m uzunlikka to'g'ri kelgan haroratlarning bir gradusga

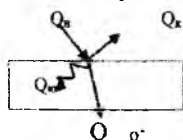
pasayishi vaqtida issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan berilgan issiqlik miqdorini belgilaydi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining qiymati moddaning tuzilishi va uning fizik-kimyoviy xossalari, harorat va boshqa bir qator kattaliklarga bog'liq. Oddiy (normal) harorat va bosimda metallar issiqlikni yaxshi, gazlar esa yomon o'tkazadi. Masalan, ayrim moddalarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti quyidagi qiymatga ega: mis uchun $\lambda=384 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)}$; po'lat uchun $\lambda = 46,5 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)}$; beton $\lambda=1,28 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)}$; tomchili suyuqliklar $\lambda=0,1\div0,7 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)}$; gazlar $\lambda=0,006\div0,6 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)}$; havo $\lambda=0,027 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)}$.

6.2. Issiqlikning nurlanishi

Harorati 0°C dan yuqori bo'lgan barcha jismlarda issiqlik energiyasini nur energiyasiga aylanishi kuzatiladi. Bu jarayon issiqlikning nurlanishi deyiladi. Ushbu jarayonda issiqlik turli uzunlikdagi elektromagnit to'lqinlar vositasida uzatiladi. Elektromagnit to'lqinlar boshqa bir jismda yutilganda qaytadan molekullarning issiqlik harakati energiyasiga aylanadi.

Issiqlikning nurlanish intensivligi jism haroratini ortishi bilan oshib boradi. Yuqori haroratlarda, masalan, $t \geq 600^\circ\text{C}$ bo'lganda, qattiq jism va gazlar o'rtasida issiqlikning nurlanish yo'li bilan tarqalishi alohida ahamiyatga ega bo'ladi. Yorug'lik va issiqlik nurlari bir xil tabiatga ega bo'lganliklari sababli ular umumiy qonuniyatlar (nurni qaytishi, sinishi va yutilishi) bilan tavsiflanadi. Yorug'lik nurlarining to'lqin uzunligi $0,4\div0,8 \text{ mkm}$ bo'lsa, issiqlikning nurlanish to'lqin uzunligi $0,8\div800 \text{ mkm}$ bo'lib, spektrni ko'zga ko'rinmas qismini (infraqizil nurlar) egallaydi.



66-rasm. Nurlanish energiyasi balansiga oid sxema.

Qizdirilgan jismdan chiqarilayotgan nur oqimi Q_n o'zidan nur chiqaruvchi boshqa bir jism yuzasiga tushirilsa, ushbu nurning bir

qismi Q_k jism yuzasidan qaytadi, bir qismi Q_{yu} yutiladi va yana bir qismi Q_o undan o'tib ketadi (6.7-rasm).

Jismga tushirilayotgan nur energiyasi Q_n jismga yutilgan nur energiyasini Q_{yu} , jism yuzasidan qaytgan nur energiyasini Q_k va jismdan o'zgarishlarsiz o'tib ketuvchi nur energiyasini esa Q_o deb belgilaymiz. Ushbu jarayonning energetik balansi, umumiy holda, quyidagicha yoziladi

$$Q_n = Q_{yu} + Q_k + Q_o. \quad (6.5)$$

Yoki umumiy nurlanish energiyasiga Q_n nisbatan, ulushlarda

$$Q_{yu}/Q_n + Q_k/Q_n + Q_o/Q_n = 1. \quad (6.6)$$

(6.6) tenglamaning tarkibiy qo'shiluvchilarini quyidagicha tahlil qilish mumkin.

Q_{yu}/Q_n – jismning nurlangan issiqlik energiyasini yutish qobiliyatini tavsiflaydi. Agar $Q_{yu}/Q_n=1$ ($Q_k/Q_n=0$, $Q_o/Q_n=0$) bo'lsa, jismga tushayotgan nur unda to'la yutiladi. Bunday jism absolyut qora jism deyiladi.

Q_k/Q_n – nisbat jismning O'ziga tushirilayotgan nurni qaytarish xususiyatini ifodalaydi. Agar $Q_k/Q_n=1$ ($Q_{yu}/Q_n=0$, $Q_o/Q_n=0$) bo'lsa, jismga tushayotgan nur uning yuzasidan to'liq qaytariladi. Bunday jism absolyut oq jism deyiladi.

Q_o/Q_n – nisbat qiymati jismning O'zidan nurni o'tkazib yuborish xususiyatini ko'rsatadi. $Q_o/Q_n=1$ ($Q_{yu}/Q_n=0$, $Q_k/Q_n=0$) bo'lsa, jism yuzasiga tushayotgan nurning hammasi undan to'la o'tib ketadi. Bunday jism absolyut shaffof bo'ladi.

Tabiatda absolyut qora, absolyut oq va absolyut shaffof jismlar mavjud emas. Ammo bu atamalar nurlanish nazariyasini ishlab chiqishda alohida ahamiyatga ega bo'ldi. Ushbu atamalar muhandislik hisoblarida va issiqlikning nurlanishi yo'li bilan issiqlik uzatish jarayonlarini tahlil etishda keng qo'llaniladi.

Texnikada kulrang jismlar tushunchasidan foydalaniladi. Bunday jismlarga tushirilgan nurning bir qismi yutiladi, bir qismi qaytariladi va uning qolgan qismini esa jism O'zidan o'tkazib yuboradi.

Issiqlikning nurlanishini tavsiflash uchun jismni nur chiqarish qobiliyati (xususiyati) tushunchasi ishlatiladi.

Jismning yuza (F) birligidan vaqt τ birligi davomida to'liq uzunligining barcha intervali ($0 < \lambda < \infty$) bo'yicha nurlangan energiyani to'la miqdori Q uning nur chiqarish xususiyatini (E , Vt/m^2) ko'rsatadi

$$E = Q/(F\tau). \quad (6.7)$$

Nurlanish energiyasi to'liq uzunligi va jism haroratidan bog'liq bo'ladi.

Jismning nur chiqarish xususiyatini to'liq uzunligi λ intervaliga nisbati nurlanish intensivligi J (Vt/m^3) deyiladi:

$$J = dE/d\lambda. \quad (6.8)$$

Ushbu tenglamani integrallash natijasida E va λ o'rtasidagi bog'liqlik aniqlanadi:

$$E = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} J d\lambda. \quad (6.9)$$

Issqlikning nurlanish qonuniyatlari Stefan-Bolsman, Kirxgof va Lambert qonunlari bilan ta'riflanadi.

Stefan-Bolsman qonuniga binoan absolyut qora jismning nur chiqarish qobiliyati E va jism yuzasining absolyut harorati T o'rtasidagi bog'liqlik quyidagicha ifodalanadi:

$$E = K_0 T^4, \quad (6.10)$$

bu yerda, $K_0 = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Vt/(m}^2 \text{ K}^4)$ - absolyut qora jismning nur chiqarish doimiysi.

Amaliyotda kulrang jismlarning nur chiqarish qobiliyatini hisoblash uchun ushbu (6.10) tenglamani quyidagi ko'rinishda qo'llash qulay

$$E = \epsilon S_0 (T/100)^4, \quad (6.11)$$

bu yerda, $S_0 = 5.67 \text{ Vt/(m}^2 \text{ K}^4)$ - absolyut qora jismning nur chiqarish koeffitsiyenti; ϵ - kulrang jismning nisbiy nur chiqarish koeffitsiyenti yoki kulrang jismning qoralik darajasi, $\epsilon = 0 \div 1$.

Kirxgof qonuni kulrang jismning nur chiqarish va nurni yutish xususiyatlari o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalaydi.

$$A = Q_{yu}/Q_n, \quad (6.12)$$

bu yerda, A - kulrang jismning nur yutish xususiyati.

Kirxgof tomonidan

$$E_k = AE = \epsilon E \quad (6.13)$$

ekanligi aniqlangan. Bu yerda E_k - kulrang jismning nur chiqarish xususiyati, $Vt/(m^2K)$.

Kirxgof qonuniga binoan muayyan haroratlardagi barcha jismlar uchun nur chiqarish va numi yutish xususiyatlarining nisbati doimiy qiymatdir. Ushbu nisbat qiymati absolyut qora jismni berilgan haroratlardagi nur chiqarish qobiliyatiga E_0 teng, ya'ni:

$$E/A = E_1/A_1 = E_2/A_2 = \dots = E_0 = f(T). \quad (6.14)$$

(6.14) tenglamaga binoan jismni nur yutish qobiliyati qanchalik katta bo'lsa, uning nurlanish xususiyati ham shunchalik katta bo'ladi. Shu sababdan, nur energiyasini yaxshi qaytaruvchi jismlar kam miqdorda nur chiqaradi. Masalan, absolyut oq jismning nurlanishi nolga teng, yoki absolyut qora jism numi har qanday haroratda ham to'liq yutadi va maksimal darajada nurlanadi.

Stefan-Bolsman va Kirxgof qonunlariga binoan, nurlanish orqali issiq jismdan sovuq jismga uzatilgan issiqlik miqdori quyidagicha aniqlanadi

$$Q_n = 5.67 \epsilon_k F t [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4], \quad (6.15)$$

bu yerda, T_1 va T_2 - issiq va sovuq jismlarning haroratlari, K ; $\epsilon_k = (1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2)^{-1}$ - jismlar sistemasining keltirilgan nur chiqarish koeffitsiyenti; ϵ_1 va ϵ_2 - jismlarning nisbiy nur chiqarish koeffitsiyentlari.

6.3. Konvektiv issiqlik almashinish

Suyuqlik yoki gazning harakati paytidagi issiqlikning tarqalishi konvektiv issiqlik almashinishning mazmunini tashkil etadi. Bunda issiqlikning tarqalishi bir yo'la konveksiya va issiqlik o'tkazuvchanlik usullari yordamida amalga oshadi. Konveksiya deyilganda suyuqlik yoki gaz katta zarrachalarning siljishi paytida issiqlikning haroratlari turlicha bo'lgan bir qismidan boshqa qismiga o'tishi tushuniladi. Konveksiya faqat harakat qilayotgan muhitda yuz berishi mumkin, chunki bunda issiqlikning tarqalishi muhitning siljishi bilan bog'liqdir.

Suyuqlik yoki gaz oqimi va ularga tegib turgan jism yuzasi oraliq'ida issiqlikning tarqalishi konvektiv *issiqlik almashinish* yoki

issiqlikning berilishi deb ataladi. Suyuqlik muhiti ikki qatlamdan iborat bo'ladi: chegara qatlami va oqimning markazi. Qattiq jism yuzasidan haroratni t_g , oqim markazidagi haroratni t_m , chegara qatlamning qalinligini δ bilan belgilaymiz.

Qattiq jism yuzasidan chegara qatlam orqali energiya issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan o'tadi. Chegara qatlamdan muhitning markaziga issiqlik asosan konveksiya orqali tarqaladi. Issiqlikning qattiq jism yuzasidan suyuqlik muhitiga berilish jarayoniga oqimning harakat rejimi katta ta'sir ko'rsatadi.

Konveksiya ikki turga bo'linadi (tabiiy va majburiy). Suyuqlikning "issiq" va "sovuq" qismlaridagi zichliklar farqi ta'sirida tabiiy konveksiya yuzaga keladi. Majburiy konveksiya tashqi kuchlar (nasos, ventilator, aralashtirigich) ta'sirida hosil bo'ladi.

Suyuqlik turbulent rejim bilan harakatlanganda issiqlik almashinish jarayoni ancha tez boradi, laminar rejimda esa sekin ketadi.

Nyuton qonuni. Konvektiv issiqlik almashinishning asosiy qonuni Nyutonning sovitish qonuni hisoblanadi. Bu qonunga ko'ra issiqlik almashinish yuzasidan atrof-muhitga (yoki, aksincha biror muhitdan qattiq jism yuzasiga) berilgan issiqlik miqdori dQ devorning yuzasiga (dF), yuza va muhit haroratlarning farqiga ($t_D - t_m$) hamda jarayonning davomligiga ($d\tau$) to'g'ri proporsionaldir, ya'ni:

$$dQ = \alpha (t_D - t_m) dF d\tau, \quad (6.16)$$

bu yerda, α - issiqlik berish koeffitsiyenti.

Issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi o'lchov birligiga ega:

$$[\alpha] = \left[\frac{dQ}{dF d\tau (t_D - t_m)} \right] = \left[\frac{K}{m^2 \cdot s \cdot grad} \right] = \left[\frac{B\tau}{m^2 K} \right]$$

Uzluksiz issiqlik almashinish jarayoni uchun (1.5) tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$Q = \alpha F (t_D - t_m). \quad (6.17)$$

Issiqlik berish koeffitsiyenti α devorning 1m^2 yuzasidan suyuqlikka (yoki muhitdan 1m^2 yuzali devorga) 1s vaqt davomida, devor va suyuqlik haroratlarining farqi 1°C bo'lganda berilgan issiqlikning miqdorini bildiradi. Bu koeffitsiyentning miqdori qator kattaliklarga bog'liq: suyuqlikning tezligi ω , uning zichligi ρ , qovushqoqligi μ , muhitning issiqlik-fizik xossalari (solishtirma issiqlik sig'imi s , issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ , suyuqlikning hajmiy kengayish koeffitsiyenti β), devorning shakli, o'lchami (truba uchun d – diametr, L – uzunlik) va uning g'adir-budirligi ϵ_0 .

Shunday qilib, issiqlik berish koeffitsiyentining qiymati quyidagi kattaliklarga bog'liq ekan:

$$\alpha = f(\omega, \rho, \mu, c, \lambda, \beta, d, L, \epsilon_0). \quad (6.18)$$

Issiqlik berish koeffitsiyenti bu kattaliklarga bog'liq bo'lganligidan, issiqlik o'tkazish jarayonlarining barcha ko'rinishi uchun α ning qiymatini hisoblab chiqaradigan umumiy tenglamani olishning imkoni yo'q. Faqat issiqlik almashinishning tipaviy jarayonlari uchun tajriba natijalarini o'xshashlik nazariyasi yordamida qayta ishlash orqali kriterial tenglamalarni chiqarish mumkin. Bu kriterial tenglamalar yordamida issiqlik berish koeffitsiyentining qiymati hisoblab topiladi.

Konvektiv issiqlik almashinishning differensial tenglamasi. Konvektiv usul bilan issiqlik almashinilganda suyuqlik muhitdan issiqlik bir vaqtning uzida issiqlik o'tkazuvchanlik va konveksiya orqali tarqaladi. Issiqlik o'tkazuvchanlik differensial tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{\partial t}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right).$$

Bu tenglamaning chap tomoni muhitdan ajratib olingan qo'zg'almas elementlar hajm haroratsining qisman o'zgarishini

ifodalaydi. Konvektiv issiqlik almashinishda elementlar hajm muhitning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga o'tadi. Agar elementlar hajmning x , y va z o'qlar bo'yicha harakat tezligi ω_x , ω_y va ω_z bilan belgilasak, u holda elementlar hajm haroratining to'la o'zgarishi quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{Dt}{dt} = \frac{\partial t}{\partial t} + \frac{\partial t}{\partial x} \omega_x + \frac{\partial t}{\partial y} \omega_y + \frac{\partial t}{\partial z} \omega_z. \quad (6.19)$$

(6.19) tenglamadagi dt/dt nisbat haroratning qisman o'zgarishini,

$$\frac{\partial t}{\partial x} \omega_x + \frac{\partial t}{\partial y} \omega_y + \frac{\partial t}{\partial z} \omega_z.$$

yig'indi esa haroratning konvektiv o'zgarishini ifodalaydi.

Agar issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasidagi haroratning qisman o'zgarishini (6.19) tenglamaga asosan uning to'la o'zgarishi bilan almashtirsak, Fure - Kirxgofning konvektiv issiqlik almashinish tenglamasi kelib chiqadi:

$$\frac{\partial t}{\partial t} + \frac{\partial t}{\partial x} \omega_x + \frac{\partial t}{\partial y} \omega_y + \frac{\partial t}{\partial z} \omega_z = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (6.20)$$

Bu tenglama harakatdagi muhitda issiqlikning bir vaqtning O'zida issiqlik o'tkazuvchanlik va konveksiya yo'llari bilan tarqalishining matematik ifodasidir. Konvektiv issiqlik almashinish jarayonini to'la ifodalash uchun (6.19) tenglamani qattiq yuza va harakatlanuvchi muhit chegarasidagi sharoitni hisobga oluvchi boshqa tenglama bilan to'ldirish kerak.

Harakatlanuvchi muhitda joylashgan qattiq yuza ustida qalinligi δ ga teng bo'lgan chegara qatlam hosil bo'ladi. Bu qatlam orqali o'tgan issiqlik miqdori Fupe qonuni orqali topiladi:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF dt.$$

O'tgan issiqlik miqdorini Nyuton qonuni yordamida ham aniqlash mumkin:

$$dQ = \alpha (t_d - t_m) dF d\tau$$

Oxirgi ikkita tenglamaning o'ng tomoni O'zaro tenglashtirilib, qattiq yuza va harakatlanuvchi suyuqlik muhiti chegarasidagi sharoitlarni ifodalaydigan tenglamani hosil qilamiz:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = \alpha(t_c - t_m) \quad (6.21)$$

(6.20) va (6.21) tenglama konvektiv issiqlik almashinish jarayonini to'la ifodalaydi.

Konvektiv issiqlik almashinishning kriterial tenglamasi. Amalda uchraydigan ko'pgina jarayonlarga tenglamalarni tatbiq qilib bo'lmaydi. Shu sababdan bu tenglamalar hisoblash texnikasida ishlatilmaydi. Hisoblash ishlarida ifodalarni o'xshashlik nazariyasi bilan qayta ishlash natijasida olingan kriterial tenglamalar keng ishlatiladi. Konvektiv issiqlik almashinishning kriterial tenglamasi umumiy holda quyidagi ko'rinishga ega:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr, F_0); \quad (6.22)$$

Issiqlik almashinishning aniq hollari ko'rilganda kriterial tenglama ancha soddalashadi. Masalan, turg'un jarayonlar uchun tenglamadan Fure mezoni qisqartiriladi. U holda:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr).$$

Suyuqlik oqimi majburiy harakat qilgan paytda kriterial tenglamadagi Grasgof mezoni hisobga olinmaydi. Bunda konvektiv issiqlik almashinishning kriterial tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$Nu = f(Re, Pr). \quad (6.23)$$

Suyuqlikning erkin harakati paytida Reynolds mezoni qisqartiriladi. U holda kriterial tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad (6.24)$$

Issiqlik almashinish jarayonining aniq hollari hal qilinganda tegishli kriterial tenglamalar yordamida Nusselt mezonining qiymati topiladi. So'ngra Nusselt mezonining tenglamasi orqali issiqlik berish koeffitsiyenti α aniqlanadi:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} \quad (6.25)$$

Bundan

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} \quad (6.26)$$

6.4. Issiqlik berish jarayoni

Konvektiv issiqlik almashinishning tajriba natijalari. Hozirgi vaqtda konvektiv issiqlik almashinishning hamma turlari ilmiy jihatdan tadqiq qilingan, tadqiqotlar natijalari asosida tegishli kriterial tenglamalar ishlab chiqilgan kriterial tenglamalar yordamida issiqlik berish koeffitsiyentlari hisoblab topiladi.

To'g'ri truba va kanallarda rivojlangan turbulent oqimda issiqlik berish ($Re > 10\,000$). Suyuqlik oqimi uchun hisoblash tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (6.27)$$

Gazlar uchun $\frac{Pr}{Pr_g} = 1$; Re ning qiymati esa gazning atomlar soniga bog'liq. Shu sababli gazlar uchun kriterial tenglama ancha soddalashadi. Masalan, havo uchun tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$Nu = 0,018 \epsilon_e Re^{0,8} \quad (6.28)$$

O'tish sohasida issiqlikning berilishi ($2300 < Re < 10000$). Hisoblash uchun aniq tenglama bo'lmaganligi sababli quyidagi taxminiy kriterial tenglamadan foydalanish mumkin:

$$Nu = 0,008 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \quad (6.29)$$

To'g'ri tuba va kanallardagi laminar oqimda issiqlikning berilishi ($Re < 2300$). Erkin konveksiyaning ta'siri kam bo'lganda ($Gr < 4Re$ Nu , $Re > 10$ va $L/d > 10$) quyidagi hisoblash tenglamasidan foydalaniladi:

$$Nu = 1,4 \left(Re \frac{d}{L} \right)^{0,4} \cdot Pr^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_A} \right)^{0,25} \quad (6.30)$$

Tekis trubalar o'ramining oqimini ko'ndalang aylanishi paytidagi issiqlik berishi:

a) Koridor (yo'lak) simon va shaxmatli o'ram uchun ($Re < 1000$):

$$Nu = 0,56 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_A} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon \quad (6.31)$$

b) Koridorsimon o'ram uchun ($Re > 1000$):

$$Nu = 0,22 \cdot Re^{0,65} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_A} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon \quad (6.32)$$

d) Shaxmatli o'ram uchun:

$$Nu = 0,4 Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_0} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon \quad (6.33)$$

Issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti K quyidagi tenglama orqali hisoblanadi:

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_K} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{F_T}{F_H} + \Sigma r} \quad (6.34)$$

bu yerda, F_T — qirrali tuba tashqi yuzalari to'la maydonning uzunlik birligiga nisbatan olingan qiymati; F_H — tuba ichki yuzasi maydonining uzunlik birligiga nisbatan olingan qiymati; α_2 — trubaning ichidan o'tayotgan oqim uchun issiqlik berish koeffitsiyenti; Σr — devor va devor yuzalariga joylashgan iflosliklar termik qarshiliklarining yig'indisi.

Ayrim issiqlik almashinish jarayonlarida isitilayotgan yoki sovutilayotgan materiallar O'zining agregat holatini O'zgartiradi,

ya'ni bug'lanish, kondensatsiyalash, suyuqlanish yoki kristallanish jarayonlari sodir bo'ladi. Bu jarayon alohida xususiyatga ega materialga issiqlikning kelishi yoki undan olib ketilishi O'zgarma haroratda boradi, issiqlik bir fazada emas, balki ikki fazada tarqaladi. Agregat holatning O'zgarishi bilan boradigan jarayonlar ichida bug'ning kondensatsiyalanishi va suyuqliklarning qaynashi paytidagi issiqlik berish keng ishlatiladi.

Bug'ning kondensatsiyalanishi. Kimyoviy qurilmalarda bug orqali issiqlik berishda bug' suyuqliklarning qatlam holida kondensatsiyalanadi. Bug'ning kondensatsiyalanishi vaqtida asosiy termik qarshilik kondensatning yupqa qatlamida yuz beradi. Suyuqliklarning qatlamning devor tomondagi haroratini devorning harorati t_d ga, bug' tomondagi haroratini esa to'yinish harorati t_i ga teng deb olinadi. Suyuqliklarning qatlamning termik qarshiligiga nisbatan bug' fazasining termik qarshiligi juda kichik.

Bug'ning kondensatsiyalanishida issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi umumiy tenglama yordamida aniqlaniladi:

$$Nu = f(Ga, Pr, K) \quad (6.35)$$

Bu ifodani qayta ishlash natijasida vertikal joylashgan tekis yoki silindrsimon yuzda kondensat suyuqliklarning qatlamining lamina harakati uchun quyidagi nazariy tenglama chiqarilgan:

$$\alpha = 1,15 \sqrt[4]{\frac{rg^2 \lambda^3 g}{\mu \cdot \Delta t \cdot H}} \quad (6.36)$$

Kondensatning fizik-kimyoviy kattaliklari (λ , r , μ , suyuqliklarning qatlamning o'rtacha harorati $t_{pl} = \frac{t_i + t_d}{2}$ bo'yicha topiladi. Kondensatsiyalanish issiqligi to'yinish harorati t_i ga qarab aniqlanadi. Haroratlar farqi

$\Delta t = t_i - t_d$, N - vertikal yuzaning balandligi.

Bitta gorizontaal trubaning tashqi yuzasida bug'ning kondensatsiyalanishi uchun quyidagi tenglamadan foydalanish mumkin:

$$\alpha = 0,728 \sqrt{\frac{r \cdot \rho^2 \lambda^3 g}{\mu \cdot \Delta r \cdot D}} \quad (6.37)$$

bu yerda, d -truba diametri.

Texnikaviy hisoblashlarda, agar issiqlik berishning ikkinchi koeffitsiyenti ancha kichik qiymatga ega bo'lsa, kondensatsiyalanayotgan suv bug'i uchun issiqlik berish koeffitsiyentaning qiymatini taxminan quyidagi intervalda olish mumkin;

$$\alpha = 10000 \dots 12000 \quad \text{Vt/m}^2 \text{K} \quad \text{yoki} \quad \text{Vt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{S}$$

Suyuqlikning qaynashi. Suyuqlikning qaynashi paytida issiqlik berish jarayonidan kimyo texnologiyasida (masalan, bug'latish, rektifikatsiya, sovitish qurilmalarida) keng foydalaniladi. Bu jarayon juda murakkab jarayonlar jumlasiga kiradi.

Suyuqlik qaynash haroratigacha qizdirilganda devor yaqinidagi chegara qatlam buziladi, natijada bug' pufakchalari hosil bo'ladi. Bu pufakchalarning shakli va ularning soni berilayotgan issiqlik miqdoriga, isitish yuzasining tozaligiga va g'adir-budirligiga, suyuqlikning isitish yuzasini namlash qobiliyatiga bog'liq.

Suyuqlikning qaynashi ikki xil rejimda borishi mumkin (pufakli qaynash, suyuqliklarning qatlam bilan qaynash). Pufakli qaynash paytida issiqlik berish tezligi ancha yuqori bo'ladi. Haroratlar farqi Δt ($\Delta t = t_D - t_k$) bu yerda; t_D – isitish yuzasining harorati, t_k – suyuqlikning qaynash harorati) ortib borgan sari bug'lanish markazlari shunday ko'payib ketadiki, oqibatda pufakchalarning o'zaro qo'shilib ketishi natijasida isitish yuzasining usti qizdirilgan bug'ning suyuqliklarning qatlami bilan qoplanadi. Bu qatlam issiqlikni yomon o'tkazganligi sababli α ning qiymati kamayib ketadi. Bunday holat suyuqliklarning qatlam bilan qaynash deb yuritiladi.

6.5. Issiqlikning o'tishi

Issiqlik almashinish jarayonlarida issiqlik bir muhitdan ikkinchisiga o'tadi. Ko'pincha issiqlik tashuvchi agentlar bir-biridan devor orqali (qurilmaning, trubaning devori va hokazo) ajratilgan bo'ladi. Harorati yuqori bo'lgan muhitdan harorati past bo'lgan muhitga biror devor orqali issiqlikning berilishi issiqlikning o'tishi deb ataladi. Bunda berilgan issiqlikning miqdori Q issiqlik o'tkazishning asosiy tenglamasi orqali topiladi:

$$Q = K \cdot \Delta t_{sp} \cdot F \cdot \tau; \quad (6.38)$$

bu yerda, K —issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti; Δt_w —issiqlik va sovuq muhit haroratlarining o'rtacha farqi; F —muhitlarni ajratuvchi devor yuzasi; τ —jarayonning davomiyligi.

Uzluksiz ishlaydigan turg'un jarayonlar uchun tenglamadan τ hisobga olinmaydi. U holda:

$$Q = K \Delta t_{sp} \cdot F. \quad (6.39)$$

Kimyoviy texnologiyada ko'pincha issiqlik truba yuzasi orqali o'tadi. Silindrsimon yuzadan issiqlik o'tishining prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Truba ichida harorati t_1 bo'lgan issiqlik muhiti bo'lib, undan issiqlik trubaning ichki yuzasiga beriladi. Truba tashqarisida harorati t_2 bo'lgan sovuq muhit bor. Truba tashqi yuzasidan sovuq muhitga issiqlikning berilishi α bilan ifodalanadi. Trubaning balandligini L , ichki radiusini r_i , tashqi radiusini esa r_r bilan belgilaymiz. Silindrsimon yuzadan o'tkazilgan issiqlik miqdori quyidagi tenglama orqali topiladi;

$$Q = K_R \cdot 2 \cdot \pi \cdot \tau (t_1 - t_2).$$

K_R ning qiymati esa ushbu tenglama bilan ifodalanadi:

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i r_i} + \frac{1}{\lambda} 2.3 \lg \frac{r_r}{r_i} + \frac{1}{\alpha_r r_r}} \quad (6.40)$$

K_R issiqlik o'tkazishning chiziqli koeffitsiyenti deb ataladi. Agar K ning qiymati yuza birligiga nisbatan olinsa, K_R ning qiymati tuba uzunligining birligiga nisbatan olinadi. Shu sababli $K_R = [V_T / (m \cdot K)]$ yoki $V_T / (m \cdot ^\circ C)$ o'lchov birligiga ega.

Qalin devorli silindrsimon yuzalarni, jumladan, katta qalinlikdagi izolatsiya qatlami bilan qoplangan trubalarni hisoblashdagina va tenglamalardan foydalaniladi. Suyuqliklarning devorli trubalarni hisoblashda esa yuqoridagi tenglamalardan foydalalanish mumkin.

6.6. Issiqlik jarayonlarining harakatlantiruvchi kuchi

Muhitlar harorati o'rtasida biror farq bo'lgandagina issiqlik harorati yuqori bo'lgan muhitdan harorati past bo'lgan muhitga o'tadi. Bunday haroratlar farqi issiqlik almashinish yuzasi bo'ylab o'zgaradi, ya'ni ular bir xil qiymatga ega bo'lmaydi. Shu sababli issiqlik almashinish jarayonlarini hisoblashda o'rtacha haroratlar farqi Δt_{or} degan tushuncha ishlatiladi. Muhitlarning o'rtacha haroratlar farqi issiqlik almashinish jarayonlarining harakatlantiruvchi kuchi deb yuritiladi.

Suyuqliklar haroratlarining issiqlik almashinish yuzasi bo'yicha o'zgarishi muhitlarning o'zaro yo'nalishiga bog'liq. Issiqlik almashinish qurilmalarida issiq va sovuq suyuqliklar o'zaro parallel, qarama-qarshi yoki o'zaro kesishgan bo'lishi mumkin.

Bulardan tashqari, amalda issiqlik tashuvchi agentlarning ancha murakkab tasvirlari ham uchraydi. Issiqlik tashuvchi agentlarning yo'nalishi bir yoki qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'lganda o'rtacha haroratlar farqi quyidagi tenglama bilan topiladi:

$$\Delta t_{sp} = \frac{\Delta t_{ku} - \Delta t_{ki}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{ku}}{\Delta t_{ki}}} \quad (6.41)$$

bu yerda, t_{ku} va t_{ki} — issiqlik almashinish qurilmasining chetlaridagi haroratlarining katta va kichik farqlari quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta t_{ka} = t_1 - t_2; \quad \Delta t_{ka} = t_1 - t_2;$$

$$\Delta t_{ka} = t_1 - t_2; \quad \Delta t_{ka} = t_1 - t_2;$$

Agar $\Delta t_{ka}/\Delta t_{ki} < 2$ bo'lsa, o'rtacha haroratlar farqi quyidagi tenglama bilan topiladi:

$$\Delta t_{or} = \frac{(\Delta t_{ka} + \Delta t_{ki})}{2} \quad (6.42)$$

Bunday hisoblashda xatolik 4 % dan ortmaydi. Tenglamadan ko'rinib turibdiki, agar $t_{ka}=0$ va $t_{ki}=0$ bo'lsa, unda $\Delta t_{or}=0$ agar $\Delta t_{ka} = \Delta t_{ki}$ bo'lsa:

$$\Delta t_{or} = \Delta t_{ka} = \Delta t_{ki}$$

Agarda issiqlik tashuvchi agentlardan birining harorati yuza bo'yicha o'zgarmasa (to'yingan bug'ning kondensatsiyalanishi, suyuqlikning qaynashi), bunday sharoitda Δt_{or} - ning qiymati yoki tenglamalar bo'yicha hisoblanadi.

Agar issiqlik tashuvchi agentlarning yo'nalishi o'zaro kesishsa, o'rtacha haroratlar farqi quyidagi tenglama bilan topiladi:

$$\Delta t_{or} = \varepsilon_{\Delta t} \frac{\Delta t_{sa} - \Delta t_{sn}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{sa}}{\Delta t_{sn}}} \quad (6.43)$$

bu yerda, $\varepsilon_{\Delta t}$ - muhitlarning haroratlari nisbatiga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent. Bu koeffitsiyentning qiymati tegishli adabiyotlarda keltiriladi.

6.7. Issiqlik o'tkazish jarayonlarining intensivlash

Kimyo sanoatidagi ko'pchilik jarayonlar issiqlik ta'sirida boradi va bunday jarayonlarni amalga oshirish uchun turli issiqlik almashinish qurilmalari ishlatiladi. Ishlab chiqarishning quvvatini oshirish uchun issiqlik almashinish qurilmalari samarali ishlashi, sodda bo'lishi va mahsulot sifatiga yomon ta'sir ko'rsatmasligi kerak. Bundan tashqari, issiqlik qurilmalarini tayyorlash uchun kam metall sarf bo'lishi lozim. Bunday masalalarni xal qilish uchun issiqlik almashinish jarayonlarini intensivlash zarur.

Issiqlik jarayonlarini intensivlash qurilmalar ish unumdorligini oshirishga, ularning o'lchamini kichraytirishga, ishlab chiqarish xonalarining saxnini kamaytirishga olib keladi. Bu narsa o'z navbatida issiqlik qurilmalarini ishlatish va ularni remont qilish uchun ketayotgan sarflarni kamaytiradi, bitta ishchiga to'pri keladigan mahsulot miqdorini oshiradi va hokazo. Issiqlik jarayonlari tezlatilganda materialni isitish uchun ketayotgan vaqt kamayadi, bu hol esa mahsulot sifatini pasaytirishga olib kelmasligi lozim.

Tekis devorlar uchun issiqlik o'tkazish koeffitsiyentini topishdagi quyidagi tenglamani analiz qilib ko'ramiz:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (6.44)$$

Devorning termik qarshiligini kamaytirish uchun devor qalinligi δ ni kamaytirish va devor materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentiga λ ni ko'paytirish kerak. Konvektiv issiqlik almashinishini (α_1 va α_2) intensivlash uchun suyuqlikni aralashtirish va oqimning tezligini oshirish zarur. Agar issiqlik nurlanish orqali tarqalayotgan bo'lsa, nur chiqarayotgan yuzaning qoralilik darajasini va uning haroratini oshirish maqsadga muvofiqdir. Agar tekis devorning termik qarshiligi hisobga olinmasa bunda yuqorida berilgan tenglama quyidagi ko'rinishni oladi;

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (6.45)$$

tenglamadan ko'rinib turibdiki, K ning qiymati har doim α ning eng kichik qiymatidan ham kam bo'ladi.

Agar $\alpha_1 = 40 \frac{Bm}{(M^2 \cdot K)}$, $\alpha_2 = 5000 \frac{Bm}{(M^2 \cdot K)}$ bo'lsa, u holda

$K = 39,7 \frac{Bm}{(M^2 \cdot K)}$ bo'ladi. α_2 qiymatning ortishi K ning qiymatiga ta'sir qilmaydi. $\alpha_1 = 40 \frac{Bm}{(M^2 \cdot K)}$ va $\alpha_1 = 10000 \frac{Bm}{(M^2 \cdot K)}$ bo'lganda $K = 39,8 \frac{Bm}{(M^2 \cdot K)}$ bo'ladi. K ning qiymatini anchagina oshirish uchun kichik qiymatli α ning qiymatini (bizning misolda α_1 ning qiymatini) o'zgartirish lozim.
 Agar $\alpha_2 = 5000$ va $\alpha_1 = 80$ bo'lsa, $K = 78,8 \frac{B_r}{(M_2 \cdot K)}$; $\alpha_1 = 200$ deb olinsa, $K = 192 \frac{B_r}{(M_2 \cdot K)}$.

Demak, $\alpha_1 \ll \alpha_2$ bo'lsa, jarayonni intensivlash uchun faqat α_1 ning qiymatini oshirish lozim ekan. Agar $\alpha_1 \approx \alpha_2$ bo'lsa, bunday issiqlik almashinish jarayonini tezlatish uchun ikkala α_1 , va α_2 , ning qiymatlarini ham oshirish maqsadga muvofiqdir.

Issiqlik almashinish jarayonlarini quyidagi usullar yordamida intensivlash mumkin; 1) issiqlik tashuvchi agentlarning tezligini ko'paytirish; 2) isitish yuzasini davriy ravishda tozalab turish; 3) asosiy suyuqlik oqimini pulpsatsion tebranishlar orqali yuberish; 4) suyuqlik oqimiga havoni haydash; 5) suyuqlikning yupqa qatlamli harakatini tashkil qilish va boshqalar. Har bir aniq sharoit uchun intensivlashning tegishli usulidan foydalanish maqsadga muvofiq.

6.8. Isitish, sovitish va kondensatsiyalash

Kimyo va oziq-ovqat sanoatida suyuqlik va gazlarni isitish va sovitish, bug'larni kondensatsiyalash kabi issiqlik jarayonlari keng tarqalgan. Bunday jarayonlar issiqlik almashinish qurilmalarida amalga oshiriladi.

Issiqlik almashinish jarayonlarida qatnashuvchi moddalar **issiqlik tashuvchi agentlar** deb yuritiladi. Yuqori haroratga ega bo'lib, o'zidan issiqlikni isitilayotgan muhitga beruvchi moddalar **isituvchi agentlar** deb yuritiladi. Sovitilayotgan muhitga nisbatan

past haroratga ega bo'lgan va o'ziga muhitdan issiqlikni oluvchi moddalar *sovituvchi agentlar* deb ataladi.

Kimyoviy texnologiyada ko'pincha bevosita issiqlik manbai sifatida yoqilg'ilarning yonishidan hosil bo'lgan gazlar va elektr energiyasi ishlatiladi. Bunday bevosita issiqlik manbalaridan issiqlik olib, o'zining issiqligini qurilmalarning devorlari orqali isitilayotgan muhitga beruvchi moddalar oraliq issiqlik tashuvchi agentlar deb ataladi.

Oraliq issiqlik tashuvchi agentlar qatoriga suv bug'i, issiq suv va yuqori haroratli issiqlik tashuvchi moddalar (qizdirilgan suv, mineral moylar, organik suyuqliklar va ularning bug'lari, suyultirilgan tuzlar, suyuq metallar va ularning qotishmalari) kiradi.

Oddiy haroratgacha ($10\div 30^{\circ}\text{C}$) sovitish uchun suv va havo kabi sovituvchi agentlar keng ishlatiladi.

Issiqlik tashuvchi agentlarni tanlashda ularning quyidagi xossalari ahamiyat berish kerak: 1) kerakli muhitni isitish yoki sovitish darajasi va uni boshqarish; 2) minimal massaviy va hajmiy sarflarda yuqori issiqlik almashinish tezligiga erishish; 3) qovushoqligi kam, zichlik, issiqlik sig'imi va bug' hosil bo'lish issiqligi yuqori; 4) yonmaydigan, zararsiz, issiqlikka chidamli bo'lgani ma'qul; 5) issiqlik almashinish qurilmasi tayyorlangan materialni buzmasligi kerak; 6) kamyob bo'lmasligi va arzon bo'lishi zarur.

Ko'pchilik sharoitlarda isituvchi agentlar sifatida ishlab chiqarishdan chiqayotgan mahsulotlar, yarim mahsulotlar va chiqindilarning issiqliklaridan foydalanish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir.

Suv bug'i bilan isitish. Sanoatda isituvchi agent sifatida to'yingan suv bug'i keng ishlatiladi. Suv bug'i bir qator afzalliklarga ega. Bug'ning kondensatsiyalanishida katta miqdorda issiqlik ajraladi, chunki bug'ning kondensatsiyalanish issiqligi $9,8\cdot 10^4$ Pa bosimda $2,26\cdot 10^6$ J/kg ga teng. Kondensatsiyalangan bug' orqali issiqlik berish ko'effitsiyenti yuqori $\alpha=10^4\div 1,2\cdot 10^4$ $\text{Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Natijada isitish uchun juda kam yuza talab qilinadi.

To'yingan suv bug'i ma'lum bir bosimda bir xil haroratda kondensatsiyalanadi, bu uning katta afzalligi hisoblanadi. Natijada tegishli isitish haroratsini juda aniq ushlab turish imkoniyati paydo bo'ladi. Kerak bo'lgan sharoitda bug'ning bosimini o'zgartirish yo'li bilan isitish darajasini boshqarish mumkin. Bug' kondensatidan foydalanish natijasida ham isituvchi qurilmalarning foydali ish koeffitsiyenti ancha yuqori bo'ladi. Suv bug'i yonmaydi va undan foydalanish ancha qulay. Suv bug'ining harorati ortishi bilan uning bosimi ham ortadi. Bu hol suv bug'ining asosiy kamchiligidir. Shu sababli amalda to'yingan suv bug'i yordamida faqat $150+180^{\circ}\text{C}$ gacha isitish mumkin (bunda bosim $0,5+1,2$ MPa ga teng bo'ladi). Katta bosimli bug'ni ishlatish uchun qalin devorli va qimmatbaho qurilmalar kerak bo'ladi.

O'tkir bug' bilan isitish. Bunda suv bug'i to'g'ridan-to'g'ri isitilayotgan suyuqlikka kiritiladi. Bug'ning kondensatsiyalanishda ajralib chiqayotgan issiqlik suyuqlikka o'tadi, hosil bo'lgan kondensat esa suyuqlik bilan aralashadi. Suyuqlikni bir paytning o'zida isitish va aralashtirish uchun barbotyor (mayda teshiklari bo'lgan truba) orqali suv bug'i yuboriladi. O'tkir bug' bilan isitish jarayonida isitilayotgan suyuqlik kondensat hisobiga ancha suyultiriladi. Shu sababli, odatda o'tkir bug' suv va suvli eritmalarni isitish uchun ishlatiladi.

Suyuqliklarni isitish uchun kerak bo'lgan o'tkir bug'ning sarfi quyidagi issiqlik balansi orqali topiladi:

$$G_{ct1} = DJ_b = G_{ct2} + D_{ck}t_2 + Q_Y \quad (6.46)$$

bu yerda, G – isitilayotgan suyuqlik miqdori, kg/s; D – isituvchi bug'ning sarfi, kg/s; s – isitilayotgan suyuqlikning o'rtacha solishtirma issiqlik sig'imi, J/(kg·K); t_1, t_2 – suyuqlikning isitishdan oldingi va keyingi haroratlari, K; J_b – isituvchi bug'ning solishtirma issiqlik entalpiyasi (issiqlik ushlashi), J/kg; s_k – kondensatning solishtirma issiqlik sig'imi, J/(kg·K); Q_Y – qurilmaning atrof-muhitga yo'qotgan issiqligi, V_t (sarf bo'lgan issiqlikning 3÷5% ni tashkil etadi).

Bundan o'tkir bug'ning sarfi:

$$D = \frac{Gc(t_2 - t_1) + Q_u}{J_6 - c_k t_2} \quad (6.47)$$

Kuchsiz bug' bilan isitish. Bunda issiqlik bug'dan suyuqlik biror ajratuvchi devor (masalan, qobiqli va zmeevikli qurilmalarda) orqali o'tadi. Isituvchi bug' to'la kondensatsiyalanadi va u qurilmaning isitish bo'shlig'idan kondensat sifatida chiqariladi. Kondensat haroratini bug'ning to'yinish haroratiga teng deb olish mumkin.

Kuchsiz bug'ning sarfi quyidagi issiqlik balansidan topiladi:

$$G c t_1 + D I_b = G c t_2 + D I_k + Q_y \quad (6.48)$$

yoki

$$D = \frac{Gc(t_2 - t_1) + Q_u}{J_6 - J_x}$$

bu yerda, I_k – kondensat entalpiyasi.

Issiq suv bilan isitish. Issiq suv yordamida odatda 100°C gacha isitish mumkin. 100°C dan yuqori haroratda isitish uchun yuqori bosimli issiq suv ishlatiladi. Ba'zan isitish uchun suv bug'ining kondensatidan foydalaniladi. Issiq suv tutun gazlari bilan isitiladigan suv isituvchi qozonlarda va bug' yordamida ishlaydigan isitkichlar (boyleylar) da olinadi.

Issiq suv bilan isitish bir qatorda kamchiliklarga ega. Issiq suv orqali issiqlik berish koeffitsiyenti kondensatsiyalanayotgan bug' orqali issiqlik berish koeffitsiyentiga nisbatan ancha kam. Issiqlik almashinish yuzasi bo'ylab issiq suvning haroratsi o'zgarib boradi, bu hol esa bir tekisda isitishni tashkil qilish va isitish jarayonini boshqarishni qiyinlashtiradi. Ayrim sharoitlarda yuqori haroratlarga gacha isitish uchun o'ta qizdirilgan suv ishlatiladi. Bunday suv isituvchi agent sifatida kritik bosimlarda (22 MPa) ishlatiladi. Bunday kritik bosimga 347°C harorat to'g'ri keladi. Shu sababli o'ta qizdirilgan suv yordamida materiallarni taxminan 350°C gacha isitish mumkin. Bunda isitish yuqori bosimni ishlatish bilan bog'liq bo'lganligi sababli qurilmasi murakkablashadi va u qimmat turadi.

O'ta qizdirilgan suv yoki boshqa suyuq holatdagi issiqlik tashuvchi agentlar yordamida isitish tabiiy yoki majburiy sirkulatsiya bilan ishlaydigan qurilmalarda olib boriladi.

Tutun gazlari bilan isitish

Tutun gazlari bilan isitish turli sanoat sohaslarida ancha vaqtdan beri qo'llanilib kelinayotgan usullardan biridir. Tutun gazlari suyuq, gazsimon va qattiq yoqilg'ilarni maxsus o'txonalarida yondirish natijasida hosil bo'ladi. Ushbu gazlar yordamida 1000...1100°C harakatgacha isitish mumkin.

Tutun gazlari yordamida isitishning kamchiliklari: kichik issiqlik berish koeffitsiyenti [$35...60 \text{ Vt/(m}^2 \cdot \text{K)}$]; temperaturalarining farqi juda katta va isitish jarayoni bir tekisda emas; temperaturani rostlash murakkab; qurilma devorlarining oksidlanishi va tutun tarkibida zararli moddalarning borligi, ushbu usulni oziq-ovqat mahsulotlarini qayta ishlashda qo'llash mumkin emas.

Lekin, kimyo sanoatida tutun gazlarini qo'llash katta samara beradi, chunki ushbu gazlarni ishlatishda qo'shimcha yoqilg'i talab etilmaydi. Shuning uchun tutun gazlarini isitish jarayonida qo'llash iqtisodiy jihatdan juda foydalidir.

Yuqori temperaturali organik suyuqlik va ularning bug'lari bilan isitish

Ushbu guruh issiqlik eltkichlariga quyidagi organik moddalar kiradi: glitserin, etilenglikol, naftalin, difenil efiri, difenilmetan, ditolilmetan, difenil va polifenollarni xlorlash mahsulotlari, mineral moylar, tetraxlordifenil, kremniy organik birikmalar va hokazolar.

Sanoatda eng keng tarqalgan yuqori temperaturali organik suyuqliklardan biri difenil aralashma (26,5 - difenil va 73,5% - difenil efiri) sidir. Ushbu issiqlik eltkich sirkulatsion usulda isitish uchun ishlatiladi va erkin sirkulatsiya sharoitida issiqlik berish koeffitsiyenti $200...350 \text{ Vt/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

Difenil aralashmasining asosiy afzalliklaridan biri shundaki, yuqori bosim ishlatmasdan turib yuqori temperaturalar olish mumkinligidir. Masalan, 300°C temperaturada suv bug'ining bosimi 87,6 at bo'lsa, difenil aralashmasida esa - atigi 2,4 at.

Ushbu guruhdagi organik suyuqliklar yordamida 250...400°C temperaturagacha isitish mumkin.

Suv yoki boshqa issiqlik etkichning isitish uchun ketgan sarfi issiqlik balansidan aniqlanadi:

$$G_c c_c t_{cg} + G_m c_m t_{mg} = G_c c_c t_{max} + Q_{yqk} \quad (6.49)$$

bu yerda, G_c va G_m – suv va mahsulotning massaviy sarflari, kg/soat; s_s va s_m – suv va mahsulotning issiqlik sig'implari, kJ/(kg·K); t_{sb} va t_{mb} – suv va mahsulotning boshlang'ich temperaturalar, °C; t_{sax} va t_{max} – suv va mahsulotning chiqishdagi temperaturalar, °C; $Q_{yo'q}$ – atrof-muhitga issiqlikning yo'qotilishi, kJ/soat.

(13.4) dan suvning sarfini topish mumkin:

$$G_c = \frac{G_m c_m (t_{max} - t_{mg}) + Q_{yqk}}{c_c (t_{cg} - t_{cax})} \quad (6.50)$$

Elektr toki bilan isitish

Elektr toki yordamida materiallarni juda katta temperatura oralig'ida isitish, zarur temperaturani ushlab turish va oson rostlash mumkin. Undan tashqari, elektr isitish moslamalari sodda, ixcham, ishlatish va ta'mirlash qulaydir. Lekin, elektr toki bilan isitish ancha qimmat.

Elektr tokini issiqlik energiyasiga aylantirish usuliga qarab ushbu usul bir necha turga bo'linadi: elektr qarshiligi yordamida isitish, induksion isitish, yuqori chastotali isitish, elektr yoyi bilan isitish.

Elektr qarshiligi yordamida 1000...1100°C gacha isitish mumkin. Atrof-muhitga issiqlik yo'qotilishini bartaraf qilish uchun o'txona

issiqlik qoplamasi bilan o'raladi. o'txonaning asosiy isitish elementlari sim yoki lentasimon qilib nixrom qotishmasidan yasaladi.

Induksion isitish qurilma devori qalinligida o'zgaruvchan tok maydoni ta'sirida foydali ish koeffitsiyenti uyurmaviy toklari hosil bo'ladi va ular issiqlik ajralib chiqishga sababchi bo'ladi.

Ushbu usulda bir tekisda isitish mumkin. Odatda induksion isitishda 400°C temperaturaga erishish va kerakli temperatura yuqori aniqlikda ushlab turish mumkin.

Bu usulning kamchiliklaridan biri – bu uning qimmatli. Isitishni arzonlashtirish uchun kombinatsiyalashgan usuldan foydalaniladi. Buning uchun mahsulot to'yingan suv bug'i yordamida 180°C gacha qizdiriladi va undan keyin induksion usulda kerakli temperatura gacha isitiladi.

Yuqori chastotali isitish. Ushbu usulda elektr toki o'tkazib beriladigan materiallar isitiladi, shuning uchun ham *dielektrik usul* deb nomlanadi.

Yuqori chastotali isitigichning ishlash prinsipi quyidagicha: o'zgaruvchan elektr maydoniga joylashtirilgan material molekullari maydon chastotasi bilan tebranma harakat qila boshlaydi va qutblanadi. Material molekullarining tebranma harakat energiyasi dielektrik molekullari orasidagi ishqalanish kuchini yengish uchun sarflanadi va material massasida issiqlikka aylanadi. Ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori tok chastotasi va kuchlanish kvadrati proporsionaldir. Isitish bu usulda bir tekisda bo'ladi. Undan tashqari isitish temperaturasi oson va aniq rostlanadi. Lekin, bu turdagi isitigichlar murakkab va ularning foydali ish koeffitsiyenti juda past bo'ladi. Ushbu usulda ishlaydigan isitigichlarda $1 \cdot 10^6 \dots 1 \cdot 10^8$ o'zgaruvchan chastotali toklar qo'llaniladi.

Elektr toki yordamida isitish jarayonida ajralib chiqadigan issiqlik miqdori issiqlik balansidan topiladi:

$$Q_{\Sigma} + Gct_{\Sigma} = Gct_{ax} + Q_{yox} \quad (6.5)$$

bu yerda, Q_{Σ} – elektr toki o'tganda elektr isitish moslamasidan ajralib chiqqan issiqlik miqdori, kJ/soat; G – isitilayotgan qurilma

qayta ishlanayotgan mahsulot miqdori, kg/soat; s – material solishtirma issiqligi, J/(kg·K); t_{δ} , t_{ox} – materialning boshlang'ich va oxirgi temperaturalari, °C; $Q_{yo'q}$ – atrof-muhitga yo'qotilayotgan issiqlik miqdori, kJ/soat.

(6.51) tenglamadan

$$Q_s = Gc \cdot (t_{ox} - t_{\delta}) + Q_{uyr} \quad (6.52)$$

Isituvchi elementlar quvvati esa ushbu ifodadan aniqlanadi:

$$N = \frac{Q}{3600} \quad (6.53)$$

6.9. Oddiy haroratlargacha sovitish

Taxminan 10-30 °C largacha sovitish uchun eng arzon va qulay sovituvchi agentlar – suv va havo keng ishlatiladi. Havoga nisbatan suvning issiqlik sig'imi va issiqlik berish koeffitsiyenti katta. Sovitish uchun daryo, ko'l va quduqdan olingan suvlar ishlatiladi. Agar suv tanqis bo'lsa, issiqlik qurilmalaridan qayta chiqqan suyuqlik ochiq havzalarda qisman bug'latish hisobiga yoki gradirnyalarda havo oqimi yordamida sovutilgandan So'ng qaytadan sovituvchi agent sifatida foydalaniladi.

Sovitish darajasi suvning boshlang'ich haroratiga bog'liq. Daryo va ko'l suvning harorati yil fasllariga ko'ra 12-25 °C, quduq suvlari 8-15 °C, ishlab chiqarishda ishlatilib bo'lingan suv taxminan 30°C (yoz sharoitlarida) haroratga ega bo'ladi. Issiqlik almashinish qurilmalarini loyihalashda suvning yoz paytiga to'g'ri keladigan harorati olinadi. 50°C dan yuqori haroratda suvning tarkibida erigan tuzlar cho'kmaga tushib, issiqlik almashinish qurilmasining yuzasiga o'tirib qoladi, bu hol issiqlik jarayonlarining samaradorligini kamaytiradi. Shu sababli issiqlik qurilmalaridan chiqayotgan suvning harorati 40-50°C dan oshmasligi zarur.

Sovitish jarayoni uchun kerak bo'lgan suvning sarfi (W , kg/s) issiqlik balansi tenglamasidan topiladi:

$$G c_m (t_b - t_0) = W c_c (t_2 - t_1) \quad (6.54)$$

Bundan

$$W = \frac{G c_m (t_b - t_0)}{C_c (t_2 - t_1)} \quad (6.55)$$

bu yerda, G – sovitilayotgan muhitning sarfi, kg/s; S_m – sovitilayotgan muhitning o'rtacha solishtirma issiqlik sig'imi $J/(kg \cdot K)$; S_s – suvning solishtirma issiqlik sig'imi, $J/(kg \cdot K)$; t_b , t_0 – sovitilayotgan muhitning boshlang'ich va oxirgi harorati, K ; t_1 , t_2 – sovituvi suvning dastlabki va oxirgi harorati, K . (13.10) tenglamani tuzishda issiqlikning atrof-muhitga yō'qolishi (Q) hisobga olinmagan.

Suv odatda yuzali issiqlik almashinish qurilmalarida (sovitkichlarda) sovituvi agent sifatida ishlatiladi. Bunday sovitkichlarda suv pastdan yuqoriga qarab harakat qiladi, bundan tashqari, aralashtirish yo'li bilan ishlaydigan issiqlik almashinish qurilmalarida ham suv ishlatiladi, masalan, sovitish va namlash uchun gaz oqimiga suv sohib beriladi.

Agar sovitilayotgan muhitning harorati atmosfera bosimida suvning qaynash haroratidan yuqori bo'lsa, bunda sovitish jarayoni suvning qisman bug'lanishi bilan boradi. Bu hol sovitish uchun suvning sarfini kamaytiradi. Bug'lanish bilan boradigan sovitish jarayoni namlab turiluvchi sovitkichda, gradirnyada va boshqa issiqlik almashinish qurilmalarida ishlatiladi.

Suvni tejash va atrof-muhitni muhofaza qilish uchun suvdan qaytadan foydalanish tizimini joriy etish maqsadga muvofiq bo'ladi. Bunda suv iste'moli tejimli bo'ladi va oqindi suvlar miqdori kamayadi. Issiqlik almashinish qurilmalarida ishlatilib bo'lingan suvdan, gradirnyalarda sovitilganda So'ng, qaytadan sovituvi agent sifatida foydalaniladi.

Hozirgi vaqtda sovituvi agent sifatida oddiy havo ham keng ishlatilmoqda. Issiqlik almashinishini yaxshilash uchun havo oqimi ventilator yordamida majburiy sirkulyasiya qilinadi va havo oqimi tomonidan issiqlik almashinish yuzasi ko'paytiriladi (masalan, qurilmalarning yuzasi qovurg'ali qilib tayyorlanadi). Tajriba shuni

ko'rsatdiki, sanoatda bug'ni kondensatsiyalash qurilmalarida majburiy sirkulatsiyali havo oqimi yordamida sovitish suv bilan sovitishga nisbatan tejamliroqdir. Bundan tashqari, havo bilan sovitishdan foydalanish suvning umumiy sarfini kamaytiradi, bu hol esa suv resurslari kam joylar uchun katta ahamiyatga ega.

Havo bilan sovitishning asosiy afzalliklari: 1) hamma joyda mavjud bo'lgan sovituvchi agent; 2) sovitish yuzasining tashqi tomonini amaliy jihatdan iflos qilmaydi.

Havoning sovituvchi agent sifatida suvga nisbatan kamchiliklari ham bor: havoning issiqlik berish koeffitsiyenti kichik ($58 \text{ Vt/m}^2 \cdot \text{K}$ gacha); havoning solishtirma issiqlik sig'imi nisbatan kam ($1 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$). Shu sababdan havoning massaviy sarfi suvning sarfiga nisbatan 4 marotaba katta bo'ladi.

Havo sovituvchi agent sifatida aralashtirish usuli bilan ishlaydigan issiqlik almashinish qurilmalarida (gradimyalarda) keng ishlatilmoqda. Gradimiyalar ichi bo'sh vertikal qurilma bo'lib, uning yuqorigi qismidan suv sohib turiladi, pastdan yuqoriga ventilator yordamida havo haydaladi. Suv va havo o'rtasidagi kontakt yuzasini ko'paytirish uchun qurilmaning ichiga nasadkalar joylashtirilgan.

Pastroq haroratgacha (masalan, 0°C gacha) sovitish uchun sovitilishi lozim bo'lgan suyuqlikka muz yoki sovitilgan suv qo'shiladi. Bunda sovitilishi lozim bo'lgan suyuqlik suyuqlashadi. Sovitish uchun kerak bo'lgan muzning miqdori (G_m , kg/s) issiqlik balansi tenglamasidan topiladi:

$$G_m(335,2 + s_s t_o) = G c (t_o - t_b); \quad (6.56)$$

Bundan

$$G_m = \frac{G_c(t_o - t_b)}{335,2 + c_s t_o} \quad (6.57)$$

bu yerda, G – sovitilayotgan suyuqlikning massasi, kg/s; s – sovitilayotgan suyuqlikning solishtirma issiqlik sig'imi, $\text{kJ/(kg} \cdot \text{K)}$; s_s – suvning solishtirma issiqlik sig'imi, $\text{kJ/(kg} \cdot \text{K)}$; t_o , t_b –

sovitilayotgan suyuqlikning oxirgi va boshlangich haroratlari, K ; 335,2 kJ/(kg·K) – muzning erish issiqligi.

Muz yoki qora kristall shaklidagi osh tuzi (NaCl) dan qo'shilsa, bunday aralashmaning erish harorati 0°S dan past bo'ladi va bu qiymat aralashmadagi tuzning miqdoriga bog'liq bo'ladi. Tarkibida 29% osh tuzi bor muz aralashmasi eng past harorat ($-21,2^{\circ}\text{C}$) ga ega bo'ladi.

Sovitish texnikasida oraliq sovuq tashuvchi agent sifatida tuz eritmaları (NaCl va CaCl_2) ishlatiladi.

Ancha past haroratgacha ($<0^{\circ}\text{C}$) sovitish uchun maxsus sovituvchi agentlar, masalan, past haroratda qaynaydigan ammiak va xladonlar ishlatiladi.

6.10. Bug'larni kondensatsiyalash

Kimyo va oziq-ovqat texnologiyada bug'larni suv yoki sovuq havo yordamida sovitish yo'li bilan kondensatsiyalash keng ishlatiladi. Bug'ni kondensatsiyalashdan bug'latish, vakuum kuritish va boshqa jarayonlarda siyraklanish (yoki vakuum) hosil qilish uchun foydalaniladi. Kondensatsiyalanishi lozim bo'lgan bug' tegishli qurilmadan chiqarilib, kondensatorga beriladi. Kondensatorda bug' suv yoki havo yordamida kondensatsiyalanadi. Bug'ning kondensatsiyalanishidan hosil bo'lgan kondensatning hajmi bug'ning hajmiga nisbatan taxminan ming marta kichik, shu sababli kondensatorda siyraklanish paydo bo'ladi. Kondensatsiyalanishning harorati pasayishi bilan siyraklanish darajasi ortadi.

Kondensatorning ish hajmida, bug'ning kondensatsiyalanishi bilan birga havo va kondensatsiyalanmaydigan gazlar yig'ilib qoladi. Natijada kondensatsiyalanmaydigan gazning parsial bosimi orta boradi, bu o'z navbatida qurilmadagi vakuumni kamaytiradi. Shu sababli vakuumning qiymatini ma'lum darajada tutib turish uchun kondensatordan kondensatsiyalanmay qolgan gazlarni uzluksiz ravishda so'rib olib turish kerak. Bu vazifa vakuum-nasos yordamida amalga oshiriladi.

Sovitish usuliga ko'ra aralashtiruvchi va yuzali kondensatorlar bo'ladi. Aralashtiruvchi kondensatorlarda bug' va sovituvchi suv o'zaro

to'g'ridan-to'g'ri aralashadi, Hosil bo'lgan kondensat esa suv bilan qo'shilib ketadi. Agar kondensatsiyalanishi lozim bo'lgan bug' qimmatbaho bo'lmasa, bunda jarayon aralashtiruvchi kondensatorlarda olib boriladi. Issiqlik almashinishini yaxshilash uchun sovituvchi suv sohib (purkab) beriladi, natijada suv va bug' o'rtasidagi kontakt yuza ortadi.

Qurilmadan suv, kondensat va kondensatsiyalanmay qolgan gazlarni chiqarish usuliga ko'ra ho'l va quruq aralashtiruvchi kondensatorlar bo'ladi. Ho'l kondensatorlardan suv, kondensat va gazlar bitta maxsus vakuum-nasos yordamida chiqarib tashlanadi. Quruq (yoki barometrik) kondensatorlardan suv va kondensat birgalikda o'z oqimi bilan chiqib ketadi, gazlar esa quruq vakuum-nasos yordamida so'rib olinadi.

Yuzali kondensatorlarda bug' va sovituvchi agent (suv yoki havo) o'rtasidagi issiqlik almashinish jarayoni devor orqali amalga oshiriladi. Bunday qurilmalarda bug'larning kondenslanishi sovitilib turiladigan trubalarning Tashqi yoki ichki yuzalarida yuz beradi. Hosil bo'lgan kondensat va sovituvchi agent qurilmadan alohida-alohida chiqariladi. Agar kondensat ishlab chiqarish ahamiyatiga ega bo'lsa, u qaytadan ishlatilishi mumkin.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Asosiy jarayonlar qanday jarayonlarga bo'linadi?
2. O'xshashlik teoremlarini tushuntirib bering?
3. Eylarning differensial tenglamasini yozing
4. Nave-Stoks differensial tenglamasini yozing.
5. Bernulli tenglamasini yozing.
6. Suyuqliklarni necha turdagi harakat rejimlari bor?
7. Suyuqliklarni oqib chiqish tenglamasini yozing.
8. Mahalliy qarshilik deb nimaga aytiladi?
9. Umumiy gidravlik qarshilik tenglamasini yozing.
10. Aralashtirish necha xil usulda olib boriladi?
11. Aralashtirgichni qanday turlarini bilasiz?
12. Turli jinsli sistemalar necha guruhlariga bo'linadi?
13. Cho'ktirish deb nimaga aytiladi?
14. Ajratishda qanday usullardan foydalaniladi?
15. Cho'kish tezligi formulasini yozing.
16. Suspeziya deb nimaga aytiladi, suspeziyalarning zarra-chalarini o'lchami qanday bo'ladi?
17. emulsiya deb nimaga aytiladi va emulsiyalarga misollar keltiring?
18. Gazsimon sistemalar necha guruhga bo'linadi?
19. Tumanlar qanday hosil bo'ladi va kondensatsiylanish jarayonini tushuntiring?
20. Aerodispers sistemalar qaysilar?
21. Filtrlash deb nimaga aytiladi?
22. Tarelkali separatorni tushuntirib bering.
23. Cho'ktiruvchi va filtrlovchi sentrifuganing ishlash prinsipida qanday farq bor?

24. Ultrafiltrlash jarayonining mohiyati nimadan iborat?
25. Gazlarni changlardan tozalashdan maqsad nima?
26. Gazsimon aralashmalar qanday usullar bilan ajratiladi?
27. Siklonning ishlash prinsipini tushuntiring?
28. Uyurmali chang ushlagichlarni ish prinsipini tushuntiring?
29. Rotatsion chang ushlagichlarni ish prinsipini tushuntiring?
30. Bug'ning kondensatsiyalanishi deganda nimani tushunasiz?
31. Sovitish uchun qanday agentlar ishlatiladi?
32. Bug'ni kondensatsiyalash jarayonining mazmuni va uning ahamiyati.
33. Issiqlik almashinish qurilmalarida qanday jarayonlar olib boriladi?
34. Oraliq issiqlik tashuvchi agentlar qaysilar?
35. Oddiy haroratgacha sovitish uchun qanday agentlardan foydalaniladi?
36. Issiqlik tashuvchi agentlarni tanlashda ularning qanday xossalriga e'tibor berish kerak?
37. Issiq suv bilan isitish qanday kamchilikka ega?
38. Sanoatda qaysi to'rdagi qurilmalar keng tarqalgan?
39. Nima uchun sanoatda ko'proq qobiq-trubali issiqlik almashgichlar ishlatiladi?
40. Trubali issiqlik almashgichning boshqa qanday turlari mavjud?
41. Plastinali va spiralsimon issiqlik almashgichlarning afzalliklari nimada?
42. Qanday sovitish qurilmalarini bilasiz?
43. Issiqlik almashinish qurilmalarini tanlashda qanday umumiy qonuniyatlarga amal qilish kerak?
44. Havo bilan sovitiladigan qurilmalar ishlash prinsipi qanday?

45. Qish paytida kondensatsiyalangan mahsulotni o'ta sovib ketishini oldini olish uchun nima qilish kerak?
46. Kondensatsiyalanish jarayoni deb nimaga aytiladi?
47. Plastinali va speralsimon issiqlik almashtirgichlarni afzalligi va kamchiligini ayting?
48. Loyihalash uchun qanday hisoblar bajariladi.
49. Hisoblash uchun qanday ma'lumotlar beriladi.
50. Issiqlik miqdori qanday tenglamadan topiladi.
51. Konstruktiv hisoblashning maqsadi nima?
52. Gidravlik hisoblashdan maqsad nima?
53. Isitilayotgan muhitning o'rtacha haroratini tenglamasini yozing?
54. Sovituvchi sodda miqdori qanday aniqlanadi?
55. Bug' sarfi qanday aniqlanadi?
56. Trubali issiqlik almashinish qurilmasini ichki diametri qanday topiladi?
57. Trubkaning diametri qanday topiladi?
58. Bug'latish deb nimaga aytiladi?
59. Birlamchi bug' deb nimaga aytiladi?
60. Bug'latish jarayonlari qanday bosimlarda olib boriladi?
61. ekstra bug' deb nimaga aytiladi?
62. Bir korpusli bug'latish qurilmasining ishlash prinsipini ayting?
63. Ko'p korpusli bug'latish qurilmasining ishlash prinsipini ayting?
64. Sanoatda asosan necha xil bug'latish qurilmalari keng tarqalgan?
65. Sirkulatsion trubali bug'latish qurilmalarini tushuntiring.
66. Plyonkali bug'latish qurilmalarini tushuntiring.

67. Maxsus turdagi bug‘latish qurilmalarini tushuntiring.
68. Bug‘latish jarayonlari qanday bosimlarda olib boriladi?
69. Ekstra bug‘ deb nimaga aytiladi?

TAYANCH SO‘ZLARGA IZOH

Absorber (*lat*) – absorbsiya jarayonini amalga oshiriladigan qurilma.

Absorbsiya (*lat*) – gaz yoki bug‘ aralashmasidagi moddalarning suyuqlikka yutilishi. Absorbsiya jarayoni yutkich (absorbent)ning butun xajmi bo‘yicha yuz beradi.

Avtoklav (*frans*) – qizdirib va atmosfera bosimidan yuqori bosim ostida turli jarayonlar o‘tkaziladigan qurilma.

Agregat (*lat*) – mashinaning to‘la o‘zaro almashinadigan va texnologik jarayonida mahlum vazifani bajaradigan yiriklashgan, unifikatsiyalangan elementi yoki birgalikda ishlaydigan bir qancha mashinalarning mexanik birikmasi.

Adsorbentlar (*lat*) – yuqori darajada rivojlangan sirtida yutilish jarayoni o‘tadigan sintetik va tabiiy jismlar (aktiv ko‘mir, silikagelp, alumogelp, tabiiy aktiv loylar).

Adsorber (*lat*) – adsorbsiya jarayonini amalga oshiriladigan qurilma.

Adsorbsiya (*lat*) – gaz yoki suyuqlik aralashmasidagi moddalarning qattiq jism sirtiga yutilishi.

Apparat (*lat*) – asbob, texnik qurilma, moslama.

Barbotaj (*frans.*) – aralashtirish, suyuqlik qatlamidan gaz yoki bug‘ni bosim bilan o‘tkazish.

Barbotyor (*frans.*) – idishning ichiga suv bug‘i yoki gaz berishga mo‘ljallangan turli shaklga ega bo‘lgan teshikli tuba.

Vakuum (*lat.*) – idishga qamalgan, bosim atmosfera bosimidan anchagina past bo‘lgan gaz holati.

Vakuum-nasos (*lat., rus.*) – siyrak gazlar (vakuum) hosil qilish maqsadida idishlardan gaz yoki bug‘larni so‘rib oladigan qurilma.

Ventil (*nem.*) – trubada harakatlanuvchi suyuqlik, gaz yoki bug‘ berish miqdorini zolotnik yordamida rostlaydigan berkitish-ochish moslamasi.

Ventilator (*lat.*) – xonalarni shomollatish, aeroaralashmalarni trubalarda uzatishda havo yoki boshqa gazlarni haydash uchun kichik bosim (0,01MPa gacha) hosil qiladigan qurilma.

Gazoduvka (*rus.*) – havo yoki boshqa gazlarni siqish va haydash uchun o‘rtacha bosim (0,01 da 0,3 MPa gacha) hosil qiladigan qurilma.

Gidravlika (*yunon*) – suyuqliklarning harakati va muvozanat qonunlarini hamda bu qonunlarni muxandislik masalalarini hal qilishda tatbiq etish usullarini o‘rganuvchi fan.

Gidrodinamika (*yunon.*) – gidromexanikaning siqilmaydigan suyuqliklar harakatini va ularning qattiq jismlar bilan o‘zaro ta‘sirini o‘rganadigan bo‘limi.

Gidromexanika (*yunon*) – suyuqlikning muvozanati va harakatini, shuningdek, suyuqlikning unga botirilgan yoki unda harakatlanayotgan jism bilan o‘zaro ta‘sirini o‘rganadi.

Gidrostatika (*yunon.*) – gidromexanikaning qo‘yilgan kuchlar ta‘sirida suyuqliklarning muvozanat sharoitlarini, shuningdek sokin suyuqliklarning ularga botirilgan jismlarga va idish devorlariga ta‘sirini o‘rganadigan bo‘limi.

Gradirnya (*nem.*) – suvni atmosfera havosi bilan sovitish qurilmasi.

Granulalash (*lat.*) – moddaga mayda bo‘laklar (granulalar) shaklini berish jarayoni.

Desorbsiya (*lat*) – yutilgan moddalarning adsorbent, ionit sirtidan yoki absorbent hajmidan chiqarib tashlash, sorbsiyaga teskari jarayon.

Distillasiya (*lat*) – ko‘p komponentli suyuq aralashmalarni qisman bug‘latish va hosil bo‘lgan bug‘ni kondensatsiyalash yo‘li bilan ularni tarkiban farq qiluvchi fraksiyalarga ajratish.

Diffuziya (*lat*) – muhit zarralarining harakati; moddaning koʻchishiga va muhitda muayyan xildagi zarralar konsentratsiyalarining tenglashishi yoki ular konsentratsiyalarining teng taqsimlanishiga sabab boʻladi. Muhitda makroskopik harakat (masalan, konveksiya) boʻlmaganda molekular (atomlar) diffuziyasi ularning issiqlik harakatiga bogʻliq boʻladi; bunday diffuziya molekular diffuziya deb yuritiladi. Muhitda harorat, elektr maydonlari va shu kabilar doimo oʻzgarib turganda diffuziya konsentratsiyalarning tegishli gradiyent boʻyicha muvozanatli taqsimlanishiga olib keladi (termodiffuziya, elektrodifuziya va boshqalar).

Zadvijka (*rus.*) – truboprovoddagi oqim miqdorini pona shakliga ega boʻlgan zatvor yordamida rostlaydigan berkitish-ochish moslamasi.

Zaslodka (*rus.*) – kanal (truba)ning kesim yuzini oʻzgartiradigan hamda shu yoʻl bilan undan oʻtadigan gaz yoki suyuqlik massasi va hajmini rostlaydigan moslama.

Kompressor (*lat.*) – havo yoki gazni 0,3 MPa va undan yuqori bosim bilan siqadigan mashina.

Kondensat (*lat.*) – gaz yoki bugʻni kondensatsiyalashda hosil boʻladigan suyuqlik.

Kondensator (*lat.*) – moddalarni sovitish yoʻli bilan gaz (bugʻ) holatdan suyuq holatga oʻtkazadigan issiqlik almashtirgich.

Kondisioner (*lat.*) – havoni kondisirlash sistemalarida havoга ishlov beradigan va uni haydaydigan agregat.

Kran (*goll.*) – trubadagi berkitish – ochish uchun joʻmrak. Uning qoʻzgʻaluvchan detali (tiqini) teshikli aylanuvchi jism shaklida boʻlib, suyuqlik (gaz) oqimi yoʻlini ochish va berkitishda oʻz oʻqi atrofida oqim yoʻnalishiga perpendikulyar ravishda buriladi.

Konveksiya (*lat*) – muhit (gaz, suyuqlik) makroskopik qismining siljishi; massa issiqlik va boshqa fizik miqdorlarining koʻchishiga sabab boʻladi. Konveksiya muhitning har xil jinsliliği (harorat va zichlik gradiyentlari) sababli yuzaga keluvchi tabiiy

(erkin) va muhitga tashqi ta'sir (nasos, ventilator va boshqalar) bo'lgandagi majburiy turlarga bo'linadi.

Kondensatsiya (*lag*) – moddalarning gazsimon holatdan suyuq yoki qattiq holatga o'tishi.

Konstruksiya (*lat*) -- biror qurilma, mexanizm va boshqa qismlarning tuzilishi, joylashish tartibi, tarkibi.

Kontakt (*lat*) – turli holatdagi jismlarning bir-biriga tutashish sirti, joyi, zonasi.

Konsentratsiya (*lat*) – eritma, aralashma, qotishma tarkibidagi, uning massasi (yoki hajmi) birligidagi modda miqdori.

Korroziya (*lat*) – qattiq jismlarning o'z-o'zidan yemirilishi; jism sirtida uning tashqi muhit bilan o'zaro ta'siri tufayli avj oluvchi kimyoviy va elektrokimyoviy jarayonlardan vujudga keladi.

Korpus (*lat*) – mashina, mexanizm, asbob, qurilmalarning boshqa detallar montaj qilinadigan asosiy qismi.

Kristallizatsiya (*yunon*) – bug'lar, eritmalar, erigan metallar, boshqa kristall yoki amorf holatdagi moddalardan kristall hosil bo'lish jarayoni. Kristallizatsiya biror chegaraviy sharoitda, masalan, suyuqlikning o'ta sovishi yoki bug'ning o'ta to'yinishi holatiga yetganda boshlanadi.

Mashina (*frans.*) — energiya, materiallar yoki informatsiyani o'zlashtirish maqsadida mexanik harakat bajaruvchi qurilma. Kimyoviy texnologiyada - odatda material (yoki ishlov beriladigan narsa)ning shakli, xossasi, holati, vaziyatini o'zgartiradigan qurilma.

Manometr (*yunon.*) – suyuqlik va gaz bosimini o'lchaydigan asbob. Bunday asboblarda bir necha turga bo'linadi: noldan (to'la vakuumdan) hisoblanadigan bosimni o'lchaydigan manometrlar; ortiqcha bosimni, ya'ni absolyut bosim atmosfera bosimidan katta bo'lganda. Atmosfera bosimini o'lchash uchun barometrlar, nolgacha yaqin bosimlarni o'lchash uchun vakuummetrlar ishlatiladi.

Nasos (*rus.*) – suyuqlikni bosim ostida haydaydigan gidromashina.

Prosess (*lat*) – hodisalarning izchil almashinib turishi, biror narsaning taraqqiyot holati, jarayon.

Patrubok (*rus.*) – asosiy truba, rezervuar yoki qurilmalardan gaz, bug' yoki suyuqlik olinadigan qisqa truba.

Rafinasiya (*frans*) – oziq-ovqat mahsulotlari (spirt, o'simlik moylari va boshqalar)ni aralashmalardan tozalash. Rafinatsiyaning gidratatsiya, kislota bilan ishlash, ishqorlar bilan neytrallash, dezodoratsiya va boshqa usullari bor. Nodir metallarni tozalash affinaj deb ataladi.

Reaktor (*lat*) – kimyoviy reaksiyalar o'tkaziladigan qurilmalar. Sanoatda kolonna, kamera, avtoklav va boshqa nomlar bilan ataladi.

Salpnik (*rus.*) – mashinalarning qo'zg'aluvchi va qo'zg'almas detallari masalan (shtok va silindr) orasidagi tirqishni gernetik berkitib turadigan mashina detali.

Sorbentlar (*lat*) – gaz, bug' va erigan moddalarni yutadigan qattiq yoki suyuq moddalar. Gaz va bug'ni butun hajmicha yutuvchi suyuq sorbentlar absorbentlar deyiladi. Yutilayotgan gaz, bug' yoki erigan moddalarni yuzasiga to'playdigan qattiq sorbentlar adsorbentlar deyiladi. Ion almashinuvchi smolalar (ionitlar) sorbentlar-niing alohida guruhiga mansub.

Sorbsiya (*lat*) – gaz, bug' yoki erigan moddalarni qattiq jism yoki suyuqlikda yutilishi. Sorbsiyaning absorbsiya, adsorbsiya, xemosorbsiya, ion almashinuvchi sorbsiya, kapillar kondensatsiya turlari mavjud. Sorbsion jarayonlar sanoatda kimyoviy mahsulotlar, gazlar va boshqalarni tozalashda keng qo'llaniladi.

Skrubber (*ing.*) – changli gazlarni yuvish yo'li bilan tozalaydigan qurilma.

Standart (*ing*) – norma, andoza, namuna, o'lcham. Keng mah-noda boshqa obhekt (mahsulot)larni taqqoslash uchun dastlabki oboekt deb qabul qilingan o'ziga o'xshash namuna, etalon, model. Standart bajarilishi lozim bo'lgan bir qancha shartlardan iborat hujjat holida, kattaliklar birliklari yoki fizik konstantalar holida taqqoslash uchun biror predmet holida bo'lishi mumkin.

Suspenziya (lat.) – suyuq dispersion muhitli va zarrali broun harakatiga to'sqinlik qila oladigan darajada yirik bo'lgan dispers fazali turli jinsli sistemalar.

Texnologiya (yunon) – ishlab chiqarish jarayonida tayyor mahsulot olish uchun ishlatiladigan xomashyo, material yoki yarim fabrikatlarning holati, xossasi va shakllarini O'zgartirish, ularga ishlov berish, tayyorlash uslublari majmui; xomashyo, material va yarim fabrikatlarga mos ishlab chiqarish qurollari ta'sir etish usullari haqidagi fan.

Turbulent oqim (lat.) – zarachalari murakkab trayektoriyalar bo'yicha turg'unlashmagan tartibsiz harakatlanadigan suyuqlik (yoki gaz) oqimi. Bunday holatda suyuqlik tezligi va uning bosimi oqimining har bir nuqtasida tartibsiz O'zgaradi.

Filtr (frans) – qattiq va suyuq fazali har xil jinsli sistemani g'ovak to'siqlar bilan o'tkazib tarkibiy qismlarga ajratadigan, quyultiradigan yoki tindiradigan qurilma.

Flanes (nem.) – truba, armatura, rezervuar, vallar va boshqalarning birlashtiruvchi qismi; odatda, boltlar yoki shpilkalar o'tkazish uchun bir tekisda joylashgan teshiklari bo'lgan yassi halqa yoki diskdan iborat.

Forsunka (ing.) – suyuqlikni zarralarga aylantiradigan bir necha teshikli qurilma.

Faza (yunon) – ajratish sirtlari bilan chegaralangan va tashqi kuch maydoni bo'lmaganda o'zining barcha nuqtalarida bir xil fizik xossalari bilan xarakterlanadigan geterogen termodinamik sistemaning barcha qismlari majmui. Masalan, gazlarning aralashmasi yoki eritma bitta fazadan, muz - suv - suv bug'i sistemasi uchta fazadan iborat.

Shtuser (nem.) – uchi rezbali biriktirish patrubkasi. Rezervuarlar yoki qurilmalarning trubalariga yoxut chiqish patruboklariga payvandlanadi, kavsharlanadi yoki burab qo'yiladi. Trubaprovodlardagi kichikroq diametrli (10 – 20 mm) truba bo'lagi shtuser deb ataladi; undan suv yoki havoni chiqarib yuborish uchun,

shuningdek truboprovoddagi suyuqlik bosimini o'lchash maqsadida foydalaniladi.

Ekvivalent (*lat.*) – biror narsaning o'mini bosa oladigan yoki uning ifodasi bo'lib xizmat qiladigan teng baholi, teng qimmatli narsa yoki miqdor.

Emulsiya (*lat.*) – bir suyuqlikning mayda tomchilari (dispers faza) boshqa suyuqlik (dispersion muhit) da tarqalishi natijasida hosil bo'lgan turli jinsli sistemalar.

Ekstraksiya (*lat.*) — qattiq yoki suyuq aralashmani ajratish usuli; bunda ularga kopponentlari bir xilda erimaydigan har xil erituvchilar bilan ishlov beriladi. ekstraksiyaga teskari jarayon – reekstraksiyalar.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov X.S., Zokirov S.G., Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalar. – T.: Sharq, 2003, 644 b.

2. Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov X.S., Zokirov S.G., Ismatullayev P.R., Mannonov U.V. Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarining asosiy jarayon va qurilmalarini hisoblash va loyihalash. – T.: Jahon, 2000, 231 b.

3. Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov X.S., Ismatullayev P.R. Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarning jarayon va qurilmalari fanidan hisoblar va misollar. – T.: Nisim, 1999, 351 b.

4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессы и аппараты химической технологии. – Л.: Химия, 1987, 576 с.

5. Геллерин Н.И. Основные процессы аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1991. – т. 1-2. – 810 с.

6. Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov X.S., Zokirov S.G., Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalar. – T.: Sharq, 2003. – 644 b.

7. Salimov Z.S., To'ychiyev I.S. Kimiyaviy texnologiya jarayonlari va apparatlari. – T.: O'qituvchi, 1987, 407 b.

8. Salimov Z. Kimyoviy texnologiyaning asosiy jarayonlari va qurilmalari. Toshkent. «O'zbekiston», 1-2 – tom, 1994-1995.

9. Nurmuhamedov X.S., Gulyamova N.U., Nig'madjonov S.K., Tuychiyev I.S. Kimyoviy texnologiyaning gidromexanik, issiqlik, massa almashinish jarayonlari bo'yicha laboratoriya ishlari. -Toshkent, TashPI, 1989, 84 b.

10. Nurmuhamedov X.S., Gulomova N.U., Ismatullayev P.R. Kimyoviy texnologiya jarayonlari va qurilmalari fanidan testlar. – Toshkent, 1998. – 3,25 b.t.

11. Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov X.S., Zokirov S.G., Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalar. – T.: Sharq, 2014, 705 b.

MUNDARIJA

Kirish	3
I BOB. ASOSIY KIMYOVIY JARAYONLARNING XOSSALARI	
1.2 Asosiy jarayonlarning turlari.....	5
1.2. Jarayonning asosiy qonunlari.....	6
1.3. Kimyoviy qurilmalar yaratish va tayyorlash.....	9
1.4. O'shashlik teoremlari va mezonlari.....	13
1.5. Modellashirishning asosiy prinsiplari.....	19
II BOB. GIDRAVLIKA VA GIDRODINAMIKA ASOSLARI	
2.1. Suyuqliklarning asosiy fizik xossalari	21
2.2. Hidrostatikaning asosiy tenglamasi.....	30
2.3. Suyuqlik harakatining Eyler differensial tenglamasi.....	32
2.4. Harakatning Nave-Stoks differensial tenglamasi.....	34
2.5. Bernulli tenglamasi.....	35
2.6. Suyuqlik harakatini tavsiflovchi asosiy kattaliklar	37
2.7. Suyuqliklarni oqishi.....	41
2.8. Gidravlik qarshiliklar.....	43
2.9. Suyuqliklarning donasimon qatlamdan o'tishi.....	46
2.10. Mavhum qaynash qatlamining gidrodinamikasi.....	50
2.11. Donasimon tolali materiallarning mavhum qaynashi.....	54
2.12. Suyuqlik muhitlarida aralashtirish.....	56
2.13. Pnevmatik aralashtirish.....	60
III BOB. TURLI JINSLI SISTEMALARNI AJRATISH	
3.1. Turli jinsli sistemalarning hosil bo'lishi va ularning klassifikatsiyasi.....	64
3.2. Cho'ktirish. Cho'ktirish qurilmalari.....	67
3.3. Filtrlash va sentrifugalash.....	71
3.4. Filtrlash qurilmalari.....	77
3.5. Sentrifugalash qurilmalari.....	80
IV BOB. GAZLARNI TOZALASH	
4.1. Gazlarni tozalash.....	88
4.2. Chang cho'ktirish kameralari	89

4.3. Markazdan qochma kuch ta'sirida ajratish.....	91
4.4. Uyurmali va rotatsion chang ushlagichlar.....	95
4.5. Gaz yuvuvchi qurilmalar.....	98
4.6. Filtrlar. Elektrofiltirlar.....	105
4.7. Gaz tozalash qurilmalarni tanlash.....	108

V BOB. SUYUQLIKLARHI UZATISH

5.1. Suyuqliklarni uzatish.....	110
5.2. Nasoslarning umumiy nabori va so'rish balandligi.....	112
5.3. Markazdan qochma tipdagi nasoslar.....	116
5.4. Nasoslarning ish va umumiy tavsifi.....	118
5.5. Porshenli nasoslarning tuzilishi va ish prinsipi.....	120
5.6. Maxsus nasoslarning turlari va ish prinsipi.....	122
5.7. Gazlarni siqish va uzatish.....	127
5.8. Porshenli va rotorli kompressorlar.....	132
5.9. Vakuum nasoslar.....	138
5.10. Nasos va kompressorlarni tanlash.....	141

VI BOB. ISSIQLIK UZATISH ASOSLARI

6.1. Issiqlik almashinish jarayoni.....	143
6.2. Issiqlikning nurlanishi.....	146
6.3. Konvektiv issiqlik almashinish.....	149
6.4. Issiqlik berish jarayoni.....	154
6.5. Issiqlikning o'tishi.....	158
6.6. Issiqlik jarayonlarining harakatlantiruvchi kuchi.....	159
6.7. Issiqlik o'tkazish jarayonlarinig intensivlash.....	160
6.8. Isitish, sovitish va kondensatsiyalash.....	162
6.9. Oddiy haroratlargacha sovitish.....	169
6.10. Bug'larni kondensatsiyalash.....	172
Foydalaningan adabiyot.....	185

ОГЛАВЛЕНИЕ

Затес	3
ГЛАВА I. МЕТОДИКА ГЛАВНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	
1.2. Виды главных процессов	5
1.2. Законы главных процессов	6
1.3. Создание и подготовка химических оборудований.....	9
1.4. Теоремы и счисление сходство	13
1.5. Планые принципы моделирование	19
ГЛАВА II. ОСНОВА ГИДРАВЛИКИ И ГИДРОДИНАМИКИ	
2.1. Главные физичские и свойства жидкости	21
2.2. Главная уровнение гидростатики.....	30
2.3. Дифференциальная уровнение движение жидкости Эйлера	32
2.4. Дифференциальная уровнение движение жидкост и Наве-Стокся	34
2.5. Уравнение Бернулли	35
2.6. Гидравление сопративления.....	37
2.7. Движение жидкостей эрез гранулированного слоя	41
2.8. Гидродинамика слоев абстрактного	43
2.9. Абстрактное	46
2.10. Гидродинамика абстрактного кипящего слоя....	50
2.11. Абстрактное кипение гранулированных бибраус материалов	54
2.12. Смешивание в жидких средах.....	56
2.13. Пневматическое перемешивание.....	60
ГЛАВА III. РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ГЕ НДЕРНЫХ СИСТЕМ	
3.1. Формирование и классификасия различных систем горных пород	64
3.2. Сбросы. Самосвалные устройства.....	67
3.3. Филтрование и сентрифугирование	71

3.4. Фильтрующие устройства	77
3.5. Сентробежные устройства	80
ГЛАВА IV. ОЧИСТКА ГАЗОВ	
4.1. Очистка газов	88
4.2. Камеры пылюкамеры	89
4.3. Сентробежное разделение по эффекту	91
4.4. Поворотный зонд рационально пылящий хандес...	95
4.5. Газовые шайбы	98
4.6. Фильтры. электрические фильтры	105
4.7. Подбор газоочистных устройств	108
ГЛАВА V. ПЕРЕНОС ЖИДКОСТЕЙ	
5.1. Перенос жидкостей	110
5.2. Общий на поле и высота прокачки	112
5.3. Сентробежный тип насосов	116
5.4. эксплуатация и общее описание насосов	118
5.5. Устройство и принцип действия поршневых насосов	120
5.6. Типы и принципы работы специальных насосов...	122
5.7. Компрессия и перенос газов	127
5.8. Поршневые и роторные компрессоры	132
5.9. Вакуумные насосы	138
5.10. Подбор насосов и компрессоров	141
ГЛАВА VI. ОСНОВЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ	
6.1. Процесс теплопередачи	143
6.2. Излучение тепла	146
6.3. Конвективный теплообмен	149
6.4. Процесс теплопередачи	154
6.5. Обжигающая жара	158
6.6. Движущая сила тепловых процессов	159
6.7. Интенсификация процессов теплообмена	160
6.8. Нагрев, охлаждение и конденсация	162
6.9. Охлаждения до обычных температуры	169
6.10. Конденсация пара	172
Литература	185

CONTENTS

Access	3
Chapter I. Properties of basic chemical processes	
1.2. Types of basic pocesses	5
1.2. The basic lowes of the process	6
1.3. Development and manufacture of chemical devices	9
1.4. Theorems and criteria of similarity.....	13
1.5. The basic principles of modeling.....	19
CHAPTER II. HYDRAULICS AND HYDRODYNAMIC BASES	
2.1. The basic physics of liquids.....	21
2.2. The basic equation of hydrostatics	30
2.3. Euler differential equation of fluid motion.....	32
2.4. Navye-Stoks differential equation of motion	34
2.5. Equation of Bernulli.....	35
2.6. Hydranlic resistance.....	37
2.7. Fluid transfer from the granular layer	41
2.8. Hydranlic resistance.....	43
2.9. Fluid transfer from the granular layer	46
2.10. Hydronamics of the abstract boiling layer.....	50
2.11. Abstract boiling of granular bibraus materials ...	54
2.12. Mixing in liquid environments	56
2.13. Pnevmatic stirring	60
Chapter III. Separation of different gender systems	
3.1. Formation and classification of different rocks systems	64
3.2. Dumping. Dumping devices	67
3.3. Filtering and centrifugation	71
3.4 Filtering devices.....	77
3.5. Centrifugal devices	80
CHAPTER IV. CLEANING OF GASES	
4.1. Cleaning of gases	88

4.2. Dust chambers cameras	89
4.3. Centrifugal separation by effect	91
4.4. Rotary cend rationally dusting handees.....	95
4.5. Gas washers.....	98
4.6. Filters. Elektrofilters	105
4.7. Selection of gas cleaning devices	108

CHAPTER V. TRANSFER OF FLUIDS

5.1. Transfer of fluids.....	110
5.2. Common on the field and pumping height.....	112
5.3. Centrifugal type of pumps	116
5.4. Operation and general description of pumps.....	118
5.5. Structure and operation principle of piston pumps	120
5.6. Types and operation principles of special pumps	122
5.7. Compression and transfer of gases	127
5.8. Piston and rotor compressors.....	132
5.9. Vacuum pumps	138
5.10. Selection of pumps and compressors	141

CHAPTER VI. BASICS OF HEAT TRANSFER

6.1. Heat transfer process.....	143
6.2. Radiation of heat	146
6.3. Convective heat exchange	149
6.4. Heat transfer process.....	154
6.5. The firing heat.....	158
6.6. The driving force of thermal processes	159
6.7. Intensification of heat transfer processes	160
6.8. Heating, cooling and condensation.....	162
6.9. Cooling to do usual temperatures	169
6.10. Condensation of steam.....	172
Literature	185

M.M. NISHONOVA

KIMYOVIIY TEXNOLOGIYANING JARAYONLARI VA QURILMALARI

Toshkent – «Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи» – 2019

Muharrir:	M. Hayitova
Tex. muharrir:	A. Moydinov
Musavvir:	A. Shushunov
Musahhih:	Sh. Mirqosimova
Kompyuterda sahifalovchi:	M. Zoyirova

E-mail: nashr2019@inbox.ru Tel: +998999209035

**Nashr.lits. AL№009, 20.07.2018. Bosishga ruxsat etildi 11.11.2020.
Bichimi 60x84 1/16. «Timez Uz» garniturası. Ofset bosma usulida bosi
Shartli bosma tabog'ı, 13,0. Nashriyot bosma tabog'ı 12,0.
Tiraji 300. Buyurtma №151.**

**«Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи»
bosmaxonasida chop etildi.
100066, Toshkent sh., Olmazor ko'chasi, 171-uy.**

