

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

QARSHI MUHANDISLIK IQTISODIYOT INSTITUTI

«KIMYOVIY TEXNOLOGIYA» KAFEDRASI

N.R.Yusupbekov, N.S.Muhammedov

# « Kimyoviy texnologiyaning asosiy jarayon va apparatlari »

fanidan



## MA'RUZA MATNI

QARSHI – 2015

Tuzuvchi:

N.R.Yusupbekov, N.S.Muhammedov

Taqrizchi:

dots. Lutfullayev S.SH.

Ushbu uslubiy ko'rsatma «Kimyoviy texnologiya» kafedrasida (Bayon №\_\_ \_\_\_\_\_ 2016y.), Texnologiya fakulteti uslubiy komissiyasi (Bayon №\_\_ \_\_\_\_\_ 2016y.) yigilishlarida ko'rib chiqilgan hamda o'quv jarayonida foydalanishga tavsiya etilgan.

Kafedra mudiri:

dots. Panjiyev O.X.

Fakultet uslubiy  
komissiyasi raisi:

dots. M.Hakimova

## KIRISH

O'zbekiston mustaqil milliy demokratik davlat sifatida rivojlanish yo'lida muhim qadamlaridan biri "Ta'lim to'g'risida" gi yangi Qonun, hamda "Kadrlar tayyorlash Milliy dasturi" ning qabul qilinishi katta ahamiyatga ega.

Prezidentimiz I.A.KARIMOV "... ta'lim darslikdan boshlanadi, ... " va "darsliklarda millat fikrining tafakkuri va millat mafkurasining eng ilg'or namunalari aks etishi kerak" deb ta'kidladilar.

**Vatanimiz xalq xo'jaligi uchun malakali mutaxassislar tayyorlashda "Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalari" fanining alohida o'rni bor.**

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

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

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

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

Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalarini hisoblash empirik tenglamalari, qurilma qismlari va detallari to'g'risidagi to'liq ma'lumotlar quyidagi o'quv qo'llanmalarda batafsil keltirilgan:

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

- Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov H.S., Ismatullaev P.R., Zokirov S.G., Mannanov U.V. «Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarining asosiy jarayon va qurilmalarini hisoblash va loyihalash». – Toshkent, Jahon, 2000. – 266 b.

### 1.«Jarayon va qurilmalar» faninig mazmuni va mohiyati

«Jarayon va qurilmalar» fani bakalavrlarni tayyorlashda umummuxandislik bo'lim fanlaridan, maxsus fanlarni o'rganishga o'tishda eng muhim vazifani bajaruvchi zarur fandir.

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

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

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

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

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

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

Zamonaviy sanoat ishlab chiqarish jarayonlarini loyihalashda «Jarayon va qurilmalar» fanining ahamiyati katta. Bu fan asosida turli xil jarayonlarning hisoblash va tahlil qilish, ularning optimal parametrlarini aniqlash, zarur qurilmalarni hisoblash va loyihalash mumkin. Undan tashqari, ushbu kursda laboratoriya sharoitidagi jarayon va qurilmalardan sanoat jarayon va qurilmalariga **masshtab** usulida o'tish qonuniyatlari ham

o`rganiladi. Bu qonuniyatlarni bilish, ko`p tonnalik sanoat jarayon va qurilmalarini loyihalashga yordam beradi va zarur.

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

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

**Undan tashqari, ular jarayonlarni texnologik qurilmalar bilan jihozlashning ilmiy printsiplarini tushunishi, qurilmalarni texnik-iqtisodiy xarakteristikalarini tahlil qilish, baholash va eng optimal qurilmani tanlash, jarayonlar samaradorligini va tejamkorligini oshirish omillarini aniqlash, energiya sarfini va mahsulot tannarxini kamaytirish yo`llarini bilishlari kerak.**

**Undan tashqari, bakalavrlar sanoat samaradorligini oshirish uchun ilmiy tadqiqot usullarini mukammal bilishlari zarur.**

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

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

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

Undan keyin, Moskva oliy texnika universitetida prof.I.A.Tishenko ushbu fan bo`yicha ma`ruza o`qiydi. Shuning uchun, professorlar A.K.Krupskiy va I.A Tishenkolar «Jarayonlar va qurilmalar» fanining asoschilari hisoblanadi.

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

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

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

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

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

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

ToshPIning etuk olimlari M.I.Niyozov, N.U.Rizaev, I.P.Levsh, O.B.Erofeeva va X.T.Toshpo`latovlar fanning turli bo`limlari bo`yicha ilmiy maktablar tashkil etishdi.

O`tgan asrning 70-80 yillarida shu darslik mualliflaridan tashqari Z.Salimov, O.K.Ubaydullaev, V.I.Levsh va boshqalar jarayon va qurilmalar fani bo`yicha yangi yo`nalishlarga ilmiy rahbarlik qilishdi, katta yutuqlarga erishishdi, o`z ilmiy maktablarini tashkil etishdi va shu kungacha faol ishlab kelishmoqda.

90-yillarda M.M.Yusipov (ion almashinish jarayonining nazariy asoslari), B.E.Muxamedov (paxta chigiti shrotidan erituvchini ajratish), Sh.N.Nuritdinov (qattiq faza ishtirokidagi massa almashinish jarayonlarini modellash), U.V.Mannanov (murakkab reakstion-ajratish jarayonlarida issiqlik va massa almashinish) lar doktorlik dissertasiyalarini yoqlashdi va shu kungacha o'z izlanishlari bilan jarayon va qurilmalar fanining rivojlanishiga o'z xissalarini qo'shib kelishmoqda.

### 3. Asosiy texnologik jarayonlar klassifikatsiyasi

Jarayon va qurilmalar fanining rivojlanishi texnologik jarayonlarning ilmiy asoslangan klassifikatsiyasi va tushunchalar sistemasini yaratish imkonini berdi.

Shuning uchun sanoat jarayoni, texnologiya va texnologik qurilma, mashina kabi asosiy tushunchalarni ko'rib chiqamiz.

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

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

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

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

## 5 – bob. MASSA ALMASHINISH JARAYONLARI

### Massa almashinish asoslari

Bir yoki bir necha komponentlarni binar yoki murakkab aralashmalarda bir fazadan ikkinchi fazaga o'tishida ro'y bergan jarayonlar **massa almashinish** jarayoni deb yuritiladi (masalan, gazdan gazga, suyuqlikdan gazga, qattiq jismdan suyuqlik yoki gazga). Odatda, komponentlarning bir fazadan ikkinchisiga o'tishi molekulyar yoki turbulent diffuziya orqali sodir bo'ladi. Shuning uchun, bu jarayonlar **diffuzion jarayonlar** deb ataladi.

Massa almashinish jarayonlari faol komponent va inert tashuvchi fazalar bilan xarakterlanadi. Faol komponent – bu fazadan fazaga o'tuvchi massa, inert tashuvchilarning miqdori esa, jarayon davomida o'zgarmaydi.

Massa almashinish jarayonini harakatga keltiruvchi kuch – konstantastiyalar farqi.

#### 5.1. Umumiy tushunchalar

Sanoat texnologiyalarida ishlatiladigan adsorbtsiya, ekstraktsiya («suyuqlik - suyuqlik», «qattiq texnologiya jism – suyuqlik sistemalarida»), adsorbtsiya, quritish, kristallanishlarda massa almashinish jarayonlari sodir bo'ladi.

**Absorbtsiya** – bu gaz aralashmasidan biror moddaning suyuq fazaga selektiv ravishda yutilish jarayonidir. Ya'ni, bu jaraenda modda bug`yoki gaz fazadan suyuq fazaga o'tishini kuzatishimiz mumkin.

Moddani o'ziga yutuvchi faza absorbent deb nomlanadi. Absorbtsiya 2 xil bo'ladi: fizik absorbtsiya – bu gazning suyuqlikda oddiy yutilishi; xemosorbtsiya - bu gazning suyuqlikda yutilishi davrida kimyoviy birikma hosil bo'lishi.

Absorbtsiyaga teskari jarayon, ya'ni yutilgan komponentlarni suyuqlikdan ajratib olish **desorbtsiya** deb ataladi.

**Suyuqliklarni haydash va rektifikatsiya** – bu suyuq va bug`fazalar orasida komponentlar o'zaro modda almashinish yo'li bilan suyuq aralashmalarni komponentlarga ajratish jarayonidir. Ushbu jarayon issiqlik ta'sirida olib borilib, komponentlarning qaynash temperaturasi har xil bo'lishiga asoslanadi. Bu jarayon 2 xil bo'ladi: oddiy haydash (distillash) va murakkab haydash (rektifikatsiya). Shu alohida ta'kidlash kerakli, bunda modda suyuq fazadan bug`ga va bug`dan suyuq fazaga o'tadi

**Ekstraktsiya** – bu eritma yoki qattiq jismdan erituvchi yordamida bir yoki bir necha komponent ajratib olish jarayonidir («suyuqlik-suyuqlik» sistemasida faol komponent bir suyuq fazadan ikkinchisiga o'tadi. «Qattiq jism – suyuqlik» sistemasida modda qattiq jismdan suyuq fazaga o'tadi. Bunday sistemada komponentning suyuq fazaga o'tishi **eritish jarayoni** deb nomlanadi.

**Adsorbtsiya** – bu gaz, bug` yoki suyuq aralashmalardan bir yoki bir necha komponentlarni qattiq, g'ovakli jism bilan yutilish jarayonidir. Juda katta faol yuzaga ega qattiq jismlar **adsorbentlar** deb ataladi. Ushbu jarayon sanoatning turli sohalarida ishlatiladi va gaz, bug` yoki suyuq aralashmalardan u yoki bu komponentni ajratib olish uchun xizmat qiladi.

Adsorbtsiya jarayonida suyuq yoki gaz fazadagi komponent qattiq jisimga o'tadi.

**Quritish** – bu qattiq materiallar tarkibidagi namlikni bug` shaklida ajratib olish jarayonidir. Ushbu jarayonda faol komponent - namlik qattiq fazadan gaz yoki bug` fazasiga o'tadi.

**Kristallanish** – bu suyuq eritmalar tarkibidagi qattiq fazani kristall shaklida ajratib olish jarayonidir. Ushbu jarayonda suyuq fazadan moddaning qattiq fazaga o'tishi ro'y beradi.

Yuqorida keltirilgan jarayonlardan ko'rinib turibdiki, ularning hammasi uchun bir fazadan ikkinchisiga massa o'tishi yoki massa o'tkazish xos.

Moddaning bir fazadan ikkinchiga, ajratib turuvchi yuzaga orqali o'tishi **massa o'tkazish jarayoni** deb nomlanadi.

Bir faza ichida, fazadan ajratib turuvchi yuzaga yoki ajratib turuvchi yuzadan fazaga moddaning o'tishiga **massa berish jarayoni** deyiladi.

#### 5.2. Massa o'tkazish kinetikasi

Muvozanat holatiga erishish yo'nalishida moddaning bir fazadan ikkinchisiga o'tish jarayoniga massa o'tkazish deyiladi.

Massa almashinish jarayonida eng kamida 3 ta modda ishtiroq etadi: 1) birinchi fazani tashkil etuvchi

modda; 2) ikkinchi fazani tashkil etuvchi modda; 3) bir fazadan ikkinchisiga o'tgan tarqaluvchi modda.

Massa almashinish jarayonida muvozanat holatlarini aniqlashda **fazalar qoidasidan** foydalaniladi:

$$\Phi C \bullet K \quad 2 \quad (5.1)$$

bu erda  $F$  – fazalar soni;  $S$  – erkinlik darajasi soni;  $K$  – sistemadagi komponentlar soni.

Bu qoidaga binoan, muvozanat holatlarini hisoblashda parametrlarining (bosim, temperatura, konstantrastiya) nechταςini o'zgartirish imkoniyati borligini aniqlash mumkin.

Birinchi fazani -  $G$ , ikkinchisini –  $L$  va tarqaluvchi massani –  $M$  bilan belgilab olamiz. Hamma massa almashinish jarayonlari qaytar, shuning uchun modda  $G$  fazadan  $L$  ga va teskari yo'nalishda o'tishi mumkin.

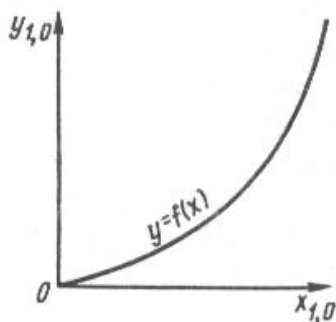
Dastavval, tarqaluvchi modda faqat  $G$  fazada va  $Y$  konstantrastiyali bo'lsin. Boshlang'ich davrda  $L$  fazada tarqaluvchi modda yo'q bo'lsa, unda fazadagi konstantrastiyasi  $x = 0$ .

Agar, fazalarni aralashtirib yuboradigan bo'lsak, unda tarqaluvchi modda  $G$  fazadan  $L$  fazaga o'tadi.  $L$  fazada tarqaluvchi modda  $M$  bo'lishi bilan teskari o'tish boshlanadi, ya'ni  $L$  fazadan  $G$  fazaga. Ma'lum vaqtgacha,  $G$  fazadan  $L$  ga o'tayotgan tarqaluvchi modda zarrachalarining soni  $M$ ,  $L$  fazadan  $G$  fazaga o'tayotganikidan ko'proq bo'ladi.

Lekin, ya'ni biror fursatdan so'ng,  $M$  moddaning to'g'ri va teskari o'tish tezliklari tenglashadi. Sistemaning bunday holati **fazaviy muvozanat** deyiladi. Muvozanat paytida  $x$  ning ma'lum qiymatiga boshqa fazadagi tegishli aniq bir qiymatli muvozanat konstantrastiyasi  $y_M$  to'g'ri keladi. Xuddi shunday,  $u$  ning ma'lum qiymatiga tegishli muvozanat konstantrastiyasi  $x_M$  mos keladi. Muvozanat paytida fazalardagi tarqaluvchi komponent konstantrastiyalari o'rtasida umumiy bog'liqlik quyidagi ko'rinishga ega:

$$y_P \bullet f_1(x); \quad \bar{x}_P \bullet f_2(y) \quad (5.2)$$

Ushbu tenglamalar grafikda muvozanat chizig'i bilan ifodalanadi va massa almashinish jarayonining turiga qarab to'g'ri yoki egri chiziqli ko'rinishda bo'ladi. 5.1-rasmda gaz fazasidagi muvozanat konstantrastiyasining suyuq fazadagi konstantrastiya bilan bog'liqligi berilgan.



5.1-rasm.  $P=\text{const}$  va  $t=\text{const}$  bo'lgandagi muvozanat diagramma.

Muvozanat paytidagi fazalar konstantrastiyalarining nisbati **tarqalish koeffitsienti**  $m$  deb nomlanadi.

$$m \bullet \frac{y_M}{x}$$

Odatda, ko'pchilik eritmalar uchun muvozanat chizig'i to'g'ri chiziq shaklida bo'ladi. Tarqalish koeffitsientining qiymati ko'pincha o'zgarmas bo'lib, muvozanat chizig'ining qiyalik burchagi tangensiga tengdir.

Turli - tuman massa almashinish jarayonlariga oid qonunlarning aniq turlari tegishli boblarda ko'rib chiqiladi.

Muvozanat bog'liqliklar jarayon yo'nalishi bilan birga, bir fazadan ikkinchisiga tarqaluvchi modda o'tish tezligini ham aniqlash imkonini beradi.

Muvozanat va haqiqiy konstantrastiyalar orasidagi farq massa almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuchi deb hisoblanadi.

Massa almashinish jarayonlarining tezlik koeffitsienti va harakatga keltiruvchi kuchini hisolash massa o'tkazish kinetikasining asosiy masalasidir.

**Massa o'tkazishning asosiy tenglamasi** kinetikaning umumiy tenglamasidan keltirib chiqarilishi mumkin.

Ushbu tenglamaga binoan, massa almashinish jarayonlarining tezligi harakatga keltiruvchi kuchga to'g'ri va jarayon diffuzion qarshiligiga teskari proporsionaldir.

Agar, diffuzion qarshilik teskari kattalikni  $K = 1/R$  (bu erda  $R$  – diffuzion qarshilik) deb belgilasak, ushbu tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\frac{dM}{F \bullet d\tau} \bullet k \quad (5.3)$$

bu erda,  $M$  – bir fazadan ikkinchisiga o'tgan modda miqdora, kg;  $F$  – massa o'tkazish yuzasi,  $m^2$ ;  $d\tau$  - jarayon davomligi, s;  $k$  – massa o'tkazish koeffitsienti. Ko'rinib turibdiki,  $dM/Fd\tau$  ajratib turuvchi yuza birligiga to'g'ri keladigan massa o'tkazish tezligidir.

Demak, agar  $k=\text{const}$  bo'lsa, butun massa almashinish yuzasi uchun

$$M \bullet k \bullet F \bullet \tau$$

$$M \bullet K_y F_{y_{yp}} \text{ yoki } M \bullet K_x F_{x_{yp}} \quad (5.4)$$

(5.4) massa o'tkazish jarayonining asosiy tenglamasi deb nomlanadi. Ushbu tenglamaga binoan, bir faza yadrosidan ikkinchi faza yadrosiga uzatilgan massa miqdori fazalar yadrosidagi konstantriyalar farqi, ajratib turuvchi yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir.

**Massa o'tkazish koeffitsienti**, vaqt birligi ichida harakatga keltiruvchi kuch birga teng bo'lganda, ularni ajratib turuvchi yuza birligidan o'tgan massa miqdorini xarakterlaydi.

(5.4) tenglamani tashkil etuvchi parametrlar birliklariga qarab, massa o'tkazish koeffitsienti quyidagi o'lchov birligiga ega bo'ladi: m/s; kg/(h.k.k. b  $\cdot$  m<sup>2</sup> s); kmol/(h.k.k.b.  $\cdot$  m<sup>2</sup> s).

### 5.3. Massa almashinish jarayonining moddiy balansi

Bir xil yo'nalishli fazalar o'rtasida massa almashinish ro'y berayotgan elementar massa almashinish qurilmasining sxemasini ko'rib chiqamiz. Fazalarni ajratib turuvchi yuzaga nisbatan massaviy tezliklarini  $G$  va  $L$  (kg/soat), tarqaluvchi modda konstantriyalarini esa  $u$  va  $x$  (kg/kg) deb belgilab olamiz (5.2-rasm).

Agar,  $u > u_M$  deb faraz qilsak, tarqaluvchi modda  $G$  fazadan  $L$  fazaga o'tadi, ammo  $G$  fazada konstantriya  $u_b$  dan  $u_{ox}$  gacha kamayadi.

$L$  fazada esa, mos ravishda konstantriya  $x_b$  dan  $x_{ox}$  gacha ortadi.

Qurilmaning cheksiz kichik  $dF$  yuzasi uchun:

$$dM \bullet \tilde{G} dy \bullet L dx \quad (5.5)$$

Qurilmada tarqaluvchi modda konstantriyalarini o'zgarishi chegarasida (5.5) tenglikni integrallab, quyidagi tenglamani olamiz:

$$M \bullet \tilde{G} y_{ox} \bullet \tilde{G} y_{\alpha} \bullet L x_{ox} \bullet L x_{\alpha} \quad (5.6)$$

Bundan, fazalarning massaviy sarfini aniqlaymiz:

$$G \bullet \frac{L x_{ox} x_{\alpha}}{y_{\alpha} y_{ox}}; \quad L \bullet \frac{G y_{\alpha} y_{ox}}{x_{\alpha} x_{ox}} \quad (5.7)$$

(5.5) tenglamani boshlang'ich va oxirgi konstantriyalar oralig'ida integrallab quyidagi ifodani olamiz:

$$\tilde{G} y_{\alpha} \bullet L x_{\alpha}$$

Bundan, joriy konstantriyalar orasidagi bog'liqlik topiladi:

$$-y \bullet \frac{L}{G} x \frac{G y_{\alpha} L x_{ox}}{G} \quad (5.8)$$

yoki

$$y \bullet Ax + B \quad (5.9)$$

bu erda  $A \bullet L/G$ ;  $B \bullet \tilde{G} y_{\alpha} L x_{ox}/G$ .

(5.8) va (5.9) lar ishchi chiziq tenglamasini xarakterlaydi. Ulardan, massa almashinish qurilmalarini hisoblashda foydalaniladi.

Shunday qilib, muvozanat va ishchi chiziq tenglamalaridan jarayonning yo'nalishini ham aniqlash mumkin.

Haqiqiy (ishchi) konstantriyalar orasidagi bog'liqlikni ifodalovchi to'g'ri chiziq tenglamasi (5.9) **jarayonning ishchi chizig'i** deb nomlanadi.

### 5.4. Massa o'tkazishning asosiy qonunlari

Massa o'tkazish jarayonlari bir necha massa almashinish yo'li bilan amalga oshirilishi mumkin: gaz (yoki

bug') va suyuqlik oqimlari orasida; suyuqlik oqimlari orasida; suyuqlik oqimi va qattiq faza orasida; gaz (yoki

bug') oqimi va qattiq faza orasida.

Massa o'tkazishning asosiy qonunlari bo'lib molekulyar diffuziya (Fikning 1- qonuni), massa berish (Nyuton – Shukarev qonuni) va massa o'tkazuvchanlik qonunlari hisoblanadi.

**Molekulyar diffuziya qonuni (Fikning 1- qonuni).** Molekula, atom, ion va kolloid zarrachalarning xaotik harakati natijasida moddalarning tarqalishi **molekulyar diffuziya** deb nomlanadi. Ma'lumki, moddalar har doim konstantastiyasi yuqori zonadan konstantastiyasi past zonaga qarab tarqaladi. Ushbu qonunga binoan, diffuziya yo'li bilan tarqalgan modda miqdori konstantastiyalar gradienti, diffuzion oqim yo'nalishidagi perpendikulyar ajratuvchi yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir:

$$dM = -D \frac{dc}{dx} F dt \quad \text{yoki} \quad M = -D \frac{dc}{dn} F dt \quad (5.10)$$

bu erda  $dM$  - diffuziya yo'li bilan tarqalgan massa miqdori;  $D$  – diffuziya koeffitsienti;  $dc/dx$  konstantastiyalar gradienti;  $F$  – diffuziya o'tayotgan yuza;  $dt$  - diffuziya davomiyligi.

Diffuziya koeffitsienti, 1 m<sup>2</sup> ajratuvchi yuza orqali 1 soat davomida 1 m oralikdagi konstantastiyalar farqi 1 ga teng bo'lganda tarqalgan modda miqdorini xarakterlaydi.

Tenglamadagi «minus» ishora molekulyar diffuziya jarayonida konstantastiya kamayib borishini ifodalaydi.

(5.10) tenglamadagi diffuziya koeffitsientining o'lchov birligini aniqlaymiz:

$$D = \frac{dM}{\frac{dc}{dx} F dt} = \frac{kg \cdot m^3}{kg \cdot m^2 \cdot s} = m^2/s$$

Molekulyar diffuziya koeffitsienti o'zgaras fizik kattalik bo'lib, moddaning diffuziya yo'li bilan qo'zg'almas muhitga kirish qobiliyatini xarakterlaydi. Ushbu koeffitsient jarayonning gidrodinamikasiga bog'liq emas. Lekin, u tarqaluvchi modda va muhitning issiqlik-diffuzion xossalari, temperatura va bosimga bog'liqdir. Ya'ni temperatura oshishi va bosim pasayishi bilan uning qiymati ortadi.

Odatda, diffuziya koeffitsientining qiymatlari adabiyotlardan yoki quyidagi formulalardan aniqlanadi: gazlar uchun:

$$D = 4,35 \cdot 10^2 \frac{T^2}{P V_A^{0,33} V_B^{0,33}} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (5.11)$$

suyuqliklar uchun:

$$D = \frac{8,2 \cdot 10^{12} T^{0,66}}{V_A^{0,33} V_B^{0,33}} \quad (5.12)$$

bu erda  $T$  – temperatura, K;  $R$  - bosim, Pa;  $V_A$  va  $V_B$  - jarayonda ishtirok etuvchi moddalar mol hajmi, sm<sup>3</sup>/mol;  $M_A$  va  $M_B$  - moddalarning molekulyar massasi, kg/kmol;  $\eta$  - dinamik qovushoqlik, mPa·s;  $A$  va  $B$  – moddaning tabiatiga bog'liq tajribaviy konstanta;

Diffuziya koeffitsienti sistemaning agregat holatiga bog'liq. Gazlar uchun  $D$  ning qiymatlari (0,1-1,0) · 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s. Suyuqliklarning diffuziya koeffitsienti to'rt darajaga past bo'ladi. Ma'lumki, temperatura ortishi bilan  $D$  ortadi, bosim oshishi bilan esa – kamayadi.

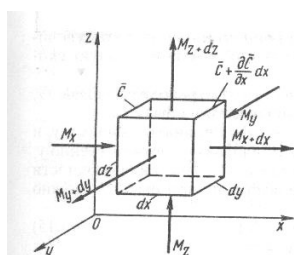
Gazlardagi diffuziya koeffitsienti konstantastiyaga umuman bog'liq emas. Lekin, suyuqliklarda esa, diffuziya koeffitsienti konstantastiyaga bog'liqligi bor. Paxta yog'ining normal sharoitda ekstrakstion benzindagi diffuziya koeffitsienti  $D = 0,71 \cdot 10^{-5}$  sm<sup>2</sup>/s; gazning boshqa bir gazdagi tarqalish diffuziya koeffitsienti  $\approx 0,1-1,0$  sm<sup>2</sup>/s; gazning suyuqliklardagi diffuziya koeffitsienti 10<sup>4</sup>-10<sup>5</sup> marotaba kam bo'lib, taxminan 1 sm<sup>2</sup>/sutkaga teng.

Xulosa qilib aytganda, molekulyar diffuziya juda sekin o'tadigan jarayondir.

**Turbulent diffuziya.** Turbulent tebranish ta'sirida oqimning harakatida bir fazadan ikkinchisiga moddaning tarqalishi **turbulent diffuziya** deb nomlanadi.

Turbulent diffuziya tezligi oqimning turbulentlik darajasiga, jarayonning gidrodinamik rejimida bog'liqdir. Istalgan fazada turbulent diffuziya yo'li bilan tarqalgan moddaning miqdori ushbu tenglamadan topiladi:

$$M = -D \frac{dc}{dn} F \quad (5.13)$$



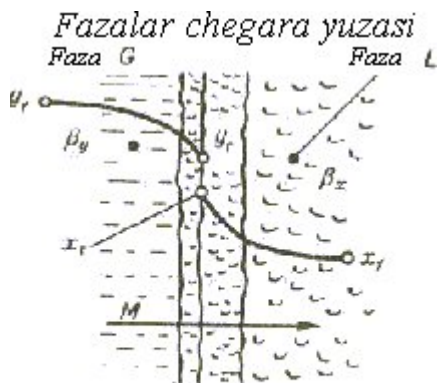
5.3-rasm. Molekulyar diffuziyaning differentsial tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

bu erda  $D$  - turbulent diffuziya koeffitsienti (5.13) tenglamadan  $D$  - aniklaymiz

$$D = \frac{M}{F} \frac{dn}{dc} = \frac{kg \cdot m}{s \cdot m^2} \cdot \frac{m^2}{kg} = \frac{m^2}{s}$$

Turbulent diffuziya koeffitsienti vaqt birligi ichida konstantraziya gradienti birga teng bo'lganda ajratuvchi yuza birligidan turbulent diffuziya yo'li bilan tarqalgan moddaning midorini bildiradi. Uning qiymati jarayonning gidrodinamik rejimiga bog'liq. Bu erda gidrodinamik rejim deganda oqimning tezligi va turbulentlik masshtabi nazarda tutiladi.

**Molekulyar diffuziyaning differensial tenglamasi (Fikning 2-qonuni).** Biror fazaning oqimida ajratib olingan elementar parallelepiped uchun tarqaluvchi moddaning moddiy balansi ko'rib chiqiladi va undan konvektiv diffuziya yoki massa berish jarayonining tenglamasini keltirib chiqarish mumkin (5.3-rasm).



5.4-rasm. Massa berish tenglamasini keltirib chiqarishga oid.

Elementar kichik parallelepiped orqali molekulyar diffuziya yo'li bilan modda tarqalayotgan bo'lsin.

Agar,  $dydz$ ,  $dx dy$  va  $dx dz$  tomonlari orqali  $M_x$ ,  $M_z$  va  $M_y$  miqdorda moddalar o'tayotgan bo'lsa, qarama-qarshi tomonlardan esa  $M_{x+dx}$ ,  $M_{z+dz}$  va  $M_{y+dy}$  miqdorda moddalar chiqadi. Ya'ni, parallelepipedning elementar hajmi  $dM = (M_x - M_{x+dx}) + (M_y - M_{y+dy}) + M_{x+dx}$  miqdorda tarqalgan modda yutib oladi. Bunda, moddaning konstantraziyasi  $(C - C + dC)/dM$  miqdorga ortadi. Fikning 1 - qonuniga binoan:

$$M_x - M_{x+dx} + M_y - M_{y+dy} + M_{x+dx} = \frac{dM}{dt} = \frac{d}{dt} (C dx dy dz)$$

demak:

$$M_x - M_{x+dx} = -D \frac{dC}{dx} dy dz$$

Xuddi shunday qilib parallelepipedning qolgan tomonlari uchun ham o'tgan moddalar farqini aniqlab olamiz.

Parallelepiped bilan yutilgan umumiy modda miqdori:

$$dM = D \left( \frac{dC}{dx} dy dz + \frac{dC}{dy} dx dz + \frac{dC}{dz} dx dy \right) \quad (5.14)$$

Ushbu modda miqdorini parallelepiped hajmini tarqalayotgan modda konstantraziyasiyaning vaqt ichida o'zgarishiga ko'paytirib ham topsa bo'ladi:

$$dM = dx dy dz \frac{dC}{dt} \quad (5.15)$$

(5.14) va (5.15) larni tenglashtirib, ushbu ko'rinishdagi molekulyar diffuziyaning differensial tenglamasini olamiz:

$$D \left( \frac{dC}{dx} dy dz + \frac{dC}{dy} dx dz + \frac{dC}{dz} dx dy \right) = dx dy dz \frac{dC}{dt} \quad (5.16)$$

$$\overline{S} = \overline{C} \sqrt{x^2 + y^2}$$

(5.16) tenglama Fikning 2-qonuni deb yuritiladi.  $\overline{S}/\overline{C}$  - fazoda olingan istalgan nuqtadagi konstentriyaning vaqt bo'yicha o'zgarish tezligini xarakterlaydi.

**Massa berishning asosiy qonuni.** Ushbu qonun qattiq jismlar erishini o'rganish paytida rus olimi Shukarev tomonidan aniqlangan. Bu qonunga binoan, fazalarni ajratib turuvchi yuzadan biror faza yadrosiga yoki teskari yunalishda massa berish yo'li bilan o'tgan modda miqdori fazalar konstentriyasi farqiga, fazaga

va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir.

Diffuzion chegaraviy qatlam nazariyasiga asosan tarqaluvchi modda suyuqlik oqimi yadrosidan fazalarni ajratuvchi yuzaga suyuqlik konvektiv oqimlari va molekulyar diffuziya yo'li bilan o'tadi. Ko'rilayotgan sistemada oqim yadrosi va chegaraviy diffuzion qatlamlar bor (5.4-rasm). Faza yadrosida moddaning tarqalishi asosan suyuqlik yoki gaz oqimi bilan amalga oshiriladi. Oqimlarning turbulent harakati davrida tarqaluvchi modda konstantriyasi o'zgarmas bo'ladi. Chegaraviy diffuzion qatlama yaqinlashgan sari moddaning turbulent tarqalishi kamayadi va molekulyar diffuziya hisobiga massa berish ulushi ortadi.

Bunda, tarqaluvchi moddaning konstantriya gradienti hosil bo'ladi va fazalarni ajratuvchi chegaraga yaqinlashib borgan sari, uning qiymati oshib boradi. Shunday qilib, chegaraviy diffuzion qatlam atrofi—bu konstantriya gradienti hosil bo'lishi va o'sishi sohasidir. Undan tashqari, bu er — umumiy massa o'tkazishga molekulyar diffuziya tezligining ta'siri ko'payadigan sohadir.

$G$  fazadan  $L$  fazaga tarqalayotgan modda miqdori  $M$  bo'lsin. Agar, fazalar yadrosidagi moddalar konstantriyasini  $y_f$  va  $x_f$  deb, fazalarni ajratib turuvchi yuzadagi konstantriyalarni esa —  $u_{ch}$  va  $x_{ch}$  deb belgilasak, unda massa berish jarayonida o'tgan modda miqdorlarini quyidagi tenglamalardan aniqlash mumkin:

$$dM = \alpha_y y_f \sim y_u \cdot Fd; \quad dM = \alpha_x x_f \sim x_u \cdot Fd \quad (5.17)$$

bu erda  $\alpha_u$ ,  $\alpha_x$  — konvektiv va molekulyar oqimlar bilan modda uzatilishini xarakterlovchi massa berish koeffitsientlari;  $u_{ch}=u_M$  va  $x_{ch}=x_M$  deb qabul qilinadi.

Massa berish koeffitsientining o'lchov birligi quyidagicha:

$$\frac{kg}{soat} \cdot \frac{m^3}{m^2} \cdot \frac{1}{m} = \frac{kg \cdot m^3}{kg \cdot m^2 \cdot soat \cdot m} = \frac{m^3}{m^3 \cdot soat} = \frac{1}{soat}$$

Massa berish koeffitsienti vaqt birligida jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi birga teng bo'lganda, yuza birligidan fazalarni ajratuvchi yuzadan fazaning yadrosiga yoki teskari yo'nalishda o'tgan modda miqdorini xarakterlaydi.

Massa berish koeffitsienti fazalarning zichligi, qovushoqligi va boshqa xossalari, suyuqlik harakat rejimiga, qurilmaning tuzilishi va o'lchamlariga bog'liqdir. Shuning uchun ham uning qiymatini tajriba yoki hisoblash yo'li bilan aniqlash qiyin. Lekin, har bir aniq sharoit va suyuqliklar uchun  $\alpha$  ning qiymatini tajriba yo'li bilan topish mumkin.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, massa berish koeffitsienti fizik ma'nosi bo'yicha massa o'tkazish koeffitsientidan farq qilsa ham, lekin bir xil o'lchov birligiga ega.

### 5.5. Qattiq jism ishtirokida massa almashinish

Bunday jarayonlarga adsorbtsiya, desorbtsiya, kristallanish, quritish, eritish, qattiq materiallardan ekstraktsiyalash kabilar kiradi. Albatta, bu noturg'un jarayonlarning o'ziga xos alohida xususiyatlari bor. «Qattiq jism-suyuqlik» sistemasida massa almashinish juda murakkab jarayon deb hisoblanadi.

G'ovaksimon qattiq jismdan fazalarni ajratib turuvchi chegara orqali gaz (yoki bug') suyuqlik muhitga yoki gaz (yoki bug') muhitdan qattiq jismga moddaning tarqalishi, o'tkazish potentsiali gradienti mavjud bo'lgandagina ro'y beradi. Boshqacha qilib aytganda, «qattiq jism — suyuqlik» sistemada massa o'tkazish jarayoni ichki va tashqi diffuziyalardan tashkil topgan bo'ladi. Bu sistemada massa almashinish jarayoniga qattiq jismning tuzilishi katta ta'sir ko'rsatadi. Ma'lumki, qattiq jism murakkab, geometrik sistema bo'lib, g'ovaklilik, polidisperslik, kapillyarlar shakli va kovakchalarni o'lchami bo'yicha taqsimlanishi bilan ajralib turadi. Kapillyar-kovakli tuzilishiga qarab qattiq jismlar quyidagi sinflarga ajratiladi: yirik kovakli

$d_{sp} \approx 100\mu m$ ; o'rtacha kovakli va ultramikrovakli materiallar bo'ladi.

«Qattiq jism — suyuqlik» sistemasida massa berish jarayoni bilan **massa o'tkazuvchanlik** (qattiq jismda moddaning tarqalishi) bir vaqtda o'tadi.

Bu sistemada kechadigan jarayonlarning tezligi vaqt o'tishi bilan molekulyar diffuziya tezligiga qaraganda kamayib borish xosdir. Shuning uchun ushbu jarayonlarni ifodalashda «siqiq diffuziya» degan atamadan foydalaniladi.

Eritmaning “siqiq diffuziya”si uchun Kadi va Vilyamslar tomonidan ushbu formula taklif etilgan:

$$D_{CH} \bullet D \frac{1}{r} \quad (5.18)$$


bu erda  $D_{CH}$  – «siqiq diffuziya» koeffitsienti;  $D$  – molekulyar diffuziya koeffitsienti;  $r$  – tarqalayotgan molekula o'lchami;  $R$  – qattiq jism kovakchalarining ko'ndalang o'lchami.

«Siiqiq diffuziya» o'rniga jarayonni har tomonlama to'liq ifodalovchi umumiy kinetik xarakteristika – massa o'tkazuvchanlikni aniqlash maqsadga muvofiqdir. Unda, qattiq jismda tarqalgan moddaning uzatilishini ifodalovchi qonun sifatida qabul qilinish mumkin: qattiq jismda massa o'tkazuvchanlik hisobiga tarqalgan massa miqdori konstantriyalar gradienti, oqim yo'nalishiga perpendikulyar yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni:

$$dM \bullet k \frac{c}{x} dF dt \quad (5.19)$$

bu erda  $k$  – massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti,  $m^2/s$ . Ushbu koeffitsient temperatura va qattiq jismda tarqalgan modda konstantriyalariga bog'liqdir.

5.5-rasmda g'ovaksimon qattiq jismlarning tipik tuzilishlari keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, bunday tuzilishli jismlarda jarayonning kinetikasi turlicha bo'lishi tabiiydir.

Qattiq jismdan namlikni desorbtsiyasi misolida massa almashinish jarayonini ko'rib chiqamiz (5.6-rasm).

Boshlang'ich vaqt  $t=0$  da plastinaning butun hajmida konstantriya o'zgarma bo'ladi ( $s=const$ ).

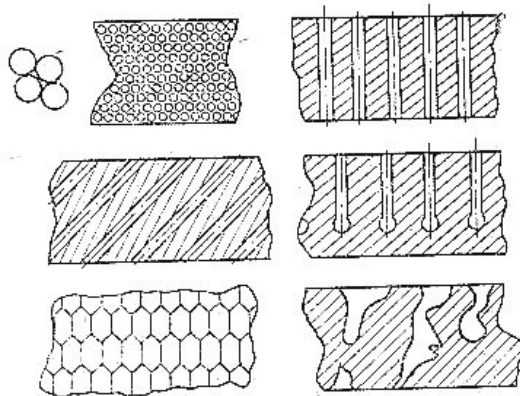
Qattiq jism bilan massa almashinuvchi suyuqlik fazada tarqaluvchi moddaning konstantriyasi o'zgarma va  $u_f$  ga tengdir. Dastlabki davrda, tarqalayotgan modda qattiq jismdan suyuqlikka qarab harakat qiladi.

Qattiq materialdan erkin bog'langan namlikning chiqib ketishi bilan jismning temperaturasi o'zgarmaydi va u ho'l termometr temperaturasiga teng bo'ladi. Material ustidagi bug'bosimi esa, suyuqlikning to'yingan bug'lari bosimiga barobardir. Shu davrda materialdan namlikning bug'holatida chiqib ketishi o'zgarma tezlikda sodir bo'ladi.

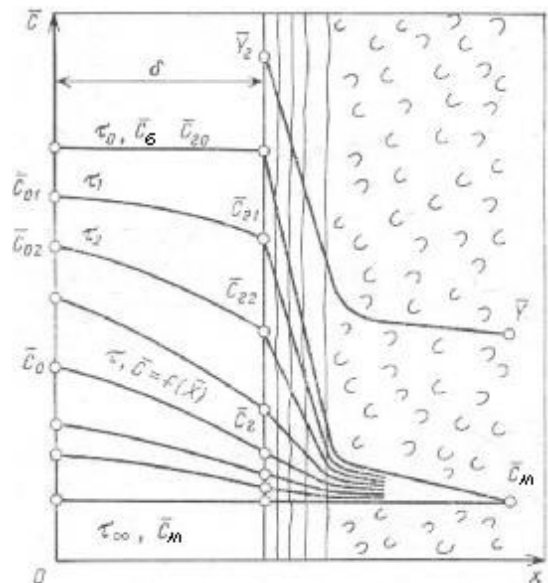
Vaqt o'tishi bilan jismning konstantriyasi uzluksiz ravishda pasayib boradi.

Qandaydir kritik konstantriya  $x_{kr}$  dan boshlab, bug'lanish zonasi jismning ichiga suriladi. Bu hol, albatta o'tkazish potentsiali gradientining kamayishiga va jarayonni sekinlashuviga olib keladi. Namlikni bug'lanishi na faqat o'zgaruvchan koordinatali yuzalarda bo'libgina qolmasdan, balki jismning «avvalgi» qatlamlarida ham boradi. Lekin, jismning tashqi yuzasiga yaqinlashgan sari, jarayon intensivligi kamayadi. Bunday hol namlikni material bilan turli usullarda bog'langanligidan dalolat beradi.

Jarayon tezligi pasayishi davrida massa almashinish jarayonining tezligi massa o'tkazuvchanlik tezligi bilan belgilanadi. O'z navbatida, massa o'tkazuvchanlik tezligi massa almashinish mexanizmiga bog'liqdir.



5.5-rasm. G'ovaksimon jismlar tuzilishi modifikatsiyalari.



5.6-rasm. Kapillyar – g'ovakli jismda massa almashinish modeli.

Qattiq faza ishtirok etadigan massa almashinish jarayonlarining eng murakkabi - bu quritish jarayonidir, chunki bunda massa va issiqlik almashinish jarayonlari bir vaqtda ro'y beradi.

Massa o'tkazuvchanlik differensial tenglamasi issiqlik o'tkazuvchanlik differensial tenglamasiga o'xshash keltirib chiqariladi va u ushbu ko'rinishga ega:

$$\frac{dC}{dx} = k \frac{C}{x^2} - \frac{2C}{y^2} \quad (5.20)$$

Ko'rinib turibdiki, massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti o'zgaruvchan kattalik va u jarayon turi (adsorbtsiya, quritish, eritish), qattiq jism tuzilishi va molekulyar diffuziya koeffitsientiga ta'sir etuvchi parametrlarga bog'liq.

(5.20) differensial tenglama fazalarni ajratuvchi chegarasida massa o'tkazish shartlarini belgilovchi tenglama bilan birgalikda ko'rilishi kerak. Ushbu shartlarni (5.19) tenglamani  $dM = y_M F dx$  tenglama bilan taqqoslash mumkin. Tenglamalarning o'ng tomonlarini bir-biriga tenglab, ushbu ko'rinishga ega ifodani olamiz:

$$k \frac{C}{x} = y_M F \quad (5.21)$$

O'xshashlik nazariyasini qo'llab quyidagi o'lchamsiz kompleksni keltirib chiqaramiz:

$$Bi_D = \frac{l}{k} \quad (5.22)$$

Ushbu kompleks **Bio diffuzion kriteriysi** deb nomlanadi.

Bio kriteriysi qattiq fazadan yuvib turuvchi suyuq fazaga modda tarqalishi tezligining massa o'tkazuvchanlik tezligiga nisbatani ifodalaydi.

Massa o'tkazuvchanlik tenglamasidan Fure diffuzion kriteriysini keltirib chiqarish mumkin:

$$Fo_D = \frac{k t}{l^2} \quad (5.23)$$

Fure kriteriysi qattiq jism ichida massa almashinish tezligining vaqt o'tishi bilan o'zgarishini xarakterlaydi.

(5.21) tenglama tahlili shuni ko'rsatadiki, massa o'tkazish tezligi massa o'tkazuvchanlik va massa berishga bog'liq. Ekstraktsiya jarayonining massa o'tkazishga ta'siri 3 xil bo'ladi:

- massa berish jarayoni tezligi massa o'tkazish tezligiga nisbatan ancha katta. Bunda massa o'tkazish tezligi massa o'tkazuvchanlik orqali topiladi;
- massa o'tkazuvchanlik tezlik tezligi massa berish jarayonining tezligiga nisbatan ancha katta bo'ladi.

Bunda massa o'tkazish tezligi massa berish jarayoni asosida hisoblanadi;

- massa o'tkazuvchanlik va berish jarayonlarining tezligini o'zaro solishtirish mumkin bo'ladi. Bunda massa o'tkazishning tezligini topishda  $D_i$  va koeffitsientlar hisobga olinadi.

Qattiq jismdan kerakli komponentni ajratib olish murakkab jarayondir. Bunda, qattiq jism ichida va atrof - muhitda konstantriyalar miqdori vaqt davomida yoki qurilmaning uzunligi bo'yicha o'zgartirib turadi (5.6-rasm).

Qattiq jismda konstantriyalar miqdorining o'zgarish tezligiga quyidagi omillar sababchi bo'ladi:

1. Qattiq jism va tarqalayotgan moddaning diffuziya xossalari, bu xossalari massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti  $D_i$  orqali ifodalanadi;

2. «Qattiq jism – suyuqlik» chegarasida massa o'tkazish sharoitlari;

3. Qattiq jism va suyuq fazalar miqdorlarining nisbati

$$\frac{C_b}{C_0} = \frac{C'_b}{C'_0} \quad \bullet$$

bilan ifodalanadi.

bu erda  $S_b$  va  $C_0$  - jarayonning boshlanish va oxirida suyuq fazadagi ekstraktsiyalangan moddaning konstantriyalar;  $S_b$  va  $S_0$  - jarayonning boshlanishi va oxirida qattiq fazadagi ekstraktsiyalanishi zarur bo'lgan moddaning konstantriyasi;  $n=W/N$  - o'zaro to'qnashish holatida bo'lgan suyuqlik miqdori  $W$  ning qattiq jism miqdori  $N$  ni nisbati.

4. Qattiq material zarrachalarining suyuqlik bilan o'zaro ta'sir qilish usuli;
5. Qattiq material zarrachalarining shakli va o'lchamlari.

Massa o'tkazuvchanlik yo'li bilan massa almashinish jarayonining o'xshashligini ifodalashda geometrik o'xshashlik ham inobatga olinishi zarur.

Bir o'lchamli oqim uchun massa o'tkazuvchanlikning kriterial tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{C}{\delta} = \frac{C_M}{M} \cdot f \cdot Bi_{\Delta}, Fo_{\Delta} \quad (5.24)$$

bu erda  $S$  – vaqt momenti da qattiq fazaning berilgan nuqtasidagi konstantasiyasi;  $S_b$  - qattiq fazadagi boshlang'ich konstantasiyasi;  $S_m$  - qattiq fazadagi ekstrakstiyalanayotgan moddaning muvozanat konstantasiyasi;  $\delta$  - qattiq jismning aniqlovchi o'lchami;  $x$  - qattiq jismning berilgan nuqtasidagi koordinatasi. (5.24) tenglamaning echimi faqat eng oddiy shakldagi jismlar (shar, stilindr va cheksiz plastina) uchun bor.

“Qattiq jism – suyuqlik” sistemasida massa o'tkazish jarayonini ifodalash uchun massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan foydalanish mumkin. Unda, massa o'tkazish koeffitsienti ushbu formuladan hisoblanadi:

$$K = \frac{1}{\Theta} \cdot n \cdot km \quad (5.25)$$

bu erda  $\Theta$  - shakl koeffitsienti, plastina uchun 1 ga, stilindr uchun 2 va shar uchun 3 teng;  $n$  – daraja ko'rsatkichi.

Tashqi diffuziya sohasida jarayon o'tkazilganda va  $Bi_{\Delta} \gg 3,0$  bo'lganda (5.25) formula ushbu ko'rinishni oladi:

$$K = \frac{1}{\Theta} \cdot n \cdot km \quad (5.26)$$

Ushbu holatda jarayon tezligi faqat ichki diffuziya omillari bilan aniqlanadi.

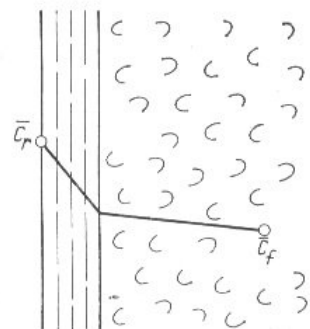
Issiqlik va massa almashinish jarayonlari birgalikda sodir bo'lganda, issiqlik va massa berish koeffitsientlarini topish uchun ushbu kriterial tenglama tavsiya etiladi:

$$\frac{Nu}{Gu^{0,175}} = A \cdot Re^n \cdot Pr^{0,33} \quad (5.26)$$

bu erda  $Gu$  – adiabatik sharoitda suyuqlikning hajmiy bug'lanishini xarakterlovchi Guxman kriteriyasi. Konstanta  $A$  va daraja ko'rsatkichi  $n$  qurilmadagi gidrodinamik rejimga bog'liq bo'ladi.

### 5.6. Konvektiv diffuziyaning differensial tenglamasi

Diffuzion chegaraviy qatlam nazariyasiga binoan, suyuqlik oqimi fazalarni ajratuvchi chegarasida tarqalayotgan modda molekulyar diffuziya va bevosita suyuqlik oqimi bilan uzatiladi (5.7-rasm). Ko'rilayotgan sistemada oqimni 2 qismdan iborat deb hisoblash bo'ladi, ya'ni yadro va chegaraviy diffuzion qatlamdan. Turbulentlik ancha yuqori bo'lganda ham, yadroda moddaning tarqalishi asosan suyuqlik harakati tufayli ro'y beradi. Turg'un rejimda ushbu ko'ndalang kesimda tarqaluvchi modda konstantasiyasi o'zgarib qolmaydi. Chegaraviy diffuzion qatlamga yaqinlashgan sari, turbulentlik darajasi pasayadi. Shuning uchun, fazalarni ajratuvchi chegarada moddaning tarqalishi asosan molekulyar diffuziya hisobiga o'tadi. Undan tashqari, bu zonaga yaqinlashish bilan konstantasiyalar gradienti ham ortadi.



5.7-rasm. Konvektiv diffuziya qonunini keltirib chiqarishga oid.

Shunday qilib, chegaraviy diffuzion qatlam – bu konstantasiya gradienti hosil bo'ladigan va ortadigan, hamda molekulyar diffuziya qiymatining minimumdan maksimumgacha ko'payadigan zonasidir.

Konvektiv diffuziya jarayonida fazaning elementar hajmida tarqaluvchi moddaning konstantasiyasi ham molekulyar diffuziya, ham mexanik harakat ta'siri ostida o'zgaradi. Bunday hollarda, tarqalayotgan moddaning konstantasiyasi  $x, u, z$  koordinatalar va vaqt  $t$  ning funktsiyasi bo'lib qolmay, balki element siljish tezligi  $w_x, w_u$  va  $w_z$  larga ham bog'liq bo'ladi.

Molekulyar diffuziya yo'li bilan moddaning tarqalishi (5.16) tenglama yordamida topiladi.

Konvektiv diffuziya paytida esa, element fazoning bir nuqtasidan ikkinchisiga ko'chadi. Bunda, elementda tarqalayotgan modda konstantasiyasining o'zgarishi substansional hosila orqali ifodalanadi:

$$D\bar{c} = \frac{\partial c}{\partial t} + w_x \frac{\partial c}{\partial x} + w_y \frac{\partial c}{\partial y} + w_z \frac{\partial c}{\partial z} \quad (5.27)$$

Ushbu tenglamadagi qo'shiluvchilar yig'indisi  $\frac{C}{w_x} + \frac{C}{w_y} + \frac{C}{w_z}$  - konstantrasiyaning

konvektiv o'zgarishini,  $\frac{DC}{x}$  esa - lokal o'zgarishini xarakterlaydi.

Molekulyar diffuziya hisobiga tarqalayotgan moddaning ortishi (5.16) tenglama yordamida aniqlanadi.

Agar, (5.16) va (5.27) tenglamalarni tenglashtirsak va konstantrasiyaning lokal o'zgarishi  $\frac{DC}{x}$  ni (5.27) dagi

to'liq  $\frac{DC}{x}$  ga almashtirsak, konvektiv diffuziyaning differensial tenglamasini keltirib chiqarish mumkin:

$$\frac{DC}{x} + w_x \frac{DC}{x} + w_y \frac{DC}{y} + w_z \frac{DC}{z} = D \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (5.28)$$

Fazalarni ajratuvchi chegara atrofida fazadan fazaga tarqalayotgan modda miqdori konvektiv diffuziya qonuni (5.17) yordamida aniqlanadi. Yuqorida aytilgandek, fazalarni ajratuvchi yuza oldida, moddaning bir fazadan ikkinchisiga o'tishi esa, molekulyar diffuziya (5.10) hisobiga amalga oshadi.

(5.10) va (5.17) tenglamalarni bir-biriga tenglashtirib, ushbu formulani olamiz:

$$\frac{D}{x} \frac{dC}{dx} = \frac{D}{x} \frac{dC}{dx} \quad (5.29)$$

bu erda  $S = S_{ch} - S_f$  - jarayonni harakatga keltiruvchi kuch.

**Konvektiv diffuziyaning kriterial tenglamalari.** Bunday formulalar (5.28) va (5.29) tenglamalardan keltirib chiqariladi. Diffuzion kriteriyalarni olish uchun o'xshashlik nazariyasidan foydalanamiz. (5.29) tenglamadan o'lchamsiz  $\frac{C}{x} / \frac{D}{C}$  kompleksni olamiz va ba'zi qisqartirishlardan so'ng Nusselt diffuzion kriteriysini hosil qilamiz:

$$Nu_D = \frac{l}{D} \quad (5.30)$$

bu erda  $\beta$  - massa berish koeffitsienti;  $l$  - aniqlovchi o'lcham;  $D$  - molekulyar diffuziya koeffitsienti.

(5.28) tenglamaning ikkala qismini  $\frac{D}{x} \frac{dC}{dx}$  ga bo'lib, ushbu o'lchamsiz kompleksni olish mumkin:

$$\frac{DC}{x} + w_x \frac{DC}{x} + w_y \frac{DC}{y} + w_z \frac{DC}{z} = D \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right)$$

Bulardan esa Fure diffuzion kriteriysi:

$$Fo_D = \frac{D}{l} \quad (5.31)$$

va Pekle diffuzion kriteriysi:

$$Pe_D = \frac{wl}{D} \quad (5.32)$$

keltirib chiqariladi. Bu erda  $\beta$  - jarayon davomiyligi;  $w$  - oqim tezligi.

Fure kriteriysi vaqt o'tishi bilan tarqalayotgan massa oqimi tezligi o'zgarishini ifodalaydi va noturg'un massa berish jarayonlarni xarakterlaydi.

Pekle kriteriysi o'xshash sistemalarning o'xshash nuqtalarida konvektiv va molekulyar diffuziyalar orqali o'tayotgan massalarning nisbatini ifodalaydi.

Pekle kriteriysini o'zgartirib, ushbu ko'rinishda yozamiz:

$$Pe = \frac{wl}{D} \cdot \frac{wl}{D} \cdot \frac{Re}{Pr} \quad (5.33)$$

bu erda

$$\Pr_D \bullet D$$

(5.33)

Prandtl kriteriyasi fizik kattaliklar maydonlarining o'xshashligini xarakterlaydi va moddalar fizik xossalari nisbatining o'zgarishini ifodalaydi.

Massa berish jarayonini xarakterlovchi o'xshashlik kriteriyalari aniqlangandan so'ng, konvektiv diffuziyaning umumiy kriterial tenglamasi tuzilishi mumkin:

$$fRe, Gr, Nu_D, Pr_D, Fo_D \bullet \quad (5.34)$$

Nusseltning diffuzion kriteriyasi asosiy aniqlanuvchi kriteriy bo'lgani uchun (5.34) tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$Nu_D \bullet fRe, Gr, Pr_D, Fo_D \quad (5.35)$$

(5.35)dagi Grasgof kriteriyasi erkin konvekstiya paytida konvektiv diffuziyaning xarakterlaydi.

Agar, jarayon turg'un bo'lsa, umumiy kriterial tenglamadan, Fure kriteriyasi tushirilib qoldiriladi:

$$Nu_D \bullet fRe, Gr, Pr_D \quad (5.36)$$

Suyuqlik oqimining majburiy harakati paytida erkin konvekstiyaning hisobga olmasa bo'ladi. Bu holda (5.36) tenglamadan Grasgof kriteriyasi tushirib qoladi:

$$Nu_D \bullet fRe, Pr_D \quad (5.37)$$

Kriterial tenglamalardan aniqlangan Nusselt kriteriyasi qiymatlaridan massa berish koeffitsientini hisoblab topish mumkin:

$$\alpha \bullet \frac{Nu \cdot D}{l} \quad (5.38)$$

Massa berish koeffitsientlarining qiymatlari yordamida massa o'tkazish koeffitsienti  $K$  ni topish mumkin.

Gidrodinamik o'xshashlik asosida massa berish koeffitsienti  $\alpha$  ni oqim o'rtacha tezligi  $w$  ga nisbatini aniqlash mumkin. Bu o'lchamsiz kattalik Stanton diffuzion kriteriyasi deb nomlanadi va ushbu ko'rinishga ega:

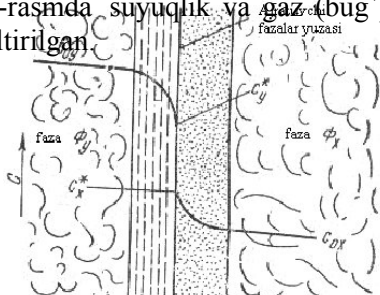
$$St_D \bullet \frac{\alpha}{w} \bullet \frac{\alpha}{Pe_D} \bullet \frac{\alpha}{l/D} \quad (5.39)$$

Stanton kriteriyasi turbulent oqimlarda massa berish jarayonida kontrastiya va tezlik maydonlari o'xshashligini xarakterlaydi.

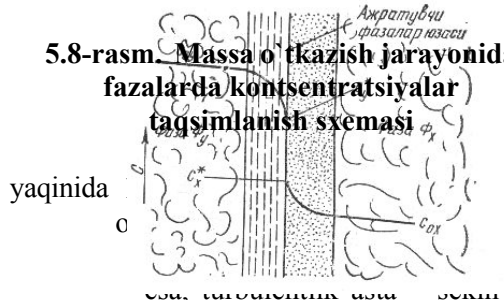
### 5.6.1. Massa almashinish jarayoni mexanizmi

Ma'lumki biror modda massasining ikkinchi fazaga ajratib turuvchi yuz orqali o'tishi **massa o'tkazish** deb nomlanadi. Bu jarayon juda murakkabdir, chunki massa berish va turbulent oqimlarning gidrodinamik qonuniyatlari yaxshi o'rganilmagan.

5.8-rasmda suyuqlik va gaz (bug') yoki ikkala faza orasida massa o'tkazish jarayonini tushuntiruvchi sxema keltirilgan.



5.8-rasm. Massa o'tkazish jarayonida fazalarda konsentrsiyalar taqsimlanish sxemasi



Fazalar bir - biriga nisbatan turbulent rejimga oid tezlikda harakat qilmoqda va ular o'rtasida ajratuvchi yuz mavjud.

Tarqaluvchi modda massasi  $M$  faza  $F_u$  (ammiakning havo bilan aralashmasi)dan suyuq faza  $F_x$  (suv) ga o'tmoqda. Shunday qilib,  $F_u$  faza yadrosidan fazalarni ajratib turuvchi yuzaga va ajratib turuvchi yuzadan  $F_x$  fazaning yadrosiga massa berish jarayoni sodir bo'ladi.

Ajratuvchi yuz qarshiligini (agar uning miqdori sezilarli bo'lsa) engib, bir fazadan ikkinchisiga massa o'tadi, ya'ni massa o'tkazish jarayoni ro'y beradi.

Ma'lumki, massa almashinish jarayoni har bir fazadagi oqim turbulentlik tuzilishi bilan uzviy ravishda bog'liq.

Gidrodinamikadan ma'lumki, suyuqlik oqimining devor  $m$  hosil bo'ladi. Har bir faza yadro va chegaraviy qatlamdan tashkil

topgan b  
oshadi va  
qatlamda

arqalishi ko'pchilik hollarda turbulent pulsastiya yordamida amalga  
astiyasi, 5.8-rasmda ko'rsatilgandek, o'zgarmas bo'ladi. Chegaraviy  
so'nib, konstentrastiya esa o'zgarib boradi. Ajratuvchi yuzaga

yaqinlashgan sari, konstantrastrasiya o'zgarishi keskinlashadi. Bevosita ajratuvchi yuzada moddaning tarqalish tezligi juda kichik bo'ladi va u molekulyar diffuziyaning tezligiga bog'liq bo'lib qoladi. Fazalararo ishqalanish va sirtiy taranglik kuchlari ta'sirida ajratuvchi yuza yaqinida konstantrastrasiya keskin, to'g'ri chiziqli qonun bo'yicha o'zgaradi.

Shunday qilib, suyuqlik oqimining turbulent harakati paytida faza yadrosidan ajratuvchi yuzagacha yoki teskari yo'nalishda massaning berilishi ham molekulyar, ham turbulent diffuziyalar usulida boradi. Lekin, tarqalayotgan massaning asosiy qismi turbulent diffuziya usulida o'tadi.

Demak, massa almashinish jarayonini intensivlash uchun oqim turbulentlik darajasini ko'paytirib, chegaraviy qatlam qalinligini kamaytirish zarur.

Ma'lumki, oqim turbulentlik darajasini ko'paytirish uchun suyuqlik tezligini oshirish kerak bo'lsa, chegaraviy qatlam qalinligini kamaytirish uchun aralashtirish, pulsastiya, tebranish, elektromagnit maydon yoki ultratovush kabi usullarni qo'llash mumkin.

### 5.6.2. Massa o'tkazish va berish koeffitsientlari o'rtasidagi bog'liqlik

Ishchi va muvozanat konstantrastrasiyalari orasida chiziqli bog'liqlik sharoitida, biror  $G$  fazadan  $L$  fazaga massa o'tkazish jarayonini ko'rib chiqamiz (5.4-rasm). Fazalarni ajratuvchi chegarada muvozanat holatiga erishiladi deb qabul qilamiz.

$G$  fazadan fazalarni ajratuvchi chegaraviy yuzaga tarqalgan modda miqdori ushbu tenglamadan topiladi:

$$dM = \tilde{y}_y y_u dF$$

Fazalarni ajratuvchi chegaraviy yuzadan  $L$  faza yadrosiga berilgan modda miqdori esa quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$dM = \tilde{x}_x x_q dF$$

Muvozanat konstantrastrasiya  $u_m = m \cdot x$  ekanligi ma'lum bo'lgani uchun,  $L$  fazadagi konstantrastrasiya  $x$  ni  $G$  fazadagi muvozanat konstantrastrasiyasi orqali ifodalasa mumkin:

$$dM = \tilde{x}_x x_q dF = \tilde{x}_x \frac{y}{m} dM = \tilde{y}_y y_u dF$$

bundan:

Yuqorida keltirilgan oxirgi ikki tenglamalarning chap va o'ng tomonlarining yig'indisi, hamda  $u_{ch} = u_{mch}$  ga tengligini hisobga olsak ushbu ko'rinishdagi tenglamani olamiz:

$$\tilde{y}_y y_u \frac{dM}{dF} = \frac{dM}{dF} \frac{m}{1} \quad (5.40)$$

Massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan:

$$\tilde{y}_y y_u \frac{dM}{dF} = \frac{dM}{dF} \frac{1}{K} \quad (5.41)$$

(5.40) va (5.41) tenglamalarni o'ng tomonlarini tenglashtirib, ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\frac{1}{K_y} \frac{m}{\tilde{x}_x} \frac{1}{\tilde{x}_y} \quad \text{yoki} \quad K_y \frac{1}{m} \frac{1}{\tilde{x}_x} \quad (5.42)$$

Xuddi shu usulda  $L$  faza uchun massa o'tkazish koeffitsientini aniqlash formulasini keltirib chiqaramiz:

$$\frac{1}{K_x} \bullet \frac{1}{m_{\text{y}} \cdot \text{y}} \quad \frac{1}{\text{x}} \quad \text{yoki} \quad K_x \bullet \frac{1}{\frac{1}{m_{\text{y}}} \cdot \frac{1}{\text{x}}} \quad (5.43)$$

Bu tenglamalarning chap tomonlari massaning bir fazadan ikkinchisiga o'tishi uchun umumiy diffuzion qarshilikni, o'ng tomonlari esa – fazalardagi massa berish jarayonlari diffuzion qarshiliklarning yig'indisini ifodalaydi. Shuning uchun ham, (5.42) va (5.43) tenglamalar fazaviy qarshiliklarning **additivlik tenglamalari**

deb yuritiladi.

$K_u$  va  $K_x$  koeffitsientlar  $K_u = K_x/m$  tenglik bilan bog'liq bo'ladi. Massa o'tkazish koeffitsientlarning qiymati massa berish koeffitsientlarining son qiymatlari va muvozanat chizig'ining qiyalik burchagi bilan belgilanadi. Massa berish koeffitsientlari kriterial tenglamalardan aniqlanadi.

### 5.6.3. Massa almashinish jarayonlarining modellari

Massa berish mexanizmi bir vaqtda ham molekulyar, ham konvektiv usullarda massa o'tish bilan xarakterlanadi. Massa o'tkazish esa, undan ham murakkab jarayondir, chunki fazalarni ajratuvchi chegaraning ikkala tomonida massa berish jarayonlari ro'y beradi. Shu kungacha fazalar orasidagi harakatchan yuza chegarasida boradigan massa o'tkazish jarayonining nazariyasi yaratilmagan. Shuning uchun ham massa o'tkazish mexanizmining bir qator soddalashtirilgan nazariy modellari ishlab chiqilgan.

Ko'pchilik modellar quyidagi tahminlar asosida yaratilgan:

1. Bir fazadan ikkinchisiga massa o'tish jarayonidagi umumiy qarshilik ikkala faza va ularni ajratuvchi yuza qarshiliklarining yig'indisiga teng. Lekin, ko'pincha ajratuvchi yuzadagi qarshilik nolga teng deb hisoblanadi. Unda, umumiy qarshilikni fazalar qarshiliklari yig'indisi deb qarash mumkin;

2. Ajratuvchi yuzada fazalar muvozanat holatida bo'ladi.

**Yupqa qatlamli model.** Bu model eng birinchilaridan bo'lib, Lyuis va Uitmenlar tomonidan taklif etilgan. Ushbu modelga binoan, har bir fazada uning bevosita chegarasiga qo'zg'almas yoki laminar harakatlanuvchi yupqa qatlam yondashib turadi.

Yupqa qatlamda massa faqat molekulyar diffuziya usulida tarqaladi. Massa berishga qarshilikning hammasi yupqa qatlamda mujassamlashgan. Shuning uchun, konstantriyalar gradienti faqat chegaraviy yupqa qatlam ichida hosil bo'ladi, chunki fazalar yadrosida konstantriyalar o'zgarmas va son jihatidan o'rtacha konstantriyalarga tengdir.

Undan tashqari, yuqorida qabul qilingan tahminlar bu modelga ham taalluqli. Shunday qilib, ushbu model sxemasining 5.8-rasmdagidan farqi shundaki, chegaraviy qatlamda turbulent pulsastiyalar yordamida aralashtirish to'g'ri chiziq qonuniga bo'ysinadi.

Yupqa qatlamli modelga binoan, vaqt birligida tarqalgan massa miqdori quyidagi tenglamadan aniqlanishi mumkin:

$$M \sim \frac{D}{\delta_{ef}} C_0 \sim C_{ef} \quad (5.44)$$

bu erda  $s_0$  va  $s_{ch}$  – faza yadrosi va ularni ajratib turuvchi chegaradagi konstantriyalar;  $\heartsuit_{ef}$  – chegaraviy yupqa qatlamning effektiv qalinligi;  $D/\heartsuit_{ef}$  – massa berish tezligini xarakterlovchi koeffitsient.

Ushbu modelda ajratuvchi yuza atrofidagi gidrodinamik sharoitlar ancha soddalashtirilgan. Molekulyar va turbulent diffuziyalarni ajratib turuvchi chegarasida turbulent pulsastiyalarning so'nishi, sistemaning fizik va geometrik kattaliklari hisobga olinmagan. Shu sabablarga ko'ra, ko'pchilik tajribalarda olingan natijalarda  $M \cdot D$  bog'liqlik isbotlanmagan.

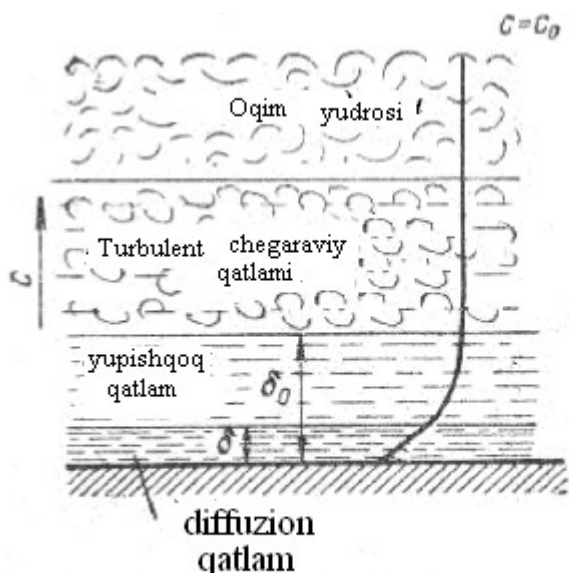
Undan tashqari, chegaraviy qatlamning effektiv qalinligini o'lchash yoki formulalar yordamida hisoblash qiyin.

**Diffuzion chegaraviy qatlamli model.** Ushbu modelda fazalarni ajratuvchi chegara yaqinidagi sharoitlar aniqroq hisobga olingan (5.9-rasm).

«Qattiq jism – suyuqlik» sistemasidagi nisbatan yuqori aniqlikka ega model rus olimlari Landau va

Levich tomonidan yaratilgan. Ko'rinib turibdiki, faza yadrosida konstantriya o'zgarmas ( $S_0 = const$ ) bo'lib, turbulent chegaraviy qatlamda asta-sekin kamayib boshlaydi. Qovushoq qatlamga yaqinlashgan sari turbulent pulsastiyalar so'nib boradi. Lekin, qovushoq qatlamda konstantriya sezilarli darajada kamayadi. Bu qatlamda ishqalanish kuchlari katta bo'lgani uchun suyuqlik harakati laminar rejimga to'g'ri keladi. Natijada molekulyar diffuziya usulida tarqalayotgan moddaning ulushi ortib boradi.

Lekin, qovushoq qatlam  $\heartsuit_0$  ning katta qismiga turbulent diffuziya usulida tarqaladigan massaning miqdori molekulyar diffuziyalikiga qaraganda



59-rasm. Fazadagi oqimning tuzili va konsentratsiyaning o'zgarishi

nisbatan ko'p. Faqat diffuzion qatlam  $\delta$  dagina massaning o'tishi butunlay molekulyar diffuziya yo'li bilan tarqaladi.

Diffuzion qatlamda konstantrastrasiya keskin o'zgaradi va bu o'zgarish to'g'ri chiziq bo'yicha boradi. Qovushoq qatlam qalinligi va  $\delta_0$  diffuzion qatlam qalinligi o'rtasida quyidagi bog'liqlik bor:

$$\delta \sim \delta_0 \left( \frac{M}{D} \right)^{\frac{m-1}{m}} \quad (5.45)$$

$\delta$  ning qiymatini (5.44) ga qo'yib, ushbu tenglamani olamiz:

$$\frac{M}{D} \sim \frac{\delta^m}{\delta_0^m} C_0 \sim C_u \quad (5.46)$$

bu erda  $\delta$  - kinematik qovushoqlik;  $m$  - fazalarni ajratuvchi chegarada turbulent diffuziya usulida massa tarqalishining so'nish qonuniyatini ifodalovchi daraja ko'rsatkichi.

Ko'pincha, tajriba yo'li bilan aniqlanadi va «qattiq jism – suyuqlik» sistemasi uchun  $m=3$ , «suyuqlik – gaz», «suyuqlik – suyuqlik» sistemasi uchun –  $m = 2$  va (5.46) tenglamaga asosan  $M \cdot D^{0.66}$ , hamda  $M \cdot D^{0.5}$ .

Shunday qilib, turbulentlik asta-sekin va uzluksiz ravishda so'nib boradi va qattiq jism yuzasi yaqinida pulsastion tezlik nolga tenglashadi,  $\delta_D \rightarrow 0$ .

Harakatchan ajratuvchi yuzaga ega bo'lgan «suyuqlik - gaz» va «suyuqlik - suyuqlik» sistemalaridagi sirtiy taranglik kuchlari, xuddi qattiq yuzada ishqalanish kuchi kabi ta'sir etadi. Lekin, shu kungacha turbulent pulsastiyalarning so'nish qonuni topilmaganligi uchun  $m$  ning qiymatini nazariy yo'l bilan aniqlab bo'lmaydi.

Yuqorida ko'rib chiqilgan modellarda modda o'tishi uzluksiz deb tahmin qilingan. Lekin, to'qnashish yuzasining yangilanish modeli (Dankverts va Kishinevskiylar tomonidan yaratilgan) da massa almashinish jarayoni uzluqli bo'ladi, ya'ni vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadi.

Kishinevskiy M.X tomonidan taklif etilgan modelga binoan, fazalarni ajratuvchi chegaragacha massa berishda molekulyar va turbulent diffuziya birgalikda boradi deb qabul qilinadi. Shuning uchun, bu modelda o'tayotgan massa miqdori quyidagi formuladan hisoblanadi:

$$M \sim 2 \sqrt{\frac{D}{s}} \cdot C_0 \cdot C_u \quad (5.47)$$

bu erda  $s$  - fazalarning to'qnashish vaqti;  $S_0 - S_{ch}$  – fazalar chegarasi va yadrosidagi konstantrastrasiyalar farqi.

Dankvers modeliga binoan, fazalarni ajratuvchi yuzalar chegarasida moddaning tarqalishi faqat molekulyar diffuziya hisobiga boradi deb qabul qilingan. Lekin, har bir element yangisi bilan almashish ehtimoli bor deb qaraladi. Shu bilan birga, elementlarning ajratuvchi yuzada bo'lish vaqti bir xil emas va moddaning tarqalishi eksponensial qonunga bo'ysinadi, ya'ni (5.47) tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$M \sim D s C_0 \tilde{C}_u$$

bu erda  $s$  – vaqt birligi ichida yangilanayotgan yuzaning ulushi,  $s^{-1}$ .

Ma'lumki, turbulent harakat shu kungacha mukammal o'rganilmagan. Shuning uchun ham, aniq va mukammal massa o'tkazish modellari ishlab chiqilmaganligi uchun (5.17) tenglama ishlatiladi.

#### 5.6.4. Massa almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuch

Issiqlik almashinish jarayonlarida kabi, massa almashinishda ham fazalar yo'nalishi parallel, qarama - qarshi, o'zaro kesishgan va murakkab bo'lishi mumkin.

Ma'lumki, fazalar harakatining o'zaro yo'nalishi va ularning ta'sir qilish usuli massa almashinish jarayonining harakatga keltiruvchi kuch qiymatini belgilaydi. Fazalar, ajratuvchi yuza bo'yicha harakatlanganda, ularning konstantrastrasiyasi o'zgaradi. Bu hol esa o'z navbatida harakatga keltiruvchi kuchning o'zgarishiga olib ketadi. Shuning uchun, massa o'tkazishning asosiy tenglamasida o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch kattaligi ishlatiladi.

**Massa o'tkazish jarayonining o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi.** Ushbu kuchning ifodalanishi muvozanat chizig'i to'g'ri yoki egri chiziq shaklida ekanligiga bog'liq.

Qarama - qarshi yo'nalishli kolonnada massa almashinish jarayonini ko'rib chiqamiz (5.10-rasm).

Jarayon quyidagi shartlarga amal qilgan holatda yuz bermoqda:

1) Muvozanat egri chizig'i  $u^* = f(x)$ ;

2) fazalar sarflari o'zgarmas ( $G = \text{sonst}, L = \text{const}$ ), ya'ni ishchi chiziq to'g'ri chiziq funktsiyasidir.

3) massa o'tkazish koeffitsienti qurilmaning balandligi bo'yicha o'zgarmaydi, ya'ni  $K_x = \text{const}, K_u = \text{const}$ .

Massa o'tkazish jarayonida  $dF$  elementar yuzadan  $F_u$  fazaning konstantriyasi  $du$  ga kamayadi va tarqalgan massa  $dM$  ning miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$dM \sim G dy$$

Tenglama o'ng tomonidagi manfiy ishora  $F_u$  fazadagi konstantriyaning kamayishini ifodalaydi.

Xuddi shu miqdordagi  $dM$  massa  $F_x$  fazaga o'tib, uning konstantriyasini  $dx$  qiymatga oshiradi. Unda,  $dF$  elementar yuz uchun massa o'tkazish tenglamasini ushbu ko'rinishda yozish mumkin:

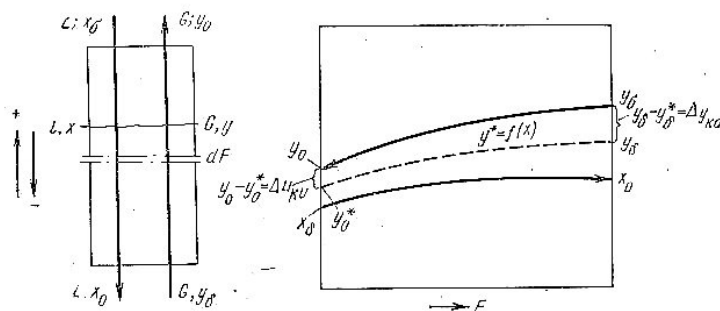
$$dM \sim G dy \sim K_y \frac{y^*}{dF} \quad (5.48)$$

O'zgaruvchi  $u$  va  $F$  qiymatlarni ajratib (5.48) tenglamani integrallasak (konstantriya bo'yicha  $u_b$  dan  $u_{ox}$  gacha, to'qnashish yuzasi bo'yicha  $O$  dan  $F$  gacha), quyida tenglamani olamiz:

$$\int_{y_0}^{y_{ox}} \frac{d}{y y^*} \sim \int_0^F \frac{K}{G} dF$$

bundan

$$\frac{y_{ox}}{y} \frac{d}{y y^*} \sim \frac{K_y}{F G} \quad (5.49)$$



5.10-rasm. Massa o'tkazish jarayonining o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchini aniqlashga oid.

Moddiy balans tenglamasiga binoan, butun qurilma uchun bir fazadan ikkinchisiga o'tgan modda massasi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$M \sim G \frac{y_0}{y_{ox}}$$

Oxirgi ifodadagi  $G$  ning qiymatini (5.49) tenglamaga qo'ysak, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\int_{y_{ox}}^{y_0} \frac{d}{y y^*} \sim \frac{K_y}{M} \frac{y_0}{y_{ox}}$$

bundan:

$$M \sim \frac{K_y}{F} \frac{y_0}{y_{ox}} \frac{y_{ox}}{dy} \quad (5.50)$$

(5.50) tenglamani (5.4) bilan taqqoslab, (5.50) tenglamaning oxirgi ko'paytmasi massa almashinish jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchini ifoda etishini bilamiz:

$$F_{yp} \sim \frac{y_0}{y_{ox}} \frac{y_{ox}}{dy} \quad (5.50a)$$

$$y_{ax} \overline{y^*}$$

Xuddi shunday  $F_x$  fazadagi  $x_{or}$  ni quyidagich ifodalash mumkin:

$$x_{yp} \bullet \frac{x_{ox} \sim x_{\delta}}{x_{ax} \frac{dx}{x \sim x}} \quad (5.50b)$$

Muvozanat chizig'i to'g'ri chiziq ( $u^*=mx$ ) funkstiyasi bo'lgan holda o'rtacha logarifmik yoki arifmetik kattalik sifatida aniqlash mumkin.

Shunday qilib,  $F_u$  fazasi uchun massa o'tkazishning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi ushbu tenglama bilan ifodalanadi:

$$v_{yp} \bullet \frac{y_{\delta} \sim y_{\delta} \cdot y_{ox} \sim y_{ox}}{y \sim y} \bullet \frac{v_{ka} \sim v_{ku}}{2,3 \lg \frac{ka}{ku}} \quad (5.51)$$

$F_x$  fazasi uchun massa o'tkazishning o'rtacha logarifmik harakatga keltiruvchi kuchini esa quyidagi tenglama orqali topish mumkin:

$$x_{yp} \bullet \frac{x_{ax} \sim x_{ax} \cdot x_{\delta} \sim x_{\delta}}{x \sim x} \bullet \frac{x_{ka} \sim x_{ku}}{2,3 \lg \frac{ka}{ku}} \quad (5.52)$$

Agar  $v_{ka} / v_{ku} < 2$  bo'lgan sharoitda, texnik hisoblashlar uchun etarli aniqlikda, massa o'tkazishning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi, o'rtacha arifmetik qiymat sifatida topiladi:

$$v_{yp} \bullet \frac{v_{ka} \sim v_{ku}}{2} \quad (5.53)$$

Xuddi shunday,  $F_x$  fazasi uchun:

$$x_{yp} \bullet \frac{x_{ka} \sim x_{ku}}{2} \quad (5.54)$$

**O'tkazish birligining soni.** (5.50a) va (5.50b) tenglamalari mahrajidagi integral **o'tkazish birligining soni** deb nomlanadi va u  $n_{oy}$ ,  $n_{ox}$  bilan belgilanadi:

$$n_{oy} \bullet \frac{y_{\delta}}{y_{ax} \frac{dy}{y \sim y}} \quad (5.55)$$

$$n_{ox} \bullet \frac{x_{ax}}{x_{\delta} \frac{dx}{x \sim x}}$$

(5.55) tenglamadan ko'rinib turibdiki, o'tkazish birligining soni va o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch o'rtasida ma'lum bog'liqlik bor:

$$n_{oy} \bullet \frac{y_{\delta} \sim y_{ox}}{v_{yp}} \quad (5.56)$$

$$n_{ox} \bullet \frac{x_{ox} \sim x_{\delta}}{v_{yp}}$$

Shunday qilib, o'tkazish birligi soni jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchiga teskari proporsionaldir.

**O'tkazish birligining balandligi.** Faraz qilaylik,  $F_u$  fazadan  $F_x$  ga massa o'tkazish jarayoni sodir bo'lib, o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch  $F_u$  faza konstantrasiyasida ifodalanganda, tarqalgan modda  $M$  miqdori ushbu tenglamadan aniqlanadi:

bu erda  $G - F_u$  faza sarfi.

$$M \bullet G \approx y_{\sigma} \tilde{y}_{ox}$$

Undan tashqari, tarqalgan modda miqdori hajmiy massa o'tkazish koeffitsienti orqali ifodalangan massa berish tenglamasi yordamida topilishi mumkin:

$$M \bullet K_y \bullet aSH \bullet y_{yp}$$

Agar, oxirgi ikki tenglamalarning o'ng tomonlarini tenglashtirsak, ushbu ifodani olamiz:

$$K_y \bullet aSH \bullet y_{yp} \bullet G \bullet y_{\tilde{o}} \bullet y_{ox}$$

bundan, qurilmaning ishchi balandligi:

$$H \bullet \frac{G \bullet y_{\tilde{o}} \bullet y_{ox}}{K_y \bullet aS \bullet y_{yp}} \quad (5.57)$$

(5.57) tenglama o'ng tomonidagi birinchi ko'paytmasini  $n_{oy}$  deb belgilab, (5.49) va (5.55) tenglamalarni hisobga olgan holda quyidagiga erishamiz:

$$h_{oy} \bullet \frac{H}{n_{oy}} \bullet \frac{HG}{K_y F}$$

Agar, fazalar to'qnashish yuzasi  $F = aSH$  ekanligini inobatga olsak:

$$h_{oy} \bullet \frac{HG}{K_y aSH} \bullet \frac{G}{K_y \bullet aS} \quad (5.58)$$

yoki

$$h_{ox} \bullet \frac{L}{K_x \bullet aS}$$

$K_u \bullet a = K_v$  va  $G/S = W$  – suyuqlik massaviy tezligi, bo'lgani uchun:

$$h_{oy} \bullet \frac{W}{K_v}$$

yoki

$$h_{ox} \bullet \frac{L}{K_v} \quad (5.59)$$

Shunday qilib, o'tkazish birligining balandligi bitta o'tkazish birligiga ekvivalent bo'lgan qurilma balandligini ifodalaydi. O'tkazish birligining balandligi massa o'tkazishning hajmiy koeffitsientiga teskari proporsionaldir. Demak, qurilmada massa o'tkazish intensivligi qanchalik yuqori bo'lsa, o'tkazish birligining balandligi shunchalik kichik bo'ladi.

O'tkazish birligi balandligi uzunlik o'lchov birligi (m) yordamida o'lchanadi.

**Ajratib olish koeffitsienti.** Massa almashinish jarayoni nuqtai nazaridan qaralganda, qurilmaning samaradorligi tarqaluvchi komponentni gaz (yoki suyuqlik) fazadan ajratib olish darajasi yordamida xarakterlanadi.

Qurilmada bir fazadan ikkinchisiga o'tgan komponent haqiqiy massasining maksimal o'tishi mumkin bo'lgan komponent massasiga nisbati massa almashinish qurilmalarining asosiy xarakteristikasi bo'lib, **ajratib olish** yoki **boytish koeffitsienti** deb nomlanadi.

$$\bullet \frac{y_{\tilde{o}} \bullet y_{ox}}{y_{\tilde{o}} \bullet y_{ox}^*} \quad (5.60)$$

## 5.7. Massa almashinish qurilmalarining asosiy o'lchamlarini hisoblash

Massa almashinish qurilmalarini texnologik hisoblash ularning asosiy o'lchamlari: qurilma unumdorligini xarakterlovchi – diametr va unda ro'y berayotgan jarayon intensivligini ifodalovchi – ishchi balandliklar aniqlanishi zarur.

**Qurilma diametri.** Ushbu parametрни hisoblash uchun suyuqlik sarfi tenglamasidan foydalaniladi:

$$V \bullet F_{W_0}$$

bu erda  $V$  – fazaning hajmiy sarfi;  $w_0$  – fazaning sohta tezligi;  $F$  - qurilma ko'ndalang kesimining yuzasi.

Dumaloq ko'ndalang kesim yuzasi  $F = \frac{\pi D^2}{4}$ . Demak:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} w_0$$

Bundan qurilmaning diametri:

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} \quad (5.62)$$

Odatda,  $V$  kattalik berilgan bo'ladi va qurilma diametrini aniqlash uchun tegishli fazaning sohta tezligini tanlash zarur. Faza tezligini tanlash quyidagi talablar asosida amalga oshiriladi: suyuqlik oqimining tezligi ortishi bilan massa o'tkazish koeffitsienti ko'payadi; suyuqlik tezligi ortishi bilan qurilmaning gidravlik qarshiligi ham oshadi; gidravlik qarshilik ortishi bilan jarayonni o'tkazish uchun zarur energiya sarfi ko'payadi. Shuning uchun gaz yoki suyuqlikning optimal tezligini topish texnik-iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir. Lekin, amaliyotda sohta tezlikni hisoblab chiqish va uning maksimal qiymatini topish bilan chegaralanadi.

**Qurilma balandligi.** Massa almashinish qurilmasining balandligi jarayonda ishtirok etuvchi fazalar to'qnashuvchi uzluksiz yoki pog'onali bo'lishiga qarab aniqlanishi mumkin.

Uzluksiz to'qnashishli qurilmaning balandligi. Fazalari uzluksiz to'qnashuvda bo'lgan qurilmalarda uning balandligi hajmiy massa o'tkazish koeffitsienti orqali ifodalangan massa o'tkazish formulasi asosida hisoblash mumkin:

$$M = K_y a V$$

yoki

$$V_{yp} M = K_x a \quad (5.63)$$

Qurilmaning ishchi hajmi:

$$V = x_{yp} V$$

$FH$

bu erda  $F$  - qurilma ko'ndalang kesimi yuzasi,  $m$ ;  $N$  - qurilmaning ishchi balandligi,  $m$ .

Agar,  $V$  ning qiymatini (5.63) ga qo'yib, tenglamani  $N$  ga nisbatan echsak, qurilmaning balandligini topamiz:

$$H = \frac{M}{K_y a V_{yp}} \quad (5.64)$$

yoki

$$H = \frac{M}{K_x a V x_{yp}}$$

(5.64) tenglamadan  $N$  ni aniqlashda solishtirma yuza  $a$  va massa o'tkazishning sirtiy koeffitsienti ( $K_u$  yoki  $K_x$ ) ni yoki ushbu kattaliklarning ko'paytmasi bo'lmish hajmiy massa o'tkazish koeffitsienti  $K_V$  ni bilish kerak.

Qurilmaning ishchi balandligini aniqlashda o'tkazish birligi soni yordamida ham topish mumkin, ya'ni:

$$H = h_{oy} n_{oy}$$

yoki

$$H = h_{ox} n_{ox} \quad (5.65)$$

Pog'onali to'qnashishli qurilmaning balandligi. Bunday turdagi qurilmalarning, shu jumladan, tarelkali kolonnalarning balandligi hajmiy massa o'tkazish koeffitsienti orqali ifodalanadi.

Lekin,  $K_V$  ni aniqlash uchun kerakli harakatchan faza hajmini topish juda qiyin. Shunday uchun,  $N$  ni hisoblashda qurilma pog'onalarining soni analitik yoki grafik usulda topilishi mumkin.

Qurilmaning ishchi balandligi pog'onalarining haqiqiy soni orqali aniqlanishi mumkin:

$$H = n_x h$$

bu erda  $h$  - pog'onalar orasidagi masofa.

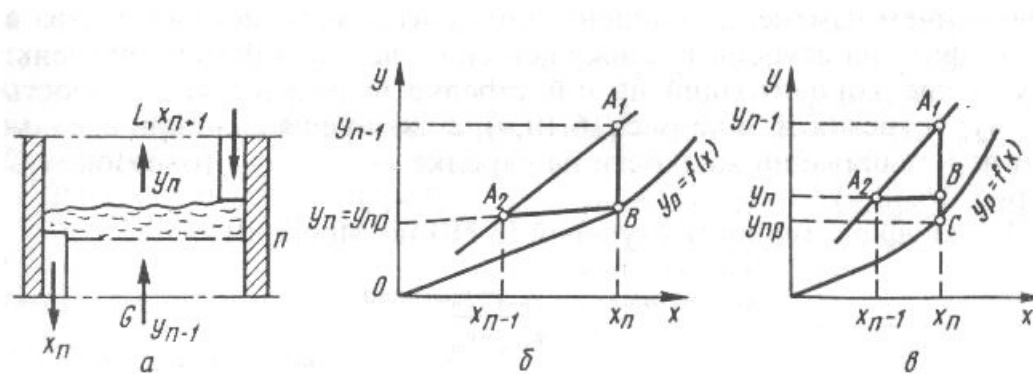
**Pog'onalar sonini aniqlashning analitik usuli.**  $n$  - pog'onali, qarama-qarshi yo'nalishli, kolonnali qurilmada massa almashinish jarayonini ko'rib chiqamiz (5.11-rasm).

Kolonna tarelkasiga  $u_{n-1}$  konstantastiyali  $G$  gaz faza va  $x_{n+1}$  konstantastiyali  $L$  suyuq faza uzatilmoqda.

Massa almashinish natijasida gaz fazaning konstantriyasi  $u_n$  miqdorgacha pasaysa, suyuq fazaniki  $x_n$  miqdorgacha ko'payadi. Tarelkadan chiqib ketayotgan gaz  $u_n$  va undan oqib tushayotgan suyuqlik  $x_n$  tarkiblarining muvozanat holati konstantriyalari muvozanat chizig'ida  $V$  nuqta bilan ifodalanadi (5.11-rasm).

Nazariy pog'onada gaz fazasi konstantriyasining o'zgarishiga  $A_1V$  vertikal chiziq to'g'ri keladi. Suyuq fazada konstantriyaning  $x_n$  dan  $x_{n+1}$  gacha o'zgarishi  $VA_2$  gorizontaal chiziq bilan ifodalanadi.

Shunday qilib,  $A_1VA_2$  "pog'ona" nazariy tarelkada ikkala fazalar konstantriyalarining o'zgarishini tasvirlaydi. Kolonnali qurilmalarda nazariy tarelkalar sonini aniqlash uchun boshlang'ich va oxirgi konstantriyalar oraligida ketma-ket shunday "pog'onalar" quriladi.



5.11-rasm. Tarelkada massa almashinish (a) va jarayonni u-x koordinatlarida tasvirlash

b - tarelkada muvozanat bo'lgan sharoitda - ideal jarayon;  
c - tarelkada muvozanat bo'lmagan sharoitda - haqiqiy jarayon.

Haqiqiy tarelkalar sonini topish uchun qurilmaning f.i.k. dan foydalaniladi. Ushbu koeffitsient haqiqiy tarelkadagi massa almashinish jarayonining real kinetikasini hisobga oladi va tarelkalar tuzilishiga qarab  $\beta = 0,5 \dots 0,8$  oralikda bo'ladi.

F.i.k. hisobga olingan hollarda, tarelkalarining haqiqiy soni ushbu nisbatdan topiladi:

$$n = \frac{H}{x} \cdot \frac{y_{n1} - y_n}{y_{n1} - y_{np}} \quad (5.66)$$

bu erda  $n$  - tarelkalarining haqiqiy soni;  $\beta$  - f.i.k.

Tarelkalar f.i.k. uning tuzilishiga, gaz va suyuqliklarning fizik - kimyoviy xossalriga, hamda oqimlar gidrodinamikasiga bog'liqdir.

Shuni nazarda tutish kerakki, nazariy tarelkalar soni yordamida qurilma balandligini aniqlash tahminiy usul bo'lib hisoblanadi. Bundan, faqat massa o'tkazish koeffitsienti yoki f.i.k. ning ishonchli qiymatlari bo'lmagan holatlarda foydalanish mumkin.

Ko'pincha, massa almashinish jarayonlarida muvozanat holatiga erishib bo'lmaydi. Shuning uchun, haqiqiy to'qnashish pog'onalarini aniqlash bu jarayonlarda asosiy masaladir.

Pog'onaning samaradorligi fazaning pog'onadagi konstantriyalar o'zgarishini shu fazaning pog'onaga kirishdagi harakatga keltiruvchi kuchi nisbati bilan belgilanadi.

$n$  - pog'ona tarelkasidagi konstantriyaning o'zgarishi  $u_{n-1} - u_n$  farq bilan (5.11v-rasm,  $A_1V$  kesma), suyuqlikni ideal aralastirish paytidagi harakatga keltiruvchi kuch esa,  $u_{n-1} - u_{nr}$  (5.11v-rasm,  $A_1S$  kesma) farq bilan ifodalanadi.

Unda, pog'onalarining samaradorligi yoki f.i.k. quyidagicha hisoblanadi:

$$\frac{E}{y} = \frac{y_{n1} - y_n}{y_{n1} - y_{np}} \quad (5.67)$$

Qurilma balandligi esa ushbu nisbatdan topiladi:

$$H = \frac{n_x \cdot h_x}{\beta} \quad (5.68)$$

$y > y_p$  bo'lganda,  $n$  - tarelka uchun harakatga keltiruvchi kuch quyidagicha aniqlanadi:

$$m_y \bullet \frac{y_{np} \cdot y_n}{y_{n1} \cdot y_{np}} \bullet \frac{y_{n1} \cdot y_n}{y_{n1} \cdot y_{np}} \quad (5.69)$$

O'tkazish birligining soni esa,

$$m_y \bullet \frac{y_{n1} \cdot y_{np}}{y_n \cdot y_{np}} \quad (5.70)$$

bundan

$$e^{m_y} \bullet \frac{y_{n1} \cdot y_{np}}{y_n \cdot y_{np}} \quad (5.71)$$

5.11-rasmdan ko'rinib turibdiki,  $e^{m_y} = AC/BC$  yoki  $VS = AS \cdot e^{m_y}$ . Agar,  $e^{m_y}$  ma'lum bo'lsa,  $VS$  kesma bo'yicha  $V, V_1, V_2$  nuqtalar o'rnini topish mumkin.  $V, V_1, V_2, \dots$  nuqtalarni birlashtirib, har bir tarelkadan chiqishdagi fazaning konstantriyasini ifodalovchi jarayonning kinetik chizig'ini olamiz.

Massa o'tkazish koeffitsienti  $\alpha_u$  va  $\alpha_x$  larni hisobga olgan holda aniqlanadi:

$$K_u \bullet \frac{1}{\frac{1}{\alpha_y} \cdot \frac{1}{\alpha_x}}$$

Shunday qilib,  $K_u$  va  $e^{m_y}$  qiymatlarni, hamda  $SV$  kesmani hisoblab, kinetik chiziq o'rnini topish mumkin.

Pog'onalar samadorligi va o'tkazish birligining soni orasida esa quyidagi bog'liqlik bor:

$$e^{m_y} \bullet 1 \cdot \frac{y_{n1} \cdot y_n}{y_n \cdot y_{np}} \bullet 1 \cdot E_y \quad (5.72)$$

bundan

$$E_y \bullet 1 \cdot e^{m_y} \quad (5.73)$$

# Absorbsiya

## 5.8. Umumiy tushunchalar

Gaz yoki bug'li aralashmalardagi komponentlarining suyuqlikda yutilish jarayoni **absorbsiya** deb nomlanadi. Yutilayotgan gaz yoki bug' **absorbktiv**, yutuvchi suyuqlik esa – **absorbent** deb ataladi. Ushbu jarayon selektiv va qaytar jarayon bo'lib, gaz yoki bug' aralashmalarini ajratish uchun xizmat qiladi.

**Absorbktiv va absorbentlarning o'zaro ta'siriga qarab, absorbsiya jarayoni 2 ga bo'linadi: fizik absorbsiya; kimyoviy absorbsiya (yoki xemosorbstiya).**

**Fizik absorbsiya jarayonida gazning suyuqlik bilan yutilishi paytida kimyoviy reaksiya yuz bermaydi, ya'ni kimyoviy birikma hosil bo'lmaydi. Agar, suyuqlik bilan yutilayotgan gaz kimyoviy reaksiyaga kirishsa, bunday jarayon xemosorbstiya deyiladi.**

Ma'lumki, fizik absorbsiya ko'pincha qaytar jarayon bo'lgani sababli, ya'ni suyuqlikka yutilgan gazni ajratib olish imkoni bo'ladi. Bunday jarayon **desorbstiya** deb nomlanadi. Absorbsiya va desorbstiya jarayonlarini uzluksiz ravishda tashkil etish, yutilgan gazni sof holda ajratib olish va absorbentni ko'p marta ishlatish imkonini beradi.

**Absorbsiya jarayoni sanoat korxonalarida uglevodorodli gazlarni ajratish, sulfat, azot, xlorid kislotalar va ammiakli suvlarni olishda, gaz aralashmalaridan qimmatbaho komponentlarni ajratish va boshqa hollarda keng miqyosda ishlatiladi.**

Absorbsiya jarayoni ishtirok etadigan texnologiyalarni qurilmalar bilan jihozlash murakkab emas. Shuning uchun, kimyo, oziq - ovqat va boshqa sanoatlarda absorberlar ko'p qo'llaniladi.

## 5.9. Absorbsiya jarayonining fizik asoslari

Gaz faza suyuqlik bilan o'zaro ta'siri natijasida ikkita faza ( $F=2$ ) va uchta komponent, ya'ni tarqaluvchi modda va ikkita modda tashuvchi ( $K=3$ ) lardan iborat sistema hosil bo'ladi.

Fazalar qoidasiga binoan, bunday sistema 3 ta erkinlik darajasiga ega:

$$C \bullet K \tilde{\Phi} \bullet 3 \tilde{2} \bullet 3$$

Sistemadagi fazaviy muvozanatni belgilovchi asosiy uchta parametrlar quyidagilardir: bosim, temperatura va konstentrastiya. Demak, «gaz-suyuqlik» sistemada ikkala fazaning bosimi  $r$ , temperaturasi  $t$  va konstentrastiyasi  $x$  o'zgarishi mumkin. Absorbsiya jarayoni o'zgarimas bosim va temperaturada borayotgan bo'lsa, bir fazada tarqalayotgan moddaning har bir konstentrastiyasiga, ikkinchi fazadagi aniq konstentrastiya to'g'ri keladi.

O'zgarimas temperatura ( $t=const$ ) va umumiy bosimli sharoitda muvozanat konstentrastiyalari orasidagi bog'liqlik Genri qonuni bilan ifodalanadi. Bu qonunga binoan, biror temperaturada eritmadagi eritma ustidagi gaz parstial bosimi, uning mol ulushiga to'g'ri proporsionaldir:

$$p \bullet Ex$$

yoki

$$x \bullet \frac{p}{E} \tag{5.74}$$

bu erda  $r$  – muvozanat holatidagi eritmada  $x$  konstentrastiyali yutilayotgan gazning parstial bosimi;  $E$  – Genri kontantasi.

Genri konstantasi absorbktiv va absorbentlarning xossalari, hamda temperaturaga bog'liq bo'ladi:

$$\ln E \bullet \frac{\tilde{q}}{RT} \cdot C \tag{5.75}$$

bu erda  $q$  – gazning erish issiqligi, kJ/kmol;  $R = 8,325$  kJ/(kmol $\cdot$ K) – universal gaz doimiysi;  $T$  – absolyut temperatura, K;  $S$  – yutayotgan suyuqlik va gazlarning tabiatiga bog'liq bo'lgan o'zgarimas kattalik.

(5.75) tenglamadan ko'rinib turibdiki, temperatura ortishi bilan gazning suyuqlikda erishi kamayadi.

Dalton qonuniga binoan, gaz aralashmasidagi komponentning parstial bosimi, ushbu komponent mol ulushining umumiy bosimga ko'paytirilganiga tengdir, ya'ni:

$$p \bullet P \cdot y \text{ va } y \bullet \frac{p}{P}$$

(5.76)

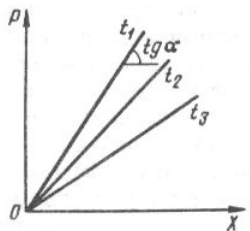
bu erda  $R$  – gaz aralashmasining umumiy bosimi;  $u$  – tarqalayotgan moddaning aralashmadagi konstantasi; mol ulushi.

(5.74) va (5.76) tenglamalarini taqqoslab, quyidagi ifodaga kelamiz:

$$y \bullet \frac{p}{P} \bullet \frac{E}{P} x$$

yoki fazaviy muvozanat konstantasi  $E/R$  ni  $m$  orqali belgilab, quyidagi ifodani olamiz:

$$y \bullet m \frown x \tag{5.77}$$



**5.12-rasm. Turli temperaturalarda ( $t_1 > t_2 > t_3$ ) gazning suyuqlikda erishi.**

(5.77) tenglama, gaz aralashmasi va suyuqlikda tarqalayotgan moddalarning muvozanat konstantasi orasidagi bog'liqlik to'g'ri chiziq bilan ifodalanishini ko'rsatadi. Ushbu chiziq koordinatalar boshidan o'tadi va uning qiyalik burchagi tangensi  $m$  ga teng. Qiyalik burchak tangensi temperatura va bosimga bog'liq. 5.12-rasmdan ko'rinib turibdiki bosim oshishi va temperatura kamayishi bilan gazning suyuqlikda eruvchanligi ortadi ( $m$  esa kamayadi). Suyuqlik bilan gazlar aralashmasi muvozanat holatida bo'lganida, aralashma gaz komponentining har biri Genri qonuniga bo'ysunadi.

Absorbsiya jarayoni nisbiy mol konstantasi ham hisoblanishi mumkin. Bunda, gaz fazasining suyuqlikdagi kichik konstantasi  $x$  da Genri qonuni ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$Y \bullet m \frown X$$

**Shuni alohida ta'kidlash kerakki, o'ta suyultirilgan eritmalar, hamda kichik bosimlarda o'z xossalari bo'yicha ideal suyuqliklarga o'xshash eritmalar ham Genri qonuniga bo'ysunadi.**

Yuqori konstantali eritmalar va katta bosimlarda gaz bilan suyuqlikning o'zaro muvozanat holati Genri qonuniga bo'ysunmaydi, chunki fazalarning muvozanat konstantasi orasidagi bog'liqlik egri chiziq bilan ifodalanadi.

### 5.10. Adsorbtsiyaning moddiy balansi va kinetik qonuniyatlari

Absorbsiya jarayonining moddiy balansi quyidagi ko'rinishdagi umumiy tenglama bilan ifodalanadi:

$$\tilde{G} \frown dy \bullet L \frown dx$$

Oxirgi tenglamani boshlang'ich va oxirgi konstantali oraligida integrallagandan so'ng, undan adsorbent sarfini (kmol/s) aniqlash mumkin:

$$L \bullet G \frac{y_{o\alpha} - y_{ox}}{x_{ox} - x_o} \tag{5.78}$$

1 kmol inert gaz uchun zarur solishtirma sarf:

$$l \bullet \frac{L}{G} \frac{y_{o\alpha} - y_{ox}}{x_{ox} - x_o} \tag{5.79}$$

Absorberda konstantali o'zgarishi (5.8) va (5.9) tenglamalar bilan ifodalanadi. Jarayon ishchi chizig'i  $u-x$  koordinatalarida to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'ladi. Uning qiyalik burchagi tangensi  $l = L/G$ .

Absorbent solishtirma sarfining absorber o'lchamiga va suyuq fazada tarqalayotgan moddaning oxirgi konstantasi ta'sirini ko'rib chiqamiz.

Absorberda fazalar yo'nalishi parallel deb qabul qilamiz.

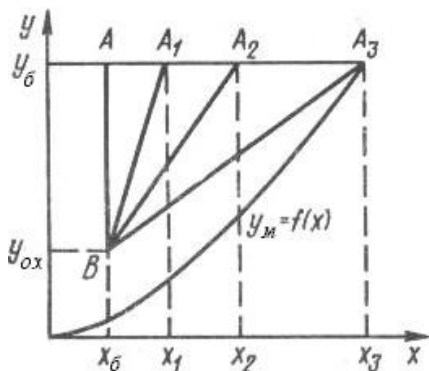
$u-x$  koordinatalarning  $V$  nuqtasida aniqlanayotgan suyuq fazada tarqalayotgan moddaning boshlang'ich konstantasi  $x_b$ , gaz fazasidagi boshlang'ich konstantasi  $u_b$ , oxirgisi esa -  $u_{ox}$  (5.13-rasm).

Fazalar muvozanat holati  $u_m = f(x)$  tenglamaga binoan turli qiyalik burchagi ostida bir nechta ishchi chiziq o'tkazamiz. Rasmdagi  $A_1, A_2, A_3$  nuqtalar gaz faza va adsorbentdagi boshlang'ich va oxirgi konstantalarni xarakterlaydi. Jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi ishchi va muvozanat chiziq o'rtasidagi farq bilan aniqlanadi, ya'ni  $\Delta u = u - u_m$ . Butun qurilma uchun o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch

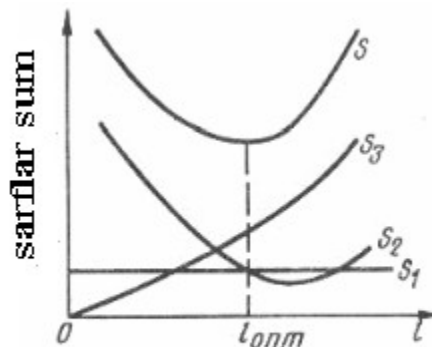
o'rtacha logarifmik qiymat sifatida topiladi. Agar, ishchi chiziq  $VA$  vertikal chiziq bilan ustma-ust tushsa, harakatga keltiruvchi kuch eng katta qiymatga ega bo'ladi. Agar, (5.79) tenglamaga  $x_{ox} = x_b$  qo'yilsa, absorbentning sarfi cheksiz bo'ladi.

Boshqa holatda esa, ya'ni ishchi chiziq  $VA_3$  muvozanat chizig'i bilan tutashsa, absorbentning sarfi minimal va tutashish nuqtasida harakatga keltiruvchi kuch nolga teng bo'ladi, chunki  $u_b = u_m$ .

Birinci holatda absorbentning o'lchamlari minimal bo'ladi, chunki absorbentning cheksiz sarfida  $u_{ox}$  maksimal qiymatga egadir. Ikkinchi holatda esa, absorbentning sarfi minimal bo'lganda absorbentning o'lchamlari cheksiz bo'ladi.



5.13-rasm. Absorbentning solishtirma sarfini aniqlashga oid.



5-14-rasm. Absorbentning optimal solishtirma sarfini aniqlashga oid.

Massa almashinish, shu jumladan, absorbsiya jarayonida ham muvozanatga erishib bo'lmaydi, chunki har doim ( $x_{ox} < x_m$ ). Demak, absorbentning sarfi har doim minimal qiymatdan katta bo'lishi kerak. Absorbentning minimal sarfini quyidagi tenglamadan topish mumkin:

$$l \sim \frac{y_0 \cdot y_{ox}}{x} \quad (5.80)$$

Absorbentning optimal sarfi texnik-iqtisodiy hisoblashlar asosida aniqlanadi.

1 kmol gazni yutish uchun zarur sarflar gaz va ekspluatastiya narxi  $S_1$ , amortizatsiya va ta'mirlash uchun sarflar, energiya narxi  $S_2$ , gazni uzatish va desorbtsiya  $S_3$  ga ketadigan harajatlar yig'indisiga teng:

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

Ma'lumki,  $S_1$  kattalik absorbentning solishtirma sarfiga bog'liq emas. Agar,  $l$  ortsa, absorbentning ishchi balandligi va uning gidravlik qarshiligi kamayadi. Lekin, bunda qurilmaning diametri kattalashadi.

Shunday kilib,  $S_2 = f(l)$  funksiya minimumga ega bo'lishi mumkin.

Absorbentning solishtirma sarfi  $l$  oshishi bilan gazni uzatish va desorbtsiyasiga ketadigan sarflar  $S_3$  ko'payadi. 5.14-rasmda yuqorida keltirilgan bog'liqliklar xarakteristikalarini tasvirlangan. Yamma egri chiziqlar ordinatalarini qo'shsak, 1 kmol gazni absorbsiya qilish uchun zarur sarflar yig'indisi egri chizig'ini olamiz. Ushbu egri chiziqning minimumi, absorbent optimal solishtirma sarfiga to'g'ri keladi.

**Absorbtsiya jarayonining asosiy tenglamasi** absorbtsiya jarayoni ikki fazali sistemalar-ning massa o'tkazish tenglamasi bilan ifodalanishi mumkin:

$$M = K_y F v_{yp}$$

yoki

$$M = K_x F v_{xp}$$

Ko'pincha, absorbsiya jarayonining massa o'tkazish tenglamasida, harakatga keltiruvchi kuch  $u - u_m$  bosimlar farqi bilan ifodalanadi:

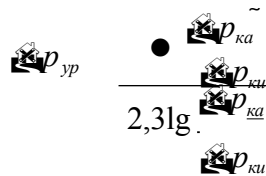
$$M = K_m \tilde{p} p_m F$$

yoki

$$M = K_m r p_{yp} F \quad (5.81)$$

bu erda  $r$  - gaz aralashmasida tarqalayotgan gazning ishchi parstial bosimi;  $r_m$  - absorbent ustidagi gazning muvozanat bosimi;  $K_m$  - massa o'tkazish koeffitsienti;  $M$  - gaz fazasidan suyuq fazaga o'tgan massa miqdori;  $r_{ur}$  - jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi.

Agar, muvozanat chizig'i to'g'ri bo'lsa, jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi ushbu formuladan topiladi:



$p_{ka}^*$  va  $p_{ox}^*$  absorberning oxirgi qismlaridagi harakatga keltiruvchi kuchlar  $r_b$  va  $r_{ox}$  - absorberga kirayotgan va chiqayotgan gazning parstial bosimi;  $r_{ox}^*$ ,  $r_b^*$  - absorberga kirayotgan va chiqayotgan gazning muvozanat parstial bosimi.

Absorbsiya jarayonida massa almashinish mexanizmi quyidagicha: har bir faza asosiy massa va chegaraviy yupqa qatlamdan iborat bo'ladi. Asosiy massaga yutiluvchi komponent konvektiv diffuziya yo'li bilan o'tadi.

Ikkala chegaraviy yupqa qatlamda esa, yutiluvchi komponentning o'tishi molekulyar diffuziya usulida boradi. Shuning uchun, absorbsiya jarayonida massa o'tkazishga bo'lgan qarshilik chegaraviy yupqa qatlamlar yig'indisidan iborat bo'ladi. Suyuq, yupqa qatlamdagi massa o'tkazishga bo'lgan qarshilik  $1/\alpha_u$ , gazdagi esa  $m/\alpha_x$  bo'lsa, massa o'tkazish koeffitsienti ushbu tenglamadan hisoblanadi.

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_x} + m} \quad (5.82)$$

$$K_x = \frac{\alpha_y}{\frac{1}{\alpha_x} + \alpha_y m} \quad (5.83)$$

bu erda  $\alpha_u$  - gaz oqimidan fazalarni ajratuvchi yuzasiga massa berish koeffitsienti;  $\alpha_x$  - fazalarni ajratuvchi yuzadan suyuqlik oqimiga massa berish koeffitsienti;  $m$  - proporsionallik koeffitsienti, absorbtiv va absorbent xossalari va temperaturaga bog'liq.

Koeffitsient  $m$  ning kattaligi massa o'tkazish tenglamasining tuzilishiga ham tasir etadi. Yaxshi eriydigan gazlar uchun  $m$  ning qiymati juda kichik bo'ladi. Shuning uchun, suyuqlik fazasidagi diffuzion qarshilik ham kichikdir.  $1/\alpha_u \gg m/\alpha_x$  bo'lgani uchun, (5.82) tenglama quyidagicha yoziladi:

$$K_y \approx \alpha_y$$

Qiyin eriydigan gazlar uchun proporsionallik koeffitsient  $m$  ning qiymati juda kattadir. Shuning uchun gaz fazasidagi diffuzion qarshilikni inobatga olmasa ham bo'ladi.  $1/\alpha_x \gg 1/\alpha_u m$  bo'lgani uchun, (5.83) tenglama quyidagicha yoziladi:

$$K_x \approx \alpha_x$$

yani, hamma diffuzion qarshilik suyuq fazada mujassamlangan bo'ladi.

### 5.11. Absorbsiya jarayonini olib borish usullari

Xalq xo'jaligining turli tarmoqlarida absorbsiya jarayonini tashkil etishda quyidagi prinsipial sxemalar qo'llaniladi:

- parallel yo'nalishli;
- qarama - qarshi yo'nalishli;
- bir pog'onali, qisman restirkulyastiyali;
- ko'p pog'onali, qisman restirkulyastiyali.

**Parallel yo'nalishli** sxema 5.15a-rasmda ko'rsatilgan. Bunda gaz oqim va absorbent parallel (bir xil) yo'nalishda harakatlanadi. Absorberga kirishda, absorbtiv konstantriyasi katta bo'lgan gaz faza, absorbtiv konstantriyasi past bo'lgan suyuq faza bilan kontaktda bo'lsa, qurilmadan chiqishda esa - absorbtiv konstantriyasi kichik bo'lgan gaz faza, absorbtiv konstantriyasi yuqori bo'lgan suyuqlik bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi.

**Qarama - qarshi yo'nalishli** sxema 5.15b-rasmda ko'rsatilgan.

Ushbu sxemali absorberlarning bir uchida absorbtiv konstantriyasi yuqori gaz va suyuqlik to'qnashuvda bo'lsa, ikkinchi uchida esa - konstantriyalari past fazalar o'zaro ta'sirda bo'ladi.

Qarama - qarshi yo'nalishli sxemalarda parallel yo'nalishlarga qaraganda, absorbentdagi absorbtiv eng

yuqori qiymatiga erishsa bo'ladi. Lekin, jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi parallel yo'nalishlarga nisbatan kam bo'lgani uchun, qarama - qarshi yo'nalishli absorberning gabarit o'lchamlari katta

bo'ladi.

**Absorbent yoki gaz fazaning restirkulyastiyali sxemalari** (5.15v,g - rasm). Bunday sxemalarda absorbent ko'p marta o'tadi.

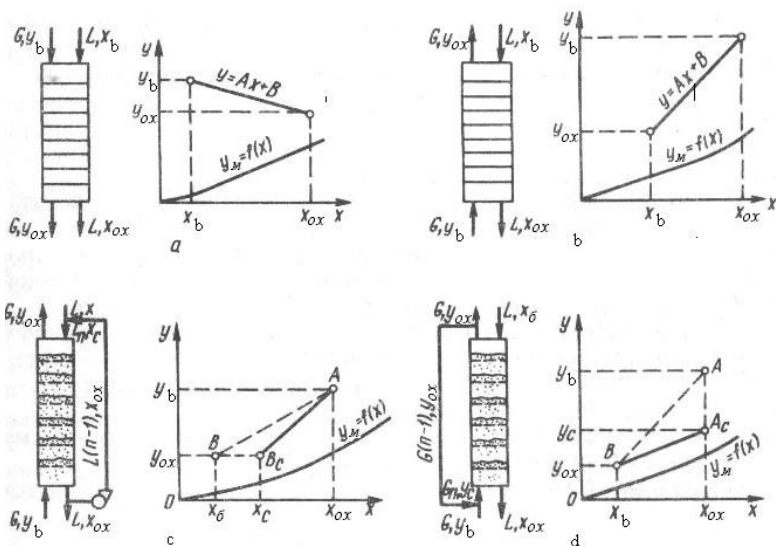
5.15v - rasmda absorbent bo'yicha restirkulyastiyali sxema keltirilgan. Bunda, gaz faza absorberning tepa qismidan kirib, past qismidan chiqib ketsa, suyuq faza esa qurilmadan bir necha marta qaytarib o'tkaziladi. Absorbent qurilmaning tepa qismiga uzatiladi va gaz fazasiga qarama - qarshi yo'nalishda harakatlanadi. Yangi,  $x_b$  konstantastiyali absorbent absorberdan chiqayotgan suyuq faza bilan aralashishi natijasida uning konstantastiyasi  $x_s$  ga ko'tariladi. Jarayonning ishchi chizig'i  $u-x$  diagrammada  $AV$  to'g'ri chizig'i bilan ifodalanadi. Absorbentning aralashirishdan keyingi konstantastiyasi  $x_s$  ni moddiy balans tenglamasidan topish mumkin.

Agar, absorberga kirishdagi absorbent miqdorini yangi absorbent miqdoriga nisbatini  $n$  deb belgilasak, moddiy balans tenglamasi ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$G \cdot y_0 \cdot y_{ox} \bullet L \cdot x_{ox} \cdot x_a \bullet Ln \cdot x_{ox} \cdot x_a$$

bundan

$$x_c \bullet \frac{x_{ax} n - 1}{n} \cdot x_0 \tag{5.84}$$



**5.15-rasm. Absorbentsiya shemalari va jarayonni y-x koordinatlarda tasvirlash.**

a - parallel; b - qarama - qarshi; c - absorbent recirkulyatsiyasi bilan; d - absorbentiv recirkulyatsiyasi bilan.

Gaz fazasi restirkulyastiyali absorbsiya sxemasi 5.15g-rasmda keltirilgan. Ishchi chiziq holati  $A_s(u_s, x_{ox})$  va  $V(u_{ox}, x_b)$  nuqtalari bilan belgilanadi.  $u_s$  konstantastiya moddiy balans tenglamasidan aniqlanadi:

$$y_c \bullet \frac{y_{ax} n - 1}{n} \cdot y_0 \tag{5.85}$$

Absorbent harakat tezligi ortishi bilan massa berish koeffitsienti ko'payadi, bu esa o'z navbatida massa o'tkazish koeffitsientini o'sishiga olib keladi.

Qiyin eruvchan gazlarni absorbsiya qilish paytida absorbentni restirkulyatsiya qilish usulini qo'llash maqsadga muvofiqdir. Agar, absorbentiv restirkulyatsiya qilsa, gaz fazasida massa berish koeffitsienti ko'payadi. Bu usul yaxshi eriydigan gazlarni absorbsiya qilishda yuqori samara beradi.

## 5.12. Absorberlar konstruksiyalari

Absorbentsiya jarayoni fazalarni ajratuvchi yuzada sodir bo'ladi. Shuning uchun ham, suyuqlik va gaz fazalar to'qnashuv qiladigan absorberlar yuzasi iloji boricha katta bo'lishi kerak. Massa almashinish yuzalarini tashkil etish va loyihalash bo'yicha absorberlar 4 guruhga bo'linadi: sirtiy va yupqa qatlamli absorberlar; nasadkali absorberlar; barbotajli absorberlar; purkovchi absorberlar.

**Sirtiy absorberlarda** harakatlanayotgan suyuqlik ustiga gaz uzatiladi. Bunday qurilmalarda suyuqlik tezligi juda kichik va to'qnashuv yuzasi kam bo'lgan uchun bir nechta qurilma ketma - ket qilib o'rnatiladi.

Suyuqlik va gaz qarama - qarshi yo'nalishda harakatlantiriladi. 5.16 - rasmda gorizontal trubalardan tarkib topgan yuvilib turuvchi absorber tasvirlangan. Trubalar ichida - suyuqlik oqib o'tsa, unga teskari yo'nalishda gaz harakat qiladi. Trubalar ichidagi suyuqlik sathi ostona 3 yordamida bir xil balandlikda ushlab turiladi.

Absorbentsiya jarayonida hosil bo'layotgan issiqlikni ajratib olish uchun trubalar taqsimlash moslamasi 2 dan oqib tushayotgan suv bilan yuvilib turadi. Sovutuvchi suvni bir me'yorda taqsimlash uchun tishli taqsimlagich 1 qo'llaniladi. Bu turdagi absorberlar yaxshi eriydigan gazlarni yutish uchun ishlatiladi.

**Yupqa qatlamli absorberlar** ixcham va yuqori samaralidir. Bu absorberlarda fazalarning to'qnashish yuzasi oqib tushayotgan suyuqlik yupqa qatlamli yordamida hosil bo'ladi. Yupqa qatlamli qurilmalar guruhiga trubali, list-nasadkali, ko'tariladigan qatlamli absorberlar kiradi.

Trubali absorberlarda suyuqlik vertikal trubalarning tashqi yuzasidan pastga qarab oqib tushsa, gaz faza esa qarama - qarshi yo'nalishda yuqoriga qarab harakatlanadi. Qolgan turdagi absorberlarda ham fazalarning harakat yo'nalishi trubali absorberlarnikiga o'xshashdir.

Trubali absorberlar tuzilishiga qarab qobiq - trubali issiqlik alma-shinish qurilmasiga o'xshaydi. Qurilmada hosil bo'lgan issiqlikni ajratib olish uchun trubalar ichiga suv yoki boshqa sovuqlik eltqich yuboriladi.

5.17-rasmda tekis, parallel nasadkali absorber tasvirlangan.

Nasadkalar vertikal listlar ko'rinishida bo'lib, absorber hajmini bir nechta sekstiyaga bo'ladi. Absorberga suyuqlik truba orqali uzatiladi va taqsimlash moslamasi yordamida nasadkaga taqsimlanadi. Natijada tekis listning ikkala tomoni ham suyuqlik bilan yuvilib turadi. Gaz va yupqa qatlamli suyuqliklarning nisbiy harakat tezligiga qarab, suyuqlik yupqa qatlami pastga oqib tushishi yoki gaz oqimiga ilakishib, tepaga ham harakatlanishi mumkin. Agar, fazalar oqimining tezligi ko'paysa, massa berish koeffitsientining qiymati va fazalar to'qnashish yuzasi oshadi. Bunga sabab, chegaraviy qatlamning turbulizastiyasi va unda uyurmalar hosil bo'lishidir.

Yupqa qatlamning o'rtacha tezligi ushbu tenglamadan topilishi mumkin:

$$w_{yp} = \sqrt[3]{\frac{gL_c^2}{3X}} \quad (5.86)$$

bu erda  $L_c$  – to'kish moslamasi perimetrining suyuqlik bilan solishtirma purkalish zichligi,  $kg/(m^2 \cdot s)$ ;  $X$  - suyuqlik zichligi,  $kg/m^3$ ;  $\rho$  - suyuqlik dinamik qovushoqligi,  $Pa \cdot s$ .

Yupqa qatlam yaqinidagi suyuqlikning tezligi:

$$w = 1,5 w_{yp} \quad (5.87)$$

Yupqa qatlamning qalinligi:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{L_c}{g}} \quad (5.88)$$

Yupqa qatlamning harakat tezligi Reynolds kriteriysidan aniqlanadi:

$$Re = \frac{w_{yp} d_e X}{\rho} \quad (5.88a)$$

bu erda  $d_e$  – yupqa qatlamning ekvivalent diametri, m.

Yupqa qatlamning ekvivalent diametri:

$$d_e = \frac{4P}{\pi} \quad (5.89)$$

bu erda  $P$  - suyuqlik oqib chiqayotgan to'kish moslamasining perimetri, m.

**Nasadkali absorberlar.** Turli shaklli qattiq nasadkalar bilan to'ldirilgan vertikal stilindrsimon kolonnalarning tuzilishi sodda, ixcham va yuqori samarador bo'lgani uchun sanoatda ko'p ishlatiladi. Odatda, nasadkalar qatlami teshikli panjaralarga joylashtiriladi. Gaz faza teshikli panjara ostiga yuboriladi va undan o'tib, qatlam orqali yuqoriga qarab harakatlanadi (5.18-rasm).

Suyuqlik faza absorberning yuqori qismidan taqsimlash moslamasi 1 yordamida purkaladi va nasadka qatlamida gaz fazasi bilan o'zaro ta'sir etadi. Qurilma samarali ishlashi uchun suyuq faza bir tekisda purkalishi va taqsimlanishi zarur. Bu turdagi absorberlarda nasadkalar ham suyuqlikni bir me'yorda taqsimlashga salmoqli xissa qo'shadi. Nasadkalar quyidagi talablarga javob berish kerak: katta solishtirma yuzaga ega bo'lishi; gaz oqimiga ko'rsatadigan gidravlik qarshiligi kichik bo'lishi; ishchi suyuqlik bilan yaxshi ho'llanilishi; absorber ko'ndalang kesim yuzasi bo'ylab suyuqlikni bir tekisda taqsimlashi; ikkala faza ta'siri ostida emirilmaydigan bo'lishi; engil va arzon bo'lishi kerak.

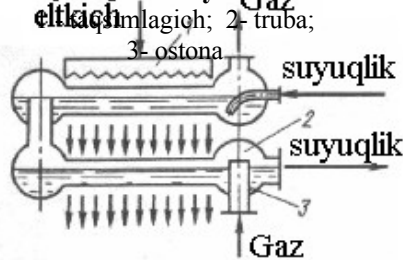
Sanoatda qo'llaniladigan nasadkalarining ba'zi bir turlari va ularni qurilmada joylash usullari 5.19-rasmda keltirilgan. Bu nasadkalarining ichida eng keng tarqalgan nasadka Rashig halqalaridir. Undan tashqari, keramik jism, koks, maydalangan kvarst, polimer halqa, metall to'r va panjara, shar, propeller va parrak, egarsimon element va boshqa jismlar ishlatiladi.

Rashig halqalari 15x15x2,5; 25x25x3; 50x50x5 mm o'lchamli qilib yasaladi. Nasadkalarining geometrik xarakteristikasi bo'lib ekvivalent diametr hisoblanadi:

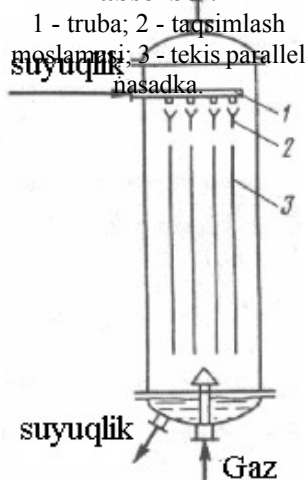
$$d = \frac{4V_{\text{ox}}}{\pi a} \quad (5.90)$$

bu erda  $V_{\text{bx}}$  – bo'sh hajm,  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ;  $a$  - solishtirma yuza,  $\text{m}^2/\text{m}^3$ .

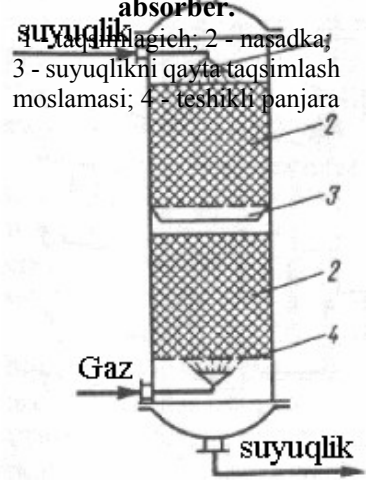
5.16-rasm. Sirtiy absorber.



5.17-rasm. Yupqa qatlamli absorber.



5.18-rasm. Nasadkali absorber.



Rashig halqalarining o'lchamlari kattalashishi bilan solishtirma yuzasi 300; 204; 87,5  $\text{m}^2/\text{m}^3$  va bo'sh hajmi 0,7; 0,74; 0,785  $\text{m}^3/\text{m}^3$  miqdorlarga teng bo'ladi.

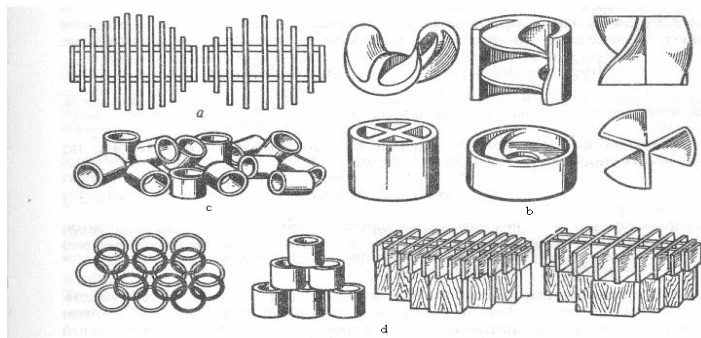
Nasadkali absorberlarda taqsimlovchi moslama orqali purkalayotgan suyuqlik, gazning kichik tezliklarida, nasadka ustida yupqa qatlam ko'rinishida oqadi. Nasadkaning ho'llangan yuzasi fazalarga to'qnashish yuza vazifasini bajaradi. Shuning uchun, nasadkali absorberlarni yupqa qatlamli qurilmalar deb qarash mumkin. Suyuq faza qurilmalar devori atrofida yig'ilib qolmasligi uchun nasadka bir necha sekstiyaga yuklanadi. Suyuqlikni bir tekisda taqsimlash uchun sekstiyalar orasida qayta taqsimlash moslamalari o'rnatiladi. Nasadkali kolonnalarda gaz va suyuqlik qarama - qarshi harakat qiladi.

**Gidrodinamik rejimlar.** Absorbsiya jarayonining samaradorligi gidrodinamik rejimlarga bog'liq. Bu rejimlar uzatilayotgan suyuqlik miqdori (namlash zichligi) va gaz oqimining tezligi bilan belgilanadi. Qurilmada ro'y beradigan rejimlar nasadka gidravlik qarshiligini gaz oqimining sohta tezligiga bog'liqlik funksiyasi sifatida tasvirlanadi (5.20-rasm).

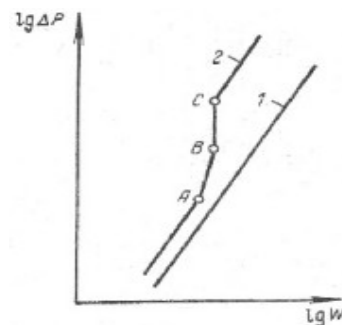
1 - rejim – **yupqa qatlamli rejim** - gaz oqimining tezligi kichik va uzatilayotgan suyuqlik miqdori kam bo'lganda ro'y beradi. Suyuqlik nasadka bo'ylab yupqa qatlam ko'rinishida oqib tushadi. Yupqa qatlamli rejim birinchi o'tish nuqtasi (A nuqta, 5.20-rasm) da tamom bo'ladi va u **osilib turish nuqtasi** deb nomlanadi. Bu rejimda fazalararo to'qnashish yuzasi kichik va jarayon samaradorligi kamroq bo'ladi.

2 - rejim - **osilib turish rejimi**. Bunda fazalar qarama - qarshi yo'nalishi harakati tufayli gaz va suyuqlik orasidagi ishqalanish kuchlari ortadi. Bu hol suyuqlikni nasadkadan oqib tushish tezligini sekinlashtiradi, yupqa qatlam qalinligi va undagi suyuqlik miqdori ortadi. Shu bilan birga fazalar orasidagi to'qnashish yuzasi ko'payadi, jarayonning samaradorligi bir-muncha kattaroq bo'ladi. Bu rejim ikkinchi o'tish nuqtasi (V) da tamom bo'ladi.

Shuni ta'kidlash kerakki, osilib turish rejimida qatlamning sekin oqishi buziladi; uyurma va tomchilar hosil bo'ladi, ya'ni barbotaj holatiga o'tish sharoitlar tug'iladi. Yuqorida qayd etilgan massa almashinish



5.19-rasm. Nasadka turlari.  
a - yassi parallel; b - keramik fasonli va ularni joylash usullari (v-betartib; g-tartibli).



5.20-rasm. Nasadka gidravlik qarshiligining kolonnadagi gaz tezligiga bog'liqligi.

jarayonini intensivlashtiradi.

3 - rejim - **emulgastion rejim** - nasadkaning bo'sh hajmida suyuqlik yig'ilishi natijasida paydo bo'ladi. Suyuqlik yig'ilishi ko'tarilayotgan gaz va oqib tushayotgan suyuqlik orasidagi ishqalanish kuchi bilan og'irlik kuchi teng bo'lgunga qadar davom etadi. Natijada «gaz – suyuqlik» dispers sistemasi va tashqi ko'rinishi bo'yicha barbotajli (ko'pikli) qatlam yoki gaz suyuqlikli emulsiya hosil bo'ladi. Ma'lumki, qurilma ko'ndalang kesimida yuklangan nasadka qatlamining zichligi bir xil emas. Shuning uchun, qatlamning eng tor joylarida emulgastion rejim paydo bo'lib boshlaydi. Gaz uzatishni o'ta aniq rostlash yo'li bilan nasadka qatlamining butun balandligida emulgastion rejim o'rnatish mumkin. Kolonnaning gidravlik qarshiligi keskin ravishda ortadi (VS kesma).

Shuning uchun, yuqori bosimda ishlaydigan absorberlarda gidravlik qarshilikning ta'siri sust yoki bo'lmagani uchun absorbsiya jarayoni emulgastion rejimda olib boriladi.

Emulgastion rejim samarali rejim deb hisoblanadi. Bu rejimda fazalar to'qnashish yuzasi katta bo'lgani uchun jarayon juda intensiv kechadi.

Atmosfera bosimida ishlatiladigan absorberlarda gidravlik qarshilik juda yuqori bo'lgani uchun, ularni yupqa qatlamli rejimda ishlatilish maqsadga muvofiqdir.

Shunday qilib, har bir aniq, sharoit uchun eng optimal gidrodinamik rejim texnik – iqtisodiy hisoblashlar asosida topiladi.

Agar, gaz oqimi tezligini emulgastion rejim tezligidan ozgina oshirsak, tiqilib qolish hodisasiga duch kelamiz.

Tiqilib qolish holatiga to'g'ri keladigan gaz tezligi prof. Kasatkin A.G. tomonidan keltirib chiqarilgan formula yordamida hisoblanadi:

$$\lg w_T = \lg \frac{a}{g V_{bx}^{0,16}} \cdot \frac{L^{0,25}}{G^{0,125}} \cdot 0,076 \quad (5.91)$$

bu erda  $a$  - nasadkaning solishtirma yuzasi,  $m^2/m^3$ ;  $V_{bx}$  - nasadkaning bo'sh hajmi,  $m^2/m^3$ ;  $L$  va  $G$  – suyuqlik va gazning massaviy sarflari;  $kt/s$ ;  $w_T$  - tiqilib qolish tezligi,  $m/s$ .

Kolonnadagi gaz yoki bug'ning optimal tezligini ushbu kriterial tenglamadan aniqlash mumkin:

$$Re \geq 0,045 \cdot Ar^{0,57} \cdot \frac{G^{0,43}}{L} \quad (5.92)$$

bu erda

$$Re = \frac{w d_e}{\nu}; \quad Ar = \frac{g d_e^3}{\nu^2}$$

$w$  - gaz (yoki bug') optimal tezligi;  $d_e$  - nasadkaning ekvivalent diametri;  $\nu$  va  $\nu_G$  – suyuqlik va gazning zichligi;  $\nu_G$  - gaz (yoki bug') dinamik qovushoqligi;  $G$  va  $L$  – gaz (yoki bug') va suyuqlik massaviy tezliklari.

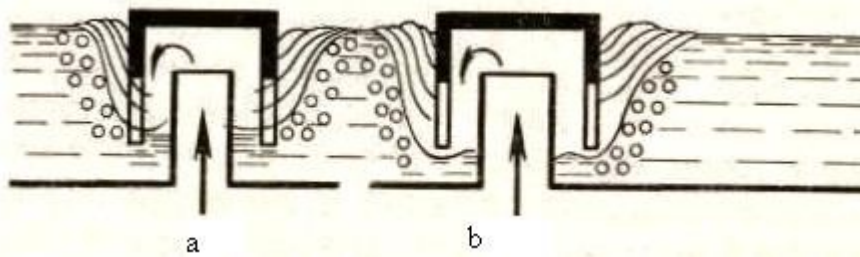
4 – rejim - **uchib chiqish rejimida** suyuq faza kolonnadan gaz oqimi bilan tashqariga chiqib boshlaydi. Ushbu rejim sanoatda ishlatiladigan qurilmalarda qo'llanilmaydi.

**Nasadkalar**ni tanlashda ularning o'lchamlariga katta ahamiyat berish kerak. Agar, nasadka elementlari qanchalik kichik bo'lsa, gidravlik qarshilik shunchalik kam va gazning tezligi yuqori bo'ladi. Bunday nasadkali

absorberlar narxi nisbatan arzon bo'ladi.

Agar, absorber yuqori bosim ostida ishlaydigan bo'lsa, kichik o'lchamli nasadkalar qo'llaniladi. Chunki, bu turdagi qurilmalarda gidravlik qarshilikning ahamiyati yo'q. Undan, tashqari nasadkalarining o'lchami kichik bo'lganda, uning solishtirma yuzasi nisbatan katta bo'ladi va absorbsiya jarayonida bir fazadan ikkinchisiga o'tgan massa miqdori ko'p bo'ladi.

Absorberlarda gazlar yutilishi paytida ajralib chiqadigan issiqlikni neytrallash qiyin. Bunday



5.21-rasm. Barbotaj jarayoni shemalari.

a - kichik tezlikda qalpoqchali nasadkadan gazning chiqishi;

b - katta tezlikda qalpoqchali nasadkadan gazning chiqishi.

qurilmalardagi issiqlikni kamaytirish va nasadkalar ho'llanishini oshirish maqsadida suyuqlikni nasos yordamida restirkulyastiya qilish zarur. Bu usulda ishlaydigan absorberlar tuzilishi murakkablashadi va narxi ortadi. Undan tashqari, ifloslangan suyuqliklarni ajratish uchun qaynovchi absorberlarda plastmassadan yasalgan sharlar ishlatilib, gaz tezligi oshishi bilan mavhum qaynay boshlaydi. Odatda, qaynovchi absorberlarda gazning tezligi juda katta bo'ladi, ammo qatlamning gidravlik qarshiliga juda oz miqdorga ortadi.

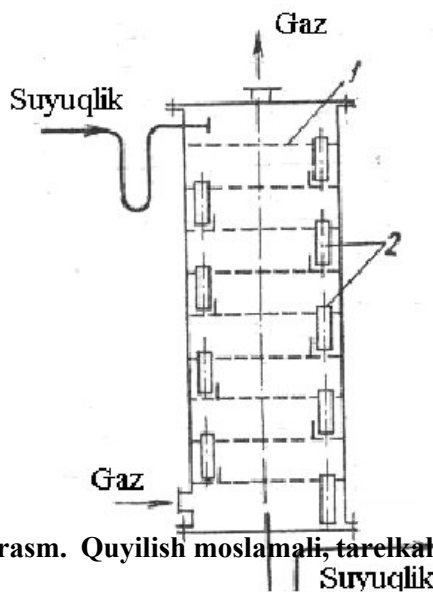
**Tarelkali absorberlar** samarali va eng keng tarqalgan qurilmalardan bo'lib, uning ichida butun balandligi bo'yicha bir xil masofada bir nechta tarelkalar o'rnatilgan. Teshikli tarelkalar orqali ham gaz, ham suyuqlik harakatlanadi va undan o'tish paytida bir fazadan ikkinchisiga massa o'tadi. Gaz fazaning suyuqlik qatlamidan o'tishi davrida pufakcha va ko'piklarning hosil bo'lish jarayoni **barbotaj** deb nomlanadi. Suyuqlik va gaz (yoki bug') ni bir-biri bilan to'qnashishi zarur bo'lgan hollarda barbotaj qo'llaniladi. 5.21-rasmda qalpoqchali nasadkadan gaz yoki bug'ning o'tishi tasvirlangan.

Barbotaj asosan ikki rejimda kechishi mumkin: pufakchali va oqimchali. Gaz yoki bug'ning sarfi kichik bo'lsa, pufakchali rejimni kuzatish mumkin. Bunda, gaz pufakchalari suyuqlik qatlamini bitta-bitta bo'lib yorib chiqadi. Pufakchalar o'lchami barbotayor tuzilishiga, suyuqlik va gaz xossalari bog'liq.

Agar, gaz tezligi oshirib berilsa, oqimchali rejim paydo bo'ladi. Barbotayordan chiqayotgan gaz oqimi shakli va o'lchami o'zgarib qolmaydigan "mash'ala" hosil bo'ladi. Odatda, mash'ala balandligi 30...40 mm dan oshmaydi.

Tarelkali kolonnalar qalpoqchali, klapanli, plastinali va elaksimontarelkali bo'ladi. Fazalarning bir tarelkadan ikkinchisiga o'tishiga qarab quyilish moslamali va quyilish moslamasiz absorberlarga bo'linadi.

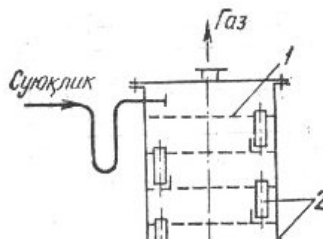
5.22-rasmda quyilish moslamali, tarelkali absorber konstruktsiyasi tasvirlangan.



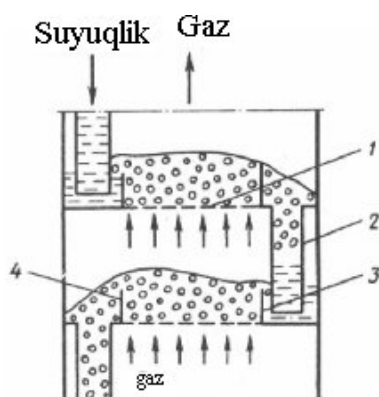
5.22-rasm. Quyilish moslamali, tarelkali absorber.

Ko'rinib turibdiki, quyilish turadi va gidravlik tamba vazifasini va uning pastki qismidan chiqarila

elka ustidagi ostonaga tushib qismidan tarelkaga uzatiladi tarelkalar orqali pufakchalar



ko'rinishida chiqib ketadi. Tarelkada hosil bo'ladigan gaz – suyuqlik ko'pik qatlamida asosiy issiqlik va massa berish jarayonlari yuz beradi. Absorbsiya jarayonida tozalangan gaz qurilmaning tepa qismidan chiqib ketadi. Tarelka, quyilishi trubasi va ostona shunday joylashtiriladiki, suyuq faza albatta qarama - qarshi yo'nalishda harakat qiladi.



5.23-rasm. Elaksimon tarelkali kolonna.

1 - tarelka; 2 - quyilish moslamasi;

**Tarelkali absorberlar gidrodinamik rejimi** malumki, istalgan konstruktsiyali tarelkalarning samaradorligi uning gidrodinamik rejimlariga uzviy bog'liqdir.

Gazning tezligiga va suyuqlikni purkash zichligiga qarab barbotajli tarelkalarning 3 ta asosiy gidrodinamik rejimi bo'ladi: pufakchali, ko'pikli va oqimchali (yoki injekstion).

**Pufakchali rejim.** Gazning tezliklari juda kichik va suyuqlik qatlamidan alohida pufakchalar holatida o'tish davrida pufakchali rejimni kuzatish mumkin. Bu rejimda tarelkadagi fazalar kontakt yuzasi kam bo'ladi.

**Ko'pikli rejim.** Gaz fazasining tezligi ortishi bilan teshiklardan chiqayotgan pufakchalar qo'shib oqimcha hosil qiladi. Tarelkadan ma'lum bir masofada qatlam qarshiligi tufayli oqimcha buziladi va ko'p miqdordagi pufakchalarga ajrab ketadi. Natijada, "gaz – suyuqlik" dispers sistema, ya'ni ko'pik paydo bo'ladi.

Ushbu rejimda gaz va suyuq fazalar to'qnashishi pufakchalar va gaz oqimchasi, hamda suyuq tomchilar sirtiga to'g'ri keladi. Ko'pikli rejimda barbotajli tarelkalarda fazalarning to'qnashishi yuzasi maksimal miqdorga egadir.

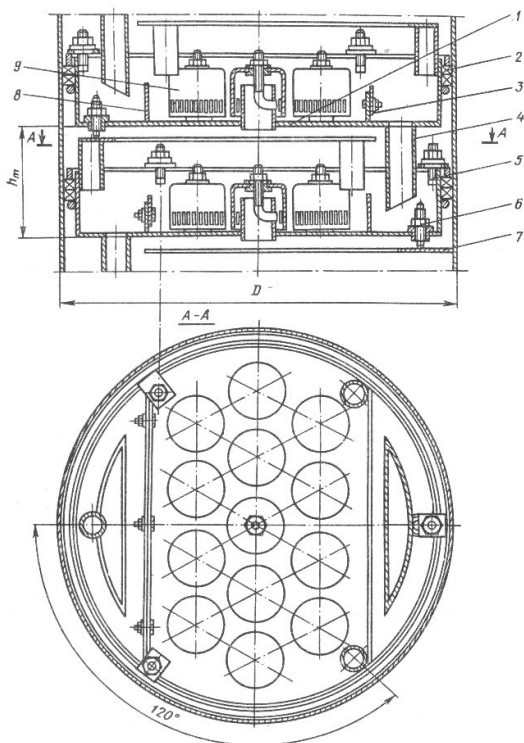
**Oqimchali (injekstion rejim).** Agar gaz tezligi yanada oshirilsa, gaz oqimchasining uzunligi ko'payadi va u barbotaj qatlamidan chiqib qoladi. Shu bilan birga, barbotaj qatlam buzilmaydi va ko'p miqdorda yirik tomchilar hosil bo'ladi. Bunday rejimda fazalarning to'qnashish yuzasi keskin ravishda kamayib ketadi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, bir rejimdan keyingisiga o'tish asta-sekin bo'ladi. Barbotajli tarelkalar gidravlik rejimlari chegarasini hisoblashning umumiy usullari shu kungacha yaratilmagan. Shuning uchun ham, tarelkali absorberlarni loyihalashda tarelka ishlashining pastki va tepa oraliklari uchun hisoblash yo'li bilan topiladi. So'ng esa, gazni ishchi tezligi topiladi.

**Elaksimon tarelkali absorber.** Bu turdagi qurilma 5.23-rasmda tasvirlangan.

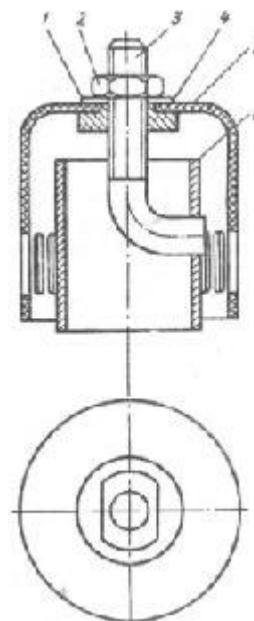
Bu kolonna gorizontal tarelka quyilishi va ostonalardan tarkib topgan bo'ladi.

Odatda bu turdagi tarelka yuzasi 1...5 mm li teshiklardan iboratdir va tarelkadan tushayotgan ko'pikli parchalash uchun ostona tarelkadagi suyuqlik sathini bir xil balandlikda ushlab turish uchun esa, ostona 3 xizmat qiladi. Suyuq faza tepadagi tarelkaga uzatiladi va quyilishi moslamasi 2 dan, o'tib, qurilmaning pastki qismidan chiqib ketadi. Gaz faza har doim qurilmaning pastki qismiga kiritiladi va tarelkalardan pufakcha shaklida o'tib, yuqori qismidagi shtusterdan chiqadi.

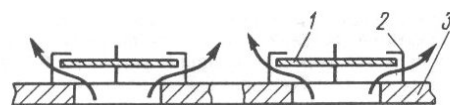
**Qalpoqcha tarelkali absorber.** Bu turdagi qurilma 5.24-rasmdan keltirilgan bo'lib kapsula qalpoqcha va segment quyilish moslamasidan tarkib topgan. Tarelka ko'plab diskdan iborat bo'lib, tayanch halqaga qistirma yordamida boltlar bilan mahkamlanadi.



**5.24-rasm. Qalpoqchali tarelka.**  
1-tarelka; 2-qistirma; 3-rostlovchi quyilish ostonasi; 4-quyilish patrubkasi; 5-bolt; 6-rostlovchi bolt; 7-qalqa; 8-quyilish ostonasi; 9-qalpoqcha.



**5.25-rasm. Kapsulali qalpoqcha.**  
1 - shayba; 2- gayka; 3- bolt;  
4- vtulka; 5- qalpoqcha;  
6- patrubka.



**5.26-rasm. Klapanli tarelka.**  
1 - klapan; 2 - kronshteyn cheklagich; 3 - tarelka.

Suyuq faza yuqorida joylashgan tarelkadagi ostona 3 dan o'tib, quyida o'rnatilgan tarelkaga tushadi. Tarelka yuzasida suyuqlikni bir me'yorda taqsimlash uchun ostona 8 xizmat qiladi. Suyuqlikni tarelka yuzasida bir xil balandlikda ushlab turish uchun rostlovchi ostona 3 dan foydalaniladi. Gaz tarelkalarga patrubka 6 orqali kirib, bir necha oqimchalar holida qalpoqchalar teshigidan chiqib boshlaydi.

Qalpoqchadagi havo teshiklari tishli bo'lib, to'g'ri uchburchak shaklida yasaladi. Suyuqlik qatlami orqali o'tayotgan gaz yoki bug' oqimi alohida-alohida pufakchalarga bo'linib ketadi. Tarelkalardan suyuqlik quyilishi patrubkasi 4 orqali to'kiladi. Bu turdagi tarelkalarda gaz ko'piklari va pufakchalarning hosil bo'lish intensivligi bug' (yoki gaz) tezligi va tarelkadagi suyuqlik qatlami balandligiga bog'liq.

Tarelkada katta massa almashinish yuzasini barpo qilish uchun o'rnatiladigan qalpoqchalar soni ko'paytiriladi. Kapsulali qalpoqchanning bo'ylama qirgimi 5.25 - rasmda keltirilgan. Tarelka va qalpoqchanning pastki qismi orasidagi masofa vtulka 4 va gayka 2 yordamida amalga oshiriladi. Bu turdagi tarelkalar sanoatda keng ko'lamda qo'llaniladi. Elaksimon tarelkali absorberlarga qaraganda qalpoqchali qurilmalar gaz aralashmalari iflos bo'lganda ham uzoq muddatda barqaror ishlay oladi. Undan tashqari, gaz yoki suyuq fazalar bo'yicha yuklama katta miqdorda o'zgarsa ham, qalpoqchali tarelka bir tekisda yaxshi ishlaydi. Ushbu tarelka kamchiliklari: konstruktiviyasi murakkab, qimmat va gidravlik qarshiligi yuqori. Undan tashqari, gaz faza sarfi kam bo'lganda, qurilma samaradorligi keskin ravishda kamayib ketadi.

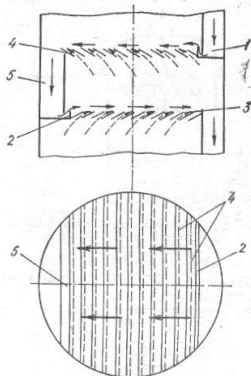
**Klapanli tarelkalar.** Bu turdagi tarelkalar gaz fazasining tezligi tez o'zgarib turadigan jarayonlarda qo'llanishi maqsadga muvofiqdir.

Klapanli tarelkalar elaksimon va qalpoqchali tarelkalarining yaxshi xossalarini o'zida mujassam qilgan (5.26-rasm).

Klapanlar 1 dumaloq plastina shaklida, diametri esa 40...50 mm bo'ladi. Kronshteyn-cheklagich 2 dagi teshik diametri esa 30...40 mm va ular orasidagi masofa esa - 70...150 mm ga teng. Klapanlarning ko'tarilish balandligi 6...8 mm. Klapanlardan o'tadigan gaz oqimining tezligiga qarab, klapan vertikal, tepaga siljiydi.

Gaz yoki bug' bo'yicha yuklama keng ko'lamda o'zgarganda ham, klapanli tarelkalar bir me'yorda,

barqaror ishlaydi. Lekin, ularning gidravlik qarshiligi nisbatan yuqori.



**5.27-rasm. Oqimchali tarelkalar.**

1 - gidravlik tamba; 2 - quyiluvchi to'siq; 3 - tarelka; 4 - plastina; 5- quyilish moslamasi.

**Oqimchali (yoki plastinali) tarelkalar.** Bu turdagi tarelkalar qiya, parallel plastinalar ko'rinishida tayyorlanadi (5.27-rasm).

Qalpoqchali, klapanli va oqimchali tarelkalarda fazalarning yo'nalishi o'zaro kesishgan bo'ladi. Gaz yoki bug' tarelkadagi teshiklardan o'tadi, suyuqlik esa, gorizontal harakatlanib, tarelkadan tarelkaga quyilish moslamasi 5 orqali o'tadi.

Yuqorida qayd etilgan tarelkalar samaradorligi gidrodinamik rejimlarga bog'liq. Gaz (yoki bug') tezligi va suyuqlik sarfiga qarab 3 xil rejimlar mavjud: pufakchali, ko'pikli va oqimchali. Har bir rejimda barbotajli qatlam o'ziga xos tuzilishiga ega bo'lib, u qatlamning gidravlik qarshiligi va massa almashinish yuzasi kattaligini xarakterlaydi. Bunday tarelkalarining gidravlik qarshiligi kam, ularni yasash uchun metall kam sarflanadi va tarkibida iflosliklar bo'lgan suyuqliklarni ham ishlatish mumkin. Undan tashqari, bu tarelkali qurilmalarda jarayonni harakatga keltiruvchi kuch katta bo'ladi.

Oqimchali tarelkalar kamchiliklari: tarelkaga issiqlik berish va ajralib chiqqan issiqlikni ajratib olish murakkab; suyuqlik sarfi nisbatan kam bo'lgani uchun, uning samaradorligi pastroq.

**Purkovchi absorberlar.** Bu turdagi qurilmalar suyuq fazani – gaz oqimiga purkab berish usuli yordamida amalga oshiriladi. Purkovchi absorberlarga misol bo'la oladigan eng sodda konstruktsiyasi 5.28-rasm keltirilgan.

Bu absorber ichi bo'sh qobiq va suyuqlikni purkovchi mexanik forsunkadan tarkib topgan bo'ladi.

Suyuqlikni purkash paytida massa o'tkazish koeffitsienti eng katta miqdorga ega. Vaqt o'tishi va fazalar o'zaro ta'sir yuzasi kamayganligi sababli jarayon samaradorligi pasayadi. Shuning uchun ham, ko'pincha forsunkalar qurilmaning butun balandligi bo'yicha o'rnatiladi.

Odatda, purkovchi absorberlar yaxshi eriydigan gazlarni absorbsiya qilish uchun ishlatiladi. Purkovchi absorberlar qatoriga mexanik absorberlarni ham kiritish mumkin. Bunday qurilmalarda suyuqlik aylanma mexanizm yordamida sohib beriladi. Suyuqlikdagi teshikli disklar qo'zg'almas stilindrik qobiq ichida aylanadi. Natijada, disk yordamida suyuqlik mayda

tomchilar shaklida atrofga sochiladi. Mexanik absorberlar ixcham va yuqori samarali.

### 5.13. Absorberlarni hisoblash

Absorberlarni hisoblashda quyidagi parametrlar aniqlanadi: absorbent sarfi, qurilmaning diametri, balandligi va gidravlik qarshiligi. Buning uchun esa quyidagi parametrlar ma'lum yoki berilgan bo'lishi kerak: gaz sarfi, gaz aralashmaning tarkibi, boshlang'ich va oxirgi konstantriyalar, absorbentdagi gazning boshlang'ich konstantriyasi.

Absorbentning sarfi moddiy balans tenglamasi (5.7) dan topiladi.

Absorberning gidravlik qarshiligi qurilmaning konstruktsiyasi va uning gidrodinamik rejimiga bog'liq. Odatda gidravlik qarshilik gazning optimal tezligi bo'yicha hisoblanadi, u esa o'z navbatida texnik-iqtisodiy hisoblashlar asosida aniqlanadi.

Absorber diametri gazning chiziqli tezligiga binoan (5.2) tenglamadan hisoblanadi.

Absorber balandligi esa, massa o'tkazishning modifikastiyalashgan tenglamasi (5.65) dan topish mumkin.

Yupqa qatlamli va nasadkali absorberlarni hisoblash sxemalari bir xildir.

**Yupqa qatlamli absorberlarni hisoblashda** gidravlik qarshilik Darsi - Veysbax tenglamasidan aniqlanadi:

$$\zeta \cdot \frac{H \cdot \rho \cdot w^2}{d_e \cdot 2}$$

bu erda  $\zeta$  - gidravlik qarshilik koeffitsienti;  $N$  - yupqa qatlam oqib tushayotgan yuzaning balandligi, m;  $d_e$  - gaz harakatlanayotgan kanalning ekvivalent diametri, m;  $w_n = w + w_{yp}$  - gazning nisbiy tezligi, m/s;  $w_{ur}$  - yupqa qatlam harakatining o'rtacha tezligi, m/s;  $\rho$  - gaz zichligi, kg/m<sup>3</sup>.

Yupqa qatlam harakatining o'rtacha tezligi  $w_{ur}$  (5.86) tenglamadan aniqlanadi.

Gidravlik qarshilik koeffitsienti, gaz va yupqa qatlamlar, Reynolds kriteriyining qiymatiga bog'liq. Suyuqlik yupqa qatlamining harakat rejimini aniqlovchi Reynolds kriteriyasi (5.88a) tenglamadan topiladi.

Trubali absorberlar diametri gazning sarfi va tezligi orqali (truba ichki diametrini ma'lum qiymatiga teng deb qabul qilinadi) aniqlash mumkin.

Trubalar soni esa:

$$n = \frac{G}{0,785 w d^2 \rho} \quad (5.93)$$

bu erda  $G$  - gazning massaviy sarfi, kg/s.

Trubalar soni ma'lum bo'lsa, ular orasidagi masofa  $t = (1,25 \dots 1,5) \cdot d_t$  va trubaning qalinligi  $\delta$  ni aniqlab, absorberning diametri sekundli sarf tenglamasidan aniqlanadi.

Trubalar balandligi hamma trubalarning ichki yuzalari orqali aniqlanadi:

$$H = \frac{F_m}{n \cdot d_{uv}} \quad (5.94)$$

bu erda  $F_m = n \cdot d_{ich} \cdot H$ .

Modifikastiyalashgan massa o'tkazish tenglamasi (5.63) ni hisobga olsak:

$$H = \frac{G}{n \cdot d_{uv} \cdot K_{yv} \cdot \rho \cdot v_{yp}}$$

Gaz fazasidagi massa berish koeffitsientini hisoblash uchun quyidagi kriterial tenglama taklif etiladi:

$$\frac{Nu_{DG}}{Pr^{0,43}} = 0,023 \cdot Re^{0,83} \cdot \frac{\rho \cdot c}{\rho_c} \quad (5.95)$$

bu erda  $Re_G$  - gaz oqimi uchun Reynolds kriteriyasi;  $Pr_{DG}$  - gaz uchun Prandtl kriteriyasi.

Ushbu tenglamada aniqlovchi o'lcham sifatida gaz oqimi harakatlanayotgan kanalning ekvivalent diametri qo'llaniladi.

Suyuq fazasidagi massa berish koeffitsientini ushbu tenglama yordamida hisoblash mumkin:

$$Nu_{DC} = 0,069 \cdot Re_c^{0,33} \cdot Pr_c \cdot Ga^{0,67} \cdot \frac{h}{d_e} \quad (5.96)$$

bu erda  $Re_s$  - suyuqlik yupqa qatlami uchun Reynolds kriteriyasi;  $Pr_s$  - suyuqlik uchun Prandtl kriteriyasi;  $Ga$  - Galiley kriteriyasi;  $h$  - qurilma ishchi qismining balandligi, m;  $d_e$  - yupqa qatlamning ekvivalent diametri, m.

$Re_s$  ni hisoblashda suyuqlik yupqa qatlamining oqib tushish tezligi ishlatiladi.

**Nasadkali absorberlarni hisoblashda** quruq nasadkadagi naporning yo'qotilishi ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$\zeta \cdot \frac{H \cdot \rho \cdot w^2}{d_e \cdot 2}$$

Ma'lumki, naporning yo'qotilishi nasadka xarakteri, gaz tezligi va namlanish zichligiga bog'liq.

Yo'llangan nasadkaning qarshiligi prof. A.N.Planovskiy tomonidan taklif etilgan formula yordamida hisoblash mumkin:

$$\zeta \cdot \frac{H \cdot \rho \cdot w^2}{d_e \cdot 2} = 8,4 \cdot \left( \frac{L}{d_e} \right)^{0,4} \cdot \left( \frac{\rho}{\rho_s} \right)^{0,23} \quad (5.97)$$



bu erda  $r_k$  - quruq nasadka gidravlik qarshiligi.

Absorber diametri esa quyidagi formuladan topiladi:

$$D \bullet \frac{G}{3600 \times \rho_g}$$

bu erda  $G$  - gaz sarfi, kg/soat;  $\rho_g$  - gaz zichligi, kg/m<sup>3</sup>;  $w$  - kolonna bo'sh ko'ndalang kesimidagi tezlik, m/s. Gaz tezligi (5.92) tenglamadan hisoblab topiladi.

Absorber balandligini modifikastiyalashgan massa o'tkazish tenglamasi (5.65) dan aniqlash mumkin.

Gaz fazasidagi massa berish koeffitsientini hisoblash uchun quyidagi kriterial tenglamani qo'llash mumkin:

$$Nu_{\text{ДГ}} \bullet 0,407 Re_{\text{Г}}^{0,655} Pr_{\text{ДГ}}^{0,33} \frac{h}{d_{\text{ЭК}}}^{0,47}$$

Ushbu tenglamada aniqlovchi o'lcham sifatida nasadkaning ekvivalent diametri  $d_{\text{ЭК}}$  xizmat qiladi.  $Re_{\text{Г}}$  kriteriyasiga nasadka bo'sh kanallaridagi gazning tezligi qo'yiladi.

Suyuq fazadagi massa berish koeffitsientini hisoblash ushbu formulani qo'llash mumkin:

$$\frac{Nu_{\text{ДС}}}{Pr_{\text{ДС}}^{0,5}} \bullet 0,00216 Re_c^{0,77} \quad (5.98)$$

Formuladagi  $Nu_{\text{ДС}}$  - aniqlash uchun yupqa qatlam keltirilgan qalinligida hisoblangan:

$$\alpha_{\text{ЮК}} \bullet \frac{\lambda}{\delta} \frac{2}{\sqrt{f}} \frac{w_c^{0,33}}{g} \quad (5.99)$$

**Tarelkali absorberlarni hisoblashda** qurilmaning gidravlik qarshiligi, diametri, balandligi va tarelkalar soni aniqlanadi.

Tarelka turi tanlangandan so'ng, bug' yoki gazning ruxsat etilgan eng katta tezligi aniqlanadi. Buning uchun Kirshbaum tomonidan taklif etilgan formuladan foydalanish mumkin:

$$w_k \bullet 0,05 \sqrt{c} \quad (5.100)$$

Kolonna bo'sh ko'ndalang kesimidagi gazning tezligi (0,8...0,9)  $w_k$  da teng deb qabul kilinadi.

Zamonaviy qurilmalardagi tarelkalar orasidagi masofa iloji boricha kam bo'lishi kerak.

Tarelkalar orasida kerakli gidravlik tamba hosil qiluvchi minimal masofa ushbu ifodadan topiladi (5.29-rasm).

$$h_T \bullet h_D + h_3 + h_0 \quad (5.101)$$

bu erda  $h_D$  - suyuqlik tezligini hosil qilish uchun quyilish patrubkasidagi suyuqlik ustunining balandligi, m<sup>2</sup>;  $h_Z$  - gidravlik tamba hosil qilish uchun quyilish patrubkasidagi suyuqlik ustunining balandligi, m;  $h_0$  - tarelkadan quyilish patrubkasining pastki uchigacha bo'lgan masofa, m.

Quyilishi patrubkasidagi suyuqlik ustunining balandligi:

$$h_D \bullet \frac{w^2}{2g} (1 + \zeta_1 + \zeta_2) \quad (5.102)$$

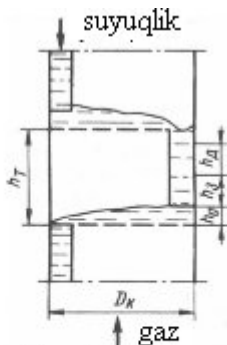
bu erda  $w$  - quyilish patrubkasidagi suyuqlik tezligi, odatda 0,02...0,06 m/s oralikda bo'ladi;  $\zeta_1$  - patrubkadan chiqishdagi qarshilik koeffitsienti;  $\zeta_2$  - quyilish patrubkasining qarshiligini ifodalovchi koeffitsient.

Ushbu koeffitsientni quyidagi formuladan topish mumkin:

$$\zeta_2 \bullet \frac{H}{d} \frac{1}{\kappa}$$

bu erda  $H$  - gidravlik qarshilik koeffitsienti;  $l_k$  - quyilish patrubkasi ishchi uzunligi, ( $h_D + h_Z$ ) m;  $d_k$  - quyilish patrubkasi diametri, m.

Suyuqlik ustunining balandligi  $h_3$  tarelkalar orasidagi bosimni tenglashtirib turadi.



**5.29-rasm. Tarelkalar orasidagi minimal masofani hisoblashga oid.**

Elaksimon tarelkaning gidravlik qarshiligi (Pa) quyidagi tenglamadan aniqlanishi mumkin:

$$p_k \bullet p_{\kappa} \bullet p_a \bullet p_c \quad (5.103)$$

bu erda  $p_k$  - quruq tarelka qarshiligi;  $p_a$  - sirtiy taranglik kuchlarini engish uchun zarur bosimlar farqi;  $p_s$  - tarelkadagi suyuqlik ustunining qarshiligi.

$p_a$  suyuqlikning sirtiy taranglik kattaligiga qarab aniqlanadi:

$$p_a \bullet \frac{4 \cdot ?}{d_0} \quad (5.104)$$

bu erda  $?$  - fazalar chegarasidagi sirtiy taranglik, N/m;  $d_0$  - tarelka teshigining diametri, m.

Quruq tarelka  $p_q$  va undagi suyuqlik ustunining qarshiligi  $p_s$  lar prof. A.N.Planovskiy tavsiya etgan formulalardan hisoblab topilishi mumkin:

$$p_{\kappa} \bullet 1,83 \frac{w_0^2 \cdot \gamma}{2} \quad (5.105)$$

$$p_c \bullet 1,3 k h^3 k \quad (5.106)$$

bu erda  $w_0$  - tarelka teshiklaridagi gaz oqimining tezligi, m/s;  $k=0,5$  - tarelkadagi ko'pik zichligining suyuqlik zichligiga nisbati;  $h$  - quyilish ostonasi balandligi, m;  $h$  - ostona atrofidagi barbotaj bo'lmagan suyuqlik balandligi, m;

$$h \bullet \frac{L^4}{\rho} \quad (5.107)$$

bu erda  $L$  - suyuqlik massaviy sarfi, kg/soat;  $\rho$  - quyilish to'sig'idan o'tayotgan suyuqlikning sarf koeffitsienti ( $\rho=6400...10000$ );  $b$  - quyilish to'sig'ining eni, m.

Qalpoqchali tarelkaning gidravlik qarshiligi ushbu tenglikdan aniqlanadi:

$$p \bullet p_{\kappa} \bullet p_{mup} \bullet p_c \quad (5.108)$$

bu erda  $p_k$  - qalpoqchali tarelkadan gaz oqimi o'tishidagi bosimning yo'qotilishi, Pa;  $p_{tir}$  - qalpoqchali tarelka tirqishidan gaz o'tishi paytidagi bosimning yo'qotilishi, Pa;  $p_s$  - tarelkadagi suyuqlik ustunining qarshiligi, Pa.

Qalpoqchali tarelkaning gidravlik qarshiligi  $p_k$  ni, mahalliy qarshiliklarni engish paytidagi bosimlar yo'qotilishlarning yig'indisi orqali topish mumkin. Odatda qalpoqchanning hamma ko'ndalang kesimlarida gaz oqimi tezliklari teng bo'lsa, gidravlik qarshilik minimal bo'ladi:

$$\frac{d_n^2}{4} \bullet h_{\kappa} \bullet \frac{d_n^2}{4} \quad (5.109)$$

bu erda  $d_p$  - patrubka diametri, m;  $d_k$  - qalpoqcha diametri, m;  $h_k$  - qalpoqcha va patrubka orasidagi masofa, m.

Diametri 40...60 mm va bug` patrubkalarining kesim yuzalari kolonna ko'ndalang kesim yuzasiga nisbati 0,1...0,15 bo'lgan qalpoqchalar eng yaxshi gidrodinamik xarakteristikalariga ega.

Qalpoqchanning qarshiligi ushbu formuladan topilishi mumkin:

$$p_{\kappa} \bullet \frac{w^2 p \gamma}{2} \quad (5.110)$$

bu erda  $w$  - patrubkadagi gaz tezligi, m/s;  $\sum$  - hamma qarshiliklar yig'indisi.

Qalpoqcha tirqishlarining qarshiligi esa:

$$p_{mup} \bullet \frac{w_{mup}^2 p \gamma}{2} \quad (5.111)$$

bu erda  $\sum_{tir}=1,5$  - tirqishdan gaz o'tishidagi mahalliy qarshilik koeffitsienti;  $w_{tir}$  - tirqishdagi gaz tezligi, m/s;  $p_a$  - sirtiy taranglik kuchlari tufayli hosil bo'lgan qarshilik.

Ushbu holatda:

$$p_a \bullet \frac{4 \cdot ?}{d_r} \quad (5.112)$$

bu erda  $d_g$  - tirqishning ochiq teshigining gidravlik diametri, m.

Suyuqlik ustunining qarshiligi (5.102) formuladan hisoblab topish ham mumkin.

Absorber daiametri (5.62) tenglamadan hisoblanadi.

Agar, tarelkalar soni  $n$  va ular orasidagi masofa  $h_g$  ma'lum bo'lsa, absorberlar balandligi ushbu formuladan topiladi:

$$H \bullet h_r n h_g \quad (5.110)$$

bu erda  $h_v$  - eng yuqori tarelka va absorber qopqog'i orasidagi masofa, m.

Massa o'tkazish koeffitsientlari (5.82), (5.83) formulalardan aniqlanadi.

Tarelkali absorberlarda gaz fazasida massa berish koeffitsienti prof. G.P.Salamaxa tomonidan keltirib chiqarilgan tenglama orqali hisoblab topilishi mumkin:  
qalpoqchali tarelkalar uchun:

$$Nu_{D_2} \bullet 0,265 \frac{\rho}{\mu} \frac{h_g}{D_2} \frac{1}{Pr^{0,5}} \frac{1}{We^{0,32}} \quad (5.111)$$

quyilish moslamali elaksimon tarelkalar uchun:

$$\frac{Nu_{D_2}}{We^{0,25}} \bullet 2,5 \frac{\rho}{\mu} \frac{h_g}{D_2} \frac{1}{Re^{0,72}} \frac{1}{Pr^{0,5}} \quad (5.112)$$

plastinali va elaksimon tarelkalar uchun:

$$\frac{Nu_{D_2}}{We^{0,25}} \bullet 1,53 \frac{\rho}{\mu} \frac{h_g}{D_2} \frac{1}{Re^{0,72}} \frac{1}{Pr^{0,5}} \quad (5.113)$$

bu erda  $We \bullet \frac{\rho \times h^2}{\mu c}$  - Veber kriteriysi. Bu erda  $\rho$  - sirtiy taranglik, N/m;  $\times_s$  - suyuqlik zichligi, kg/m<sup>3</sup>;

$h_{st}$  - tarelkadagi statik suyuqlik qatlamining balandligi, m.

$Nu_{dg}$  va  $Re$  kriteriyalarida chiziqli o'lcham bo'lib kapillyar konstanta  $\frac{1}{\rho \times_s c}$  hisoblanadi va u  $\frac{1}{\rho \times_s c}$  ifoda orqali aniqlanadi. Suyuq fazadagi massa berish koeffitsientini hisoblash uchun ushbu formula tavsiya etiladi:

$$\frac{Nu_{D_2}}{Pr^{0,45}} \bullet 540 \frac{\rho}{\mu} \frac{h_g}{D_2} \frac{1}{Re^{0,33}} \frac{1}{Pr} \quad (5.114)$$

Tenglamadagi  $Re$  kriteriysini hisoblashda  $w$  parametr o'rniga kolonna bo'sh ko'ndalang kesimidagi gazning tezligi qo'yiladi.

## HAYDASH VA REKTIFIKATSIYA

### 5.14. Umumiy tushunchalar

Ikki va undan ortiq uchuvchan komponentlardan tarkib topgan bir jinsli suyuqlik aralashmalarini ajratish uchun qo'llaniladigan usullardan eng keng tarqalganlari haydash va rektifikatsiyadir.

Haydash va rektifikatsiya jarayonlari kimyo, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda juda keng ko'lamda ishlatiladi. Masalan, texnik va oziq-ovqat etil spirtlarini, aromatik moddalar ishlab chiqarishda, hamda

aralashmalarni dag'al ajratish uchun qo'llaniladi. Juda to'la ajratish uchun rektifikatsiya jarayonidan foydalaniladi.

Haydash va rektifikatsiya jarayonlari bir xil temperaturada aralashma komponentlarining turli uchuvchanligiga asoslangandir. Yuqori uchuvchanlikka ega komponent ***engil uchuvchan***, past uchuvchanlikka

ega *komponent qiyin uchuvchan* deb nomlanadi. Demak, engil uchuvchan komponent qiyin uchuvchanga qaraganda pastroq temperaturada qaynaydi. Shuning uchun ham, ular past va yuqori temperaturada **qaynaydigan komponentlar** deb ataladi.

Haydash yoki rektifikatsiya jarayonida boshlang'ich aralashma engil uchuvchan komponenti bilan boyitilgan *distillyat* va qiyin uchuvchan komponent bilan boyitilgan *kub qoldig'iga* ajraladi. haydash jarayonida hosil bo'lgan bug` kondensator - deflegmatorga kondensastiyalash natijasida distillyat olinadi. Qurilma kubida esa - kub qoldig'i qoladi.

### 5.15. Haydash va rektifikatsiya jarayonlarining nazariy asoslari

Eng oddiy aralashma 2 ta komponentdan tarkib topgan bo'ladi va u *binar aralashma* deb ataladi. Binar aralashmaning erkinlik daraja soni quyidagiga teng:

$$C \bullet K \tilde{\Phi} \bullet 2 \tilde{2} \bullet 2$$

bu erda *K* - komponentlar soni; *F* - fazalar soni.

Sistema holatini uchta bir - biriga bog'liq bo'lmagan parametr belgilaydi: bosim *r*, temperatura *t* va konstentratsiya *x*. Agar, istalgan ikkita parametr tanlansa, uchinchisini aniqlash qiyin emas. Demak, muvozanat chizig'ini istalgan ikkita o'zgaruvchi parametr orqali ifodalash mumkin, yani *r* va *x*, *t* va *x*, *r* va *t*, *x* va *u*.

Malumki, suyuqlik aralashmalari o'zlarining fizik-kimyoviy xarakteristikalarini bo'yicha katta farq qiladi.

Komponentlarning o'zaro erishiga qarab, binar aralashmalarni 3 guruhga bo'lish mumkin:

- komponentlari cheksiz eruvchan aralashmalar;
- komponentlari o'zaro erimaydigan aralashmalar;
- komponentlari qisman eruvchan aralashmalar.

Komponentlari cheksiz eruvchan aralashmalar o'z navbatida ideal va haqiqiy eritmalarga bo'linadi.

**Ideal aralashmalar** deb eritma tarkibidagi komponent olinishi natijasida issiqlik ajrab chiqmaydigan yoki yutilmaydigan va hajmi o'zgarmaydigan aralashmalarga aytiladi.

Engil uchuvchan *A* va qiyin uchuvchan *V* komponentli binar, suyuq aralashmani ko'rib chiqamiz. *A* va *V* toza komponentlar to'yingan bug`larining bosimini *R<sub>A</sub>* va *R<sub>V</sub>* deb belgilaymiz.

Malumki, ideal aralashmalar Raul qonuniga bo'ysinadi. Ushbu qonunga binoan, suyuqlik ustidagi toza komponentning bug` bosimi uning suyuqlikdagi mol ulushiga proporsionaldir:

$$p_A \bullet P_A \tilde{x} ; \quad p_B \bullet P_B \tilde{1-x} \tag{5.115}$$

bu erda *r<sub>A</sub>*, *r<sub>V</sub>* - *A* va *V* komponentlarning parstial bosimi; *x*, (*1-x*) - suyuq aralashmadagi *A* va *V* komponentlarning mol ulush.

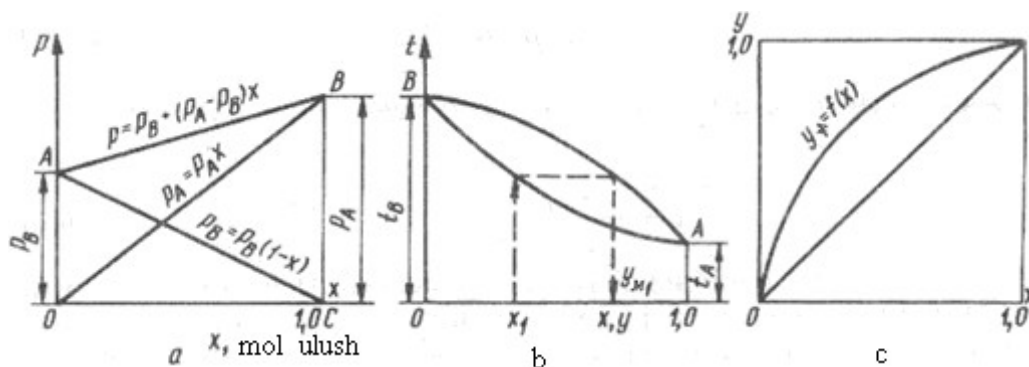
**Dalton qonuniga** binoan sistemadagi umumiy bosim, parstial bosimlar yig'indisiga teng:

$$P \bullet P_A \tilde{x} + P_B \tilde{1-x} \bullet P_B P_A P_B \tilde{x} \tag{5.116}$$

Bundan

(5.115) va (5.116) tenglamalardan ko'rinib turibdiki, bir xil o'zgaruvchi temperaturada suyuqlik aralashmasi ustidagi komponentlar parstial va bug`larning umumiy bosimi engil uchuvchan komponentning mol ulushi *x* bilan to'g'ri chiziqli bog'liqlikda bo'ladi.

5.30-rasmda komponentlar parstial bosimi va umumiy bosim izotermalari tasvirlangan.



**5.30-rasm. Ideal aralashmalar uchun suyuqlik-bug` muvozanat diagrammasi.**

a - aralashma ustidagi komponent parstial bosimi va umumiy bosim izotermalari;  
b - t-x,y diagrammalar; c - y-x diagramma.

$$x \bullet \frac{\tilde{P}_B P_B}{P_A \tilde{P}_B}$$

*OV* va *SA* to'g'ri chiziqlar komponentlar parstial bosimi ( $r_A$  va  $r_V$ ) ni, *AV* esa - suyuqlik ustidagi umumiy bosim o'zgarishini ifodalaydi. *OA* va *SV* vertikal kesmalar toza komponentlar to'yingan bug' i bosimi ( $R_A$  va  $R_V$ ) ni ko'rsatadi.

Dalton qonuniga ko'ra, bug'dagi komponentning parstial bosimi, undagi shu komponent mol ulushiga proporsionaldir:

$$p_A \bullet P \bullet y ; \quad p_B \bullet \tilde{P} \bullet \tilde{y} \quad (5.117)$$

bu erda  $R$  - sistema umumiy bosim;  $u, (1-u)$  - bug' aralashmasidagi  $A$  va  $V$  komponentlar mol ulushi.

Muvozanat sharoiti uchun:

$$P_A \bullet x \bullet P_A \quad P_B \tilde{P} \bullet x \bullet P \bullet \tilde{y} \quad (5.118)$$

bundan

$$y \bullet \frac{P_A \bullet x}{P} \bullet x \quad \text{yoki} \quad \tilde{y} \bullet \frac{P_B \bullet \tilde{P} \bullet x}{\tilde{P}} \bullet \tilde{y} \quad (5.119)$$



Odatda, haydash va rektifikatsiya jarayonlari izobarik jarayonda o'tkaziladi. Shuning uchun,  $R = const$  bo'lgan holatdagi binar aralashmani ko'rib chiqamiz.

Bunda muvozanat chizig'ini  $t - x, y$  yoki  $y - x$  koordinatlarda tasvirlash mumkin. Agar, temperatura ma'lum bo'lsa va  $x, u$  kattaliklari hisoblab topilsa, sistemadagi muvozanatni ifodalovchi diagrammani qurish mumkin. Diagrammadagi pastki chiziq (5.30b-rasm) suyuq aralashmaning qaynash temperaturasi, yuqori chiziq esa - bug' aralashmani kondensastiyalash temperaturasi ifodalaydi.  $x = 0$  va  $x = 1,0$  da ordinata o'qlaridagi kesmalar, qiyin va engil uchuvchan komponentlar qaynash temperaturasi ko'rsatadi.

Suyuqlikning ma'lum tarkibi  $x_1$  bo'yicha bug' tarkibini aniqlash uchun suyuqlik konstrentstiyasiga tegishli absstissa o'qidagi nuqtadan qaynash chizig'i bilan kesishguncha vertikal chiziq o'tkaziladi. So'ng esa, kesilish nuqtasidan bug' kondensastiyalanish chizig'i bilan kesishguncha gorizonta chiziq o'tkaziladi. Kesilish nuqtasining absstissa o'qidagi qiymati bug' ning muvozanat tarkibi  $u_{r1}$  ni beradi.

5.30b-rasmda ko'rinib turibdiki, bir xil qaynash temperaturasida bug'dagi engil uchuvchan komponent konstrentstiyasi uning suyuqlik bug'lari muvozanat konstrentstiyasidan katta bo'ladi. «Suyuqlik - bug'» sistemaning bu xossasi **Konovalovning birinchi qonuniga** bo'ysunadi, ya'ni eritma bilan muvozanatda bo'lgan bug' doim o'zida shunday komponentni ortiqcha ushlaydi, bunda eritmaga shu komponentdan qo'shilganda uning qaynash temperaturasi kamayadi. Masalan, etil spirtiga suv qo'shilsa, sistemaning qaynash temperaturasi pasayadi. Konovalovning 1-qonuniga binoan, eritmaning qaynashi davrida suv bug'i fazasining spirt bug'lari bilan boyishi sodir bo'ladi.

Rektifikatsiya jarayonini hisoblash uchun  $u - x$  diagrammadan foydalanish qulaydir (5.30v-rasm).

$u_m = f(x)$  funktsiya quyidagi tenglamaga mos keladi

$$y \bullet \frac{P_A \bullet x}{P} \bullet \frac{P_A \bullet x}{P_B \bullet \tilde{P}_A \bullet P_B} \bullet x \quad (5.120)$$

Hamda, suyuq va bug' fazalar muvozanat tarkiblari orasidagi bog'liqlikni ifodalaydi. Komponentlar nisbiy uchuvchanligi:

$$\checkmark \bullet \frac{P_A}{P_B}$$

ma'lum bo'lsa, ideal aralashmalar muvozanat chizig'ini hisoblash va qurish mumkin.

$$y \bullet \frac{\checkmark \bullet x}{1 \checkmark 1 \bullet x} \quad (5.121)$$

Faqat engil uchuvchan komponentlardan tarkib topgan suyuqlik bilan shu komponentdan tarkib topgan bug` muvozanat holatida bo`ladi. Muvozanat chizig`ining eng chetki nuqtalari kvadratning qarama - qarshi burchaklarida joylashgan. Kvadrat diagonali va muvozanat egri chizig`i suyuq va bug` fazalarning mavjud bo`lish soHalarini chegaralaydi.

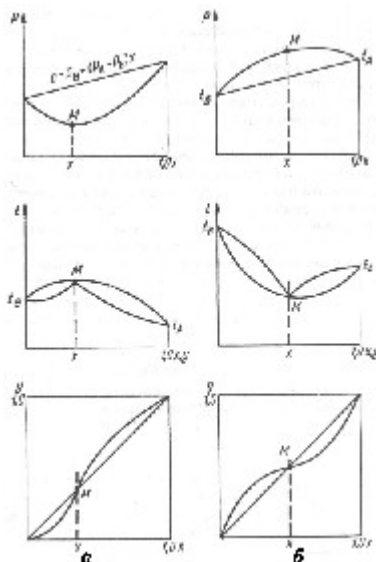
**Haqiqiy suyuqlik aralashmalari.** Bunday aralashmalardan komponentlar ajratib olinganda issiqlik ajrab

chiqadi, hajmi o'zgaradi va ko'pchilik hollarda Raul qonuniga bo'ysunmaydi.

Undan tashqari, bu aralashmalar bug' fazasining molekulari o'zaro tortishish kuchlarini, ularning hajmlarini va boshqalarni hisobga olish zarur.

Raul qonuniga nisbatan og'ish manfiy yoki musbat bo'lishi mumkin. Agar, og'ish musbat bo'lsa, eritma ustida umumiy bosim Raul qonuni bo'yicha ideal eritma uchun hisoblangandan katta, manfiy og'ishida esa - kichik bo'ladi.

Musbat og'ishda umumiy bosim chizig'i ideal eritmanikidan yuqori, manfiy og'ishda - pastroqdan o'tadi. Parstial bosimlarning konstentratziyaga bog'liqligi botiq yoki bo'rtiq chiziqlar orqali tasvirlanadi (5.31-rasm);



5.31-rasm. Haqiqiy eritmalarining fazaviy diagrammalari.

a - manfiy og'ish; b - musbat og'ish

energiya talab etuvchi komponentning nisbiy miqdori oshadi;

b) bug' uchuvchanligi maksimumga ega bo'lgan eritmalarining temperaturasi (yoki bosimi) oshirilganda, azeotrop eritmalarda bug'lanishi uchun katta energiya talab etuvchi komponentning nisbiy qiymati ortadi. Bug'ning uchuvchanligi minimum bo'lganda, eritmaning qaynash temperaturasi oshirilganda azeotrop eritmada bug'lanishi uchun kam energiya talab qiluvchi komponentning nisbiy miqdori ko'payadi.

Vrevskiy qonuniga binoan, azeotrop eritmalarini ajratish uchun bosimni o'zgartirib haydash yoki rektifikatsiya qilish jarayonlaridan foydalanish mumkin.

**Bir-birida erimaydigan yoki qisman eriydigan suyuqlik aralashmalari.** Agar,  $A$  va  $V$  komponentlar bir-birida to'liq erisa, komponentlar molekularining o'zaro tortishish kuchlari nolga teng bo'ladi. Bunda, har bir komponent o'zini mustaqil tutadi va quyidagi bosimda qaynaydi:

$$P = P_A + P_B$$

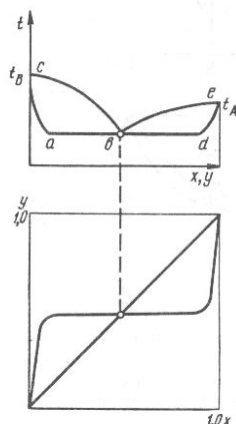
Agar, aralashma komponentlari bir - birida erimasa, istalgan komponent parstial bosimi, uning o'sha temperaturada to'yingan bug' bosimiga teng.

Aralashmaning qaynash temperaturasi  $t_{ar}$  suyuq aralashmaning tarkibiga bog'liq emas (5.32-rasm  $avd$  chiziq).

Aralashmaning qaynash temperaturasi har doim toza komponentlar qaynash temperaturalaridan past bo'ladi.

Tabiatda bir - birida absolyut erimaydigan moddalar kamdan-kam uchraydi. Agar, qisman eriydigan suyuqlik aralashmalarida qaynash temperaturasi  $ac$  yoki  $dc$  chizig'i bo'ylab eritmaning asosiy komponentining qaynash temperaturasigacha o'zgaradi.

Bug'ning kondensastiyalanish temperaturasi  $sb$  va  $eb$  chiziqlari bo'ylab o'zgaradi. Diagrammadagi  $b$  nuqtada  $u_0 = R_0/R = \text{const}$  tarkibli bug' kondensastiyalanadi.



5.32-rasm. Qisman eriydigan aralashmalarining fazaviy diagrammalari.

## 5.16. Oddiy haydash

Suyuqlik aralashmalarini bir marotaba qisman bug`latish yo`li bilan ajratish jarayoni **oddiy haydash** deb nomlanadi. Oddiy haydash jarayonini eritma komponentlari uchuvchanligi orasidagi farq katta bo`lgan hollardagina qo`llash maqsadga muvofiq va yuqori samara beradi.

**Oddiy haydash quyidagi usullarda amalga oshiriladi: frakstiyali haydash; deflegmastiya bilan haydash; suv bug`i bilan haydash; molekulyar haydash.**

**Frakstiyali haydash** Bu usul haydash kubidagi eritmani asta-sekin bug`latish yo`li bilan olib boriladigan ajratish jarayonidir (5.33-rasm).

Jarayon davomida hosil bulayotgan bug` kondensator 2 ga uzatiladi va u erda kondensastiyalanib, distillyat holatida yig`gich 3 ga yuboriladi. Jarayon tugagandan so`ng, kub 1 dagi kub qoldig`i chiqarib tashlanadi. Kub 1 to`yingan suv bug`i yoki tutun gazlari bilan qizdiriladi.

Eritmani haydash jarayonida kub qoldig`ida engil uchuvchan komponent miqdori va distillyat tarkibidagi miqdori maksimal qiymatdan minimalgacha kamayadi. Shuning uchun, har xil tarkibli distillyat frakstiyalari turli yig`gichlarga ajratib olinadi. har xil tarkibli mahsulot olishga mo`ljallangan eritmalarini ajratib olish usuli **frakstiyali haydash** deb nomlanadi.

Oddiy haydash davrida hosil bulayotgan bug` kubdan chiqarib olinadi va har bir onda kubda qolgan eritma bilan muvozanatda bo`ladi.

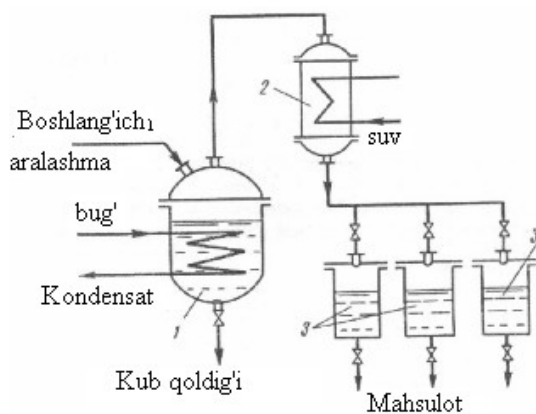
Bu usulda haydash atmosfera yoki vakuum ostida olib boriladi. Vakuum ostida haydash usuli issiqlikka chidamsiz eritmalarini ajratish imkoniyatini yaratadi, chunki bu usulda qaynash temperaturasi pasayadi. Shuning uchun ham bu usulda haydash davrida past temperaturali suv bug`laridan foydalaniladi.

Distillyatning o`rtacha tarkibi moddiy balans tenglamasidan aniqlanadi:

$$Fx_f \bullet Wx_w \tilde{F} Wx_{dyp}$$

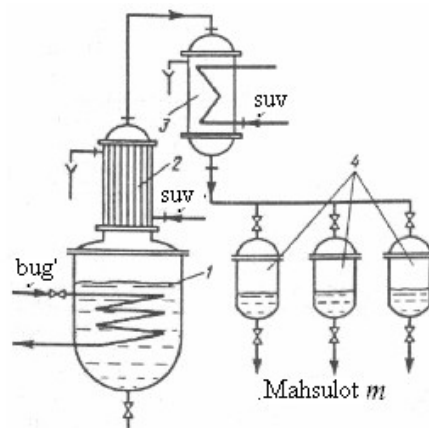
bundan

$$x_{dyp} \bullet \frac{Fx_f \tilde{W}x_w}{\tilde{F} W} \quad (5.122)$$



5.33-rasm. Oddiy haydash qurilmasi.

1 - kub; 2 - kondensator;  
3 - distillyat yig`gichlar.



5.34-rasm. Deflegmatsiyali oddiy haydash qurilmasi

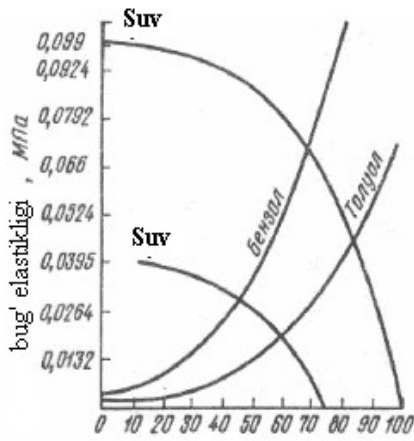
1 - kub; 2 - deflegmator; 3 - kondensator; 4 - yig`gichlar.

bu erda  $F$  - boshlang`ich eritma miqdori;  $x_f$  - boshlang`ich eritma konstantriyasi;  $W$  - kub qoldig`i miqdori;  $x_w$  - kub qoldig`i konstantriyasi.

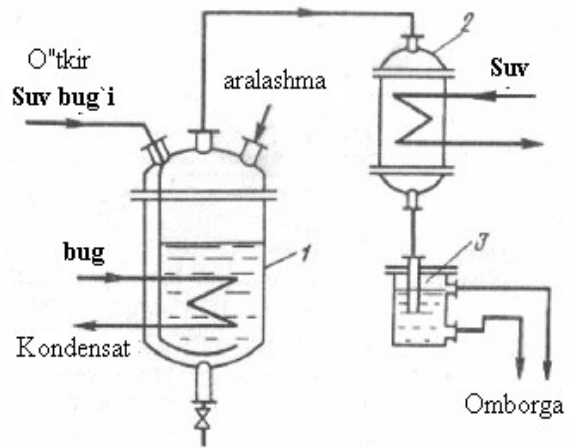
**Deflegmastiya bilan haydash.** Bu usul eritmalarini ajratish darajasini ko`tarish uchun qo`llaniladi (5.34-rasm).

Bu usulda, kub 1 da hosil bo`lgan bug`lar deflegmator 2 ga uzatiladi va u erda qisman kondensastiyalanadi. Qisman kondensastiyalanish davrida qiyin uchuvchan komponent miqdori ko`p bo`lgan flegma hosil bo`ladi va qaytadan kubga tushiriladi. Kub 1 ga tushish vaqtida ko`tarilayotgan bug`lar bilan o`zaro ta`sirida buladi.

Engil uchuvchan komponent miqdori yuqori bo`lgan bug`lar kondensatorga yo`naltiriladi. Kondensastiyalanish natijasida hosil bo`lgan distillyat yig`gich 4 ga tushadi. Kub qoldig`ining konstantriyasi o`rnatilgan  $x_r$  qiymatiga etganda so`ng, kubdan chiqarib yuboriladi.



5.35-rasm. Suv bug'i bilan haydash paytida qaynash temperaturasi aniqlash diagrammasi



5.36-rasm. Suv bug'i bilan oddiy haydash qurilmasi  
1 - kub; 2 - kondensator;  
3 - separator.

**Suv bug'i bilan haydash.** Eritmalar qaynash temperaturasi pasaytirish uchun jarayonni vakuum ostida tashkil etish usuli oldindan ma'lum edi. Lekin, eritmalar suv bug'i bilan haydash usulida ham qaynash temperaturasi pasaytirish mumkin. Ayniqsa, bu usul qaynash temperaturasi  $100^{\circ}\text{S}$  dan ortiq bo'lgan va komponentlari suvda erimaydigan eritmalar uchun juda qo'l keladi. Shuning uchun, eritma komponentlari suvda erimasa, unda haydash kubiga qo'shimcha komponent sifatida suv bug'i yuboriladi.

5.35-rasmda suv bug'i bilan oddiy haydash davrida qaynash temperaturasi aniqlash diagrammasi keltirilgan. Bu diagrammada qaynash temperaturasi suv bug'ining elastiklik egri chizig'i bilan turli suyuqliklar elastiklik egri chiziqlari kesishgan nuqtasi to'g'ri keladi. Grafikdan ko'rinib turibdiki, atmosfera bosimida benzolni suv bilan haydash paytida jarayon temperaturasi  $69,5^{\circ}\text{S}$ , bosim  $r = 0,0395 \text{ MPa}$  da  $46^{\circ}\text{S}$  atrofida, bosim  $r = 0,1 \text{ MPa}$  da toluol uchun esa -  $85^{\circ}\text{S}$ .

5.36-rasmda aralashmalarni suv bug'i bilan haydash qurilmasining sxemasi keltirilgan.

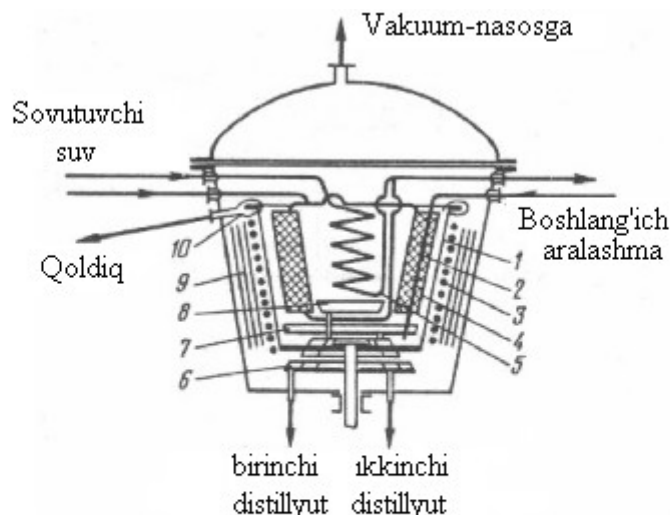
Boshlang'ich eritma kub 1 ga yuklanadi va uning g'ilofiga suv bug'i yuboriladi. So'ng, kub ichidagi eritmaga barboter orqali kuchli suv bug'i haydaladi. Eritmaning qaynash paytida hosil bo'lgan bug'lar kondensator 2 ga uzatiladi va undan keyin separator 3 da kondensat ajratiladi. Separatordan suv chiqariladi, suvda erimaydigan engil uchuvchan komponent esa maxsus idishga yig'iladi. Odatda bu usul muvozanat bo'lmagan sharoitlarda amalga oshiriladi.

**Molekulyar haydash.** Bu usul yuqori temperaturada qaynaydigan va issiqlikka chidamsiz eritmalar ajratish uchun qo'llaniladi.

Ushbu jarayon o'ta past vakuumda, ya'ni bosim  $1,31 \dots 0,131 \text{ Pa}$  bo'lgan oralikda olib boriladi.

Molekulyar haydash eritmani tashqi yuzasidan bug'latish orqali amalga oshiriladi. Jarayon bir - biriga yaqin o'rnatilgan bug'latish va kondensastiyalash yuzalarida ro'y beradi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, ular orasidagi masofa odatda  $20 \dots 30 \text{ mm}$ , ya'ni molekulalarning erkin harakati uzunligidan kam bo'lishi kerak. Bunday holatda issiq yuzadan ko'tarilayotgan engil uchuvchan komponent molekulalari sovuq yuzaga urilishi bilan kondensastiyalanadi. Bug'lanish va kondensastiyalanish yuzalari o'rtasidagi temperaturalar farqi  $100^{\circ}\text{S}$  atrofida.

5.37-rasmda molekulyar haydash qurilmasining sxemasi keltirilgan.



**537-rasm. Molekulyar haydash qurilmasi.**

1 - rotor; 2 – boshlang'ich eritmani uzatish trubasi; 3 - elektr isitgich; 4,5 - kondensatorlar; 6 - halqasimon yig'gich; 7,8 -kondensator tagligi; 9 - koncentrik izolyacion plita; 10 - tarmoqli nov.

Boshlang'ich eritma qurilmaga truba 2 orqali rotor 1 ning tubiga uzatiladi. Rotordagi eritma markazdan qochma kuch tasirida konus yuzasi bo'ylab yupqa qatlam holida tarqaladi. Bug'lanish yuzasidan ajralib chiqqan molekulalar kondensastiyalanish yuzasiga qarab yunaladi.

Uchuvchanligi past komponent bug'lari kondensator 4 yuzalarida kondensastiyalansa, uchuvchanligi yuqori komponent bug'lari esa kondensator 5 yuzasida kondensastiyalanadi. Birinchi fraktsiya kondensator 4 dan taglik 8 ga, ikkinchisi esa zmeevikda kondensastiyalanib taglik 7 ga oqib tushadi. Eritmaning bug'lanmagan qismi esa markazdan qochma kuch tasirida rotor chetidan tarmoqli nov 10 ga toshib o'tadi va qurilmadan chiqarib yuboriladi. Ajratib olingan distillyat, taglik 8 chekkasidagi sekstiya orqali halqasimon yig'gichga, taglik 7 dan esa markaziy sekstiya orqali chiqarib olinadi.

### 5.17. Rektifikatsiya

Suyuqlik aralashmalarini tashkil etuvchi komponentlarga bir necha marta qisman bug'latish va bug'larni kondensastiyalash natijasida ajratishga **rektifikatsiya** deyiladi.

Odatda, eritmalarni to'la ajratishni faqat rektifikatsiya usuli ta'minlaydi. Bu jarayon nasadkali yoki tarekkali kolonnalarda o'tkaziladi. Kolonnada bug' va eritma qarama - qarshi yo'nalishda harakatlaniriladi va har bir to'qnashish moslamasida bug' kondensastiyalansa, eritma esa bug'ning kondensastiyalanish issiqligi hisobiga qisman bug'lanadi.

Shunday qilib, bug' engil uchuvchan komponent bilan, kolonnadan pastga oqib tushayotgan suyuqlik esa - qiyin uchuvchan komponent bilan boyitiladi. Bug' va eritmaning ko'p marta to'qnashishi hisobiga distillyat butunlay engil uchuvchan, kub qoldig'i esa - qiyin uchuvchan komponentdan tarkib topgan bo'ladi.

Rektifikatsiya jarayonini hisoblashda quyidagi ta'hminalar qabul qilinadi:

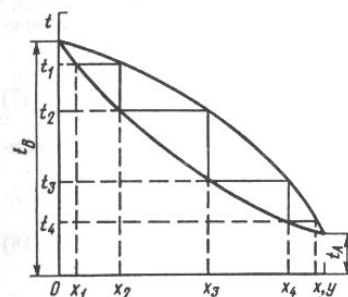
a) 1 kmol bug' kondensastiyalanish davrida 1 kmol suyuqlik bug'lanadi. Demak, rektifikastion kolonnaning istalgan ko'ndalang kesimida harakatlanayotgan bug'ning miqdori bir xildir;

b) deflegmatorda kondensastiyalanayotgan bug'ning tarkibi o'zgarmaydi. Demak, rektifikastion kolonnadan chiqib ketayotgan bug'ning tarkibi distillyatnikiga teng ( $u_d = x_d$ ) bo'ladi;

v) eritma bug'lanishi davrida uning tarkibi o'zgarmaydi. Demak, bug'lanish davrida hosil bo'lgan bug'ning tarkibi kub qoldig'inikiga tenglashadi, ya'ni ( $y_w = x_w$ ).

Ko'pincha rektifikatsiya jarayoni  $t - x, y$  diagramma yordamida tasvirlanadi (5.38-rasm).

Konstrentastiyasi  $x_1$  bo'lgan boshlang'ich eritma qaynash temperaturasi  $t_1$  gacha qizdirilganda, suyuqlik bilan muvozanatdagi bug' olinadi va u kondensastiyalanganda engil uchuvchan komponentga boyitilgan  $x$  tarkibli suyuqlik hosil bo'ladi. Ushbu suyuqlik yana qizdirilsa va uning temperaturasi  $t_2$  gacha etkazilsa, hosil bo'lgan bug'ning kondensastiyalanishi natijasida  $x_3$  tarkibli suyuqlikni olamiz. Shunday qilib, bug'lanish va kondensastiyalash jarayoni ko'p marta



**5.38-rasm. t - x, y - diagramma.**

qaytarilsa, boshlang'ich eritmani toza, engil va qiyin uchuvchan komponentlarga ajratish mumkin.

### 5.17.1. Rektifikatsiya jarayonining moddiy va issiqlik balanslari

Jarayonning prinsipial sxemasi asosida rektifikatsiyaning moddiy va issiqlik balanslari tuziladi (5.39-rasm). Rektifikatsion kolonnaga uzatilgan boshlang'ich eritma distillyat va kub qoldig'iga ajratiladi.

Kolonnadan chiqayotgan bug'lar deflegmator 4 da kondensastiyalanadi va ajratuvchi idish 3 ga tushadi. Bu erda suyuqlik ikki qismga, ya'ni flegma  $F$  va distillyatga ajratiladi. Flegma kolonnada purkatilish uchun yo'naltiriladi.

Jarayon moddiy balansi ushbu ko'rinishga ega:

$$G_f \bullet G_d \bullet G_w \tag{5.123}$$

Engil uchuvchan komponent bo'yicha esa:

$$G_f \overset{\sim}{x}_f \bullet G_d \overset{\sim}{x}_d \bullet G_w \overset{\sim}{x}_w \tag{5.124}$$

bu erda  $G_f, G_d, G_w$  - boshlang'ich eritma, distillyat va kub qoldig'i massalari, kmol;  $x_f, x_d, x_w$  - boshlang'ich eritma, distillyat va kub qoldiqlaridagi engil uchuvchan komponentning konstantriyalari, mol ulushlar.

(5.123) va (5.124) tenglamalardan distillyat va kub qoldig'ining massalari aniqlanadi:

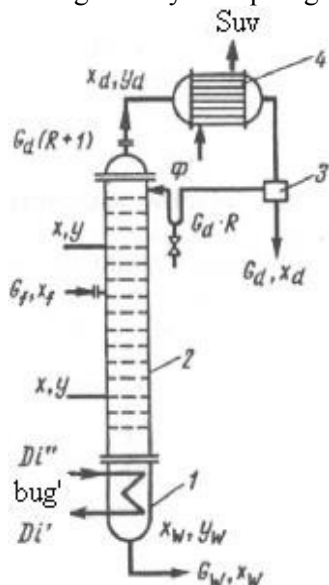
$$G_d \bullet G_f \frac{x_f \overset{\sim}{x}_w}{x_d \overset{\sim}{x}_w} \tag{5.125}$$

$$G_w \bullet G_f \frac{x_d \overset{\sim}{x}_f}{x_d \overset{\sim}{x}_w} \tag{5.126}$$

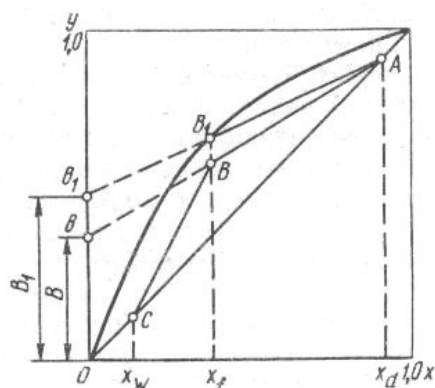
Boshlang'ich eritma, kub qoldig'i va flegmalarning 1 kmol distillyatga nisbatlarini quyidagicha belgilab olamiz:

$$\frac{G_f}{F} \bullet \frac{G_w}{W} \bullet \frac{\Phi}{G_d} \bullet R$$

Flegma miqdorining distillyat miqdoriga nisbati *flegma soni* deb nomlanadi.



5.39-rasm. Rektifikatsiya jarayonining moddiy va issiqlik balanslarini tuzishga oid.



5.40-rasm. Rektifikatsiya jarayoni ishchi chizig'ining tasviri.

Rektifikatsion kolonnaning ta'minlash tarelkasi uni 2 ga ajratadi: yuqori va pastki qismlarga. Umumiy tenglama asosida kolonnaning yuqori va pastki qismlari uchun moddiy balans tenglamalarini tuzamiz:

$$G \frac{dy}{dx} = L \frac{dx}{dy} \quad (5.127)$$

bu erda  $L = R \cdot G_d$  - kolonna yuqori qismida oqib tushayotgan suyuqlik miqdori.

Kolonna bo'ylab yuqoriga ko'tarilayotgan bug' miqdori:

$$G \cdot G_d \cdot \Phi \cdot G_d \cdot R G_d \cdot G_d \cdot R \quad (5.128)$$

Kolonnaning yuqori qismi uchun:

$$R \cdot dy \cdot R \cdot dx \quad (5.129)$$

Pastki qismi uchun:

$$R \cdot dy \cdot F \cdot R \cdot dx \quad (5.130)$$

Konstentrastiyalari  $x, u$  bo'lgan kolonna yuqori qismining istalgan ko'ndalang kesimi va konstentrastiyalari  $x_d, u_d$  bo'lgan kolonnaning yuqori qismi uchun (5.129) tenglamani yozamiz: ( $x_d = u_d$  deb qabul qilingan holda)

$$R \cdot y_d \cdot y \cdot R \cdot x_d \cdot y \cdot R \cdot x$$

Bundan

$$y \cdot \frac{R}{R \cdot 1} \cdot x \cdot \frac{x_d}{R \cdot 1} \quad (5.131)$$

Konstentrastiyasi  $x, u$  bo'lgan kolonnaning pastki qismi va konstentrastiyalari  $x_w, u_w$  bo'lgan kubning istalgan ko'ndalang kesimi uchun,  $x_w = y_w$  ni hisobga olib (5.130) tenglamani yozamiz:

$$R \cdot y_w \cdot y_w \cdot R \cdot x_w \cdot x_w \cdot F \cdot R \cdot x_w \cdot x_w$$

yoki

$$\frac{y \cdot R \cdot F \cdot \tilde{x}}{R \cdot 1} \cdot \frac{\tilde{F} \cdot 1}{R \cdot 1} \cdot x \quad (5.132)$$

Ko'rinib turibdiki (5.131) va (5.132) tenglamalar to'g'ri chiziqni ifodalaydi. (5.131) tenglamadagi  $R/(R+I) = tg \alpha$  - ishchi chiziqning absstissa o'qiga og'ish burchagi tangensi  $x_d/(R+I) = B$  chiziq  $u-x$  diagramma ordinata o'qida ajratgan kesmasi (5.40-rasm).

Shunday qilib, (5.131) va (5.132) tenglamalar rektifikastion kolonnaning yuqori va pastki qismlarining ishchi chiziq tenglamalarini ifodalaydi.

Agar, jarayon davriy bo'lsa, rektifikatsiya jarayoni kolonna yuqori qismining ishchi chizig'i bilan ifodalanadi.

(5.129) tenglamadan kolonnaning ta'minlovchi tarelka ko'ndalang kesimi va tepasi uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$R \cdot y_f \cdot y_f \cdot R \cdot x_d \cdot x_f \quad (5.133)$$

bundan

$$R \cdot \frac{x_d \cdot y_f}{y_f \cdot x_f} \quad (5.134)$$

### 5.17.2. Uzlüksiz ishlaydigan rektifikastion kolonnaning issiqlik balansi

Bu turdagi qurilmalarning issiqlik balansi quyidagi tenglik bilan ifodalanadi (5.39-rasm).

$$Q_1 \cdot G_f \cdot c_f \cdot t_f \cdot R \cdot G_d \cdot c_d \cdot t_d \cdot G_d \cdot R \cdot r_d \cdot c_d \cdot t_d \cdot G_w \cdot c_w \cdot t_w \cdot Q_{iyk} \quad (5.135)$$

bu erda  $Q_1$  - kubdagi issiqlik sarfi, J/soat;  $c_f, c_d, c_w$  - boshlang'ich eritma, distillyat va kub qoldiqlarining solishtirma issiqlik sig'imi, J/(kg·K);  $t_f, t_d, t_w$  - boshlang'ich eritma, distillyat va kub qoldiqlarining temperaturalari, K;  $r_d$  - distillyatning bug' hosil qilish issiqligi, J/kg;  $Q_{iyk}$  - atrof muhitga issiqlikning yo'qotilishi, J/soat.

**Rektifikastion kolonna kubidagi issiqlik sarfini (5.135) tenglamadan topamiz:**

$$Q_1 \cdot G_d \cdot R \cdot r_d \cdot G_d \cdot c_d \cdot t_d \cdot G_w \cdot c_w \cdot t_w \cdot G_f \cdot c_f \cdot t_f \cdot Q_{iyk} \quad (5.136)$$

Agar, qaynatgich suv bug'i bilan isitilayotgan bo'lsa, jarayonni o'tkazish uchun sarflanayotgan bug' sarfi

ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$D \bullet \frac{Q_1}{i_{\text{q}} i_{\text{d}}} \quad (5.136)$$

bu erda  $i_{\text{q}}$ ,  $i_{\text{d}}$  - suv bug'i va kondensatning entalpiyalari, kJ/kg.

**Ishchi chiziqni u - x diagrammada tasvirlash.** Eritma tarkibini xarakterlovchi  $x_w$ ,  $x_f$ ,  $x_d$  konstentrastiya qiymatlari absstissa o'qiga quyiladi (5.40-rasm). Agar,  $x_d = u_d$  ekanligini hisobga olsak,  $x_d$  nuqtadan perpendikulyar chiqarib, diagonal chiziq bilan kesishgan, koordinatlari  $x_d = u_d$  bo'lgan,  $A$  nuqtasi topiladi.

Flegma soni  $R$  ma'lum bo'lsa,  $V = x_d/(R+1)$  kesma aniqlanadi va u diagrammaning ordinata o'qiga qo'yiladi. So'ng,  $V$  kesmaning uchi bo'lmish nuqta  $b$  va  $A$  lar birlashtiriladi. Boshlangich eritma konstentrastiyasiga oid  $x_f$  nuqtasidan  $Ab$  chizig'i bilan  $V$  nuqtada kesishguncha vertikal chiziq o'tkaziladi.  $AV$  to'g'ri chiziq kolonna yuqori qismining ishchi chizig'ini ifodalaydi. Keyin,  $x_w$  nuqtasidan perpendikulyar chiqarilib, diagonal bilan kesishgan  $S$  nuqtani topamiz.  $S$  va  $V$  nuqtalarni birlashtirib, kolonna pastki qismining ishchi chizig'ini topamiz. Diagrammadan ko'rinib turibdiki,  $V$  nuqta ikkala ishchi chiziq uchun umumiy bo'lib, ta'minlovchi tarelkadagi bug' va suyuqlikning ishchi konstentrastiyalarini xarakterlaydi.

Eritma konstentrastiyalari  $x_w$ ,  $x_f$ ,  $x_d$  bo'lganda, ishchi chiziqning holati kesma  $V$  ning qiymatiga bog'liq.  $\alpha$  z navbatida  $V$  kesma ishchi flegma soni  $R$  ning kattaligi bilan aniqlanadi. Agar, flegma soni kamaysa, kesma  $V$  ning qiymati ortadi. Bunda ishchi va muvozanat chiziqlarining  $V_1$  nuqtasida kesishganda, ishchi chiziq o'zining maksimal yuqori holati -  $Ab$  ga intiladi. Ushbu nuqtada jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi  $u = u_m - u = 0$  bo'ladi. Demak, rektifikastion kolonnaning fazalar to'qnashish yuzasi cheksiz katta bo'lishi kerak.

Haqiqatan ham, bunday holatda konstentrastiyalar o'zgarishining nazariy pog'onalar soni cheksiz bo'ladi va eritmani faqat cheksiz balandlikka ega shartli kolonnada ajratish mumkin. Lekin, isituvchi bug' va kolonna diametri minimal ko'rsatkichli bo'ladi. Albatta, bunday sharoitda flegma soni ham minimal bo'ladi va uni ushbu tenglamadan aniqlash mumkin:

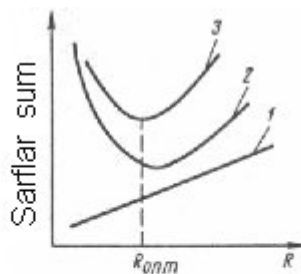
$$R_{\min} \bullet \frac{x_d \tilde{y}_{f m}}{y_{f m} x_f} \quad (5.137)$$

Ishchi chiziqning quyi chegaraviy holatiga cheksiz katta flegma soni to'g'ri keladi va u grafikda  $V=0$  kesma bilan ifodalanadi. Bu holda ikkala ishchi chiziq diagonal bilan ustma-ust tushadi. Cheksiz katta flegma soniga maksimal harakatga keltiruvchi kuch  $u_{\min} = u_m - u$  va o'z navbatida konstentrastiya o'zgarish nazariy pogonalarining minimal soni va kolonnaning minimal soni, hamda kolonnaning minimal balandligi to'g'ri keladi. Lekin, kolonnadagi bug', qaynatgichdagi isituvchi bug', deflegmatordagi sovuq suv sarfi va qurilma diametri maksimal bo'ladi.

### 5.17.3. Haqiqiy flegma soni

Haqiqiy flegma sonini tanlash o'ta murakkab masaladir, chunki uning miqdoriga qarab rektifikastion kolonna o'lehamlari va issiqlik eltikichlar sarfi o'zgaradi. Kolonnalarni ishlatish uchun zarur sarflar va kapital harajatlar, hamda energetik sarflar flegma soniga bog'liq.

5.41-rasmda haqiqiy flegma sonining rektifikatsiya jarayoni sarflariga bog'liqligi tasvirlangan.



5.41-rasm. Rektifikatsiya jarayoniga bog'liq bo'lgan sarflarning flegma soniga bog'liqligi.

- 1- ekspluatatsion sarflar;
- 2- kapital sarflar;
- 3- umumiy sarflar.

Ko'rinib turibdiki, flegma soni ortishi bilan ekspluatatsion sarflar proporsional ravishda ortadi. Kapital sarflarning flegma soniga bog'liqligi kolonna diametri va balandligiga teskari proporsionalligi bilan ifodalanadi. Flegma sonining ma'lum bir qiymatiga kapital sarflarning minimal kattaligi to'g'ri keladi.

Umumiy sarflar va flegma soni orasidagi bog'liqlik ham minimum nuqtasi bilan xarakterlanadi. Bu nuqtaga mos  $R$  haqiqiy flegma sonining optimal qiymatiga teng bo'ladi.

Haqiqiy flegma sonini quyidagi formulada hisoblash mumkin:

$$R_x \bullet \phi_R R_{\min} \quad (5.138)$$

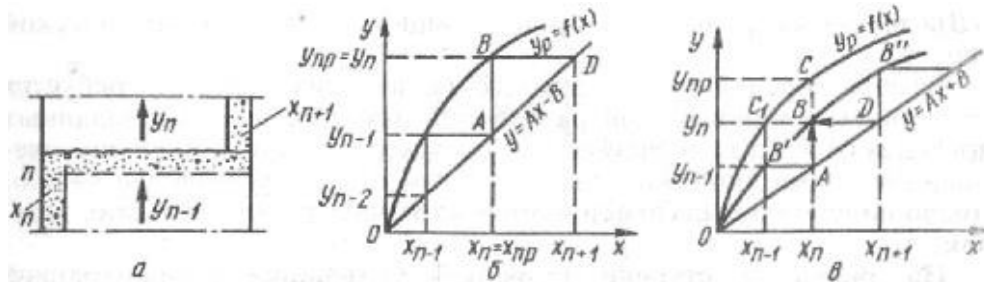
bu erda  $\phi_R$  - flegma ortiqchaligini ifodalovchi koeffitsient. Ko'pchilik hollarda ushbu koeffitsient quyidagi oralikda bo'ladi -  $\phi = 1,04 \dots 1,5$ .

### 5.17.4. Rektifikastion kolonna ishchi balandligi va tarelkalar sonini hisoblash

Odatda ushbu parametrlarni aniqlash konstantriyalar o'zgarishining nazariy yoki haqiqiy pog'onalari soniga qarab olib boriladi. Bunda, nazariy pog'onada bug' va oqib tushayotgan suyuqlik muvozanat holatida bo'ladi.

Barbotaj tarelkasining ishlash prinsipini ko'rib chiqamiz (5.42-rasm).

Agar, konstantriyasi  $x_{n+1}$  bo'lgan suyuqlik yuqoridan  $n$  - tarelkaga oqib tushsa, pastdagi tarelkadan konstantriyasi  $y_{n-1}$  - bo'lgan bug' ko'tariladi. Massa almashinish natijasida suyuqlikdagi engil uchuvchan komponent bug'ga o'tsa, qiyin uchuvchan esa - bug'dan suyuqlikka o'tadi. Bug'dagi engil uchuvchan komponent konstantriyasi  $y_n$  gacha ortsa, suyuqlikda esa  $x_{n+1}$  dan  $x_n$  gacha kamayadi.



5.42-rasm. Tarelkalar sonini aniqlash o'ld.

a - tarelkada bu' va suyuqlikning o'zaro ta'siri; b - bu' va suyuqlik muvozanatga erishish jarayonini u-h diagrammada tasvirlash; c - bu' va suyuqlik muvozanatga erishmagan jarayonini y-x diagrammadagi tasviri.

Jarayonni taHlil qilishda quyidagi taHminlarni qabul qilamiz: tarelkadagi suyuqlik ideal aralastirilgan va uning konstantriyasi o'zgarmas  $x_n$  ga teng; ideal siqib chiqarish rejimidagi suyuqlik qatlamida bug'ning konstantriyasi  $y_{n-1}$  dan  $y_n$  gacha o'zgaradi.

Bug' konstantriyasi  $y_{n-1}$  dan  $y_n = u_{pr}$  gacha o'zgarishi davrida muvozanatga erishishi vertikal  $AV$  kesma bilan tasvirlansa, konstantriyasining  $x_{n+1}$  dan  $x_n$  gacha o'zgarishi esa,  $BD$  kesma bilan xarakterlanadi (5.42b-rasm). Shunday qilib,  $AVD$  pog'ona bitta nazariy tarelkada sodir bo'layotgan jarayonni ifodalaydi.

Rektifikastion kolonnada o'rnatish zarur bo'lgan nazariy tarelkalar sonini aniqlash uchun ishchi va muvozanat egri chiziqlarining  $A$  va  $S$  nuqtalari orasiga pog'onalar quriladi.

Kolonnaning haqiqiy tarelkasida hech qachon muvozanat konstantriyasiga erishib bo'lmaydi, ya'ni  $y_n < u_{pr}$  (5.42v-rasm).

Kolonnadagi haqiqiy tarelkalar sonini aniqlash uchun foydali ish koeffitsienti qo'llaniladi. Odatda uning kattaligi tajribaviy usul bilan topiladi. Rektifikatsiya jarayonida massa berish koeffitsientini hisoblash uchun quyidagi tenglamalar tavsiya etiladi:

suyuq fazada:

$$\frac{Nu_{Pr}^{0,45}}{Dc} \bullet 540 \bullet Re^{0,33} \bullet \frac{c}{Dc} \quad (5.139)$$

elaksimon tarelkalarda gaz fazasi uchun:

$$\frac{Nu_{We}^{-0,25}}{D\Gamma} \bullet 2,5 \bullet Re^{0,72} \bullet Pr^{0,5} \quad (5.140)$$

qalpoqchali tarelkalarda gaz fazasi uchun:

$$\frac{Nu_{D\Gamma}}{Re_{\Gamma}} \bullet 0,265 \bullet Pr^{0,5} \bullet \frac{c}{We}^{-0,25} \quad (5.141)$$

(5.140) va (5.141) tenglamalardagi  $Nu_{dg}$  va  $Re_g$  kriteriyalarda aniqlovchi o'lcham sifatida kapillyar konstanta  $\square \bullet ? /$  Hisoblanadi. Veber kriteriysi  $We \bullet ? / \rho_c \cdot h_{cm}^2 g$ ,

bu erda  $?$  - sirtiy taranglik, N/m;  $h_{st}$  - tarelkadagi suyuqlik qatlamining statik balandligi, m.

### 5.18. Rektifikatsiya jarayonini tashkil etish usullari

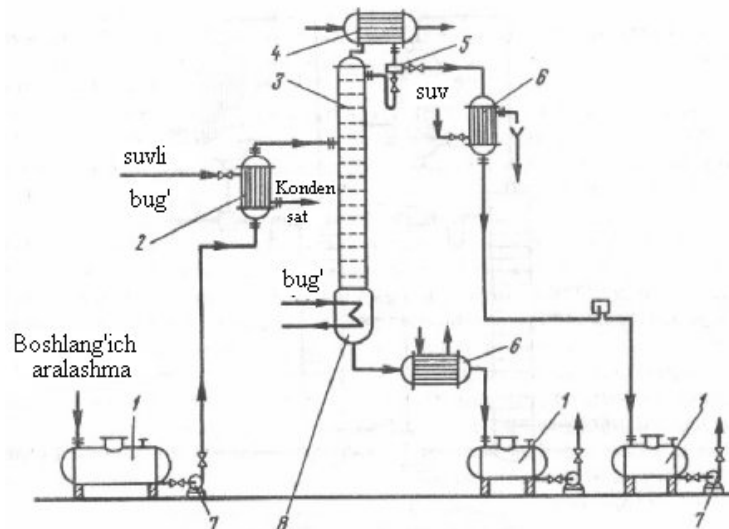
Istalgan rektifikastion sxema tarkibida kolonna (tarelkali yoki nasadkali) va qaynatgich bo'ladi. Odatda, qobiq - trubali yoki zmeevikli issiqlik almashinish qurilmasidan qaynatkich sifatida foydalaniladi. Qaynatkich

kolonnaning pastki qismida yoki uning tashqarisida o`rnatilishi mumkin.

Turli sanoat korxonalarida tarekali va nasadkali kolonnalar ko`p ishlatiladi.

**Uzluksiz ishlaydigan rektifikastion kolonnaning** prinsipial sxemasi 5.43-rasmda ko`rsatilgan.

Boshlang'ich eritma isitkich 2 da qizdiriladi va kolonnaning ta'minlovchi tarelkasiga uzatiladi. Kolonnadagi qaynatkich 8 ning issiqligi ta'sirida rektifikatsiya jarayoni sodir bo'ladi, eritma distillyat va kub qoldig'iga ajraladi. Kolonnadan chiqayotgan bug'lar deflegmator 4 da qisman yoki to'la kondensastiyalanadi. Agar bug' to'la kondensastiyalansa, hosil bo'lgan distillyat ajratuvchi moslama 5 da ikki qismiga bo'linadi.



**5.43-rasm. Uzlüksiz ishlaydigan rektifikacion kolonna.**

1 – yig'gich; 2 - isitkich; 3 - rektifikacion kolonna; 4 - deflegmator; 5 - ajratuvchi moslama; 6 - sovutkich; 7 - nasoslar; 8 - qaynatkich.

Birinchi qism - flegma suyuqlik tambasi orqali o'tib kolonnaning yuqori tarelkasida purkaladi, ikkinchi qismi esa - distillyat sovutkich 6 dan o'tkazilib sovutiladi va yig'gich 1 da to'planadi.

Agar, bug'lar deflegmatorda qisman kondensastiyalansa, ular kondensator-sovutkich orqali o'tkaziladi, u erda kondensastiyalanadi va sovutiladi. Jarayon mobaynida hosil bo'layotgan kub qoldig'i uning qimmatligi va zarurligiga qarab yoki yig'gichda to'planadi, yoki oqava suv sifatida utilizastiyaga yo'naltiriladi.

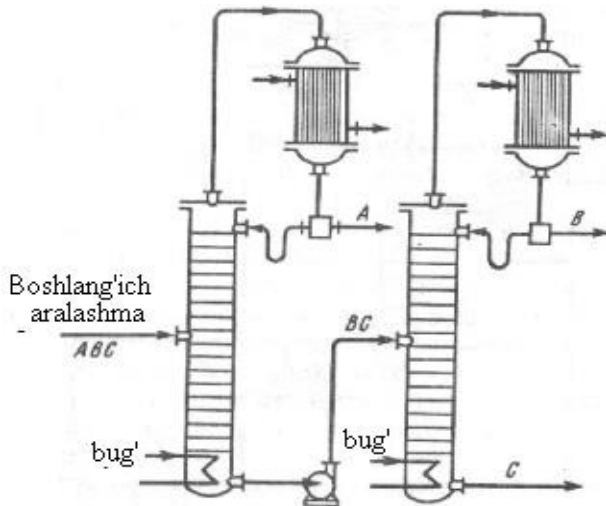
Odatda, sanoat miqyosida boshlang'ich eritma uch va undan ko'p qismlarga ajratiladi.

**Ko'p komponentli eritmalar rektifikatsiya qilish** sxemasi 5.44-rasmda tasvirlangan. Ushbu sxema ko'p kolonnali bo'lib, boshlang'ich eritmani uzluksiz ravishda uch qism, ya'ni A, V va S komponentlarga ajratishga mo'ljallangan.

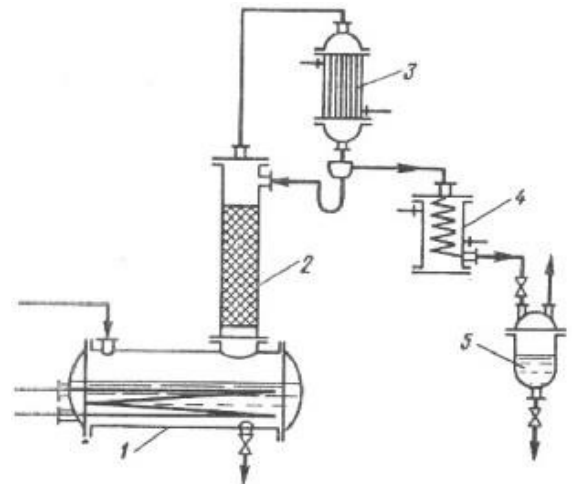
Birinchi kolonna aralashmani A+VS yoki AV+S qismlarga ajratadi. Aralashmani  $n$  qismga ajratish uchun  $n-1$  rektifikacion kolonnalardan tarkib topgan rektifikacion sxema zarur bo'ladi.

**Davriy ishlaydigan rektifikacion kolonnaning prinstipial sxemasi** 5.45-rasmda keltirilgan.

Boshlang'ich aralashma bug' bilan isitilayotgan qaynatkichga uzatiladi. Qaynash temperaturasigacha isitilgan aralashmaning bug'lari rektifikacion kolonnaning pastki qismiga yuboriladi. Kolonna bo'ylab tepaga ko'tarilayotgan bug'lar engil uchuvchan komponent bilan boyib boradi, so'ng esa deflegmatorga tushadi. U erda kondensastiyalanadi. Xuddi uzluksiz ishlaydigan rektifikatsiya sxemasidek, kondensat flegma va distillyatga ajraydi. Qurilmadagi kub qoldig'i to'kiladi va u yangi boshlang'ich aralashma bilan to'ldiriladi.



5.44-rasm. Ko'p komponentli aralashmalarni ajratish rektifikacion shemasi.



5.45-rasm. Davriy ishlaydigan rektifikacion kolonna shemasi.

1 - qaynatkich; 2 - kolonna; 3 - deflegmator; 4 - sovutkich; 5 - yig'gich.

### 5.19. Rektifikatsion kolonnalarni hisoblash

Ma'lumki, halq xo'jaligining turli sohalarida rektifikatsiya jarayoni juda ko'p ishlatiladi. Bu jarayonni amalga oshirishda tarelkali kolonnalardan keng ko'lamda foydalaniladi.

Misol tariqasida etil spirti-suv aralashmasini ajratish uchun uzluksiz ishlaydigan rektifikatsion kolonnani (tarelkali) hisoblashni ko'rib chiqamiz. Etil spirti-suv aralashmasining massaviy sarfi  $G=800$  kg/soat etil spirtining boshlang'ich eritmadagi konstantriyasi  $a_f=20\%$  (mass); etil spirtning distillyatdagi konstantriyasi  $a_d=91\%$  (mass); etil spirtning kub qoldig'idagi konstantriyasi  $a_w=2,6\%$  (mass); flegmaning ortiqchalik koeffitsienti  $\phi_R=1,3$ ;  $\phi=0,5$ ; tarelkalar orasidagi masofa  $h=200$  mm; isituvchi bug' bosimi  $p_b=0,3$  MPa; rektifikatsiya jarayoni atmosfera bosimida tashkil etilgan. Distillyat  $G_d$ , kub qoldig'i  $G_w$  va tarelkalar miqdori  $n$ , hamda kolonna balandligi  $N$ , diametri  $D_k$  va isituvchi bug' sarfi  $D$  larni aniqlash zarur.

Moddiy balans (5.125) formuladan hosil bo'layotgan distillyat miqdorini aniqlaymiz:

$$G_d \bullet G_f \frac{a_f \sim a_w}{a_d \sim a_w} \bullet 800 \frac{20 \sim 2,6}{91 \sim 2,6} \bullet 157,4 \text{ kg / soam}$$

(5.123) formuladan esa kub qoldig'ining miqdori topiladi:

$$G_w \bullet G_f \sim G_d \bullet 800 \sim 157,4 \bullet 642,4 \text{ kg / soam}$$

Rektifikatsiya jarayonini  $u-x$  koordinatlarida qurish uchun boshlang'ich aralashma, distillyat va kub qoldiqlari tarkibidagi engil uchuvchan komponent konstantriyasini quyidagi formulalar yordamida mol ulushlarda ifodalash mumkin:

$$x_{f,d,w} \bullet \frac{a_{f,d,w}}{a_{f,d,w}} \frac{M_a}{100} \frac{M_B}{M_B}$$

bu erda  $M_a$  va  $M_b$  - engil spirt va qiyin suv uchuvchan komponentlarning molekulyar massalari:

$$x_f \bullet \frac{20/46}{20/46 \cdot 100 \cdot 20/18} \bullet \frac{0,434}{0,434 \cdot 0,44} \bullet 0,089;$$

$$x_d \bullet \frac{91/46}{91/46 \cdot 100 \cdot 91/18} \bullet \frac{1,978}{1,978 \cdot 0,5} \bullet 0,798$$

$$x_w \bullet \frac{2,6/46}{2,6/46 \cdot 100 \cdot 2,6/18} \bullet \frac{0,056}{0,056 \cdot 5,41} \bullet 0,01$$

Tajriba malumotlari asosida  $u - x$  kordinatlarida boshlang'ich aralashma uchun muvozanat chizig'ini qo'ramiz.

(5.137) formula yordamida minimal flegma sonini aniqlaymiz:

$$R_{\min} \bullet \frac{x_d \cdot y_{fm}}{y_{fm} \cdot x_f} \bullet \frac{0,798 \cdot 0,44}{0,44 \cdot 0,089} \bullet 1,25$$

bu erda  $y_{fm}$  - boshlang'ich aralashma tarkibidagi engil uchuvchan komponent bilan muvozanatda bo'lgan bug'dagi engil uchuvchan komponent konstantriyasi.

Kolonna yuqori qismi uchun ishchi chizig'ini qurish uchun (5.138) formuladan haqiqiy flegma sonini hisoblaymiz:

$$R \bullet \phi R_{\min} \bullet 1,3 \bullet 1,25 \bullet 1,629$$

Kesma  $V$  ning uzunligini topamiz (5.46-rasm):

$$B \bullet \frac{x_d}{R - 1} \bullet \frac{0,798}{0,629} \bullet 0,3$$

So'ng, ordinata o'qida  $V=0,3$  kesmani o'lchab, uni  $A$  nuqta ( $x_d = u_d$  koordinatli) bilan birlashtiramiz va kolonnaning yuqori qismi uchun ishchi chiziq olamiz. Pastki qism uchun ishchi chiziq esa,  $V$  nuqtani ( $x_f, u_f$  - kordinatli)  $S$  nuqta ( $x_w = y_w$  koordinatli) bilan birlashtirib aniqlanadi.

Kolonna pastki va yuqori qismlaridagi konstantriya o'zgarishi pog'onalarining soni ( $n$ ) ni aniqlaymiz. Buning uchun muvozanat va ishchi chiziqlari orasiga  $A$  nuqtadan  $S$  gacha pog'onali chiziqlar o'tkazamiz. Tarelka soni (5.66) formula yordamida topiladi, yani:

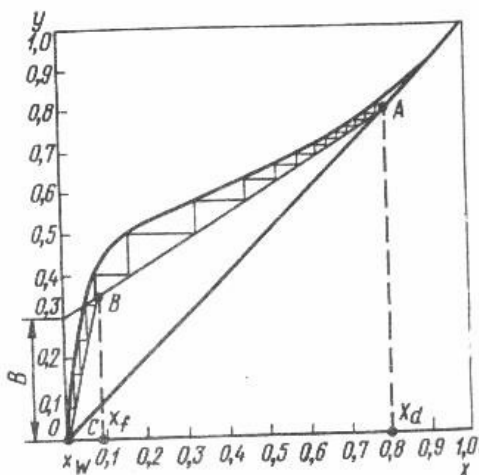
$$n \bullet \frac{n}{x} \bullet \frac{16}{0,5} \bullet 32$$

Kolonnaning haqiqiy balandligi esa

$$H \bullet h \bullet u_x \bullet 1 \bullet 0,2 \bullet 31 \bullet 6,2 \text{ m}$$

bu erda  $h$  – tarelkalar orasidagi masofa, m.

Qurilma diametri ushbu formuladan hisoblanadi:



5.46-rasm. Rektifikacion kolonna tarelkalarining sonini grafik usulda aniqlash.

$$D_K \bullet \sqrt{\frac{V}{0,785}}$$

bu erda  $V$  - kolonnadagi bug' sarfi;  $w_u$  - bug'ning ishchi tezligi.

$$V \bullet \frac{G_d R \bullet 273 \cdot t_{yp}}{3600 \cdot M_a \cdot 273} \bullet \frac{157,4 \cdot 2,629 \cdot 360 \cdot 22,4}{3600 \cdot 46 \cdot 273} \bullet 0,0738 \text{ m}^3 / \text{c}$$

bu erda  $t_{yp} = 87^\circ\text{S}$  - kolonnadagi bug'larning o'rtacha temperaturasi.

Kolonnadagi bug'ning tezligi quyidagicha aniqlanadi:

$$w_{np} \bullet 0,05 \sqrt{c}$$

bu erda  $x_c, x_b$  - suyuqlik va bug'ning o'rtacha zichliklari.

Bug'ning o'rtacha zichligi:

$$x_{\delta} = \frac{x_{\delta w} \cdot x}{2} = \frac{0,596 \cdot 1,59}{2} = 0,473 \text{ } \kappa\kappa / \text{ } \mathcal{M}^3$$

Kubdan chiqayotgan bug'ning zichligi (bug' faqat toza suvdan iborat deb taHmin qilinganda),

$$x_{\delta w} = \frac{M_B}{22,4 \cdot 273} = \frac{18}{22,4 \cdot 273} = 0,296 \text{ } \kappa\kappa / \text{ } \mathcal{M}^3$$

bu erda  $t_w = 95^{\circ}\text{S}$  - kubdagi aralashma qaynash temperaturasi.

Deflegmatorga kirayotgan bug'ning zichligi (bug' faqat toza spirtan iborat deb taHmin qilinganda),

$$x_{\delta d} = \frac{M_a}{22,4 \cdot 273} = \frac{46}{22,4 \cdot 273} = 0,759 \text{ } \kappa\kappa / \text{ } \mathcal{M}^3$$

bu erda  $t_d = 78^{\circ}\text{S}$  - spirtning qaynash temperaturasi.

Kolonnadagi suyuqlikning o'rtacha zichligini  $78^{\circ}\text{S}$  li spirt zichligi va kubda suvning qaynash temperaturalarining o'rtacha qiymati deb topamiz:

$$x_c = \frac{x_c \cdot x_{cd}}{2} = \frac{958 \cdot 735}{2} = 846,5 \text{ } \kappa\kappa / \text{ } \mathcal{M}^3$$

Unda

$$w_{np} = \frac{846,5}{0,05 \cdot 1,09 \cdot 1,393} = 1,393 \text{ } \mathcal{M} / \text{ } c$$

Ishchi tezlikni ruxsat etilgan chegaraviy tezlikdan 20% ga kam miqdorda qabul qilamiz, yani

$$w_u = 0,8 \cdot 1,393 = 1,11 \text{ } \mathcal{M} / \text{ } c$$

Unda, kolonnaning diametri

$$D = \sqrt{\frac{0,0738}{0,785}} = 0,291 \text{ } m$$

Issiqlikning umumiy sarfi rektifikastion kolonnaning issiqlik balansidan aniqlanadi:

$$Q = G_d R + r_d \cdot G_w c_w t_w \sim G_f c_f t_f \sim R G_d c_d t_d$$

bu erda  $r_d = 850 \text{ kJ/kg}$  aralashmaning issiqlik hosil qilish issiqligi;  $c_f = 4310$ ,  $c_d = 3600$ ,  $c_w = 4190 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$  solishtirma issiqlik sig' imlar;  $t_f, t_d, t_w - x_f, x_d, x_w$  5.46-rasmdagi egri chiziqlaridan topiladigan qaynash temperaturalari;  $t_f = 87^{\circ}\text{S}$ ,  $t_d = 78^{\circ}\text{S}$ ,  $t_w = 95^{\circ}\text{S}$  ga teng deb qabul qilamiz.

Atrof muHitga issiqlikning yo'qotilishi umumiy issiqlik sarfidan 3...5% deb qabul qilinadi, yani

$$Q_{iyyk} = 0,03 \cdot Q = 7066,3 \text{ } \text{kJ/soat}$$

Issiqlik sarfi:

$$Q = 157,4 \cdot 2,629 + 850 \cdot 642,6 + 4,19 \cdot 95 \cdot 800 + 4,31 \cdot 87 \cdot 1,629 + 157,4 \cdot 3,6 + 78 = 235546,4 \text{ } \text{kJ/soat}$$

Isituvchi bug' sarfi:

$$D = \frac{Q_{ym}}{i_{\text{is}} - i_{\text{kon}}} = \frac{242612,7}{2730 - 558,9} = 111,75 \text{ } \text{kg/soat}$$

bu erda  $i_{\text{is}} = 2730 \text{ kJ/kg}$  - isituvchi bug' entalpiyasi;  $i_{\text{kon}} = 558,9 \text{ kJ/kg}$  - kondensat entalpiyasi. Isituvchi bug' va kondensatlarning entalpiyalari to'yingan suv bug'i bosimi bo'yicha jadvaldan aniqlanadi.

# «SUYUQLIK - SUYUQLIK» SISTEMASIDA EKSTRAKSIYALASH

## 5.20. Umumiy tushunchalar

«Suyuqlik - suyuqlik» sistemalarida eritma yoki qattiq jismlar tarkibidan bir yoki bir necha komponentlarni maxsus suyuqlik (erituvchi) yordamida ajratib olish jarayoni **ekstraksiyalash** deb nomlanadi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, erituvchi aralashmada erimaydi, lekin ekstraksiyalanayotgan komponentni eritadi.

Ma'lumki, ekstraksiya jarayoni 2 xil bo'ladi. 1) suyuqliklarni ekstraksiyalash; 2) qattiq materiallarni ekstraksiyalash.

Ekstraksiya jarayonining prinsipial sxemasi 5.47-rasmda keltirilgan.



5.47-rasm. Ekstraksiya jarayonining prinsipial sxemasi.

Tarkibida tarqatuvchi modda  $M$  bor boshlang'ich eritma  $F$  va erituvchi  $E$  lar ekstraktorga yuklanadi. Biror eritma tarkibidagi komponentlarni ajratib olish uchun qo'llaniladigan suyuqlik **ekstragent** ( $E$ ) deb nomlanadi. Fazalar o'rtasida massa almashinish jarayoni ularning bevosita to'qnashuvi tufayli yuz beradi. Ekstraksiya natijasida hosil bo'lgan suyuq aralashma ajratgichga yuboriladi va u erda ekstrakt ( $E$ ) va rafinat ( $R$ ) ga ajratiladi.

Suyuq aralashmani ekstrakt va rafinatga ajratish uchun tindirish, separastiyalash, stentrifugalash yoki boshqa mexanik jarayonlar g'o'llaniladi.

Ekstrakt tarkibidagi zarur komponent (mahsulot) ajratib olinadi, rafinatdan esa ekstragent qayta tiklanadi.

Ekstraksiya jarayoni turli xil konstruktiviyali qurilmalarda - **ekstraktorlarda** o'tkaziladi.

Jarayon tahlili shuni ko'rsatadiki, bu jarayon ham rektifikatsiya kabi eritmalarini ajratish uchun ishlatiladi. Agar, rektifikatsiya jarayoni issiqlik ta'sirida olib borilsa, ekstraksiya uchun esa - uning zarurati yo'g'. Rektifikatsiyada komponentlarga ajratish ularning turli uchuvchanligiga bog'liq. Agar, eritma komponentlarining qaynash temperaturalari bir - biriga juda yaqin bo'lsa, ekstraksiya jarayonidan foydalanish yuqori samara beradi. Lekin, ekstragentning zichligi, suyuq aralashma zichligidan etarli darajada farq qilishi va kam bo'lishi kerak.

Ekstraksiya jarayonidan kimyo, neftni qayta ishlash, neft kimyosi, oziq - ovqat, farmastevtika va sanoatning boshqa sohalorida keng miqyosda foydalaniladi. Bu jarayon xilma-xil organik va neft-kimyosintez mahsulotlarini toza holda ajratib olish, nodir, kamyob va tarqoq elementlarni olish, oqava suvlarini tozalash va boshqa sohalarda ishlatiladi. Jarayonning asosiy afzalligi shundaki, u past temperaturada o'tadi va termolabil moddalari bor elementlarni ajratish imkonini yaratadi.

Ekstraksiya jarayoni kamchiliklardan holi emas, yani qo'shimcha erituvchi ishlatiladi, erituvchini g'ayta tiklash texnologik sxemani murakkablashtiriladi va qo'shimcha qurilma talab etadi, hamda jarayonni qimmatlashishga olib keladi.

Ko'pchilik xollarda ekstraksiya va rektifikatsiya jarayonlari ko'pincha birgalikda qo'llaniladi. Bunga sabab, boshlang'ich eritma konstantriyasi ortishi bilan rektifikatsiya jarayoniga zarur bo'lgan issiqlik sarfi kamayadi. Demak, avval ekstraksiya jarayonining o'tkazilishi, boshlang'ich eritmalarini ajratish uchun sarflanadigan issiqlikni tejashga olib keladi.

## 5.21. «Suyuqlik - suyuqlik» sistemasining muvozanati

Bir suyuqlik fazadan ikkinchisiga tarqaluvchi moddaning o'tishi muvozanat holati o'rnatilguncha davom etadi, ya'ni fazalarda kimyoviy potentsiallar tenglashgunga qadar. Faraz qilaylik, jarayonda uchta komponent ( $K = 3$ ) va ikkita faza ( $F = 2$ ) qatnashmoqda. Unda, fazalar qoidasiga binoan erkinlik darajasi  $S = 3$ . Lekin, odatda ekstraksiya jarayonida temperatura va bosim bir xil qilib ushlab turiladi. Bunday, ekstraksiyalash sistemasining erkinlik darajasi 1 ga teng bo'ladi.

Demak, muvozanat holatida bir fazadagi tarqaluvchi modda konstantriyasiga, ikkinchi fazadagi ma'lum bir konstantriya to'g'ri keladi.

Ekstraksiya jarayonidagi muvozanat tarqalish koeffitsienti  $\mu$  bilan xarakterlanadi, yani ekstrakt va rafinatlardagi tarqaluvchi modda muvozanat konstantriyalarining nisbatiga teng.

Bertlo-Nernst qonuniga bo'ysinadigan suyultirilgan eritma uchun o'zgarmas temperaturada tarqalish koeffitsienti  $\mu$ , tarqaluvchi modda konstantriyasiga bog'liq emas va  $\mu = u_m/x$ , bu erda  $u_m$ ,  $x$  - ekstrakt va

rafinatdagi tarqaluvchi moddaning muvozanat konstantriyalari. Bunday hollarda muvozanat to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'ladi:

$$y_M \bullet \text{---} x \quad (5.142)$$

Odatda, sanoat qurilmalarining tarqalish koeffitsienti tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

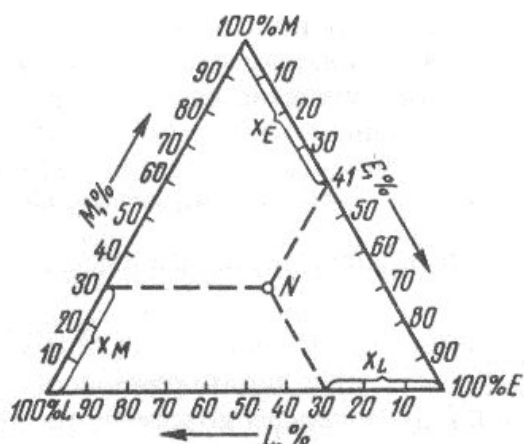
Agar, ikkala suyuqlik fazalar bir - birida erimasa, har bir fazani ikki komponentli eritma deb hisoblash bo'ladi. Bunday holatlarda ekstraksiya jarayoni boshqa massa almashinish jarayonlari kabi  $u - x$  koordinatalarida tasvirlash mumkin.

Ammo, suyuqlik fazalar bir-birida g'isman erisa, har bir fazani uch komponentli eritma deb hisoblash bo'ladi. Uch komponentli aralashmalar tarkibi uchburchakli koordinatalar sistemasida tasvirlanadi (5.48-rasm).

Teng tomonli uchburchakning cho'qqilari  $L, M, E$  larda toza (100% li) komponentlar tarkibi ko'rsatilgan: boshlang'ich eritma  $L$ , ekstragent  $E$  va tarqaluvchi modda  $M$ . Uchburchakning tomonlari  $LM, ME$  va  $EL$  moddalardagi har bir nuqta ikki komponentli eritmani ifodalaydi.

Uchburchak ichki yuzasidagi istalgan nuqta  $N$  uch komponentli eritma tarkibini ko'rsatadi. Eritma tarkibini aniqlash uchun  $N$  nuqtadan uchburchak tomonlariga parallel chiziqlar o'tkaziladi.

Natijada,  $N$  nuqtaga mos keladigan aralashma tarkibi quyidagicha bo'ladi: erituvchi  $L = 30\%$ , ekstragent



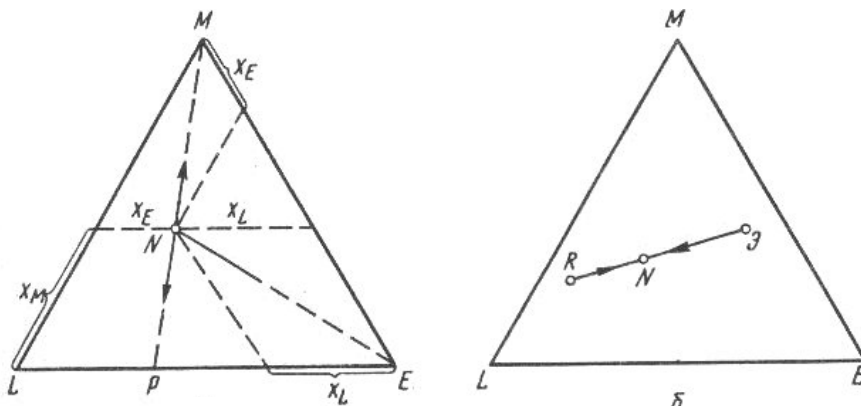
5.48-rasm. Uchburchakli diagramma.

$E = 40\%$  va tarqaluvchi modda  $M = 30\%$ .

Uchburchakli diagrammadan uch komponentli aralashma tarkibida sodir bo'layotgan o'zgarishlar tasvirlanadi. Agar,  $N$  nuqta bilan xarakterlanadigan eritmaga tarqaluvchi modda  $M$  g'o'shilsa,  $E$  va  $L$  komponentlar miqdori o'zgarmaydi. Lekin,  $M$  komponentning qo'shilish miqdoriga qarab, aralashma tarkibini aniqlovchi mig'dor  $NM$  g'irrada bo'ladi va uchburchakni  $M$  cho'g'g'isiga yaqinlashib boradi (5.49a-rasm).

Aralashma  $N$  dan tarqaluvchi modda  $M$  ni ajratib olish jarayonida va olingan mahsulot tarkibiga oid nuqta  $RM$  kesmada yotadi. Lekin, eritma qancha ko'p suyultirilgan bo'lsa, u uchburchakning  $LE$  g'irrasiga shuncha yaqin joylashadi.

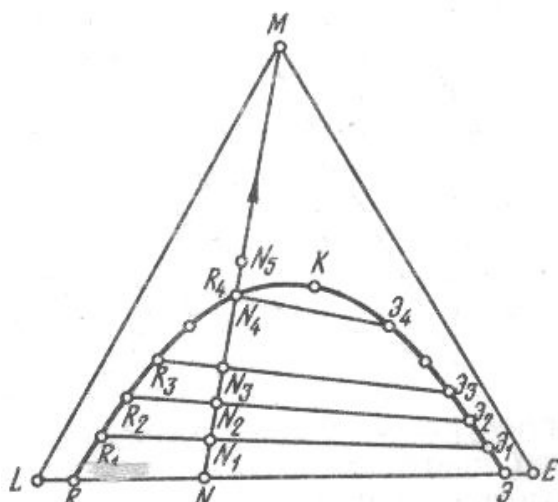
Tarkibi  $N$  bo'lgan aralashmani ekstragent  $E$  bilan suyultirish  $NE$  chizig'i bilan xarakterlanadi.



5.49-rasm. Uch komponentli aralashma tarkibi o'zgarishini uchburchakli diagrammada tasvirlash.

Agar boshlang'ich aralashma mig'dori va tarkibi ( $N$  nuq'ta) va uni ekstrakt ( $E$  nuq'ta) va rafinat ( $R$

nuqta) ga ajratgandan keyingi tarkiblari ma'lum bo'lsa, uchburchakli diagramma yordamida fazalarning miqdorlarini (5.49b-rasm) moddiy balans tenglamasidan aniqlash mumkin:



5.49v-rasm. Uchburchakli diagrammada muvozanat chiziqini tasvirlash.

$$R \ni \bullet N$$

bu erda  $R, E, N$  - rafinat, ekstrakt va boshlan-g'ich aralashma massalari, kg.

Richag qonuniga binoan:

$$\frac{\ni}{R} \bullet \frac{RN}{\ni N} \quad (5.143)$$

Muvozanat chizig'ini uchburchakli diagrammada tasvirlaymiz. Buning uchun  $L$  va  $E$  suyuqlik fazalarida tarqaluvchi modda  $M$  cheksiz miqdorda eriydi deb qabul qilamiz. Lekin, erituvchilar bir-birida cheklanmagan miqdorda eriydi (5.49-rasm).

**Bir jinsli ikki komponentli  $M$  va  $L$ , hamda  $M$  va  $E$  eritmalar tarkibi diagrammaning  $LM$  va  $EN$  g'irralarida nuqtalar bilan ifodalanadi.  $L$  va  $E$  erituvchilar faqat  $LR$  va  $EE$  bo'laklardagina bir jinsli eritmalar hosil**

**qiladi.  $RE$  oralikda erituvchilar aralashmasi bir jinsli, ikki komponentli to'yingan eritmalar qatlamiga ajratiladi:  $R$  ( $E$  va  $L$  ning to'yingan eritmasi) va  $E$  ( $L$  va  $E$  ning to'yingan eritmasi). O'ar bir qatlamdagi to'yingan eritmalar soni  $N$  nuqtaning holati bilan belgilanadi va richag qoidasiga binoan topiladi.**

Agar,  $N$  tarkibli aralashmaga  $M$  modda qo'shilganda,  $MN$  chiziqda joylashgan  $N_1$  nuqta bilan xarakterlanadigan uch fazali aralashma hosil bo'ladi.

$N_1$  tarkibli aralashma  $R_1$  va  $E_1$  tarkibli  $E_1N_1/(R_1N_1)$  nisbatda ikki fazaga ajraladi. Agar, aralashmaga yana  $M_2, M_3, \dots$  tarqaluvchi moddalar qo'shilsa,  $N_2, N_3, \dots$  tarkibidagi uch fazali aralashmalar hosil bo'ladi va ular muvozanat tarkibli  $R_2$  va  $E_2, R_3$  va  $E_3$  va h. fazalari g'atamlarga ajraladi. Biror  $N_4$  tarkibda fazalarning biri yo'g' bo'lib ketgan holgacha muvozanat sarflar nisbati o'zgarib boradi. Undan keyin esa, tarqaluvchi modda  $M$  ning yana qo'shilishi bilan  $N_5$  tarkibli bir jinsli, uch fazali aralashmalar hosil bo'ladi.

Agar,  $R_1$  va  $E_1, R_2$  va  $E_2, \dots$  lar to'g'ri chiziq bilan birlashtirilsa, muvozanat tarkibga oid  $R_1E_1, R_2E_2, \dots$  muvozanat xordalarini hosil qilamiz. Muvozanat xordalari kritik deb nomlanadigan  $K$  nug'tada birlashadi. Muvozanat xordalarining og'ish burchagi komponent tabiati va fazalar tarkibi bilan belgilanadi. Agar, muvozanat tarkiblar  $R, R_1, R_2, \dots$  va  $E, E_1, E_2, \dots$  ni ifodalovchi nuqtalarni ravon, silliq chiziq bilan tutashtirsak **muvozanat egri chizig'ini** (binodal egri chiziqni) hosil qilamiz.  $RK$  chiziq  $L$  erituvchi fazalarining muvozanat tarkibini,  $EK$  chiziq esa -  $E$  erituvchi fazalarining muvozanat tarkibini xarakterlaydi.

Uchburchakli diagrammadagi binodal egri chiziq ikki (binodal chiziq ostidagi) va bir (binodal chiziq tashqarisidagi) fazali aralashmalarga ajratadi.

5.49v-rasmdagi muvozanat diagrammasi o'zgarimas temperatura uchun qurilgan va u **izoterma** deb nomlanadi.

Sistema muvozanatiga temperatura ham ta'sir ko'rsatadi. Odatda, temperatura o'sishi bilan komponentlarning bir - birida erishi ortadi. Demak, geterogen sistemalar zonasi kamayib boradi. Temperatura ortishi bilan binodal egri chiziq  $LE$  o'g'iga yaqinlashadi va  $RKE$  chiziq ostidagi yuza kamayadi (5.49v-rasm).

## 5.22. Ekstraksiya jarayonida massa o'tkazish

Ekstraksiya jarayonining kinetik qonunlari massa o'tkazishning asosiy qonunlari bilan belgilanadi.

Fazalar to'qnashish yuzasini oshirish maqsadida ulardan bittasi tomchi holida purkaladi. Natijada, bir suyuqlik faza qurilmaning butun hajmida yaxlit joylashadi, ikkinchisi esa tomchi holida bo'ladi. Fazalarning birinchisi **dispersion**, tomchi holatidagisi esa - **dispers** faza deb nomlanadi.

Shunday qilib, ajratilishi zarur bo'lgan komponent dispersion faza ichidan tomchining yuzasiga, keyin esa, uning tarkibiga yoki tegishli komponent tomchining ichidan chegaraviy (ajratuvchi) yuza orqali dispersion (yaxlit) fazaga o'tadi. Jarayon tezligi fazadan fazaga o'tgan modda miqdori bilan xarakterlanadi.

Tomchi ichida massa o'tkazish asosan molekulyar va konvektiv diffuziya yo'li bilan ro'y beradi. Tomchi ichida stirkulyastiya hisobiga konvekstiya paydo bo'ladi. Jarayon mobaynida tomchining shakli va o'lchami bir necha marta o'zgaradi. Buning oqibatida fazalar orasidagi o'zaro ta'sir yuzasi bir necha bor yangilanadi.

Ekstraksiya jarayonlarida massa almashinishni ifodalash uchun Fikning 2-qonunidan foydalaniladi.

Umumiy holatda, yani dispersion (yaxlit) va dispers fazalardagi diffuzion qarshiliklarni inobatga olmaslikni iloji bo'lmaganda, massaning ikkala fazada tarqalishi hisobga olinadi.

Massa berish koeffitsientlarini hisoblashda ushbu formuladan foydalanish mumkin:

$$M \bullet \alpha_c \bullet x_{yp} \bullet F \tag{5.144}$$

$$M \bullet \alpha_d \bullet y_{yp} \bullet F$$

bu erda  $\alpha_s$  va  $\alpha_d$  - dispersion va dispers fazalardagi massa berish koeffitsienti.

Ushbu koeffitsientlar quyidagi kriterial formulalardan topiladi:

$$Nu_c \bullet 1,13 \bullet Pe^{0,5}$$

$$Nu_d \bullet 3,75 \bullet 10^3 \bullet Pe \tag{5.145}$$

(5.145) bu erda  $Ni_s = \alpha_s \bullet d / D_c$  - dispersion faza uchun Nusselt kriteriyasi;  $Re_s = wd / D_c$  - dispersion faza uchun Pekle kriteriyasi;  $D_c$  - dispersion fazadagi diffuziya koeffitsienti,  $m^2/s$ ;  $d$  - tomchi diametri,  $m$ ;  $w$  - tomchining dispersion fazadagi tezligi,  $m/s$ ;  $Ni_d = \alpha_d \bullet d / D_d$  - dispers faza uchun Nusselt kriteriyasi;  $D_d$  - dispers fazadagi diffuziya koeffitsienti,  $m^2/s$ .

Massa o'tkazish koeffitsientlari quyidagi tenglamalardan aniqlanadi:

$$K_y \bullet \frac{1}{\frac{1}{\alpha_d} + \frac{1}{\alpha_c}} ; K_x \bullet \frac{1}{\frac{1}{\alpha_d} + \frac{1}{\alpha_c}} \tag{5.146}$$

Agar, hamma diffuzion qarshilik faqat dispersion fazada mujassam bo'lsa, (5.146) tenglama  $K_x = \alpha_s$  ko'rinishga kelib qoladi.

Agar, hamma diffuzion qarshilik faqat dispers fazada bo'lsa, yani tomchining ichida, (5.146) tenglama  $K_u = \alpha_d$  ko'rinishni oladi.

Unda, massa o'tkazishning asosiy tenglamasini quyidagi yozish mumkin:

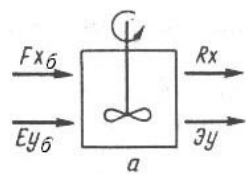
$$M \bullet K_x \bullet x_{yp} \bullet F \quad M \bullet K_y \bullet y_{yp} \bullet F \tag{5.147}$$

### 5.23. Ekstraksiya jarayonini tashkil etish usullari

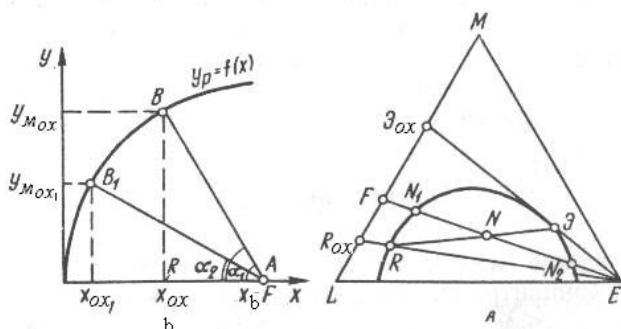
Sanoat miqyosida davriy va uzluksiz ekstraksiya jarayoni quyidagi sxemalar asosida tashkil etiladi: bir pog'onali, ko'p pog'onali qarama-qarshi yo'nalishli va ko'p pog'onali o'zaro kesishgan yo'nalishli.

**Bir pog'onali ekstraksiya** asosan ajratish koeffitsientining qiymati juda katta bo'lgan hollarda ishlatiladi. Bu sxema davriy yoki uzluksiz bo'lishi mumkin (5.50a-rasm).

tasvirlash.



g'oidasiga binoan topish mumkin:



5.50-rasm. Bir pog'onali ekstraksiya (a) va jarayonni u-h koordinatlarida (b) va uchburchakli (v) diagrammada

Aralashtirgichli qurilmaga boshlangich eritma  $F$ , konsentratyatsiyasi  $x_b$ , bo'lgan  $L$  (kg) miqdordagi erituvchi va ekstragent  $E$  yuklanadi. So'ng, aralashtirgich yordamida ular aralashtiriladi va ikki qatlama ajratiladi, ya'ni ekstrakt  $E$  va rafinat  $R$  ga.

Emulsiyalarni ajratish uchun tindirgich va qiyin ajratiladigan emulsiyalar uchun esa, separatorlar ishlatiladi.

Bir pog'onali ekstraksiya jarayonini uchburchakli va to'g'ri burchakli diagrammalarda ko'rib chiqamiz (5.50b,v-rasm).

Boshlang'ich eritma aralashtirganda uch komponentli aralashma hosil bo'ladi va uning tarkibi aralashtirish chizig'i  $FE$  da joylashgan  $N$  nuq'ta bilan xarakterlanadi. Aralashma ajrati natijasida ekstrakt va rafinatga bo'linadi. Ularning tarkibi  $N$  nuq'ta org'ali o'tadigan, muvozanat xordasida yotuvchi  $R$  va  $E$  nuq'talar bilan belgilanadi. Ekstragent modulini richag

$$\frac{E}{F} \bullet \frac{FN}{EN}$$

Rafinat mig'dorini esa,

$$\frac{R}{N} \bullet \frac{N}{EN}$$

Ekstrakt miqdorini esa:

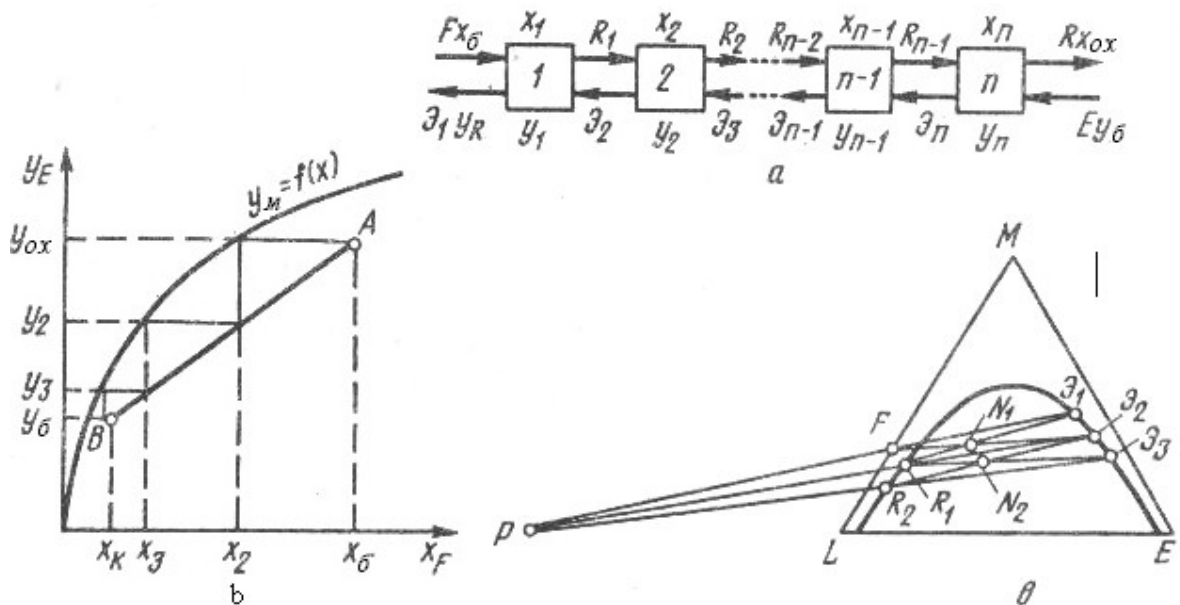
$$\frac{R}{N} \bullet \frac{R}{N} \bullet \frac{RN}{N}$$

Rafinat tarkibini uchburchakning  $LM$  tomonidagi nuqta  $R_k$ , ekstraktini esa -  $E_k$  belgilaydi.

Agar, fazalar bir-birida erimaydigan bo'lsa, bir pog'onali ekstraksiya jarayoni  $u-x$  diagrammada  $AV$  to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi. Ushbu to'g'ri chiziq og'ish burchagining tangensi boshlang'ich eritma va erituvchi og'irliklari nisbatiga tengdir:

$$\frac{L}{E} \bullet \frac{BR}{RF} \bullet \text{tg} \checkmark$$

Agar, erituvchi miqdori oshirilsa, istalgan tozalik darajali rafinat olish mumkin. Lekin, ekstraktning to'yinish chegarasi  $u_{ox}$  bilan belgilanadi.



5.51-rasm. Ko'p pog'onali ekstraksiya(a) va jarayonni  $u-x$  (b) va uchburchakli (v) diagrammada tasvirlash.

Ikkala diagrammadan ko'rinib turibdiki, bir pog'onali ekstraksiya natijasida olingan rafinat va ekstrakt tarkiblari muvozanatda bo'ladi va boshlang'ich tarkibdan kam farq qiladi. Shuning uchun, bu jarayon samaradorligi past bo'ladi va sanoat korxonalarida keng qo'llanilmaydi.

Jarayon samaradorligini oshirish uchun uni bir necha marta g'aytarish kerak va har gal yangi erituvchi uzatish zarur.

**Ko'p pog'onali ekstraksiya** ko'p seksiyali ekstraktorlarda o'tkaziladi. Bunday qurilmalarda fazalar yo'nalishi qarama-qarshi, o'zaro kesishgan yoki kombinastiyalashgan bo'lishi mumkin.

**Jarama - qarshi yo'nalishli ekstraksiya** jarayoni turli sxemalarda amalga oshirilishi mumkin (5.51a-rasm).

Ko'p pog'onali ekstraksiya qurilmalarida boshlang'ich eritma  $F$  va ekstragent  $E$  qurilmaning qarama-qarshi uchlaridan yuboriladi. Tarqaluvchi komponent konsentrastiyasi to'yinishga yaqin bo'lgan ekstrakt birinchi pog'onada  $x_b$  konsentrastiyali  $F$  boshlang'ich eritma bilan o'zaro to'qnashuvda bo'ladi. Bu komponentli aralashma birinchi pog'onada ajratilganda so'ng,  $u_1 = u_{ox}$  konsentrastiyali ekstrakt va  $x_1$  konsentrastiyali rafinat olinadi.

Tarkibi  $x_1$  bo'lgan rafinat qurilmaning ikkinchi pog'onasida  $E_2$  tarkibli ekstrakt bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. Ajratilgandan so'ng,  $R_2$  tarkibli rafinat va  $E_2$  ekstrakt hosil bo'ladi. Ekstraktorning  $n$  - pog'onasida konsentrastiyasi  $x_{n-1}$  bo'lgan  $R_{n-1}$  rafinat yangi  $u_b = u_n$  konsentrastiyali, ya'ni nolga yaqin ekstragent  $E$  bilan

to'qnashishda bo'ladi. Jurilmadan chiqishda tozalangan eritma olinadi. Ko'p pog'onali ekstraksiya jarayoni  $u-x$  diagrammada ko'rsatilgan.

Ekstraksiya jarayonining moddiy balansi ushbu ko'rinishga ega:

$$L \cdot x_0 \sim x_{ox} \bullet E \cdot y_{ox} \sim y_a \quad (5.148)$$

( $n-1$ ) - seksiya uchun

$$L \cdot x_0 \sim x_{n1} \bullet E \cdot y_{ox} \sim y_n$$

Bundan, qarama-qarshi yo'nalishli jarayon ishchi chizig'ining tenglamasini keltirib chiqarish mumkin:

$$y \bullet \frac{L}{E} \cdot x_0 \sim y_{ox} \quad (5.149)$$

Ushbu tenglama og'ish burchagining tangensi bo'lib, to'g'ri chiziqni ifodalovchi tenglamadir:

$$tg \psi \bullet \frac{L}{E}$$

Fazalar to'qnashish pog'onalarining soni  $A(x_b u_{ox})$  va  $V(x_o x_{ub})$  nuqtalari orasidagi pog'onalar soni bilan aniqlanadi.

Kinetik chiziq o'rni qurilmadagi gidrodinamik holat va ajratib olish koeffitsienti bilan belgilanadi.

Ekstraksiya jarayonining tasviri 5.51v-rasmda keltirilgan.

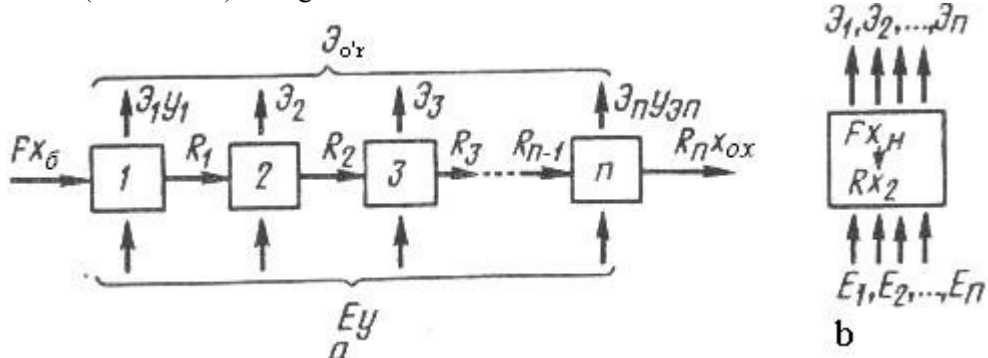
Ekstraksiya qurilmasining birinchi seksiyasida boshlang'ich eritma  $F$  ikkinchi pog'onadan tushayotgan ekstrakt  $E_2$  bilan o'zaro to'qnashuvda bo'ladi. Natijada, uch fazali  $N_1$  nuqtali aralashma hosil bo'ladi. Ushbu aralashma separatorda ajratilishi tufayli muvozanatda bo'lmagan tarkibli ekstrakt  $E_1$  va rafinat  $R_1$  lar olinadi.

Ikkinchi pog'onadagi rafinat  $R_1$  uchinchi pog'onadan tushayotgan ekstrakt  $E_3$  bilan o'zaro ta'sirda bo'lib, uch fazali  $N_2$  aralashma hosil qiladi. O'z navbatida u  $R_2$  va  $E_2$  ajraladi.

Fazalarni seksiyaga kirishi va chiqishidagi tarkiblariga oid ikki nuqtalarni  $FE$ ,  $R_1E_2$ ,  $R_2E_3$  va hokazo chiziq bilan birlashtirib, ularning kesilish nuqtasi  $R$  ni topamiz.

Ekstraktorning boshqa seksiyalarida ham xuddi shunday jarayonlar sodir bo'ladi. Natijada, boshlang'ich eritma qurilmaning oxirgi  $n$  - seksiyasidan  $x_{ox}$ , ekstragent esa -  $u_{ox}$  konstantriyasi bilan chiqadi.

Oqimlar yo'nalishi o'zaro kesishgan ekstraksiya jarayonida bir seksiyada davriy (5.52a-rasm) yoki bir necha seksiyada uzluksiz (5.52b-rasm) amalga oshirilishi mumkin.



5.52-rasm. Ko'p pog'onali, oqimlar yo'nalishi o'zaro kesishgan ekstraksiyalash sxemasi.

Ekstraksiyalash jarayoni uzluksiz bo'lganda boshlang'ich eritma  $F$  birinchi seksiyada ekstragent  $E$  bilan birga to'qnashuvda bo'ladi. Undan so'ng, ajratilish natijasida rafinat  $R_1$  va ekstrakt  $E_1$  lar hosil bo'ladi. Keyin, rafinat  $R_1$  ikkinchi seksiyaga o'tadi va u erda yana yangi ekstragent  $E$  bilan g'ayta ishlanadi.  $E_1$  va  $E_2$  ekstraktlar qurilmadan chig'ariladi,  $R_2$  tarkibli rafinat esa keyingi seksiyaga o'tadi va jarayon yana g'aytariladi. Natijada, zarur tarkibli rafinat  $R_n$  va o'zgaruvchan tarkibli  $E_1, E_2, \dots, E_n$  ekstrakt olinadi.

Uzluksiz, ko'p marotabalik ekstraksiyalash jarayoni 5.53-rasmda keltirilgan.

Boshlang'ich eritma va ekstragent aralashirilishi natijasida uch fazali aralashma ( $N_1$  nuqta) hosil bo'ladi va u birinchi seksiyada rafinat  $R_1$  va ekstrakt  $E_1$  ga ajraladi. Ikkinchi seksiya  $R_2$  tarkibli rafinat yangi ekstragent  $E$  bilan aralashiriladi. Uch fazali aralashma ( $R_1E$  kesmadagi  $N_2$  nuqta) rafinat  $R_2$  va ekstrakt  $E_2$  larga ajraladi. So'ng, rafinat keyingi seksiyaga o'tadi.

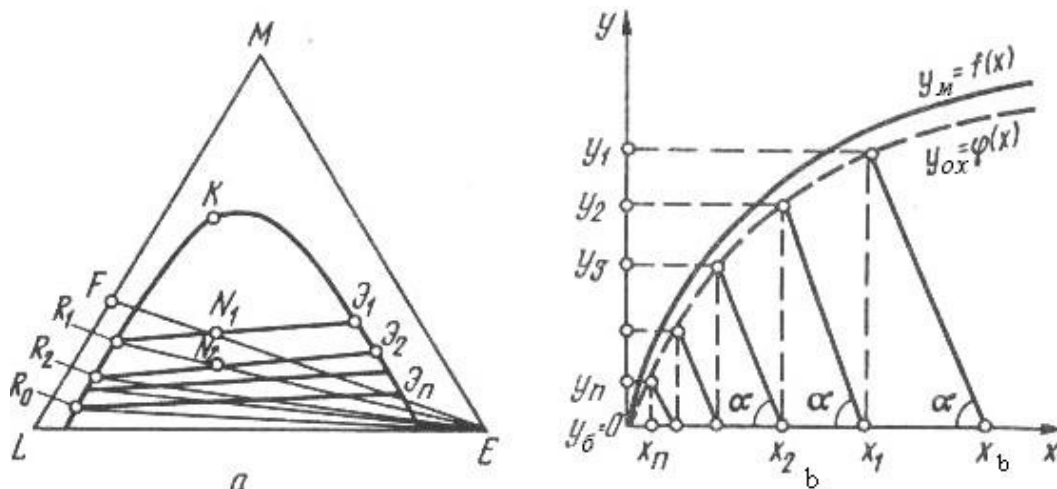
Tozalangan,  $x_{ox}$  konstantriyasi eritma qurilmaning oxirgi seksiyasidan chiqariladi va texnologik jarayonning keyingi bosg'ichiga uzatiladi. Ekstrakt esa, g'ayta tiklanadi yoki oqava suv sifatida *utilizastiya* qilinadi.

Jarama - qarshi yo'nalishli ko'p pog'onali ekstraksiya o'zaro kesishgan yo'nalishli jarayonga qaraganda

ancha samarali. Chunki, qarama-qarshi yo`nalishli ekstraksiyalashda o`rtacha harakatga keltiruvchi kuch

miqdori ko'proq bo'ladi.

Jurilmaning tepa va pastki qismlaridagi o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch tenglashishi hisobiga eritma tarkibidan komponentni to'laroq ajratib olishga erishiladi. Undan tashqari, ekstraksiyon modul qiymati kamayadi, lekin bir xil tozalash darajasiga erishish uchun kerakli pog'onalar soni ko'payadi.



5.53-rasm. O'zaro kesishgan yo'nalishli ko'p pog'onali ekstraksiya jarayonini uchburchakli diagramma (a) va u-h koordinatlarda (b) tasvirlash.

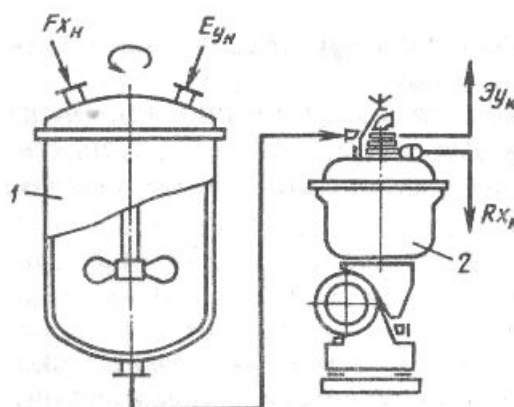
### 5.24. Ekstraktorlar konstruktsiyalari

Ma'lumki, ekstraksiyalash jarayonlarida massa o'tkazishning samaradorligi massa berish yuzasi va o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchga to'g'ri proporsional. Ekstraktorlarda massa almashinish yuzasini oshirish maqsadida suyuq fazalardan biri tomchi holida purkaladi. Dispers va dispersion fazalar o'rtasida massa o'tkazish jarayoni sodir bo'ladi. Ekstraktorda yuqori harakatga keltiruvchi kuchga erishish uchun jarayondagi oqimlar ideal siqib chiqarish sharoitida o'zaro to'qnashishi tashkil etiladi. Buning uchun ekstraksiyalash jarayoni yupqa qatlamda nasadkali, markazdan qochma ekstraktorlarda ularni seksiyalash yoki ko'p pog'onali seksiyalangan qurilmalarda olib boriladi.

Jarayon tashkil etilishiga qarab ekstraktorlar davriy va uzluksiz prinsipda ishlaydigan bo'ladi.

Jarayonda qatnashayotgan fazalar to'qnashuviga qarab ekstraktorlar 3 guruhga bo'linadi: aralashtirib - tindiruvchi; differensial kontaktli va pog'onali yoki seksiyali.

**Aralashtirib – tindiruvchi ekstraktorlar** bir necha pog'onadan iborat bo'lib, ulardan har biri tarkibida aralashtirgich va ajratgich bo'ladi. Tashqaridan berilayotgan energiya hisobiga aralashtirgichda suyuqlik fazalaridan biri tomchi holida purkaladi va natijada dispersion faza hosil bo'ladi. Tomchi holiday dispersion faza dispers fazada tarqaladi. Dispers faza sifatida engil faza ham yoki og'ir faza ham bo'lishi mumkin.



5.54-rasm. Aralashtirib - tindiruvchi ekstraksiyon qurilma.

1 - ekstraktor; 2 - separator.

Ajratgich sifatida tindirgichni ham ishlatish mumkin. Zamonaviy qurilmalarda esa, uning o'rniga

separator ishlatiladi. Separatorda emulsiya rafinat va ekstraktga ajratiladi. Eng soddalarashtirib-tindiruvchi ekstraktor sxemasi 5.54-rasmda keltirilgan.

Bir nechta aralashtirib - tindiruvchi qurilmalarni seksiyalarga ulash natijasida turli ekstrakstion qurilmalarni hosil qilish mumkin.

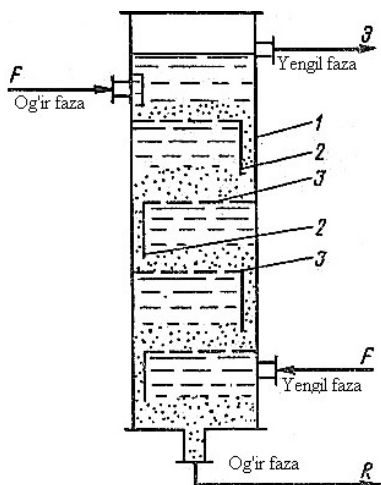
Lekin, ushbu sxemaning bir qator kamchiliklari bor: g' o' pol, ko' p joy egallaydi, metall va energiya sarfi ko' p.

**Differensial – kontaktli ekstraktorlar** fazalar o'rtasidagi to'qnashishni uzluksiz va ulardagi konstantriyalarining asta - sekin, uzluksiz o'zgarishini ta'minlaydi. Bu turdagi qurilmalarda fazalarning bo'ylama siljishi hisobiga ideal siqib chiqarish qurilmasiga qaraganda o'rtacha harakatga keltiruvchi kuch birmuncha past bo'ladi.

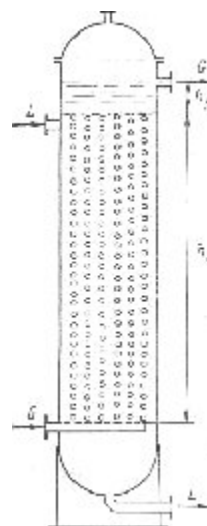
Undan tashqari, suyuq fazani purkash uchun ham energiya saflanishi zarur. Ekstraktorda energiya sarflanish turiga qarab, tashqi energiya hisobiga va bunday energiyasiz qurilmalarga bo'linadi. Qzaro ta'sirda bo'lgan fazalarga tashqi energiya aralashtirgich, tebratgich va pulsatorlar yordamida uzatiladi.

**Pog'onali (sekstiyali) ekstraktorlar** alohida sekstiyalardan tarkib topgan bo'lib, ularda fazalar konstantriyalari notekis, sakrab-sakrab o'zgaradi. Ayrim hollarda har bir sekstiyada konstantriyalar maydoni ideal siqib chiqarish qurilmasiga yaqinlashib qoladi. Shunday bir necha sekstiyadan tashkil bo'lgan ekstraktor ideal siqib chiqarish qurilmasi deb hisoblanishi mumkin.

Kolonnali ekstraktorlar tarelkali, ichi bo'sh kolonna, nasadkali, pulsastion va rotor - diskli bo'lishi mumkin.



5.55-rasm. Tarelkali ekstraktor.  
1 - silindrik qobiq; 2 - quyilish moslamasi;  
3 - elksimon tarelka.



5.56-rasm. Ichi bo'sh (purkovchi) ekstraktor.

**Tarelkali ekstraktorlar** turli konstrukstiyadagi elksimon tarelka va iuyilish moslamasi bor kolonnali iurilmadir (5.55-rasm). Qzaro qarama - qarshi yo'nalishdagi fazalar oqimlarining har bir tarelkada to'qnashishi tufayli ro'y beradi. Fazalardan biri tarelka teshiklari orqali o'tib mayda tomchilarga parchalanadi. Yaxlit faza tarelka bo'ylab harakatlanadi va quyilish patrubkasi orqali keyingi tarelkaga o'tadi va jarayon shu yo'sinda qaytariladi.

Mayda tomchi holatidagi suyuqlik dispers faza deb, qurilmaning butun hajmini egallagan suyuqlik esa, **dispersion** (yaxlit) faza deb nomlanadi.

Tarelkada tomchilar birlashib, uning osti yoki ustida yaxlit suyuqlik qatlamini hosil qiladi. Jurilmani sekstiyalash, jarayonni harakatga keltiruvchi kuchni ortishiga olib keladi.

Tarelka teshiklaridagi dispers fazaning tezligi oqimchali rejim hosil bo'lish shartidan aniqlanadi. Tomchili rejimdan oqimchali rejimga o'tish paytidagi kritik tezlik tarelka teshiklariga bolliq, ya'ni:

$$w_{kp} = 4.4 \frac{d}{D} \quad (5.150)$$

Turfun oqimchali rejimda ekstraktor samarali ishlashi uchun tezlik kritik tezlikdan 20% ko'p bo'lishi kerak.

Dispers fazadagi massa berish koeffistientini aniqlash uchun quyidagi formulani tavsiya etish mumkin:

$$Nu_0 = 0.064 Re^{0.84} Pr^{0.5} \quad (5.151)$$

bu erda  $Nu_d = \frac{\alpha d_e}{D_d}$  -diffuzion Nusselt kriteriyasi ( $\alpha$ -dispers fazadagi massa beri koeffitsienti);  $d_e$  - tomchining

ekvivalent diametri;  $D_d$  - dispers fazadagi diffuziya koeffitsienti);  $Re = w_{max} \cdot d_e \cdot \rho_s$  - tomchi uchun Reynolds kriteriyasi ( $w_{max}$  - yaxlit fazadagi tomchining nisbiy tezligi;  $\rho_s$  - yaxlit fazaning kinematik iovushoiligi);  $Rr_d = \rho_s / D_d$  - dispers faza uchun Prandtl kriteriyasi ( $\rho_d$  - dispers fazaning kinematik iovushoiligi).

**Ichi bo'sh (purkovchi) kolonnalar.** Bu turdagi ekstraktorlar o'ir suyuqlik  $L$  bilan to'ldiriladi va u biror  $w_c$  tezlik bilan qurilmada harakatlanib, to'kish shtusteridan chiqib ketadi (5.56-rasm). Engil faza  $G$  iurilmaga purkagich orqali tomchi holatida uzatiladi va pastga qarab  $w_d$  tezlik bilan tushadi.

Ekstraktorning tepa qismida tomchilar birlashadi va yaxlit suyuqlik qatlami hosil bo'ladi va u qurilmaning tepa shtusteri oriali chiqib ketadi.

Tomchining nisbiy harakat tezligi  $w_o$  ni rejimga qarab cho'kish tezligi tenglamasi (3.21) orqali topish mumkin. Jurilma devoriga nisbatan tomchilar siljishining tezligi nisbiy  $w_o$  tezlik va yaxlit faza harakatining chiziqli tezligi  $w_c$  ning farqi sifatida aniqlash mumkin:

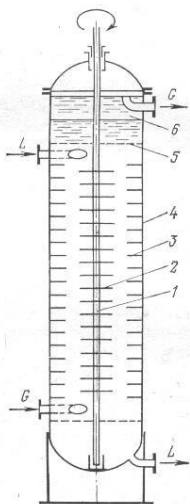
$$w_d = w_o - w_c$$

Agar, dispers (yaxlit) faza bo'yicha qurilmaning yuklamasi ortib ketsa, tomchilar tezligi  $w_d = 0$  bo'lgan hol sodir bo'lishi mumkin. Bunday hollarda qurilmada dispers faza yililib qoladi. Ekstraktorning ishchi zonasida dispers fazaning yililishi, uning o'tish yo'lini torayishiga olib keladi. Natijada, ushbu fazaning tezligi ortib ketadi va u ishchi zonadan dispers faza tomchilarini olib chiqa boshlaydi. Fazalarning qarama-qarshi harakati buzuladi va ekstraktor tiilib boshlaydi.

**Mexanik aralashirgichli, kolonnali ekstraktorlar.** Agar, dispers va dispersion fazalar zichliklarining farqi juda kam ( $< 100 \text{ kg/m}^3$ ) va fazalar orasidagi sirtiy taranglik katta bo'lsa, rotor - diskli ekstraktorlar io'llaniladi (5.57-rasm).

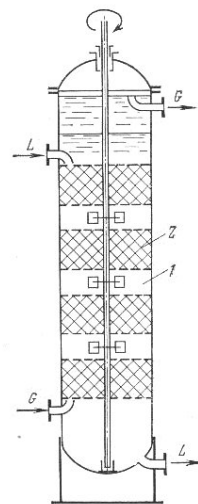
Mexanik aralashirgich diskli, turbinali, parrakli va hokazo bo'lishi mumkin. Lekin, kimyo va oziq - ovqat mashinasozligida asosan rotor - diskli ekstraktorlar ishlab chiqariladi.

Bu turdagi ekstraktorning o'ii bo'ylab rotor - o'q 1 aylanadi va unga aylanuvchi disk 2 lar o'rnatilgan



**5.57-rasm. Rotor - diskli ekstraktor.**

1-o'q; 2- aylanuvchi disk;  
3- qo'zg'almas halqasimon to'siqlar; 4- qobiq; 5-teshikli panjara; 6- ajratuvchi kamera.



**5.58-rasm. Aralashirgichli va ajratuvchi zonal, kolonnali aralashirib - tindiruvchi ekstraktor.**

1- aralashirgich; 2- tindirgich.

bo'ladi. O'q 1 ning aylanishi natijasida fazalar yaxshi aralashadi. Halqasimon to'siqlar kolonna 3 ni bir nechta sekstiyalarga bo'ladi. Disklar har bir sekstiyaning o'rtasida aylanadi.

Jarama - qarshi yo'nalishda harakatlanayotgan  $L$  va  $G$  fazalar aylanuvchi disk 2 lar yordamida kolonna balandligi bo'ylab aralashiriladi va halqasimon to'siqlar 3 atrofida qisman qatlamlarga ajraladi. Agar, og'ir faza  $L$  yaxlit faza vazifasini o'tasa, qurilmaning tepa qismida, ya'ni teshikli panjara 5 ning yuqorisida engil faza yaxlit fazadan to'liq ajraladi. So'ngra, ajralgan faza tegishli shtuster orqali tashqariga chiqariladi. Og'ir faza esa, kolonnaning pastki qismidan olinadi.

Fazalarga ajratish jarayonining samaradorligini oshirish uchun 5.58-rasmda ko'rsatilgan ekstraktorlar ishlatiladi.

Bunday qurilmalarning aralashirish sekstiyalari 1 oraligida tindirish zonalari 2 joylashgan bo'ladi. Ikki fazali oqimni ajratish jarayonini jadallash uchun zona 2 simli to'r, nasadka yoki konstantrik stilindr bloklari bilan to'ldiriladi. Bu turdagi kolonnalar vertikal yoki ma'lum o'lish burchagi ostida o'rnatilishi mumkin.

Mexanik aralashtirgichli, kolonnali ekstraktorlar diametri quyidagi formuladan topiladi:

$$D = \sqrt{\frac{G \cdot X_G \cdot L}{X_L}} \quad (5.152)$$

bu erda  $q_{ab}, q_{ya}$  - dispers va yaxlit faza bo'yicha solishtirma yuklama,  $m^3/(m^2 \cdot s)$ .

Lekin, ushbu formulaga qurilmaning ko'ndalang kesimiga tushayotgan yuklamalar yig'indisini ham kiritish uning anig'ligini oshiradi.

Jurilmaning balandligi esa ushbu formuladan anig'lanadi:

$$H = h_s + N \cdot \frac{h_s \cdot m_y}{m_{y^2}} \quad (5.153)$$

bu erda  $h_e$  - seksiya balandligi, m;  $N$  - qurilmadagi seksiyalar soni;  $m_{ue}$  - bitta seksiyaning yuzatish birligi soni.

Aralashmani ekstrakt va rafinatga sifatli ajratish uchun ekstraktorning yuqori va pastki qismlarida separation (tindirish) seksiyalari bor.

Nasadkali, elaksimom va boshqa turdagi ekstraktorlar samaradorligini oshirish uchun qarama - qarshi yo'nalgan oqimlarga bo'ylama tebranish ta'sir ettirish kerak. Tebranish (pulsastiya) larning amplitudasi va chastotasi etarli miqdorda bo'lsa, suyuqlik o'ta kichik tomchilar o'lchamida purkaladi va ikkala fazalar aralashish intensivligi ortadi. Tebranishlar asosan pulsastiya va vibrastiyali usullarda tashkil etish mumkin.

5.59 a-rasmda pulsastiyali ekstraktor sxemasi ko'rsatilgan. Bunda engil fazaning kirish yo'ligi gidravlik yoki pnevmatik pulsator o'rnatilgan. Suyuqlik oqimiga ilgirilama - qaytma harakat berish uchun klapanisiz porshen, plunjer yoki membranali nasosdan, hamda maxsus pnevmatik moslamadan foydalanish mumkin.

Pulsastiya tebranishlari ta'siri ostida suyuqlik oqimining turbulentligi va fazalarning tomchilarga parchalanishi ortadi. Bu hol o'z navbatida tarelkali yoki nasadkali ekstraktorlarda massa almashinish jarayonining o'sishiga olib keladi.

Pulsastiyali ekstraktorning ishlash rejimi pulsastiyalar intensivligiga bog'liq bo'lib, amplitudaning chastotaga ko'paytmasi bilan xarakterlanadi.

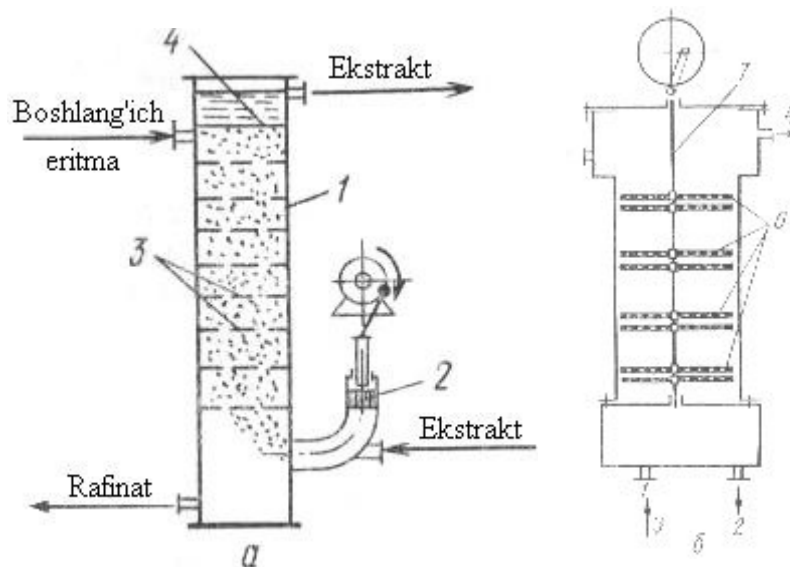
Agar, pulsastiya intensivligi kichik bo'lsa, engil faza og'ir fazada yoki og'ir faza engilda galma-gal tarqaladi. Agar, pulsastiya intensivligi katta bo'lsa, kolonnaning ishchi zonasi yaxlit fazaga qarama - qarshi yo'nalishda harakat qilayotgan mayda tomchilar bilan bir tekisda to'lib turadi. Bunday rejim pulsastiyali ekstraktorning optimal rejimi hisoblanadi.

Tebranishlar amplitudasi siqilgan havoning bosimi bilan belgilanadi. Pulsastiyalar chastotasi odatda minutiga 30...250, amplitudasi esa - 2...25 mm ni tashkil etadi.

Agar, pulsastiyalar intensivligi yanada oshirilsa, ekstraktorda tiqilib qolish hodisasi ro'y beradi.

Pulsastiyali ekstraktorlar kolonnasidagi butun suyuqlikni tebratish uchun energiya sarfi katta, ko'ndalang kesim bo'yicha oqim tezliklar bir xil emasligi va kavitastiya hodisa hosil bo'lishi mumkinligi, hamda qurilmaning ayrim bo'laklarida havfli kuchlanishlar barpo bo'lishi - bu turdagi ekstraktorning kamchiliklaridir.

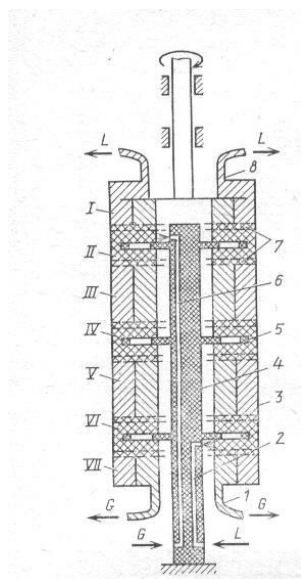
Bir dasta elaksimom tarelkalar vibrastiyasi tufayli kolonnadagi suyuqlikka tebranish berish, pulsastiyali usulga nisbatan samarasi yuqori bo'lib chiqdi (5.59b-rasm).



**5.59-rasm. Pulsatsiyali (a) va vibratsiya tarelkali (b) ekstraktorlar.**

- a) 1 - kolonna; 2 - porshenli pulsator; 3 - tarelka; 4 - tindirish zonasidagi fazalarni ajratuvchi yuza.  
 b) 1,2 - oilir fazaning kirish va chiiish shtutserlari; 3,4 - engil fazaning kirish va chiiish shtutserlari; 5 - elaksimontarelka; 6 - shtok.

Bu turdagi qurilmalarda tarelka 5 lar shtok 6 da o`rnatiladi va shtok ilgari lama - qaytma harakat qiladi. Bunday harakat suyuqlikka tebranishlar beradi va jarayon intensivlashadi.



**5.60-rasm. Trubali markazdan iochma ekstraktor shemasi.**

- 1,8 - engil va og'ir fazalarni to'kish silindrlari; 2,6 - og'ir va engil fazalar kirish kanallari; 3 - silindrik baraban; 4 - qo'zg'almas silindr; 5 - teshikli aralastiruvchi disk; 7 - teshikli iaytaruvchi to'siq; I, III, V, VII - separatsion zonalari; II, IV, VI - ekstraktsion zonalari.

ekstraktorlarni qo'llash maqsadga muvofiq.

Bu turdagi ekstraktorlar - trubali, kamerali va yupqa qatlamli bo'ladi. 5.60-rasmda trubali, markazdan qochma ekstraktor sxemasi keltirilgan.

Ekstraktor silindrik baraban 3 dan iborat bo'lib, ichiga qaytaruvchi disk 7 lar o'rnatilgan bo'ladi. Jaytaruvchi disk barabanni separatsion (I, III, V, VII) va ekstraktsion (II, IV, VI) zonalarga bo'ladi. Og'ir faza  $L$  kanal 2 va qo'zg'almas silindr 4 orqali ekstraktorning VI zonasiga uzatiladi. U erdan og'ir faza barabanning pastki qismidan yuqoriga ko'tariladi va halqasimon to'kish kanali 8 orqali chiqariladi. Engil faza  $G$  esa, kanal 6 orqali yuqori ekstraktsion zona II ga uzatiladi. Og'ir faza  $L$  ga qarshi yo'nalishda harakat

qilib, qurilmaning pastki qismidagi to'kish kanali 1 orqali chiqariladi.

Jarayon natijasida ekstraksiya zonalarda hosil bo'lgan emulsiya teshikli, qaytaruvchi disklar orqali o'tish paytida birinchi bor ajratiladi. Emulsiyaning to'liq fazalarga ajratilishi markazdan qochma kuch ta'sirida separatsion zonalarda sodir bo'ladi.

### 5.25. Ekstraktorlarni hisoblash

Benzin yordamida suvdagi fenol ajratib olinayotgan ekstraksiya jarayonini amalga oshirish uchun mo'ljallangan rotor-diskli ekstraktorning asosiy o'lchamlari quyidagi sharoitlarda aniqlansin:

- aralashma sarfi  $V_x = 0,001389 \text{ m}^3/\text{s};$
- suvdagi fenolning boshlang'ich konsentratstiyasi  $S_{xb} = 0,3 \text{ kg/m}^3;$
- suvdagi fenolning oxirgi konsentratstiyasi  $S_{xo} = 0,009 \text{ kg/m}^3 (97\%);$
- ekstragent tarkibidagi fenolning boshlang'ich konsentratstiyasi  $S_{um} = 0,01 \text{ kg/m}^3;$
- ekstraktordagi temperatura  $t = 25 \text{ }^\circ\text{S}.$

$$\begin{array}{lll}
 V_y \bullet & \bullet & m^3 / c; \quad m \bullet & & m_o \bullet & 0; \\
 V_d & 0,002778 & & & & \\
 \times_c \bullet & 997 & m^3; & & \times_d \bullet & 874 \quad m^3; & & \times_{\kappa} \bullet & 123 \kappa^2 \quad m^3; \\
 \kappa^2 / & & & & \kappa^2 / & & & / & \\
 \dot{!}_c \bullet & & mPa \curvearrowright & & \dot{!}_d \bullet & & mPa \curvearrowright & & D \bullet & 1,05 \curvearrowright \quad m^2 / c; \\
 0,894 & & c; & & 0,6 & & c; & & 10^9 & \\
 D_d \bullet & 2 \curvearrowright & 10^9 \quad m^2 / & & ? \bullet & & H / m; & & \Phi_s \bullet & 0,382. \\
 c; & & & & 0,0341 & & & & & 
 \end{array}$$

Bunday ajratib olish darajasi bo'lganda benzoldagi fenolning oxirgi konsentratstiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\begin{array}{c}
 C_{y.o.} \bullet C_{y.b.} \bullet \frac{V_x}{V_y} \curvearrowright (C_{x.b.} \sim C_{x.o.}) \bullet \\
 \bullet 0,01 \curvearrowright 0,001389 \curvearrowright (0,3 \sim 0,009) \bullet 0,1555 \kappa^2 / m^3 \\
 \curvearrowright 0,002778 \curvearrowright
 \end{array}$$

Rotor-diskli ekstraktorlarni hisoblashda faqat kolonnaning diametri va ishchi qismining balandligini aniqlash etarli emas. Shuning uchun uning ichki qurilmalarining o'lchamlari (disk va stator halqalar diametrlari, disklar orasidagi masofa) va diskning aylanish chastotasini ham aniqlash kerak. Rotor-diskli ekstraktorlarni hisoblash uchun 5.61 - rasmda keltirilgan sxemadagi uslubdan foydalaniladi:

Ushbu uslubga binoan  $D_p/D$ ,  $D_c/D$ ,  $h/D$ , hamda  $nD_p$  nisbatlar boshlang'ich ma'lumotlardir. Bu erda  $D$  – kolonna diametri;  $D_p$  – disk diametri;  $D_c$  – stator halqasining ichki diametri;  $h$  – seksiya balandligi;  $n$  – rotor aylanishining chastotasi.

Odatda, bunday ekstraktorlarda diskning diametri kolonna diametridan 1,5...2,0, seksiya balandligi esa 2-4 marotaba kichik bo'ladi.

Qurilmaning ichki uskuna o'lchamlari uchun quyidagi nisbatlarni qabul qilamiz:

$$\frac{D_p}{2} \bullet \frac{D_c}{3} \bullet \frac{h}{D} \bullet \frac{1}{3}$$

va  $nD_p = 0,2 \text{ m/s}$  sharoitda ishlayotgan ekstraktorning o'lchamlarini hisoblaymiz.

$$\frac{D_p, D_c, h, n}{D_p D D}$$

**Tomchilar o'lchamlari va maksimal yuklamalarni hisoblash**

**D, D<sub>p</sub>, D<sub>c</sub>, h, n, N larni hisoblash**

**Ishchi zona balandligini hisoblash**

**5.61- rasm. Rotor-diskli ekstraktor o'lchamlarini hisoblash sxemasi.**

Tomchilarning o'rtacha diametrini aniqlash uchun seksiyalar (disklar) sonini bilish kerak. Shuning uchun seksiyalar sonini  $N = 20$  deb qabul qilib olamiz va unda quyidagi natijani olamiz:

$$d \bullet 16,7 \frac{(0,894 \bullet 10^3)^{0,3} \bullet (0,0341)^{0,3}}{0,2^{0,9} \bullet 997^{0,8} \bullet 9,81^{0,2}} \bullet 0,00203 \text{ m} \bullet 2,03 \text{ mm}$$

$$\bullet 20^{0,28}$$

Bilqillab qolish davrida fazalarning umumiy sohta tezligi.

Mayda tomchilarning erkin cho'kish tezligini topish uchun Adamarning tenglamasidan foydalansa bo'ladi:

$$w_{ch} \bullet \frac{\rho_s \times \rho_c \bullet g \bullet d^2 \bullet (\rho_s - \rho_c)}{6 \bullet \rho_c \bullet (2 \bullet \rho_c \bullet 3 \bullet \rho_s)}$$

bu erda  $w_{ch}$  – erkin cho'kish tezligi;  $\rho_s \times \rho_c$  - fazalar zichliklarining farqi;  $\rho_s$  va  $\rho_c$  – dispersion va dispers fazalar qovushoqliklari.

Yirik tomchilarni erkin cho'kish tezligini hisoblash uchun quyidagi empirik formuladan foydalanamiz:

$2 \leq T \leq 70$  da  $Q \bullet (0,75 \bullet T)^{0,78}$

$T \geq 70$  *булганда*  $Q \bullet (22 \bullet T)^{0,42}$

bu erda

$$Q \bullet 0,75 \frac{Re}{p^{0,15}}$$

$$\frac{4 \bullet \rho_s \times \rho_c \bullet g \bullet d^2 \bullet \rho_s^{0,15}}{3 \bullet \rho_c \bullet \rho_s}$$

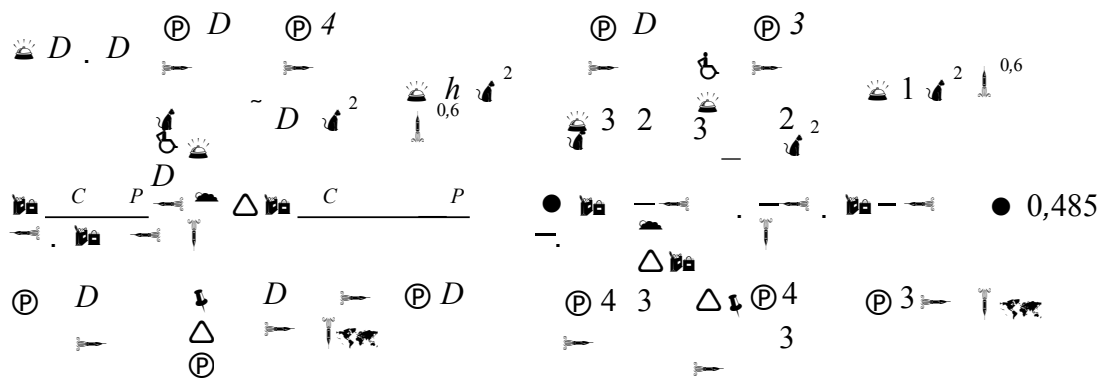
$$P \bullet \frac{\rho_s \times \rho_c \bullet \rho_s^3}{\rho_s \times \rho_c \bullet \rho_c^4}$$

bu erda  $\rho_s$  - fazalar orasidagi tortishish kuchi.

Parametr  $T=70$  ga teng bo'lsa, bu tomchilarning kritik diametriga mos keladi. Ushbu formulalar yordamida hisoblash  $w_o = 5,73$  ekanligi kelib chiqadi.

Tomchilarning xarakteristik tezliklarini ushbu formulalardan aniqlaymiz;

$$\frac{D_c \bullet \rho_c^2 \bullet 3 \bullet \rho_s^2}{\rho_s \bullet \rho_c} \bullet 0,562; \quad \frac{D_c \bullet \rho_c^2}{\rho_s \bullet \rho_c} \bullet \bar{I} \bullet \rho_s^2 \bullet 0,556;$$



Demak,  $\psi = 0,485$  va tomchilarning xarakteristik tezliklari quyidagiga teng bo'ladi:

$$w_{xap} \bullet \psi \bullet w_o \bullet 0,485 \bullet 5,73 \bullet 2,78 \text{ cm/c}$$

Bilqillab qolish davridagi fazalarning sohta umumiy tezligi ushbu formuladan topiladi:

$$w_c \bullet w_o \bullet \frac{1}{D} \bullet 4 \bullet \Phi \bullet 7 \bullet \frac{1}{D} \bullet \Phi^2 \bullet 4 \bullet \frac{1}{D} \bullet \Phi^3 \bullet w_{xap} \bullet$$

$$\bullet \frac{1}{D} \bullet 4 \bullet 0,382 \bullet 7 \bullet 0,382^2 \bullet 4 \bullet 0,382^3 \bullet 2,78 \bullet 0,756 \text{ cm/c}$$

Kolonning diametri va ichki uskunalarning o'lchamlari.

Ushbu shart-sharoitda kolonning ruxsat etilgan minimal diametri quyidagi qiymatga teng:

$$D_{min} \bullet \frac{4 \bullet (V_D \bullet V_C)}{\sqrt{w_D}} \bullet \frac{4 \bullet (0,001389 \bullet 0,002778)}{\sqrt{3,14 \bullet 0,00756}} \bullet 0,84 \text{ m}$$

Kolonning ichki diametrini 1 m ga teng deb olamiz. Bunday kolonnada fazalarning sohta tezliklari:

$$w_y \bullet w_D \bullet 0,354 \text{ cm/c}; \quad w_x \bullet w_c \bullet 0,177 \text{ cm/c} \quad \text{ga tengdir.}$$

Fazalar tezliklarining yig'indisi ularning bilqillab qolish davridagi umumiy tezlikning 69% ni tashkil qiladi.

Ekstraktor ichki uskunalarning asosiy o'lchamlari:

$$D_p \bullet D \bullet \frac{D_p \bullet 2}{0,667 \text{ m}; D \bullet 1 \text{ m}}$$

$$D_c \bullet D \bullet \frac{D_c \bullet 3}{1 \text{ m}} \bullet 0,75 \text{ m};$$

$$h \bullet D \bullet \frac{D \bullet 4}{1 \text{ m}} \bullet 0,333 \text{ m};$$

$$D \bullet 3$$

Aylanish chastotasi

$$n \bullet \frac{n}{D_p} \bullet \frac{0,2}{0,667} \bullet 0,3 \text{ c}^{-1}$$

Fazalar to'qnashish joyining solishtirma yuzasi.

Fazalarning sohta tezliklarining va xarakteristik tezliklar qiymatlarini quyidagi tenglamaga

$$\Phi^3 \bullet 2 \bullet \Phi^2 \bullet \frac{w_D}{w_{om}} \bullet \frac{w_C}{w_{om}} \bullet \Phi \bullet \frac{w_D}{w_{xap}}$$

g'o'yib, kubik tenglamani olamiz:

$$\Phi^3 \bullet 2 \bullet \Phi \bullet 1,06 \bullet \Phi \bullet 0,127 \bullet 0$$

Ushbu tenglamani echib, ushlab qolish qobiliyati  $F = 0,169$  ekanligini topamiz. Unda, fazalarning solishtirma to'qnashish yuzasi

$$a \bullet \frac{6 \bullet \Phi \bullet 6 \bullet 0,169}{d \bullet 2,03 \bullet 10^3} \bullet \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \bullet 500$$

Kolonning ishchi zonasining balandligi.

Dispersion  $E_S$  va dispers  $E_D$  fazalarning bo'ylama aralashish koeffitsientlari quyidagi empirik tenglamalardan topish mumkin:

$$E_x \bullet E_c \bullet 0,5 \bullet \frac{c}{\dots} \bullet 0,09 \bullet \frac{D}{\dots} \bullet \frac{D}{\dots} \bullet \frac{D^2}{\dots} \bullet n D_p \bullet h \bullet$$

$$0,333 \bullet 10^2 \bullet \dots \bullet 2 \bullet \dots \bullet 3 \bullet \dots$$

$$\begin{aligned}
 & 2 \cdot 0,5 \cdot 0,09 \cdot 0,2 \cdot 0,333 \cdot 6,59 \cdot 10^4 \text{ M}^2 / c \\
 & \frac{1}{1,169} \\
 & \text{③ 3} \quad \text{③ 3} \\
 & \Delta \text{④ 4}
 \end{aligned}$$

$$E_v \bullet E_d \bullet 0,5 \cdot 0,09 \cdot \frac{w_c \tilde{I}}{\Phi} \cdot \frac{0,177}{0,169} \cdot \frac{0,354}{\tilde{I} \cdot 0,169} \bullet 2,3 \text{ cm/c}$$

$$Re \bullet \frac{\rho_c \times c}{w_{\text{muc}} \cdot d} \bullet \frac{997 \cdot 0,023 \cdot 2,03}{10^3 \cdot 0,894} \bullet 52,2$$

$$\frac{0,354 \cdot 10^2}{0,333} \cdot 0,09 \cdot \frac{0,177}{0,169} \cdot \frac{0,354}{\tilde{I} \cdot 0,169} \bullet 2,3 \text{ cm/c}$$

$$\frac{0,354 \cdot 10^2}{0,333} \cdot 0,09 \cdot \frac{0,177}{0,169} \cdot \frac{0,354}{\tilde{I} \cdot 0,169} \bullet 2,3 \text{ cm/c}$$

Massa berish koeffitsientini aniqlash uchun Reynolds kriteriysi va tomchilarning nisbiy tezliklarini topish kerak:

$$w_{\text{muc}} \bullet \frac{w_c \tilde{I}}{\Phi} \bullet \frac{0,177}{0,169} \cdot \frac{0,354}{\tilde{I} \cdot 0,169} \bullet 2,3 \text{ cm/c}$$

$$Re \bullet \frac{\rho_c \times c}{w_{\text{muc}} \cdot d} \bullet \frac{997 \cdot 0,023 \cdot 2,03}{10^3 \cdot 0,894} \bullet 52,2$$

Yuqorida keltirilgan parametr  $T$  esa quyidagiga teng bo'ladi:

$$T \bullet \frac{4 \cdot 123 \cdot 9,81 \cdot (2,03 \cdot 10^3)^2}{3} \bullet 40,4$$

$$0,0341$$

Ekstraktordagi seksiyalar soni  $N = 20$  deb olingan. Ekstraktorning balandligini birinchi tahminda

$$H \bullet N \cdot h$$

deb qabul qilamiz. Unda uning balandligi  $H \bullet 20 \cdot 0,333 \bullet 6,66 \text{ m}$  ga teng bo'ladi.

Massa berish koeffitsienti quyidagicha hisoblanadi:

$$Nu_c^i \bullet 0,6 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,5} \bullet 0,6 \cdot 52,5^{0,5} \cdot 854^{0,5} \bullet 127$$

$$Nu_c \bullet \frac{Nu_c^i \cdot D}{D} \bullet \frac{127 \cdot 2,03}{10^3} \bullet 0,657 \cdot 10 \text{ m/c}$$

$$\Phi \bullet \frac{H}{w_d} \bullet \frac{0,169 \cdot 6,66}{0,00354} \bullet 318 \text{ c}$$

$$Fo_d^i \bullet \frac{4 \cdot H}{D_d} \bullet \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^9}{318} \bullet 0,617$$

$$d^2 \bullet \frac{2,03 \cdot 10^3}{10^3}$$

$$Nu^i \bullet 31,4 \cdot (Fo_d^i)^{0,34} \cdot (Pr_d^i)^{0,125} \cdot We^{0,37} \bullet 4,96$$

bu erda

$$Pr_c^i \bullet \frac{\rho_c \cdot c}{D} \bullet \frac{0,894 \cdot 10^3}{997 \cdot 1,05} \bullet 854$$

$$Pr_d^i \bullet \frac{\rho_d \cdot c}{D_d} \bullet \frac{0,6 \cdot 10^3}{874 \cdot 2 \cdot 10^9} \bullet 343$$

$$Nu_d = \frac{\lambda}{d} = 4,96 \frac{2 \cdot 10^4}{\frac{2,03}{10^3}} = 0,0488 \cdot 10^{-4} \text{ m/c}$$

Ideal siqib chiqarish rejimiga to'g'ri keladigan suv fazasida massa o'tkazish koeffitsienti va o'tkazish birligi balandligini hisoblaymiz:

$$K_x = \frac{1}{\frac{1}{0,657} + \frac{1}{2,22} + \frac{1}{0,0488 \cdot 10^4}} = 0,93 \cdot 10^5 \text{ m/c}$$

$$w_x = \frac{0,00177}{0,93 \cdot 10^5} = 0,381 \text{ m}$$

$$H_{ox} = \frac{H}{K_x a} = 0,93 \cdot 10^5 \cdot 500$$

Ushbu jarayonda fazalarning sarflari umuman o'zgarmaydi va fazalar orasidagi muvozanat to'g'ri chiziqli bog'liqlik bilan ifodalanadi. Shuning uchun o'tkazish sonining birliklarini hisoblashda ushbu formuladan foydalanamiz:

$$n_{ox} = \frac{m \cdot V_y \cdot V_x \cdot \ln \frac{m \cdot c_{x0} \cdot m_o \cdot c_{yox}}{m \cdot V_y \cdot V_x \cdot I}}{m \cdot V_y \cdot V_x \cdot I}$$

hisoblanayotgan jarayon uchun  $\frac{m \cdot V_y}{V_x} = 2,22 = 2$   $m_o = 0$ .  
Demak,

$$n_{ox} = \frac{4,44}{4,44 \cdot I} \cdot \ln \frac{2,22 \cdot 0,3 \cdot 0,1555}{2,22 \cdot 0,009 \cdot 0,01} = 5,08$$

Shunday qilib, ideal siqib chiqarish rejimida ikkala faza bo'yicha kolonnaning ishchi balandligi

$$H = n_{ox} \cdot H_{ox} = 5,08 \cdot 0,381 = 1,93 \text{ m}$$

Bo'ylama aralashishni hisobga olgan holda kolonnaning balandligini aniqlash uchun mavhum o'tkazish soni birligini ketma – ket yaqinlashish usulidan foydalanamiz. Buning uchun avval Pekle kriteriyasini ikkala fazalar uchun topamiz:

$$Pe_y = \frac{w_y}{H} = \frac{0,00354 \cdot 6,66}{38 \cdot 10^4} = 6,2$$

$$Pe_x = \frac{w_x}{H} = \frac{0,00177 \cdot 6,66}{6,69 \cdot 10^4} = 17,6$$

Birinchi yaqinlashuvda  $f_y$  va  $f_x$  koeffisientlar qiymatlarini aniqlaymiz:

$$f_y = \frac{1 \cdot \exp Pe_y}{Pe_y} = \frac{1 \cdot \exp 6,2}{6,2} = 1,192$$

$$f_x = \frac{1 \cdot \exp Pe_x}{Pe_x} = \frac{1 \cdot \exp 17,6}{17,6} = 1,06$$

Olingan natijalar ushbu formulaga

$$H_{ox} = H \cdot \frac{E_D \cdot V \cdot E_y}{w_x \cdot m \cdot V_y \cdot f_y} = \frac{660 \cdot 38 \cdot 10^4}{0,00177 \cdot 1,06 \cdot 0,00354 \cdot 1,192} = 0,2252$$

$$H_{ox} = 0,2252 \cdot \frac{1}{m \cdot V_y} = 0,2252$$

$H_{ox} = 0,941 \text{ m}$  g'iyamatga kolonnaning

$$H = H_{ox} \cdot n_{ox} = 0,941 \cdot 5,08 = 4,78 \text{ m}$$

balandligi to'g'ri keladi. Hisoblash natijasida olingan  $N$  va  $I$  lar yordamida Pekle kriteriyasi,  $f_y$  va  $f_x$  koeffisientlarning aniq'rog' g'iyamatlarini topamiz:

$$Pe_y$$

$$Pe_y \bullet \frac{0,00354 \approx 4,78}{38 \approx 10^4} \bullet 4,45$$

$$\bullet \frac{0,00177 \approx 4,78}{6,69 \approx 10^4} \bullet 12,6$$

$$f_y \cdot \frac{\bar{I} \exp Pe_y}{Pe_y} \cdot \frac{V_x}{m} \cdot \frac{F}{V_y} \cdot \frac{1}{W_{ox}^i}$$

$$\frac{\bar{I} \exp 4,45}{4,45} \cdot \bar{I} 0,2252 \cdot \frac{38 \cdot 10^4}{0,00354 \cdot 0,941} \cdot 0,401$$

$$f_x \cdot \frac{\bar{I} \exp Pe_x}{Pe_x} \cdot \frac{V_x}{m} \cdot \frac{F}{V_x} \cdot \frac{1}{W_{ox}^i}$$

$$\frac{\bar{I} \exp 12,6}{12,6} \cdot \bar{I} 0,2252 \cdot \frac{6,69 \cdot 10^4}{0,00177 \cdot 0,941} \cdot 1,4$$

Ikkinchi ketma-ket yag' inlashuvda zohiriy o'tkazish sonining birligi g'uyidagi g'iyamatga teng bo'ladi:

$$H_{ox} \cdot 0,381 \cdot \frac{6,69 \cdot 10^4}{0,00177 \cdot 1,4} \cdot 0,2252 \cdot \frac{38 \cdot 10^4}{0,00354 \cdot 0,401} \cdot 1,25 \cdot m$$

$H_{ox} \cdot 1,25 \cdot m$  g'iyamatida kolonnaning zarur balandligi  $N = 1,25 \cdot 5,08 = 6,35 \text{ m}$  ga tengdir.

$H_{ox}$  va  $N$  larni hisoblashni bir necha marta ushbu parametrlarning oxirgi ikki iteratsiyasining son qiymatlari teng bo'lguncha o'tkazamiz va

$$H_{ox} \cdot 1,15 \cdot m; N = 5,84 \text{ m}$$

ekanligini aniqlaymiz.

Disklar orasidagi masofa 0,33 deb qabul qilganimiz uchun  $N = 5,84 \text{ m}$  li kolonna disklarining soni

$$\frac{5,84}{0,333} \cdot 17,5 \text{ ma}$$

Disklar sonini 18 ta desak, ishchi zonaning balandligi quyidagi qiymatga teng bo'ladi.

$$N = 18 \cdot 0,333 = 6 \text{ m}$$

Miqdori 20 ga teng deb olingan edi. Agarda quyidagi tenglamaga:

$$d \cdot 16,7 \cdot \frac{1^{0,3} \cdot ?^{0,5}}{(n \cdot )^{0,9} \cdot 0,8 \cdot g^{0,2} \cdot N^{0,23}} \cdot D_p$$

$N = 11$  g'o'ysak, tomchilarning o'rtacha o'lchami  $d = 2,08 \text{ mm}$  ligini bilamiz va bu o'lcham  $N = 20$  dagi  $d$  g'iyamatidan 25% ga farq qiladi. Tomchilarning o'lchami va ekstraktorning qolgan boshqa gidrodinamik parametrini qaytadan hisoblashga o'rin yo'g', chunki bunday chetga chiqish yuqorida keltirilgan tenglamaning aniqlik doirasida joylashgan. Kolonnaning balandligiga bog'liq bo'lgan dispers yuzadagi modda berish koeffitsienti ham mutlaqo o'zgarmaydi. Agar hisoblash natijasida ekstraktorning balandligi boshida olingan qiymatdan farq qilganda, xamma hisoblashni takrorlashga to'g'ri kelar edi. Tomchining o'rtacha o'lchamini aniqlashdan tortib ekstraktordagi kolonna balandligini hisoblash natijalari shuni ko'rsatadiki bo'ylama aralastirishning salmog'i ancha katta. Bo'ylama aralastirish yuqoriligi sababli kerakli ishchi zonasining balandligi 3 marta ortadi.

Reynolds kriteriysining katta qiymatlari ( $Re \text{ g' } 10^5$ ) uchun aylanayotgan diskni quvvat kriteriysi tahminan  $K_N = 0,03$ . Bizning misol uchun

$$Re_c \cdot \frac{1 \cdot d_p^2 \cdot 997 \cdot 0,3}{0,667^2} \cdot 149000$$

$$\frac{1 \cdot m}{0,894 \cdot 10^{-3}}$$

Aralashtirilayotgan muhitning o`rtacha zichligi

$$\rho_{\text{D}} (\bar{\rho})_{\text{M}} = 0,169 \cdot 874 + (1 - 0,169) \cdot 997 = 976 \text{ kg/m}^3$$

Bitta disk yordamida aralashtirish uchun kerakli energiya sarfi quyidagiga teng bo`ladi:

$$N \bullet K_N \bullet n_p^3 \bullet D^5 \bullet 0,03 \bullet 976 \bullet 0,3^3 \bullet 0,667^5 \bullet 0,1 \text{ Bm}$$

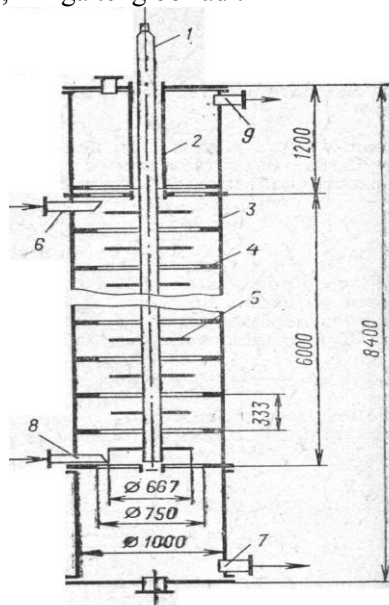
Ko`rinib turibdiki, aralashtirish uchun quvvat sarfi ko`p emas va hamma disklar uchun 2 Vt ni tashkil etadi. Demak, elektr yuritkich quvvatini mexanik hisoblar asosida tanlash kerak. Uning quvvati ishqalanish kuchlari va ishga tushirish onlarini engish uchun etarli bo`lishi zarur.

Cho`ktirish zonalarining o`lchamlari

Odatda rotor-diskli ekstraktorlarda ishchi va cho`ktirish zonalarining balandliklari bir xil bo`ladi. Agarda ushbu formula orqali benzol tomchilari koalenstenziya bo`lishi uchun zarur vaqti

$$t_{\text{koal}} = 1,32 \cdot 10^5 \frac{d \cdot H^{0,18} \cdot g \cdot d^2 \cdot 0,32}{\rho \cdot d \cdot \dots}$$

va uning asosida cho`ktirish zonasining hajmi hisoblansa, ushbu zonaning balandligi taxminan 0,2 m ga teng bo`ladi. Ma`lumki bu turdagi ekstraktorlarda cho`ktirish zonasi ishchi zonasining davomi bo`lib, unda suyuqlik intensiv harakat qiladi. Shuning uchun cho`ktirish zonasi 2 qismdan iborat bo`lgani maqsadga muvofiqdir, ya`ni cho`ktirish va oraliq turg'unlashtiruvchi zonalardan. Yuqorida aytilganlarni hisobga olsak, cho`ktirish zonasining to`liq balandligi 1,2 m ga teng bo`ladi.



5.62-rasm. Rotor-diskli ekstraktor.

5.62-rasmda rotor-diskli ekstraktorning texnologik hisoblar asosida olingan o`lchamlari keltirilgan. Ushbu misolda rotor-diskli ekstraktor hisobi  $n \cdot D_p = 0,2 \text{ m/s}$  bo`lgan shart-sharoit uchun bajarilgan. Ammo rotor-diskli ekstraktorlarni loyihalashda hisoblar  $n \cdot D_p$  ko`paytmaning turli g`iymatlari uchun bajarilishi kerak va olingan natijalardan optimal varnianti tanlanishi zarur.

# «QATTIQ JISM - SUYUQLIK» SISTEMASIDA EKSTRAKSTIYALASH

## 5.26. Umumiy tushunchalar

G'ovaksimon qattiq jism tarkibidan bir yoki bir necha komponentlarni ajratib olish jarayoni **ekstrakstiyalash** deb ataladi.

Qattiq jismdan bir yoki bir necha komponentni selektivlik qobiliyatiga ega bo'lgan erituvchi yordamida ajratib olish jarayoni **eritish** deb nomlanadi. Ushbu jarayon ekstrakstiyalash jarayonining xususiy holdir.

Kimyo, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda juda ko'p kapillyar-g'ovakli jismlar eritish jarayoni yordamida qayta ishlanadi. Ekstrakstiyalash ishqor, kislota, tuzlar, qand, o'simlik moylar, sharbatlar, vitaminlar, turli dorilar, rangli va nodir metallar va hokazolarni olishda ishlatiladi. Ekstrakstiyalash jarayonida kerakli komponent qattiq fazadan diffuziya yo'li orqali suyuqlik fazaga o'tadi. Buning uchun shu komponentni eritadigan tegishli erituvchi tanlab olinishi kerak. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, ekstrakstiyalash va eritish jarayonlari «qattiq jism - suyuqlik» sistemasida olib boriladi. Ekstrakstiyalash 2 bosqichda o'tadi:

- 1) komponentning qattiq jismlar ichki qismidan tashqi yuzasiga diffuziya yo'li bilan o'tishi;
- 2) komponentning diffuziya jarayoni tufayli qattiq jism yuzasidan chegaraviy qatlam orqali suyuqlik fazaga o'tishi. Bu jarayon noturg'un bo'lib, vaqt bo'yicha o'zgaradi.

Eritish jarayonining tezligi faqat ikkinchi bosqichning qarshiligiga bog'liq, chunki birinchi bosqichda qarshilik umuman bo'lmaydi. Shuning uchun, eritish jarayoni ekstrakstiyalashga qaraganda ancha tez boradi.

Sanoat texnologik jarayonlarida erituvchilar sifatida quyidagi suyuqliklar ishlatiladi: suv - qand lavlagidan shakarni, hamda kofe, choyni ekstrakstiyalash uchun; spirt va spirt-suvli aralashmalar liker - aroq damlamasi va pivo - alkogolsiz ichimliklar ishlab chiqarish sanoatida; benzin, trixloretan, dixloretan - yog' va efir moylarini ishlab chiqarishda. Undan tashqari, suv va ayrim noorganik kislotalarning eritmalari ham, erituvchi sifatida ishlatiladi. Bunday jarayonlar **ishqorlanish** deb nomlanadi. Ishqorlanish mineral xom - ashyolarni kimyoviy qayta ishlash yo'li bilan qimmatbaho komponentlarni olish uchun qo'llaniladi.

Eritish jarayoni texnologik sxemalarida filtrlash, bug'latish va kristallash kabi jarayonlardan avval ishlatiladi va u birinchi bosqich bo'lib hisoblanadi.

## 5.27. Eritish jarayoni statikasi va kinetikasi

Jarayonning mexanizmi shundaki, erituvchi qattiq jism g'ovaklariga kirib boradi va ajratilishi kerak bo'lgan moddani eritadi.

Eritilgan moddaning kimyoviy potentsiali va uning qattiq jismdagi kimyoviy potentsialiga tenglashganda erish jarayoni muvozanat holiga keladi. To'yinish holatiga oid eritmaning konstantriyasi **eruvchanlik** deb ataladi.

Qattiq jismning tashqi yuzasidagi muvozanat qisqa vaqt ichida o'rnatiladi. Shuning uchun, massa almashinish jarayonlarni tahlil qilishda, "qattiq jism - erituvchi" sistemasining fazalararo yuzasidagi konstantriyasi to'yingan eritma konstantriyasi  $u_{to,y}$  ga teng deb qabul qilinadi.

Eritish jarayoni kinetikasining asosiy masalasi fazalarning o'zaro to'qnashish vaqtini aniqlashdir. Fazalar to'qnashish vaqti ma'lum bo'lgandan so'ng, ekstraktorlarning asosiy o'lchamlari hisoblanadi.

Eritish jarayonida massa almashinishga qattiq jismning ichki tuzilishi: kapillyar shakli va o'lchami (5.63b-rasm), zarrachalar kimyoviy tarkibiga katta ta'sir ko'rsatadi (5.63a-rasm). Qattiq jismning ichki tuzilishi massa o'tkazish tezligiga ham katta ta'sir etadi.

Qattiq g'ovaksimon zarrachalar o'zida maqsadli, kerak komponentni qattiq holatida saqlaydi. Maqsadli komponentning zarracha hajmida taqsimlanishi turli variantlarda bo'lishi mumkin. Ko'pchilik hollarda, g'ovaksimon jism hajmida ajratib olinadigan komponent bir tekisda taqsimlangan bo'ladi. Ekstrakstiya jarayonida maqsadli komponentning hajmi sistematik ravishda kamayib boradi (5.64-rasm).

Maqsadli komponent ajratib olingan hajm ( $R-r_0$ ) da, shu komponent ekstragentda erigan holda bo'ladi. Vaqt o'tishi bilan ushbu hajm ulushi ortib boradi.

Eritish jarayoni murakkab jarayon bo'lib, erituvchini qattiq jism kovaklariga diffuziyasi, ajratib olinayotgan moddalarni eritish, qattiq jism kapillyarlari orqali fazalarni ajratuvchi yuzaga ekstrakstiyalanayotgan moddaning diffuziyasi va fazalarni ajratuvchi yuzadan ekstragent oqimi yadrosiga massaning o'tishi kabi bosqichlardan iborat.

Jarayonning qayd etilgan 4 bosqichidan oxirgi ikkitasi massa almashinishning umumiy tezligini chegaralaydi. Chunki, birinchi va ikkinchi bosqichlarning massa almashinish tezligi, oxirgi ikkitasiningiga qaraganda ancha yuqoridir.

Shunday qilib, massa almashinish jarayonining umumiy diffuziya qarshiligi qattiq jism va erituvchilarning ichki diffuzion qarshiliklari yig'indisidan iborat.

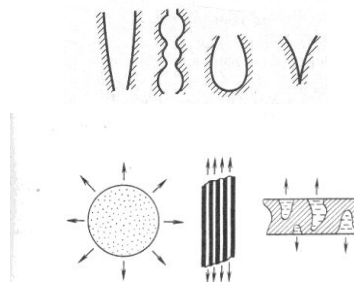
Kapilyar - g'ovak jism ichidan moddaning diffuziya tezligi ushbu tenglama bilan ifodalanadi:

$$i \sim \frac{dM}{Fdt}$$

Fazalarni ajratuvchi yuzadan oqim yadrosiga massa berish tezligi (5.17) tenglama yordamida aniqlanadi. Massa o'tkazuvchanlik va berish tezliklari orasidagi nisbatni baholash uchun Bio kriteriyasidan foydalaniladi:

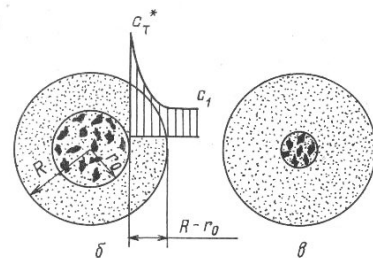
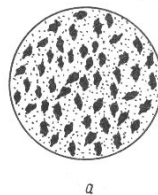
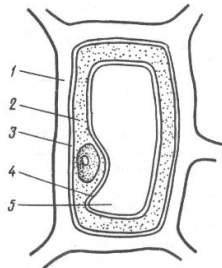
$$Bi \sim \frac{u \cdot l}{D}$$

Ayniqsa, kapilyar - g'ovak jismlarda massa o'tkazuvchanlik tezligi juda kichik bo'ladi. 5.63v-rasmda o'simlik hujayrasining tuzilishi ko'rsatilgan.



5.63-rasm. Fovaksimon qattiq jism tuzilishi (a), kovaklar turi (b) va o'simlik hujayrasi (c).

1 - hujayra qobig'i; 2 - protoplazmalar; 3,4 - o'tkazuvchan membranalar; 5 - vakuol.



5.64-rasm. Qattiq g'ovaksimon jismning ekstrakciya jarayonida tuzilishi o'zgarishi.

Massa o'tkazuvchanlik koeffisienti qattiq jismning ichki tuzilishiga, ekstragentning fizik xossalari, ekstrakstiyalanayotgan moddaning konstrentastiyasi va jarayon temperaturasi bog'liq. Massa o'tkazuvchanlik koeffisientining yuqorida qayd etilgan omillarga bog'liqligi tajribaviy usulda topiladi.

Asosiy diffuzion qarshilik suyuqlik fazada mujassam bo'lgan hollarda, jarayonni ifodalash uchun (5.17) tenglamalardan foydalanish mumkin.

Eritish jarayonini harakatga keltiruvchi kuch bo'lib, qattiq jism yuzasidagi ekstrakstiyalanuvchi modda konstrentastiyasi  $u_{ch}=u_{uy}$  va uning ekstragentdagi o'rtacha konstrentastiyasi  $u_{ur}$  larning farqi hisoblanadi.

Ushbu holatda jarayonning tezligi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\frac{dM}{Fd} \sim u_{uy} - u_{ur} \quad (5.154)$$

bu erda  $\alpha_u$  - suyuqlik fazadagi massa berish koeffisienti.

Qalinligi  $\delta$  bo'lgan chegaraviy qatlamdagi molekulyar diffuziya tezligi Fikning 1-qonuni yordamida topiladi:

$$\frac{dM}{Fd} \sim \frac{D}{\delta} (u_{uy} - u_{ur}) \quad (5.155)$$

bu erda  $D$  - molekulyar diffuziya koeffisienti.

Qattiq jismni eritish jarayoni uchun prof. A.N. Shukarev tomonidan ushbu formula keltirib chiqarilgan:

$$\frac{M}{D} \sim \frac{F_{yp} (u_{uy} - u_{ur})}{F_{yp} (u_{uy} - u_{ur})} \quad (5.156)$$

bu erda  $\alpha_u = D/\delta$ . Tajribaviy usul bilan  $\alpha_u \sim D^{0.33}$  ekanligi aniqlangan.

(5.154) tenglamadan  $\alpha_u$  massa berish koeffisienti  $D^{0.66}$  ga proporstionalligi ko'rinib turibdi. Yuqorida keltirilgan tenglamalarni inobatga olgan holda va tajriba natijalarini umumlashtirish natijasida, ishqorlab ajratish jarayonida massa berish koeffisienti  $\alpha_u$  ni ushbu tenglama yordamida topish mumkin:

$$Nu_D \sim 0.8 Re^{0.5} Pr^{0.33} \quad (5.157)$$

bu erda  $Nu_D = \frac{\alpha d}{\lambda}$  - Nusselt kriteriysi ( $d$  - qattiq zarracha diametri);  $Re = \frac{w d \rho}{\mu}$  - Reynolds kriteriysi ( $w$  - ekstragent tezligi;  $\mu$  - ekstragent dinamik qovushoqligi);  $Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda}$  - Prandtl kriteriysi.

(5.156) tenglamadan ko`rinib turibdiki, agar chegaraviy qatlam qalinligi  $\delta$  kamaysa, koeffitsient  $\alpha$  ning qiymati ortadi. Chegaraviy qatlam nazariyasidan ma'lumki, Reynolds soni ortishi, ya'ni qattiq zarrachalarga nisbatan ekstragent harakat tezligi ko'payishi bilan diffuzion qatlam qalinligi kamayadi.

Demak, samarador gidrodinamik sharoit yaratib, ishqorlab ajratish jarayonini intensivlash mumkin. Undan tashqari, qattiq materialni maydalash ham jarayonni jadallashishiga olib keladi.

Ma'lumki, qattiq jismlarni maydalash, massa almashinish yuzasining ortishiga va material ichidan kapillyarlar orqali ekstrakstiyalanayotgan komponent diffuziya yo'li kapayishiga olib keladi. Temperatura ortishi bilan massa o'tkazuvchanlik koeffitsient ko'payganligi uchun ishqorlab ajratish jarayoni ekstragentning qaynash temperaturasiga yaqin temperaturalarda tashkil etiladi. Bunday holatda eritmaning to'yinish konstantastiyasi  $\mu_{uy}$  ortadi, bu esa o'z navbatida eritish va ishqorlab ajratish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuchining ko'payishiga sababchi bo'ladi.

Amaliy jihatdan jarayonlarni intensivlash uchun ekstraktordagi gidrodinamik holatni yaxshilash zarur. Masalan, mavhum qaynash qatlamda qayta ishlash, pulsastiya yoki vibrastiya ta'sir ettirish yo'llari bilan ekstraktorlarda yuqorida qayd etilgan jarayonlar samarasini ko'tarish mumkin. Undan tashqari, past chastotali tebranishlar ham, ekstraktorlarda kechadigan massa almashinish jarayonini tezlashtiradi.

## 5.28. Ishqorlab ajratish ekstraktorlarining konstrukstiyalari

Ekstrakstiya, eritish va ishqorlab ajratish uchun davriy va uzluksiz ishlaydigan ekstraktorlar qo'llaniladi. Qurilmadagi fazalar harakatiga qarab parallel, qarama - qarshi va murakkab yo'nalishli bo'lishi mumkin.

Suyuqlik fazasining qattiq materialni yuvib o'tish harakatiga qarab o'zgarimas, mexanik aralastirgichi bo'lgan va mavhum qaynash qatlamli ekstraktorlar bo'ladi.

Ekstraktorlarni tanlashda qattiq faza fizik-mexanik xossalari va ajrab chiqadigan ekstrakt konstantastiyasi yoki tayyor mahsulot chiqishi hisobga olinadi.

Ma'lumki, davriy ishlaydigan qurilmalar ish unumdorligi kam bo'ladi. Shuning uchun, ular kichik hajmli korxonalarda qo'llaniladi. Lekin, sanoat miqyosida ko'pincha uzluksiz ishlaydigan qurilmalar ishlatiladi. Ekstraktor va eritkich bir-biridan katta farqlanmaydi. Agar, qurilma qattiq, g'ovaksimon jismni ekstrakstiyalash uchun qo'llanilsa **ekstraktor** deb nomlanadi. Agar, qurilma qattiq g'ovaksimon materialni eritish uchun ishlatilsa, unda u **eritkich** deb ataladi.

Ekstraktor va eritkichlarga qo'yiladigan talab quyidagilardan iborat:

- qurilma hajmi birligiga to'g'ri kelgan ekstraktning miqdori, ya'ni solishtirma ish unumdorligi katta bo'lishi zarur;

- hosil bo'layotgan eritma konstantastiyasi iloji boricha yuqori bo'lishi kerak;

- energiya sarfi kam bo'lishi zarur.

**Perkolyator** - bu davriy ishlaydigan, qo'zg'almas qatlamli ekstraktor (5.65-rasm). U konussimon tubli va yassi qopqoqli stilindrik qurilma bo'lib, tubida teshikli panjara o'rnatilgan. Ushbu panjaraga tepa lyukdan maydalangan qattiq material qatlamli yuklanadi.

Ishqorlab ajratish jarayoni tugagandan so'ng, material pastki ko'tarma lyukdan chiqarib yuboriladi.

Perkolyatorlar ketma-ket ulanib batareyalar hosil qilinadi. Batareyaga ulanadigan perkolyatorlar soni 4 ta dan 15 ta gacha bo'lishi mumkin. Erituvchi perkolyatorning past qismidan yuqoriga nasos yordamida haydaladi. Batareyalarda oqimlar yo'nalishi har doim qarama-qarshi bo'ladi. Istalgan perkolyatorida ajratish darajasi belgilangan darajaga etishi bilan ishlatib bo'lingan materialni to'kish uchun batareya o'chiriladi va yangi xom-ashyo yuklanadi. Odatda, qurilmadan material bosim ostida to'kiladi.

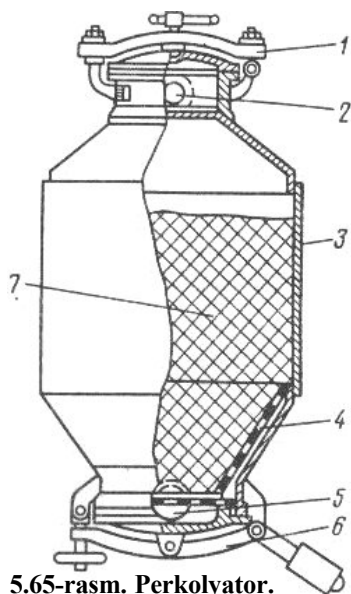
**Uzluksiz ishlaydigan diffuzion qurilmalar** kimyo, tog'-kon, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda juda ko'p ishlatiladi. Ayniqsa, qand lavlagidan shakar olishda va uning turpini chiqarib tashlashda bu turdagi qurilmalar juda samarali qo'llanilmoqda.

**Ikki shnekli, og'ma diffuzion qurilma** odatda  $8...11^\circ$  burchak ostida ishlatiladi. Qurilmaning tepa qismida qand lavlagi qirindilarini yuklash uchun bunker va hosil bo'layotgan turpini (jomni) chiqarish uchun shneklar o'rnatilgan (5.66-rasm).

Qurilma ichida qand lavlagi qirindisi ikkita shnek yordamida pastdan tepaga qarab uzatiladi. Vint chizig'i bo'ylab joylangan parraklar tizimi shneklarni hosil qiladi. Birinchi shnekning parraklari, ikkinchi shnekning parraklararo bo'shlig'iga kirib turadi. Shneklarning bunday joylashishi qirindini bir tekisda uzatish va qirindini parrak bilan birga aylanishiga to'sqinlik qiladi. Buning uchun qurilmada kontrparraklar va qopqoqning pastki qismida to'siqlar o'rnatilgan.

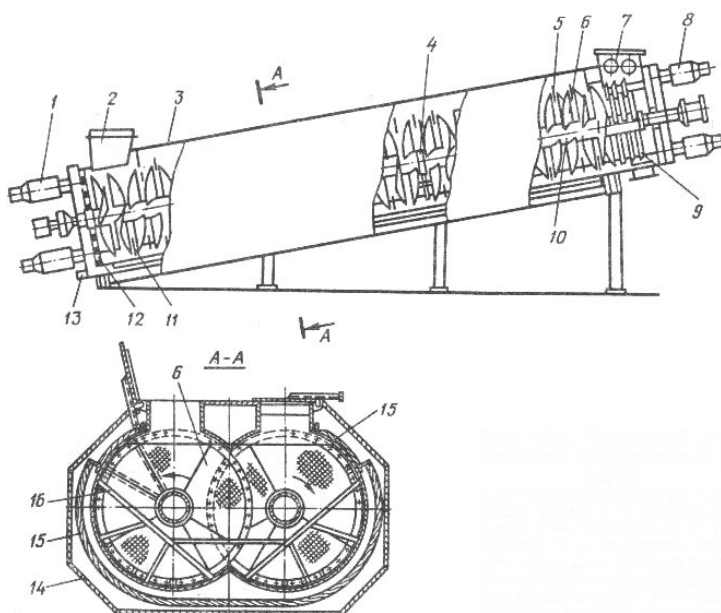
Lavlagi turpi qurilmaning tepa qismidagi shneklar yordamida chiqariladi. Turpni samarali to'kish uchun parraklar ham yordam beradi. To'kish shneklari uzatish shneklariga nisbatan to'g'ri burchak ostida o'rnatilgan va ularga qarama - qarshi yo'nalishda aylanadi. Ekstrakstiyalanayotgan materialni isitish uchun qurilmaning

ostki qismida isituvchi kamera oʻrnatilgan.



5.65-rasm. Perkolyator.

1-qopqoq; 2,5-erituvchi uchun shtucerlar; 3-qobiq; 4-teshikli panjara; 6-ko'tarma lyuk.



5.66-rasm. Ikki shnekli, ogʻma diffuzion qurilma

**Ikki pogʻonali diffuzion qurilma U** - simon, toʻgʻri toʻrtburchak koʻndalang kesimli qobiqdan iborat boʻladi. Ushbu qobiq maxsus tayanchlari bilan ogʻir poydevorga oʻrnatiladi.

Qurilma qobigʻi ayrim stargalardan tarkib topgan boʻlib, qattqlik qovurgʻalari bilan mustahkamlanadi. Ekstraktorda material uzatuvchi romchalar oʻrnatilgan plastmassa zanjirlar yordamida uzatiladi. Ushbu zanjir elektr yuritkichga ulangan uzatma yordamida harakatga keltiriladi. Romchalarni vertikal holatda materialdan toʻliq tozalash uchun zarba tipidagi tozalagich oʻrnatilgan.

Xom - ashyo qurilmaga panjarasimon konveyer va rotastion uloqtirgich yordamida yuklanadi. Isitilgan sharbat qurilmaga soplolar yordamida purkaladi.

Qurilmadan diffuzion sharbat kamerada oʻrnatilgan konussimon teshikli elak va patrubkalar orqali chiqariladi. Barometrik suv qurilmaning tepa qismida joylashgan presslangan turp suyuqligi esa, pastki soplolar orqali qurilmaga kiritiladi.

**Qand lavlagi paraxasi romchali zanjir yordamida qurilma boʻylab uzatiladi va oxirida toʻkish shtusteriga olib kelinadi. Barometrik va presslangan turp suvlari, qand lavlagi qirindisiga qarama - qarshi yoʻnalishda, kolonnaning tepa qismiga yuboriladi. Jarayon yakunida hosil boʻlgan diffuzion sharbat keyingi texnologik jarayonga uzatilsa, turp esa - presslashga yoki omborga yuboriladi. Ayrim qurilmalarda qattiq material kovshlar yordamida uzatiladi.**

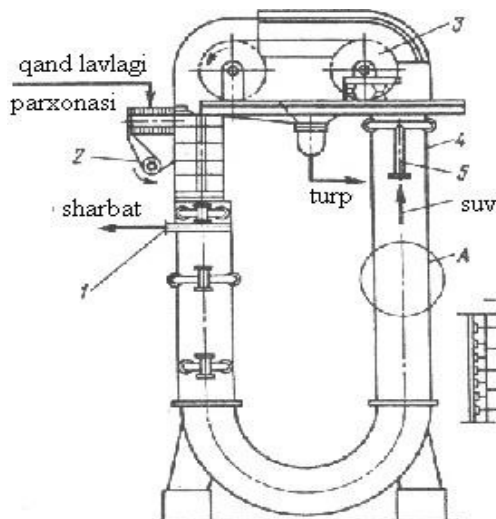
Lekin, materialni uzatish uchun romcha yoki kovsh zanjirli moslamalarni qoʻllash, qattiq jismlarning zichlanishiga sababchi boʻladi. Maʼlumki, zichlangan materialni ekstrakstiyalash ancha qiyin.

Parrakli va kontrparrakli diffuzion qurilmalarda qirindi ancha maydalanadi, bu esa diffuzion sharbatning filtrlanishini qiyinlashtiradi. Natijada, ekstrakstiyalash jarayonining tezligi ham kamayadi.

**Lentali ekstraktorlar** koʻpincha tarkibida yogʻ bor materiallardan (pista, chigit va h.) yogʻni ekstrakstiyalash uchun qoʻllaniladi (5.68-rasm).

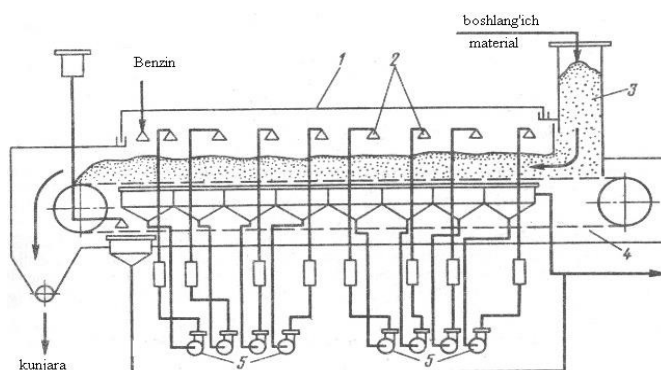
Maydalangan qattiq faza (pista) lentada yupqa qatlam holida uzatilsa, ekstragent - benzin yoki geksan esa nasoslar yordamida lentadagi xom - ashyoga purkaladi. Qattiq material va ekstragentlarning oʻzaro harakati kombinastiyalangan, murakkab boʻlib, yaʼni har bir boʻlimda oʻzaro kesishgan va ekstraktorning butun uzunligi boʻylab qarama-qarshi yoʻnalishda harakatlanadi. Ekstraktor konstrukstiyasi qattiq material va ekstragentning oʻzaro yaxshi toʻqnashuvini taʼminlay olmaydi. Shuning uchun, ekstrakstiyalash jarayoni juda kichik tezlikda kechadi. Demak, xom - ashyodan yogʻni toʻla ajratib olish uchun ekstrakstiya jarayoni bir necha pogʻonali qurilmada olib borish kerak.

**Mavhum qaynash qatlamli ekstraktorlar.** Bu turdagi qurilmalarda qattiq material zarrachalar yuzasi butun jarayon mobaynida turbulent oqim bilan yuvilib turadi, yaʼni toʻqnashuvda boʻladi. Natijada ekstrakstiyalash va eritish jarayonlari intensivlashadi.



**5.67-rasm. Ikki kolonnali diffuzion qurilma.**

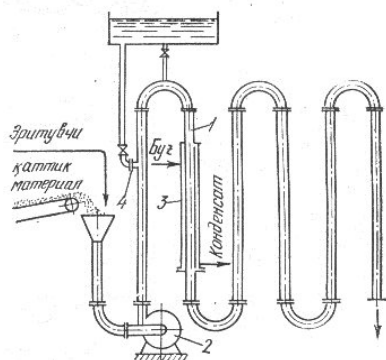
1,5 - shtuserlar; 2 - rotatsion uloqtirgich; 3 - baraban;  
4 - qobiq; 5 - zanjir; 6 - romcha.



**5.68-rasm. Lentali ekstraktor.**

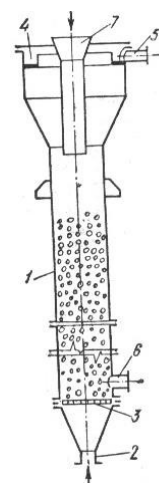
1 - qobiq; 2 - soplolar; 3 - yuklovchi shahta;  
4 - uzatuvchi transport moslamasi; 5 - nasoslar.

**Trubali ekstraktor** ketma - ket ulangan truba 1 lardan iborat bo'lib, ulardan qattiq, mayda zarrachali suyuqlik nasosi 2 yordamida haydaladi. Ma'lumki, temperatura ortishi bilan jarayon tezlashadi. Shuning uchun, trubalar bug' qobig'i 3 bilan o'ralgan. Nasos to'satdan to'xtab qolgan hollarda, truba ichidagi qattiq quyqalarni devorga o'tirib qolmasligi uchun yuvib yuboriladi. Buning uchun tepada joylashgan idishdan trubalarga suv yuboriladi.



**5.69-rasm. Trubali ekstraktor.**

1 - truba; 2 - nasos; 3 - bug' qobig'i; 4 - yuvuvchi suv kiradigan shtutsler.



**5.70-расм. Mavhum qaynash qatlamli ekstraktor**

1 - kolonna; 2 - eritma kirish shtuceri; 3 - taqsimlovchi teshikli panjara; 4 - halqasimon tarnov; 5 - koncentrlangan eritma chiqadigan shtuceri; 6 - qattiq qoldiqni to'kish shtuceri; 7 - qattiq materialni yuklash trubasi.

Ushbu qurilmalarda ekstrakstiyalash jarayonining intensivligi, unda ideal siqib chiqarish rejimiga yaqin sharoit yaratilishi bilan bog'liqdir. Qurilmada fazalar qarama - qarshi harakat yo'nalishini qo'llab bo'lmasligiga sabab, qattiq jismning mayda zarrachalari suyuqlik bilan chiqib ketishidir.

**Mavhum qaynash qatlamli ekstraktor.** Stilindsimon kolonna 1 ga pastki shtuster 2 orqali eritma uzluksiz ravishda uzatiladi. Shtuster 2 orqali kiritilgan eritma belgilangan tezlikda taqsimlovchi panjara 3 teshiklaridan o'tadi va maydalangan qattiq material qatlamini mavhum qaynash holatiga keltiradi.

Boshlang'ich material qurilmaning yuklash trubasi 7 orqali mavhum qaynash qatlamiga uzatiladi. Odatda, mavhum qaynash qatlami bir necha metr bo'ladi. Qurilmadan chiqishda yuqori konstantriyali eritma olish mumkin. Konstantrlangan eritma halqasimon tarnovga tushadi va shtuster 5 orqali tashqariga chiqariladi. Hosil bo'layotgan qattiq qoldiq taqsimlovchi panjara 3 dan ozgina yuqorida joylashgan shtuster 6 orqali uzluksiz ravishda chiqarib turiladi.

Bunday ekstraktorlar tuzilishi sodda va kam metall sarflanadi. Undan tashqari, jarayon intensivligi katta va qattiq jismdan kerakli komponentni ajratish darajasi yuqori.

## 5.29. Eritkichlarni hisoblash

Oxirgi yillarda yaratilgan qattiq jismni ekstrakstiyalash jarayonining zonali usuli, noturg'un massa o'tkazuvchanlik masalasini echishga asoslangan. To'g'ri, geometrik shakldagi jismlarni ekstrakstiyalash jarayonining davomiyligini hisoblash uchun ushbu formulani qo'llash mumkin:

$$B_i = \frac{1}{k_i} \ln \frac{S}{E} \frac{X_{j,i}}{R_j^2}$$

bu erda  $X_{j,i}$  va  $B_{j,i}$  -  $j$  yo'nalishidagi jism shakliga va namlik o'zgarishi  $i$  oraligidagi  $B_{i,m}$  kattaliklarga bog'liq koeffitsientlar.

Lekin, massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti bo'yicha tajriba ma'lumotlari etarli bo'lmagani uchun, ushbu usulning amaliyotda qo'llanilishi ma'lum qiyinchiliklarga duch kelmoqda.

Shuning uchun ekstraktorlarni hisoblash usuli konstentraziya o'zgarishida nazariy pog'onalar sonini aniqlashga asoslangan usul keng qo'lamda ishlatiladi. Hisoblash usuliga f.i.k. ning kiritilishi ko'p pog'onali qurilmalarning haqiqiy pog'onalar soni yoki uzunligini topish imkonini beradi.

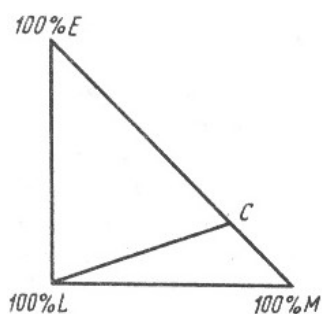
Nazariy pog'onalar sonini uchburchakli diagrammadan foydalanib grafik usulda aniqlashni ko'rib chiqamiz (5.71-rasm).

Hisoblashlar qulay bo'lishi uchun teng tomonli uchburchak o'rniga diagrammani to'g'ri burchakli uchburchak ko'rinishida chizamiz.

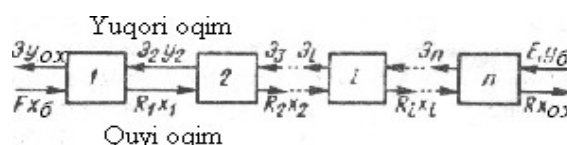
Boshlang'ich qattiq material erimaydigan  $L$  va eriydigan  $M$  komponentdan tarkib topgan bo'lsin va suyuqlik ekstragent  $E$  yordamida ajratib olinsin. Ekstrakstiyalash natijasida ekstragent  $E$  va unda erigan  $M$  moddadan tarkib topgan ekstrakt, hamda erimaydigan modda  $L$  va uning kovaklarida ma'lum miqdorda ekstragent  $E$  da erigan modda  $M$  dan tarkib topgan rafinat hosil bo'ladi.

Uchburchakning har bir tomonidagi nuqta  $L$  va  $M$ ,  $L$  va  $E$ ,  $M$  va  $E$  komponentlardan iborat ikki komponentli aralashmani ifodalaydi. Uchburchak ichidagi har bir nuqta uch komponentli sistemani xarakterlaydi.

Agar, ekstragent  $E$  dagi  $M$  modda to'yingan eritmasining tarkibi gipotenuzasidagi  $S$  nuqta orqali ifodalansa, unda  $LC$  kesma erimaydigan qattiq modda  $L$  bilan  $M$  va  $E$  lar eritmasi aralashmasini xarakterlaydi.



5.71-rasm. "Qattiq jism-suyuqlik" sistemasi uchun uchburchakli diagramma.



5.72-rasm. Ko'p sekciyalı qarama-qarshi yo'nalishli ekstrakciyalash.

Hosil bo'layotgan aralashmalar tarkibi va miqdori, hamda ekstrakt  $E$  va rafinat  $R$  lar orasidagi miqdoriy nisbatlar richag qoidasiga binoan aniqlanadi.

Ko'p sekciyalı qurilmada qarama - qarshi yo'nalishli ekstrakstiyalash jarayonini uchburchakli diagrammada ko'rib chiqamiz (5.72-rasm).

Ekstrakstiyalash qurilmasi  $n$  pog'onadan iborat bo'lsin.

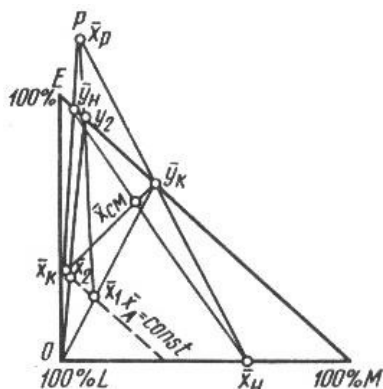
Konstentraziyasi  $x_b$  (mass.ulush) bo'lgan  $F$  (kg/s) miqdordagi boshlang'ich aralashma ekstrakstion qurilmaning birinchi pog'onasiga uzatiladi. Qurilmaning boshqa uchidan  $n$  - pog'onaga  $x_b$  konstentraziyalı  $E$  (kg/s) miqdorda ekstragent yuboriladi. Ekstrakstiya jarayonida hosil bo'layotgan  $x_{ox}$  konstentraziyalı ekstrakt  $E$  (kg/s) va  $x_{ox}$  konstentraziyaga ega bo'lgan rafinat  $R$  (kg/s) qurilmadan uzluksiz ravishda chiqarib turiladi.

Jarayonning moddiy balansini ushbu ko'rinishda yozish mumkin:

$$F \cdot E + R \cdot x_{ox} = F \cdot x_b + R \cdot x_{ox} \quad (5.158)$$

$$F\bar{x}_o \ Ey_o \bullet \ Rx_{ox} \ \mathcal{E}y_{ox} \quad (5.159)$$

Qattiq fazadagi ekstrakstiyalanayotgan modda konstentrastiyasi  $\square x_b$  absstissa o`qiga  $\square u_b$  konstentrastiyani uchburchakli diagrammaning gipotenuzasiga qo`yamiz va ushbu nuqtalarni birlashtiramiz (5.73-rasm).



5.73-rasm. Uchburchakli diagramma.

Hosil bo`lgan chiziqni  $E/F$  nisbatga qarab bo`lsak,  $\square x_{ar}$  ni olamiz. Bu nuqta boshlang`ich aralashma tarkibini ifodalaydi.

Agar, rafinatning tarkibi ma`lum bo`lsa, uchburchakli diagramma gipotenuzasiga qattiq fazaning o`zgarmas tarkibi chizig`ini ( $x_1 = const$ ) parallel qilib o`tkazamiz va unga  $\square x_{ox}$  nuqtani qo`yamiz.

(5.158) va (5.159) tenglamalarga binoan  $\square x_{ox}$ ,  $\square x_{ar}$  va  $\square u_{ox}$  nuqtalar bitta chiziqda yotishi kerak. Shu bilan birga, ekstrakt tarkibini ( $M$  va  $E$  moddalar aralashmasi) ifodalovchi  $\square u_{ox}$  nuqta gipotenuzada yotadi.

Shuning uchun,  $\square u_{ox}$  nuqtani  $\square x_{ox}$  va  $\square u_{ox}$  nuqtalaridan o`tkazilgan to`g`ri chiziqning gipotenuza bilan kesishgan joyi sifatida aniqlanadi.

Biror  $j$  - pog`ona uchun moddiy balans tenglamasi ushbu

ko`rinishiga ega:

$$F \cdot \mathcal{E}_j \bullet R_j \cdot \mathcal{E} \quad (5.160)$$

bundan

$$\tilde{F} \cdot \mathcal{E} \bullet R_j \tilde{\mathcal{E}}_j \quad (5.161)$$

Ekstrakstiyalanayotgan modda bo`yicha moddiy balans esa:

$$\tilde{F}\bar{x}_o \ \mathcal{E}\bar{y}_{ox} \bullet R_j \bar{x}_j \ \mathcal{E}_j \bar{y}_{j1} \quad (5.162)$$

Agar, boshlang`ich qattiq aralashma va ekstrakt sarflarining farqini  $F - E = R$  deb belgilasak, unda:

$$F\bar{x}_o \ \mathcal{E}\bar{y}_{ox} \bullet P\bar{x}_m$$

yoki

$$P \bullet \tilde{F} \cdot \mathcal{E} \bullet R_1 \tilde{\mathcal{E}}_2 \bullet \dots \bullet \tilde{R} \cdot E \quad (5.163)$$

$$P\bar{x}_m \bullet \tilde{F}\bar{x}_o \ \mathcal{E}\bar{y}_{ox} \bullet F_1 \bar{x}_1 \ \mathcal{E}_2 \bar{y}_2 \bullet \dots \bullet R\bar{x}_{ox} \ E\bar{y}_{ox} \quad (5.164)$$

(5.163) va (5.164) tenglamalaridan ko`rinib turibdiki,  $R$  qutbning holati ikki to`g`ri chiziq, ya`ni  $\square x_b$  va  $\square u_{ox}$  nuqtalar, hamda  $\square x_{ox}$  va  $\square u_b$  nuqtalar orqali o`tgan chiziqlar kesishishida hosil bo`lgan nuqta bilan belgilanadi.

Agar,  $R$  qutbning holati topib olinsa, grafik usulda konstentrastiya o`zgarishining nazariy pog`onalar sonini aniqlash mumkin. Buning uchun  $\square u_{ox}$  nuqtani koordinatalar boshi (nuqta 0) bilan birlashtiramiz va  $\square x_A = const$  chiziqda kesishish nuqtasi  $\square x_1$  topamiz.

(5.163) va (5.164) tenglamalardan ma`lumki,

$$P \bullet R_1 \tilde{\mathcal{E}}_2$$

$$P\bar{x}_m \bullet R_1 \bar{x}_1 \ \mathcal{E}_2 \bar{y}_2$$

Shuning uchun,  $\square u_2$  nuqtani  $\square x_m$  va  $\square x_1$  nuqtalar orqali o`tkazilgan to`g`ri chiziqning uchburchak gipotenuzasi bilan kesishgan joyi sifatida topamiz.  $\square x_2$  nuqta topish uchun  $\square u_2$  nuqtani koordinatalar boshi bilan birlashtirish kerak. Ushbu  $\square x_2$  nuqta o`tkazilgan chiziq va  $\square x_A = const$  chiziqlarning kesilish joyida yotadi. Xuddi shunday qurishlar rafinat konstentrastiyasi  $\square x_{ox}$  qiymatiga teng bo`lmaguncha davom ettiriladi. Koordinatalar boshini  $\square x_1$ ,  $\square x_2$ ,  $\square x_3$ , ...,  $\square x_{ox}$  nuqtalar bilan birlashtiradigan chiziqlar ekstrakstiya jarayonining nazariy pog`onalar sonini xarakterlaydi.

## ADSORBSIYA

### 5.30. Umumiy tushunchalar

Gaz aralashmalari gaz yoki bug'larni yoki eritmalaridan erigan moddalarni qattiq, g'ovaksimon jism yordamida yutish jarayoni **adsorbstiya** deb nomlanadi. Yutilayotgan modda **adsorbktiv**, yutuvchi modda esa – **adsorbent** deb ataladi.

Adsorbstiya jarayonining o'ziga xosligi shundaki - u selektiv va qaytar jarayondir. Jarayonning qaytar bo'lishligi tufayli adsorbent yordamida bug` – gaz aralashmalaridan bir yoki bir necha komponentlarni yutish, so'ng esa maxsus sharoitda ularni adsorbentdan ajratib olish mumkin.

Adsorbstiyaga teskari jarayon **desorbtsiya** deb nomlanadi. Adsorbstiya jarayoni xalq xo'jaligining turli sohalarida keng tarqalgan bo'lib, gazlarni tozalash va qisman quritish, eritmalarini tozalash va tindirish, bug` - gaz aralashmalarini ajratish uchun ishlatiladi.

Kimyo sanoatda adsorbstiya quyidagi jarayonlarni: gazlar va eritmalarini tozalash va quritishda, eritmalaridan qimmatbaho moddalarni ajratib olishda, neft va neft mahsulotlarini tozalashda, neftni qayta ishlashda hosil bo'ladigan gaz aralashmalaridan aromatik uglevodorodlarni (etilen, vodorod, benzin frakstiyalaridan aromatik uglevodorodlarni) ajratib olishda ishlatiladi.

Oziq - ovqat sanoatida esa qand qiyomi va diffuzion sharbatlarni tozalashda, pivo va mevalar sharbatlarini tindirish, vino, konyak, aroq va spirlarni organik va boshqa birikmalardan tozalash, kraxmalpatoka sanoatida qiyomlarni tozalashda qo'llaniladi.

Adsorbstiya jarayon 2 xil bo'ladi, ya'ni fizik va kimyoviy adsorbstiya. Agar, adsorbent va adsorbktiv molekulalarining o'zaro tortishishi Van-der-Vaals kuchlari ta'siri ostida sodir bo'lsa, bunday jarayon **fizik adsorbstiya** deb nomlanadi.

Fizik adsorbstiya jarayonida adsorbent va adsorbktivlar o'rtasida kimyoviy o'zaro ta'sir bo'lmaydi.

Adsorbstiya jarayonida bug'larning yutilishi paytida ular kondensastiyalanadi, ya'ni adsorbent kovaklari suyuqlik bilan to'lib qoladi. Boshqacha qilib aytganda, adsorbentda kapillyar kondensastiya ro'y beradi.

**Kimyoviy adsorbstiya** yoki **xemosorbstiya** adsorbent va yutilgan modda molekulalari orasida kimyoviy bog'lar hosil bo'lishi bilan xarakterlanadi. Bu albatta kimyoviy reakstiyaning natijasidir. Undan tashqari, xemosorbstiya jarayonida kimyoviy reakstiya tufayli katta miqdorda issiqlik ajralib chiqadi. Odatda adsorbstiya jarayonida ajralib chiqadigan issiqlik **adsorbstiya issiqligi** (J/kg) deb nomlanadi va u tajribaviy usulda yoki quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$r = \frac{19,16 \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \quad (5.165)$$

bu erda  $p_1$  va  $p_2$  - tegishli absolyut temperaturalar  $T_1$  va  $T_2$  larda adsorbent ustidagi yutilayotgan moddaning muvozanat bosimlari.

Shunday qilib, xemosorbstiya jarayoni yuqori temperaturada kichik tezliklarda sodir bo'ladi.

Adsorbstiya jarayonining selektivligi adsorbent va yutilayotgan komponentning konstentrastiyasiga temperaturaga, tabiatiga va gazlar yutilayotganda bosimga bog'liqdir.

Undan tashqari, jarayon tezligi adsorbentlarning solishtirma yuza kattaligiga ham bog'liq.

### 5.31. Adsorbentlar turlari va xarakteristikalar

Ma'lumki, xalq xo'jaligining turli sohalarida qo'llaniladigan adsorbentlar iloji boricha katta solishtirma yuzaga ega bo'lish kerak. Kimyo, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda faollangan ko'mir, silikagellar, alyumogellar, seolitlar, stellyuloza, ionitlar, mineral tuproq (bentonit, diatomit, kaolin) va boshqa materiallar adsorbent sifatida ishlatiladi. Albatta, adsorbentlar mahsulot bilan bevosita ta'sirda bo'lgani uchun zararsiz, mustahkam, zaharlimas va mahsulotni iflos qilmasligi kerak.

Adsorbentlar moddaning massa birligiga nisbatan juda katta solishtirma yuzali bo'ladi. Uning ichidagi kapillyar kanallari o'lchamiga qarab 3 guruhga bo'linadi, ya'ni makrokovakli ( $>2 \cdot 10^{-4}$ mm), oraliq kovakli ( $6 \cdot 10^{-6} \dots 2 \cdot 10^{-4}$ mm) va mikrokovakli ( $2 \cdot 10^{-6} \dots 6 \cdot 10^{-6}$ mm) bo'ladi. Shuni ta'kidlash kerakki, adsorbstiya jarayonining xarakteri ko'p jihatdan kovaklar o'lchamiga bog'liq.

Adsorbent yuzasida yutilayotgan komponent molekulalarining miqdoriga qarab bir molekulari qatlam (monomolekulali adsorbstiya) va ko'p molekulari qatlam (polimolekulali adsorbstiya) hosil qilish mumkin.

Adsorbentlarning yana bir muhim xarakteristikasi shundaki, bu uning yutish qobiliyati yoki faolligidir. Adsorbent faolligi uning birlik massasi yoki hajmida komponent yutish miqdori bilan belgilanadi. Yutish qobiliyati 2 xil, ya'ni statik va dinamik bo'ladi. Adsorbentning statik yutish qobiliyati massa yoki hajm birligida maksimal miqdorda modda yutishi bilan belgilanadi.

Dinamik yutish qobiliyati esa, adsorbent orqali adsorbentiv o'tkazish yo'li bilan aniqlanadi.

Adsorbentlarning komponent yutish qobiliyati temperatura, bosim va yutilayotgan modda konsentrastiyasiga bog'liq. Ushbu sharoitlarda adsorbentning maksimal yutish qobiliyati muvozanat faolligi deb nomlanadi.

Adsorbentlar zichligi, ekvivalent diametri, mustahkamligi, granulometrik tarkibi, solishtirma yuza kabi xossalari bilan xarakterlanadi. Sanoatda ko'pincha granula (2...7 mm) ko'rinishidagi yoki o'lchamlari 50...200 mkm bo'lgan kukunsimon adsorbentlardan foydalaniladi.

**Faollangan ko'mirlar** odatda tarkibida uglerod bor yog'och, torf, hayvonlar suyagi, toshko'mir kabi mahsulotlarni quruq haydash yo'li bilan olinadi. Ko'mir faolligini oshirish uchun unga 900°S dan ortiq temperaturada havosiz termik ishlov beriladi. Bunda, material kovaklaridagi smolalar ekstragent yordamida ekstrakstiya qilib olinadi.

Faollangan ko'mirlarning solishtirma yuzasi - 600...1750 m<sup>2</sup>/g, to'kma zichligi - 250...450 kg/m<sup>3</sup>, mikrokovaklar hajmi - 0,23...0,7 sm<sup>3</sup>/g. Undan tashqari, ular tarkibida juda kam miqdorda (<8%) kul bo'ladi. Yana shuni ta'kidlash kerakki, havoda 300°S temperaturada faollangan ko'mir yonadi.

Faollangan ko'mirning mayda kukunlari 200°S ga yaqin temperaturada yonadi va konsentrastiyasi 17...24 g/sm<sup>3</sup> bo'lganda havo tarkibidagi kislorod bilan portlovchi birikma hosil qiladi.

Adsorbentiy jarayonida tozalashning samaradorligi adsorbentning g'ovaksimon tuzilishiga bog'liq bo'lib, bunda mikrokovak asosiy rol o'ynaydi. Faollangan ko'mirlar adsorbent bo'shlig'ining chegaraviy hajmi 0,3 sm<sup>3</sup>/g ligi tozalash jarayonida qo'llash tavsiya etiladi. Ma'lumki, mikrokovaklar o'lchami katalitik reaksiyalar tezligini belgilaydi. Mikrokovak o'lchami 0,8...1,0 mkm bo'lgan faollangan ko'mirlar optimal deb hisoblanadi.

Spirt va liker-arog ishlab chiqarish sanoatida oq qayin BAU, buk kabi yog'ochlardan olingan faollangan ko'mir, spirt-rektifikatlarni aldegid, keton, murakkab efir, karbon kislotalar va yuqori molekulari birikmalardan tozalashda ishlatiladi. Undan tashqari, mevalar sharbati va pivoni tindirish uchun ham ishlatish mumkin. Qand sharbatini tindirish uchun esa suyak ko'miri asosida olingan ko'mirlar qo'llaniladi. Qand sharbati, konyak, vino, meva sharbatlari, efir yog'lari, jelatinni tozalash uchun mayda donasimon faollangan ko'mir - dekolar ishlatiladi. Ayrim hollarda, faollangan ko'mirlar tozalash bilan birga hid, yoqimsiz ta'm, kolloid va boshqa qo'shimcha aralashmalarni ham yo'qotadi.

**Silikagellar** - bu kremniy kislotaga gelining suvsizlantirilgan mahsulotidir. Ushbu adsorbentlar natriy silikat eritmalariga kislotaga yoki ular tuzlarining eritmalarini ta'siri natijasida olinadi. Silikagellarning solishtirma yuzasi 400...780 m<sup>2</sup>/g, to'kma zichligi esa - 100...800 kg/m<sup>3</sup>. Silikagel granulari 7 mm gacha bo'lishi mumkin. Silikagellar asosan suv bug'ini yutish, gazlarni quritish, pivo yoki meva sharbatlarini tozalash uchun qo'llaniladi. Bu adsorbent boshqa adsorbentlarga qaraganda yonmaydi, mexanik jihatdan mustahkam bo'ladi.

**Seolitlar** - tabiiy va sun'iy mineral holatida bo'lib, alyumosilikatning suvli birikmasi. Ushbu adsorbent suvda va organik erimlarda erimaydi. Sun'iy seolit kovaklari o'lchami sorbstiyalanayotgan molekula o'lchamiga yaqin bo'lgani uchun, kovaklarga kiriyotgan molekularni adsorbentiy qila oladi. Bu turdagi seolitlar molekulyar elaklar deb nomlanadi. Seolitlarning ayrim turlari sharbatlarni konsentrlash uchun ishlatiladi.

Seolitlar yuqori yutish qobiliyatiga ega bo'lgani uchun, gazlarni va suyuqliklarni qisman quritish yoki suvsizlantirish uchun ham qo'llaniladi. Seolitlar, ko'pincha 2...5 mm diametrligina granula ko'rinishida ishlab chiqariladi.

**Tuproqlar va tabiiy tuproqsimon adsorbentlar** qatoriga bentonit, diatomit, gumbrin, askanit, murakkab kimyoviy tarkibli yuqori dispers sistemalar SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO va boshqa metall oksidlari kiradi. Tabiiy tuproqlar faolligini oshirish uchun ular sulfat va xlorid kislotalar bilan qayta ishlanadi. Natijada kalstiy, magniy, temir, alyuminiy va boshqa metal oksidlari chiqarib yuborilishi tufayli qo'shimcha kovaklar hosil bo'ladi.

Bu tuproqlar solishtirma yuzasi 20...100 m<sup>2</sup>/g, kovaklar o'rtacha radiusi 3...10 mkm bo'ladi.

Kation almashinish sig'imi ortishi bilan tuproqlarning tozalash qobiliyati ko'payadi. Odatda, tuproqlar suyuqlik muhitlarni tozalash uchun ishlatiladi, masalan, rangli moddalarni qayta ishlash natijasida mahsulot oqaradi. Shuning uchun, ayrim hollarda tuproqli adsorbentlar oqartiruvchi tuproq deb ham ataladi.

Oziq-ovqat sanoatida tuproqsimon adsorbentlar vino, pivo, meva sharbatlari, o'simlik yog'larini rafinastiyaga qilish va boshqa maqsadlarda ishlatiladi. Pivoni tozalash uchun esa, sirt faol bentonitdan keng ko'lamda foydalaniladi. Masalan, natriyli bentonit vinoni na faqat tozalaydi va mo'tadillaydi, balki uni etilish jarayonini tezlashtiradi va muddatini qisqartiradi.

### 5.32. Adsorbtsiya jarayoni muvozanati

Adsorbtsion kuchlar tabiatidan qat'iy nazar, adsorbentning massa yoki hajm birligida yutilgan modda miqdori, yutilayotgan modda tabiati, temperatura, bosim va fazadagi aralashma miqdoriga bog'liq.

Jarayondagi qattiq va gaz yoki suyuqlik fazalarida yutilayotgan moddaning muvozanat konstantrastiyalari o'rtasida quyidagi bog'liqlik bor:

$$x_m \bullet f_1 y \quad \text{yoki} \quad \bar{x}_m \bullet f_2 p \quad (5.166)$$

bu erda  $x_m$  - adsorbentda yutilgan modda (adsorbktiv) konstantrastiyasi, ya'ni gaz yoki suyuqlik fazalaridagi adsorbktivning muvozanat konstantrastiyasi, kg adsorbktivning 1 kg adsorbentga nisbati;  $y$  - bug' yoki suyuqlik fazadagi adsorbktiv konstantrastiyasi, kg adsorbktivning 1 kg inert qismiga nisbati;  $p$  - bug'-gaz aralashmadagi adsorbktivning muvozanat bosimi, N/m<sup>2</sup>.

(5.166) tenglama bilan ifodalanuvchi bog'liqliklar **adsorbtsiya izotermalari** deb nomlanadi.

Kimyoviy termodinamika asosida adsorbtsiya izotermalarining aniq ifodalari topiladi:

Lengmyur izotermalari

$$x_m \bullet \frac{abp}{1 + ap} \quad (5.167)$$

yoki Freydlis izotermalari

$$x \bullet k p^n \quad (5.167a)$$

bu erda  $x_m$  - adsorbent bilan yutilgan modda konstantrastiyasi, kg 1 kg adsorbentga;  $a, b, k, n$  - tajribaviy usul bilan aniqlanadigan konstantalar.

Temperatura pasayishi, bosim ortishi va fazalarda qo'shimcha aralashmalar bo'lmasa, adsorbtsiya jarayoni tezlashadi.

Adsorbtsiya izotemasining turi ko'pgina omillarga: adsorbentning solishtirma yuzasi, kovaklar hajmi, adsorbent tuzilishi, yutilayotgan modda xossalari va jarayon temperaturasiga bog'liq.

5.74-rasmda asosiy 5 xil izotermalar turi keltirilgan.

Rasmdagi 1 egri chiziq mikrokovakli adsorbentga oid. 2 va 4 egri chiziq boshlanishidagi bo'rtiqlik ham mikrokovaklar bilan bog'liq. Izotermalarning keyingi qismi yo'nalishini polimolekulyar adsorbtsiya va kapillyar kondensatsiya belgilaydi. 3 va 5 egri chiziq botiq qismi "adsorbent-adsorbktiv" sistemada adsorbktiv bilan adsorbent molekularining o'zaro ta'sir kuchlari adsorbktiv molekularining o'zaro ta'sir kuchlaridan kam bo'lgan holatini xarakterlaydi. Bu turdagi izotermalar juda kam uchraydi.

Adsorbtsiya jarayonida bug' yoki suyuqlik fazadan bir necha modda adsorbtsiyalanayotganda, hamma moddalar yutilishi aniqlangan. Lekin, har bir moddaning muvozanat konstantrastiyasi har bir moddani alohida adsorbtsiyalashdagi konstantrastiyasiga qaraganda kam bo'ladi.

Adsorbtsiya jarayonining bir necha nazariyasi mavjud bo'lib, ularning har biri ma'lum sharoitdagi tajriba natijalarini ifodalaydi.

Dubin M.M. nazariyasiga binoan, mikrokovakli adsorbent ishtirokida o'tkazilayotgan adsorbtsiya jarayoni mikrokovaklarni adsorbktiv bilan to'ldirilishi deb qaraladi. Juda katta temperaturalar oralig'ida gaz va bug'lar adsorbtsiyasi uchun keltirib chiqarilgan tenglamalar adsorbktiv muvozanat konstantrastiyasining adsorbent kovaklari tuzilishiga bog'liqligini xarakterlaydi. Bunday tenglamalar murakkabdir.

Prof. Dubinin M.M. tomonidan olingan tenglamalardan biri quyidagi ko'rinishga ega:

$$x_m \bullet \frac{V_c}{V} \exp \left( \frac{\Delta H}{RT} - \frac{P}{P_0} \right) \quad (5.168)$$

bu erda  $V$  - adsorbent kovaklari hajmining yig'indisi;  $V_c$  - suyuqlik holatidagi yutilgan modda hajmi;  $V$  - adsorbent tuzilishiga bog'liq konstanta;  $T$  - bug'ning absolyut temperaturasi;  $P_0$  - biror adsorbent va standart kovaklardagi

suyuqlik holatidagi mol hajmlariga teng bo'lgan affinlik koeffitsienti;  $R$  - adsorbktiv to'yinish bug'ining bosimi;  $r$  - adsorbstiya temperaturasiidagi adsorbktiv bug'ining parstial bosimi.

Adsorbtsiya jarayonida boshlang'ich aralashmada yutilayotgan modda bug'ining bosimi kamayadi va issiqlik ajralib chiqadi. Shuning uchun Le-Shatele prinsipiga binoan, temperatura pasayishi va bosim ortishi bilan adsorbtsiyalanayotgan modda miqdori ko'payib boradi. Shunday qilib, bosim pasayishi va temperatura ortishi teskari - desorbtsiya jarayonini tezlashtiradi.

Adsorbtsiya jarayonida ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori ( $kJ/kmol$ ) tajribaviy usul bilan aniqlanadi. Tajribaviy ma'lumotlar yo'q bo'lsa, ajrab chiqayotgan issiqlik miqdori (5.165) tenglama yordamida hisoblanishi mumkin.

### 5.33. Adsorbtsiya statikasi va kinetikasi

Adsorbtsiya jarayoni boshqa qattiq fazali sistemalarda massa almashinish jarayonidan (mexanizmi) farq qilmaydi.

Umumiy holatda adsorbentda yutilayotgan moddaning diffuziya jarayoni (5.24) kriterial tenglamasi yordamida ifodalanadi:

$$\frac{\tilde{x} - x_m}{x - x_m} = f(Bi_D, Fo_D)$$

Qo'zg'almas adsorbent qatlamiga yutilayotgan moddaning boshlang'ich konstantriyasi  $u$  bo'lgan oqim uzluksiz ravishda uzatilish holatini ko'rib chiqamiz.

Adsorbent qatlami orqali oqim aralashmasdan, ideal siqib chiqarish rejimida harakatlanmoqda deb faraz qilamiz.

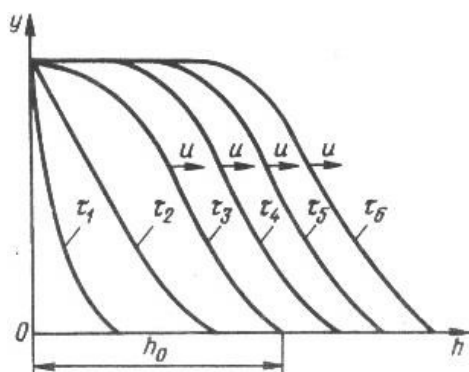
Ma'lum vaqt o'tgandan so'ng, adsorbent qatlamining boshlang'ich qismi tezda to'yinadi va adsorbtsivni adsorbtsiya qilishi to'xtaydi. Natijada, yutilayotgan modda konstantriyasi o'zgarish qatlamning boshlang'ich qismidan o'tib ketadi va adsorbtsiya zonasi yuqoriga qarab ko'tarilib boradi. Adsorbent qatlami balandligi bo'yicha adsorbtsivning tarqalishi ravon va adsorbtsiya ko'lami hosil bo'ladi (5.75-rasm). Ushbu rasmda

vaqtlarda adsorbent qatlami balandligi  $h$  bo'yicha adsorbtsiv nisbiy konstantriyasining taqsimlanish egri chiziqlari keltirilgan. Shuni ta'kidlash kerakki bu erda -jarayon boshlanishidan o'tgan vaqt.

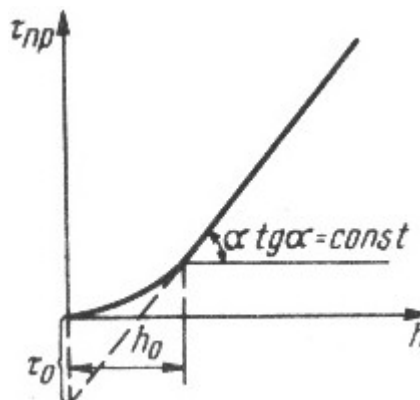
Jarayon davomida biror vaqt o'tishi bilan adsorbtsiya ko'lami o'zgarmaydi. Adsorbtsiya jarayonida adsorbtsiv qatlamining to'yinish paytigacha ishlash vaqti, adsorbtsiya ko'laminin tashkil etish davri deb nomlanadi. Adsorbentning butun qatlami bo'yicha adsorbtsiya zonasi vaqt o'tishi bilan qatlamda adsorbtsiv konstantriyasi ravon o'zgaradi. Natijada, adsorbtsiya ko'lami qandaydir o'zgarish tezlik bilan siljiydi. Adsorbtsivning "o'tib ketishiga" to'g'ri keladigan vaqtdan boshlab adsorbent qatlamining adsorbtsion yoki himoyalovchi ta'siri tamom bo'ladi.

Adsorbent qatlamidan adsorbtsivning "o'tib ketish" vaqtiga mos keladigan o'rtacha konstantriyasi qatlamning dinamik faolligi deb ataladi.

Adsorbtsiya jarayoni boshlanishidan muvozanat holatigacha adsorbent massasi birligida yutilgan modda miqdori adsorbentning statik faolligi deyiladi. Ma'lumki, dinamik faollik har doim statik faollikdan kichik bo'ladi. Demak, adsorbentning sarfi uning dinamik faolligiga qarab tanlanadi. Adsorbent qatlami ishlatilishining frontal (qatlaml) modeli prof. Shilov I.A. tomonidan yaratilgan.



5.75-rasm. Adsorbtsiya ko'laminin o'zgarish shemasi.



5.76-rasm. Himoyalovchi ta'sir davomiyligining adsorbent qatlami balandligiga bog'liqligi.

Yutilayotgan modda konstantriyasi boshlang'ichdan "o'tib ketish" konstantriyasigacha

o'zgarayotgan adsorbent qatlamining  $h_0$  qismi ishchi qatlam deyiladi. Ushbu jarayonga to'g'ri keladigan vaqt -

himoya qilish vaqti deyiladi.

Prof. Shilov I.A. tomonidan o'zgaras tezlik  $u$  da adsorbtsiya ko'lamining siljishini ifodalash uchun tegishli formulasi keltirib chiqarilgan. Adsorbtsiya yoki himoyalovchi ta'sir vaqtini ushbu tenglamadan topish mumkin:

$$k\tilde{h} = \frac{h}{u} \quad (5.169)$$

bu erda  $k=1/u$  - qatlamni himoyalovchi ta'sir koeffitsienti;  $\tilde{h}$  - qatlamni himoyalovchi ta'sir vaqtining yo'qotilishi.

(5.169) tenglamadagi kattaliklar tajribaviy yo'l bilan aniqlanadi va ularning grafik tasviri 5.76-rasmda ko'rsatilgan. Egri chiziq to'g'ri qismining qiyalik burchak tangensi ( $tg \alpha = k$ ) qatlamning himoyalovchi ta'siri koeffitsientiga teng. Ordinata o'qi davomi bilan egri chiziqning to'g'ri qismining kesishgan joyidagi kesma esa, himoyalovchi ta'sir vaqti yo'qotilishi  $\tilde{h}_0$  ga tegishli.

Adsorbtsiya ko'lamining siljish tezligini hisoblash uchun quyidagi tenglama tavsiya etiladi:

$$u = w_0 \frac{y}{x_m} \quad (5.170)$$

bu erda  $w_0 = w_{\text{ad}} \cdot \tilde{h}$  - oqimning soxta tezligi ( $w_{\text{ad}}$  - adsorbent zarrachalari orasidagi kanallarda oqimning tezligi;  $\tilde{h}$  - adsorbent qatlamining g'ovakliligi);  $x_m$  - oqimdagi adsorbtsiyaning hajmiy konstantriyasi  $u_n$  bilan muvozanatdagi adsorbent qatlamidagi adsorbtsiy konstantriyasi.

Adsorbent qatlami balandligi  $h_0$  massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan aniqlanadi:

$$h = \frac{u \cdot m_y}{K_{uv}} \quad (5.171)$$

bu erda  $m_y = 0,9 u_{\text{ad}} / u_{\text{uv}}$  - gaz yoki suyuqlik faza o'tkazish birligining umumiy soni;  $K_{uv}$  - massa o'tkazish koeffitsientining hajmiy koeffitsienti.

Massa o'tkazishning hajmiy koeffitsienti ushbu formuladan aniqlanadi:

$$K_{yv} = \frac{1}{1 + \beta_{yv} \cdot m} \quad (5.172)$$

bu erda  $\beta_{uv}$  va  $\beta_{yv}$  - suyuq va qattiq fazalarda hajmiy massa berish koeffitsientlari;  $m$  - muvozanat chizig'i qiyalik burchagining o'rtacha tangensi.

Adsorbtsiya jarayonining tezligi adsorbtsiya izotermalari shakli, adsorbent va qatlami tabiati va geometrik xarakteristikalarini, adsorbtsiy konstantriyasi, suyuqlik fazasi tezligi, hamda massa berishning tashqi tezligi (gaz yoki suyuqlik fazasidagi massa berish koeffitsienti) yoki ichki massa o'tkazish qarshiligining tezligi bilan belgilanadi.

Adsorbtsiya jarayonida ichki va tashqi fazaviy tezliklar **Bio (Bi)** kriteriyasi bilan ifodalanadi. Agar,  $Bi \geq 30$  bo'lsa, jarayon tezligi adsorbent zarrachalarining ichidagi massa o'tkazuvchanlik tezligi bilan belgilanadi.  $Bi < 0,1$  bo'lganda esa, jarayonning tezligi gaz yoki suyuqlik fazalaridagi tashqi diffuziyaning tezligi bilan aniqlanadi. Lekin, adsorbtsiya jarayonining tezligiga bu ikkala fazaviy diffuziya tezliklari har birini ta'sirini miqdoriy jihatdan alohida aniqlash qiyin.

Donador adsorbent qatlamining massa berish koeffitsientini aniqlash uchun quyidagi formulalardan foydalanish mumkin:

laminar rejimda ( $Re < 30$ ):

$$Nu_D = 0,883 Re^{0,47} Pr_D \quad (5.173)$$

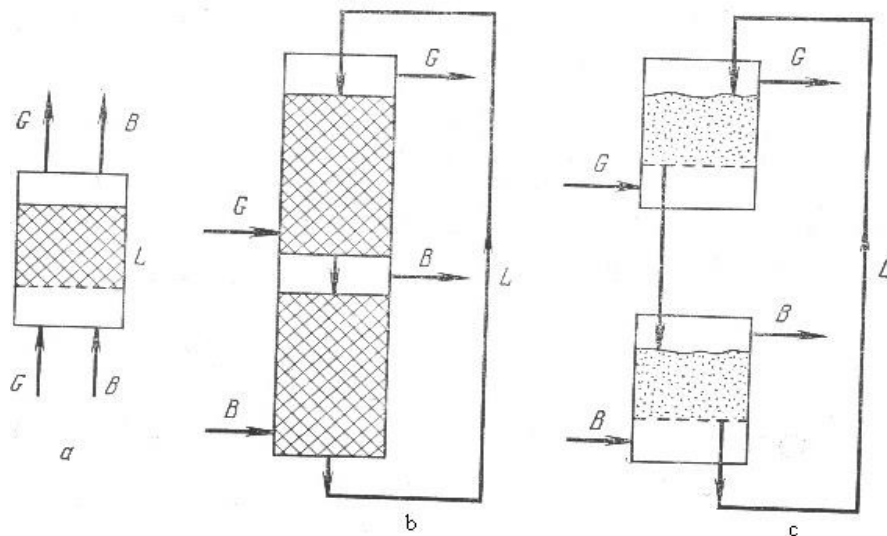
turbulent rejimda esa ( $Re = 30 \dots 150$ ):

$$Nu_D = 0,53 Re^{0,54} Pr_D \quad (5.174)$$

(5.173) va (5.174) tenglamalardagi  $Nu_D$  va  $Re$  kriteriyalarida aniqlovchi geometrik o'lcham sifatida ekvivalent diametr  $d_e$  hisoblanadi.  $Nu_D = \beta_{uv} d_e / D$  - Nusselt diffuzion kriteriyasi;  $Re = w_0 d_e / \nu$  - Reynolds kriteriyasi;  $Pr_D = \nu / D$  - Prandtl diffuzion kriteriyasi;  $D$  - gaz yoki suyuqlik fazadagi diffuziya koeffitsienti;  $w_0$  - oqimning soxta tezligi;  $\nu$  - oqimning kinematik qovushoqligi.

### **5.34. Adsorbstiya jarayonini tashkil etish usullari**

Adsorbtsiya jarayonini tashkil etish sxemalari 5.77-rasmda keltirilgan. Donador adsorbentlar uchun qo'zg'almas (*a*) va harakatchan (*b,v*) qatlamli sxemalar ishlatiladi.



**5.77-rasm. Adsorbtsiya jarayonining principial shemalari.**

- a - qo'zg'almas donador adsorbentli;
- b - harakatchan donador adsorbentli;
- c - sirkulyatsiyali, mavhum qaynash qatlamli.

Birinchi holatda jarayon davriy bo'ladi. Dastavval adsorbent qatlami  $L$  orqali bug'-gaz aralashmasi  $G$  o'tkaziladi va u yutilayotgan modda bilan to'yintiriladi; undan so'ng siqib chiqaruvchi modda  $V$  yuboriladi yoki adsorbent qizdiriladi. Ana shunday yo'l bilan adsorbent qayta tiklanadi, ya'ni desorbtsiya jarayoni sodir bo'ladi.

Ikkinchi holatda adsorbent  $L$  yopiq sistemada stirkulyatsiya qiladi (5.77b-rasm); adsorbentning to'yinishi qurilmaning yuqori - adsorbtsion - zonasida, qayta tiklanish esa - pastki desorbtsion zonasida yuz beradi.

Agar, adsorbent kukun, changsimon ko'rinishda bo'lsa, stirkulyatsiyali, mavhum qaynash qatlamli sxema qo'llaniladi (5.77.c-rasm).

### 5.35. Desorbtsiya

Ma'lumki, adsorbtsiya jarayoni aralashmalarni ajratish uchun qo'llaniladi va har doim desorbtsiya jarayoni bilan ketma-ket o'tkaziladi.

Odatda, adsorbentni qayta ishlatish maqsadida unga yutilgan modda desorbtsiya qilib ajratib olinadi. Buning uchun ko'pincha suv bug'i ishlatiladi. Desorbtsiya natijasida olingan adsorbtsiv va suv bug'i aralashmasi kondensatorga yo'llaniladi. Unda, mahsulot suvdan cho'ktirish usulida ajratib olinadi.

Sanoatda desorbtsiyaning bir necha usuli qo'llaniladi.

a) adsorbentga yutilgan komponentlar yutiluvchi moddalarga nisbatan yuqori adsorbtsion qobiliyatga ega bo'lgan eltkichlar yordamida siqib chiqariladi;

b) adsorbent qatlamini qizdirish yo'li bilan nisbatan yuqori uchuvchanlikka ega yutilgan komponentlarni bug'latish.

Ayrim hollarda adsorbtsiya jarayonida hosil bo'lgan smola va boshqa mahsulotlarni tozalash uchun ushbu komponentlar kuydiriladi.

Desorbtsiyaning u yoki bu usulini ko'llash texnik-iqtisodiy maqsaddan kelib chiqqan holda tanlanadi. Ikkala usul ham amaliyotda keng ishlatiladi va ko'pincha birgalikda qo'llaniladi.

Adsorbtsiya jarayoni tugagandan so'ng, adsorbent qatlamidan toza bug' yoki gaz o'tkaziladi va yutilgan modda ajratib olinadi. Desorbtsiya jarayonini jadallashtirish uchun yuqori temperaturadagi desorblovchi eltkich adsorbent qatlamidan o'tkaziladi.

Desorblovchi eltkich sifatida suv va organik moddalar bug'lari, hamda inert gazlarni qo'llash mumkin. Desorbtsiya jarayoni tugagandan so'ng adsorbent qatlami odatda quritiladi va sovutiladi. Qayta tiklash jarayonida faollangan ko'mirga yutilgan uchuvchan erituvchilar to'yingan suv bug'i yordamida desorbtsiya qilinadi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, yutilgan moddaning asosiy qismi desorbtsiya jarayonining boshida ajratib olinadi. Jarayon oxiriga borib, uning tezligi pasayadi, ammo yutilgan komponent birligiga suv bug'ining sarfi juda ko'payib ketadi. Shuning uchun suv yoki boshqa organik modda bug'larini tejash maqsadida, desorbtsiya jarayoni oxirigacha olib borilmaydi. Shu sababli, yutilgan komponentning bir qismi adsorbentda

qolib ketadi.

Desorbsiya jarayoni davomida isituvchi bug'ning bir qismi butun sistemani isitishga, adsorbentda yutilgan moddani desorbsiyalash va atrof muhitga yo'qotilgan issiqlikni kompensatsiya qilishga sarflanadi. Lekin, shuni nazarda tutish kerakki, isituvchi bug'ning hammasi adsorbentda butunlay kondensastiyalanadi.

Adsorbent qatlamidagi desorbsiyalangan moddalar dinamik bug' yordamida puflab chiqarilaydi. Dinamik bug' adsorbentda kondensastiyalanmaydi va qurilmadan desorbsiyalangan moddalar bilan birga uchib chiqadi.

Tahminiy hisoblarga ko'ra, 1 kg moddani desorbsiyalash uchun 3...4 kg dinamik bug' sarflanadi. Seolitalarni qayta tiklash uchun ko'pincha qizdirilgan quruq gaz qo'llaniladi. Desorbsiya jarayoni adsorbtsiya kabi qo'zg'almas, harakatchan va mavhum qaynash qatlamlarida olib boriladi.

### 5.36. Adsorberlar konstruktsiyalari

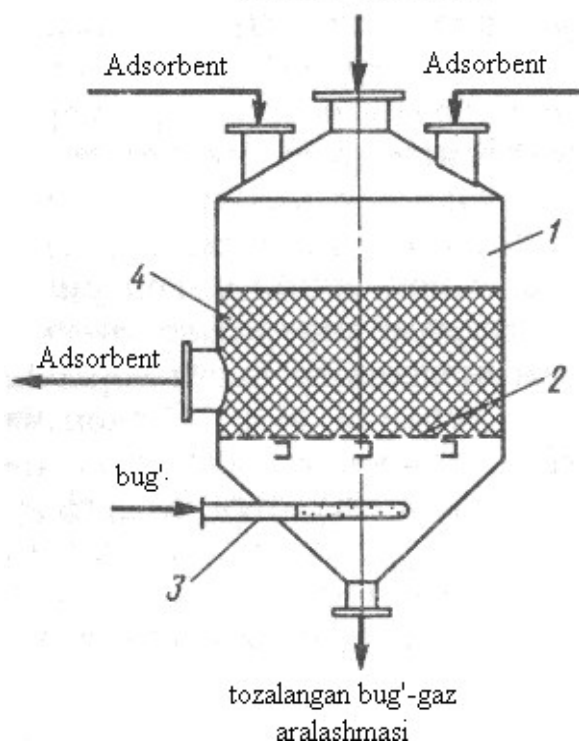
Jarayonni tashkil etish bo'yicha adsorberlar 2 guruhga bo'linadi: davriy va uzluksiz.

**Davriy adsorberlar** qo'zg'almas va mavhum qaynash qatlamli bo'ladi.

**Vertikal stilyndrik adsorber** - davriy ishlaydigan adsorberlarning eng ko'p tarqalgan konstruktsiyasidir (5.78-rasm).

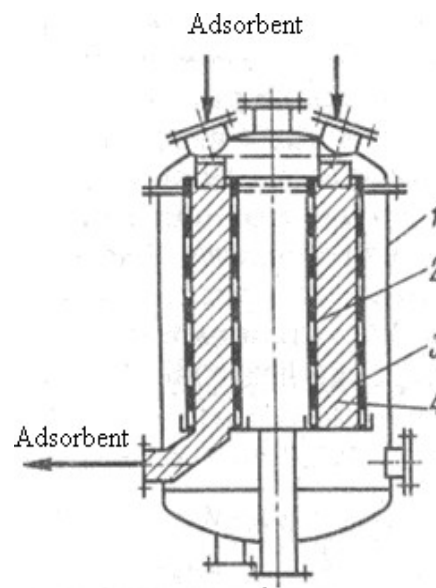
Kolosnikli panjara 2 ga qurilma tepa qismidagi lyuklar orqali adsorbent granulari yuklanadi. Qurilmaning pastki qismidagi lyuklar orqali esa, ishlatib bo'lingan adsorbent to'kiladi. Bu turdagi adsorberlar bug'-gaz aralashma va suyuqlik eritmalarini tozalash uchun ishlatiladi. Boshlang'ich aralashma va o'tkir bug'ni uzatish uchun adsorberda tegishli shtusterlar o'rnatilgan. Odatda, boshlang'ich eritma adsorberning halqasimon trubasi 3 orqali pastdan yuqoriga harakatlantiriladi. Bug'-gaz aralashmasi esa, yuqoridan pastga qarab uzatilishi mumkin. Bunday qurilmalarda, desorbsiya jarayonida o'tkir bug' halqasimon truba 3 orqali yuboriladi.

bug'-gaz aralashmasi



5.78-rasm. Qo'zg'almas qatlamli adsorber.

1-qobiq; 2-kolosnikli panjara; 3- halqasimon truba; 4-adsorbent



5.79-rasm. Halqasimon adsorbent qatlamli adsorber.

1-qobiq; 2,3-ichki va tashqi cilindsimon panjara; 4-adsorbent

Bu turdagi adsorberlarda adsorbtsiya jarayoni 4 bosqichda o'tadi: adsorbtsiya, desorbsiya, quritish va adsorbentni sovitish. Jarayon tugagandan so'ng, ishlatilib bo'lingan adsorbentni qayta tiklash masalasi paydo bo'ladi. Adsorbentdan yutilgan moddani desorbsiyalash texnologik jarayonning zarur bosqichidir. Ushbu bosqichda birdaniga ikkita masala echiladi: adsorbentni qayta tiklash va moddani ajratib olish.

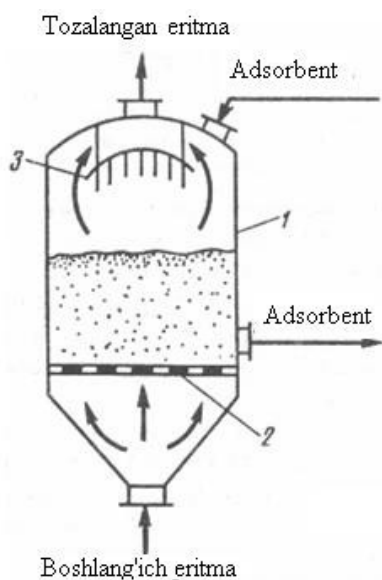
Desorbsiyalashning asosiy usuli bu to'yingan suv bug'i yordamida adsorbentdan yutilgan komponentni siqib chiqarish. Desorbsiya jarayoni tezligini oshirish uchun jarayon yuqori temperaturalarda o'tkaziladi.

Vertikal, qo'zg'almas halkasimon adsorbent qatlamli adsorber - bug'-gaz aralashmasidan komponentlarni yutish uchun mo'ljalangan (5.79-rasm). Adsorber vertikal qobiq 1 dan iborat bo'lib, uning ichida ichki 2 va tashqi 3 panjaralar orasiga adsorbent 4 joylashgan bo'ladi. Adsorbtsiya bosqichida bug'-gaz aralashmasi

adsorberning pastki qismiga beriladi va halqasimon adsorbent qatlamining kesimi bo'yicha taqsimlanadi. Adsorbent qatlamidan o'tib, tozalangan bug'-gaz aralashma markaziy patrubkadan chiqib ketadi. Desorbsiyalash bosqichida suv bug'i adsorberning markaziy patrubkasi orqali uzatiladi. Desorbsiyalangan komponent va suv bug'larining aralashmasi qurilmaning pastki qismidagi shtuster orqali chiqariladi. Adsorbentni quritish uchun issiq, sovitish uchun esa - sovuq havo yuboriladi. Adsorbent sovitilgandan so'ng stikl yana qaytadan takrorlanadi. Adsorbentni yuklash qurilmaning tepasidagi lyuk, to'kish esa-pastki techka orqali amalga oshiriladi.

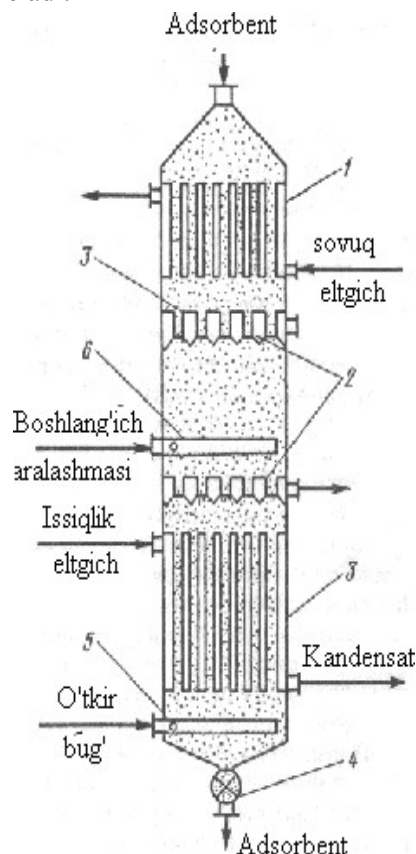
**Mavhum qaynash qatlamli adsorber** – mayda, donador adsorbent bilan to'ldirilgan bo'ladi (5.80-rasm).

Boshlang'ich aralashma adsorbent zarrachasining mavhum qaynash tezligidan kattaroq tezlikda gaz taqsimlovchi teshikli panjara 2 ostiga uzatiladi. Natijada, adsorbent qatlami kengayadi va so'ng mavhum qaynash holatiga o'tadi. Adsorbent jarayonini mavhum qaynash qatlamida o'tkazish massa almashinish jarayonini intensivlashga va jarayon davomiyligini qisqarishiga olib keladi.



**5.80-rasm. Mavhum qaynash qatlamli adsorber.**

1-qobiq; 2-taqsimlovchi teshikli panjara; 3-separator.



**5.81-rasm. Harakatchan adsorbent qatlamli adsorber.**

1-sovutkich; 2-taqsimlovchi tarelka; 3-isitkich; 4-shlyuzli tamba; 5-o'tkir bug' taqsimlagich; 6-boshlang'ich eritma taqsimlagich.

**Reaktor tipidagi adsorber** - mexanik yoki pnevmatik aralashtirish moslamali bo'ladi. Adsorber stilindr qobiq va elliptik tublardan iboratdir. Qobiq ichida parrakli aralashtirgich aylanadi. Adsorberga eritma qurilma tepa qismidagi lyukdan quyiladi, adsorbent esa o'sha qismida joylashtirilgan lyukdan yuklanadi. Suspenziya esa, qurilmaning pastki patrubkasidan to'kiladi va filtrga uzatiladi. U erda suspenziya komponentlarga ajratiladi. Ishlatib bo'lingan adsorbent qayta tiklash uchun desorberga yo'naltiriladi. Adsorbent qurilmalar davriy ishlaydigan bir nechta adsorberdan iborat bo'ladi. Bir nechta adsorber adsorbent bosqichida ishlaydi, qolganlari esa - adsorbentni qayta tiklash bosqichida ishlatiladi.

**Uzluksiz ishlaydigan adsorberlar** siqiy (zich) harakatlanuvchi va mavhum qaynash qatlamli bo'ladi.

**Harakatchan donador adsorbent qatlamli adsorberlar**- bu ichi bo'sh kolonna tipidagi qurilma bo'lib, unda to'siqlar, quyilish patrubkalari va uzatuvchi moslamalar o'rnatilgan.

5.81-rasmda bug'-gaz aralashmasini tozalash va taqsimlovchi tarelkalardan tarkib topgan. Bu turdagi adsorberda adsorbent uzluksiz stirkulyatsiya qilib turadi va gazdagi yutiluvchi komponent adsorbentga o'tadi.

Adsorbentning birinchi sekstiyasi bo'lmish sovutkichda qayta tiklangan adsorbent sovutiladi. Ushbu sekstiya qobiq-trubali issiqlik almashinish qurilmasi ko'rinishida yasalgan. Sovuqlik eltgich sovutkichning trubalararo bo'shlig'iga uzatilsa, adsorbent esa - trubalar ichida harakatlanadi.

Ikkinchi sekstiya adsorber vazifasini bajaradi. Bu erda adsorbent bug`-gaz aralashmasi bilan to`qnashuvda bo`ladi. Birinchi sekstiyadan ikkinchisiga adsorbent patrubka va taqsimlovchi tarelkalar orqali o`tadi. Qayd etilgan moslamalar adsorbent qurilma ko`ndalang kesimi bo`yicha bir xilda taqsimlash va ikkala sekstiya orasida tamba va ajratib turuvchi vosita sifatida xizmat qiladi. Undan keyin, ishlatib bo`lingan adsorbent desorbsiya sekstiyasiga o`tadi va u erda desorbsiyalovchi eltkich (o`tkir bug`) bilan o`zaro ta`sirda bo`lib qizdiriladi. Qayta tiklangan adsorbent shlyuzli tamba orqali chiqarib yuboriladi.

Mavhum qaynash qatlamli adsorberlar bir va ko`p pog`onali bo`ladi.

**Bir pog`onali, mavhum qaynash qatlamli adsorber** konstruktiviyasi 5.82-rasmda keltirilgan. Bunday qurilmalarda adsorbent mavhum qaynash holatida bo`ladi va u uzluksiz ravishda tegishli panjara ustiga uzatilib turiladi.

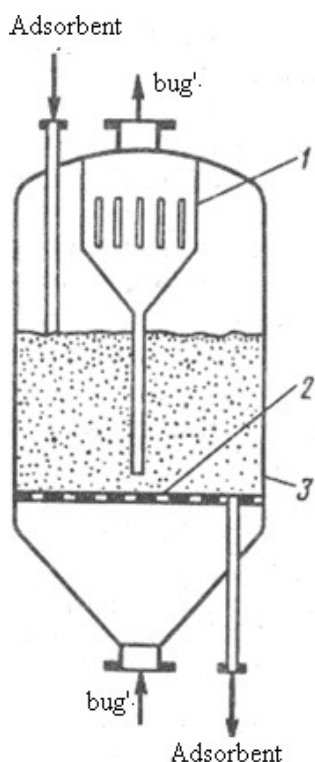
Adsorber vertikal stilindr qobiqdan va uni ichiga o`rnatilgan separator va gaz taqsimlovchi panjaradan iborat. Separator chang ushlash vazifasini bajaradi. Adsorbent qurilmaning tepasidagi truba orqali yuklanadi va stilindrik qobiqning past qismida o`rnatilgan shtusterdan chiqariladi. Boshlang`ich bug`-gaz aralashmasi qurilmaning konussimon tubidagi shtusterdan tegishli panjara ostiga yuboriladi. Albatta, bug`-gaz aralashmaning tezligi adsorbent zarrachasining mavhum qaynash tezligidan yuqori bo`lishi kerak. Adsorbent bilan o`zaro ta`sirda bo`lgan bug`-gaz aralashmasi separatoridan o`tib, tepa qismidagi shtusterdan chiqib ketadi.

Bunday adsorberlarda adsorbent zarrachalari intensiv aralashadi va qatlamda bo`lish vaqti har xildir. Bu esa, adsorbentning notekis to`yinishiga sababchi bo`ladi.

Undan tashqari, fazalarning yo`nalishi bir tomonlama bo`lsa, gaz fazasida adsorbent qatlamidagi o`rtacha konstantrostiyaga mos keladigan muvozanat holidagi konstantrostiyadan kam bo`lgan adsorbentning konstantrostiyasiga erishish ancha murakkab.

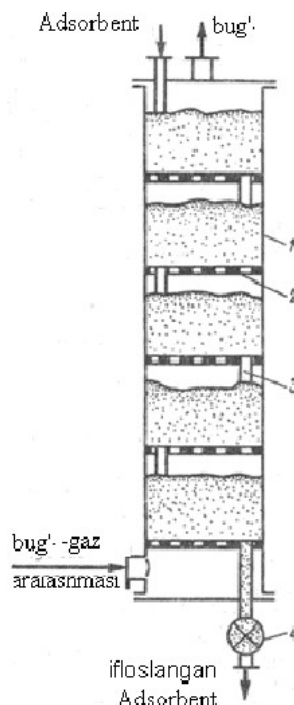
Bir pog`onali adsorber kamchiliklari ko`p pog`onali, qarma-qarshi yo`nalishli qurilmalarda bartaraf qilingan.

**Ko`p pog`onali, mavhum qaynash qatlamli adsorber** 5.83-rasmda tasvirlangan. Bu qurilma kolonna tipida bo`lib, ichida quyilish patrubkali gaz taqsimlovchi tegishli panjaralar joylashtirilgan. Quyilish patrubkalari bir vaqtning o`zida tamba vazifasini o`taydi, ya`ni gaz oqimini o`zidan o`tkazmaydi. Adsorbent qurilmaning tepasidagi shtusterdan eng yuqori tarelkaga uzatiladi va undan so`ng pastda o`rnatilgan tarelkalarga quyilish patrubkasi orqali birin-ketin o`tadi. Eng pastdagi tarelkadan shlyuzli tamba orqali tashqariga chiqarib yuboriladi.



**5.82-rasm. Uzluksiz ishlaydigan, bir pog`onali mavhum qaynash qatlamli adsorber.**

1 - qobiq; 2 - gaz taqsimlagich;  
3 - chang yig`gich.



**5.83-rasm. Ko`p pog`onali, mavhum qaynash qatlamli adsorber.**

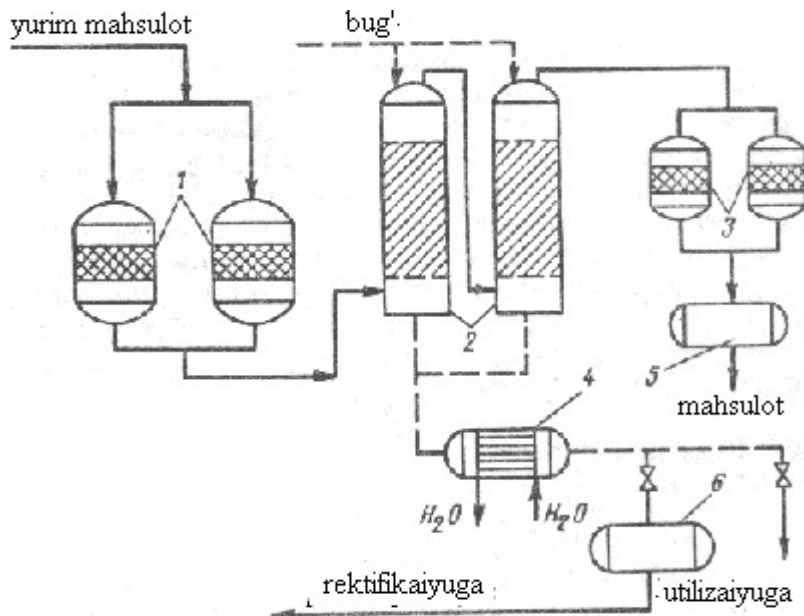
1 - qobiq; 2 - gaz taqsimlovchi teshikli panjara; 3 - quyilish patrubkasi; 4 - shlyuzli tamba.

Boshlang'ich bug'-gaz aralashma esa adsorberning pastki qismidagi shtusterdan kiritiladi va tepadagidan chiqariladi.

Bu turdagi qurilmalarda bug'-gaz aralashma ko'ndalang kesim bo'ylab bir tekisda taqsimlanadi va fazalar o'rtasida intensiv massa almashinish yuz beradi. Natijada, adsorbentning to'yinishi bir xil va eng katta yutish qobiliyatiga ega bo'ladi.

Bir pog'onali adsorberlardan farqli, ko'p pog'onali qurilmalar ideal siqib chikarish sxemasida ishlaydi. Bu hol adsorbstiya jarayonini fazalar qarama-qarshi yo'nalishida olib borish imkonini yaratadi.

**Faollangan ko'mir qo'zg'almas qatlamda suv-spirt aralashmasini tozalash** sxemasi 5.84-rasmda keltirilgan. Avval suv-spirt aralashmasi qumli yoki keramik filtrda tozalanadi, so'ng esa adsorberlarda tindiriladi. Bitta stilindrik adsorberdagi faollangan ko'mir massasi 250...300 kg. Ko'mir qurilmaning gaz taqsimlovchi teshikli panjarasiga yuklanadi. Suv-spirt aralashmasi esa, gaz taqsimlovchi panjara ostiga yuboriladi.



5.84-rasm. Qo'zg'almas faollangan ko'mir qatlamida suv-spirt aralashmasini tozalash qurilmasining shemasi.

1,3-filtrlar; 2-adsorberlar; 4,6-idishlar;  
5-kondensator-sovutkich.

Yangi yoki qayta tiklangan adsorbentli adsorberga suv-spirt aralashmasi aroqning naviga qarab 30...60 dal/g miqdorga uzatiladi. Eksploatastiyadagi adsorber adsorbentni qayta tiklash rejimiga bir yilda 3...4 marta o'tkaziladi. Ishlatib bo'lingan faollangan ko'mir adsorberda 115°S temperaturada qayta tiklanadi. Buning uchun yuqoridan pastga qarab to'yingan suv bug'i haydaladi.

**Bitta adsorberdan quvvati 55...60 % li 50...60 dal spirt haydab olish mumkin. Ikki davriy ishlaydigan adsorber kurilmaning uzluksiz ishlashini ta'minlaydi. Desorbtsiyalash jarayoni davomiyligi 3...4 soat, 1 kg ko'mirni tiklash uchun 4 kg suv bug'i sarflanadi. Qayta tiklashdan so'ng, adsorbent sovutiladi va issiq havo bilan qurutiladi.**

Sanoat miqyosida faollangan ko'mirni qayta tiklash barabanli o'txonalarda 800...850°S temperaturada olib boriladi. Kuydirish jarayonida faollangan ko'mirning yo'qotilishi 20% ni tashkil etadi.

**Qand qiyomini adsorbstion tozalovchi, ikki pog'onali qurilma** 5.85-rasmda keltirilgan. Qand qiyomlarini mayda, donador suyak ko'mirlari yordamida tozalanadi, rangsizlash - qandni tozalashning oxirgi bosqichidir.

Suv va qand isitiluvchi avtoklavda aralashirilishi natijasida qand eriydi va uning qiyomi hosil bo'ladi. Eritmaning dastlabki rangsizlantirishi adsorber 2 da o'tkaziladi. Ikkinchi tozalash pog'onasidan bu qurilmaga qisman ishlatilgan adsorbent kelib tushadi. 1 kg qiyomni rangsizlash uchun faollangan ko'mirning sarfi 5...10 g ni tashkil etadi. Adsorbstiya jarayoni 30 minutga yaqin davom etadi. Suspenziya filtrpress 3 da fazalarga ajratiladi. Filtrlangan qand qiyomi adsorbstion tozalashga uzatiladi. Adsorber 4 ga yangi adsorbent yuklanadi. Suspenziyani fazalarga ajratib ham birinchi pog'onada, ham filtr-pressda olib boriladi. Ishlatib bo'lingan ko'mir qayta tiklanadi yoki utilizastiyaga yuboriladi.

Qand qiyomlarini tozalash uchun granula holatidagi faollangan ko'mirli qurilmalar ham ishlatiladi. Stilindrik adsorberlar balandligi 8...10 m va diametri 1 m bo'lganda, qand qiyomining tezligi 1,5...2,5 m/s oraliqda ishlaydi. Adsorbent qatlami va qand qiyomining o'zaro ta'sir davomiyligi 6 soatni tashkil etadi.

Adsorbentning qayta tiklashgacha xizmat qilish muddati 80 sutka. Ishlatib bo'lingan adsorbent, qurilmadan to'kilgandan so'ng, noorganik birikmalar bilan yuviladi, quritiladi va 1000...1100°S temperaturada termik ishlov beriladi. Undan keyin esa, suv bug'i yordamida faolligi oshiriladi.

Qand qiyomini rangsizlantirish uchun harakatchan qatlamli, uzluksiz ishlaydigan adsorberlar ham qo'llaniladi.

**Rafinat va mahsulot qiyomlarini tozalash adsorbstion qurilmasi** 5.85-rasmda ko'rsatilgan. Ushbu qurilmada eritmalar bo'yovchi modda va erigan tuzlardan tozalanadi.

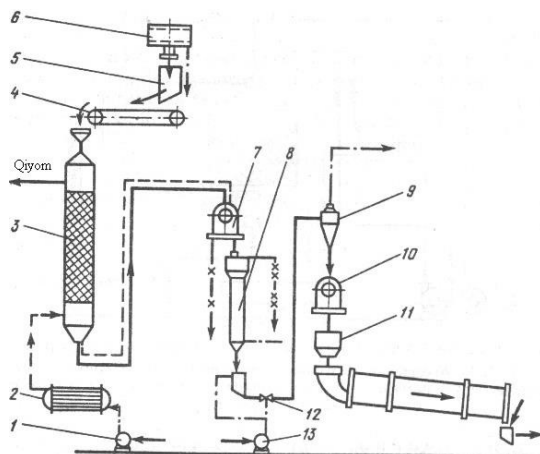
Filtrlangan qiyom nasos 1 yordamida issiqlik almashinish qurilmasida qizdirilib, adsorberning pastki qismiga yuboriladi. Ko'mir esa tebranma elakdan o'tib adsorberga tushadi va u erda tozalangan qiyom bilan ho'llanadi. Adsorbent harakatiga qarma-qarshi yunalishda uzluksiz qand qiyomi yuboriladi va qurilmaning tepa qismidan chiqariladi. Ishlatib bo'lingan adsorbent qurilmaning pastki qismidan tashqariga to'kiladi.

Qiyom va tarkibida qand bor moddalarni aralashmadan ajratib olish jarayoni vakuum-qurilmada amalga oshiriladi. Kolonnada adsorbent zarrachalari qandsizlantiriladi, suyuq qoldiqlar esa, qurilmaning tepa qismidan chiqarib olinadi. Undan keyin esa, adsorbent ikkinchi vakuum - kurilmaga uzatiladi va u erda qandli moddalardan to'la ajratiladi. Ishlatib bo'lingan adsorbent ikkinchi kolonnada yutilgan komponentlardan yuvib tozalanadi.

Gidrostiklon 9 va vakuum-qurilma 10 larda suvsizlantirilgan adsorbent (ko'mir) bunker 11 ga yuboriladi va tebranma ta'minlagich yordamida qayta tiklash uchun o'txonaga uzatiladi. O'txonadan chiqqan adsorbent (ko'mir) bunker - sovutkichga yo'naltiriladi va undan keyin yana tebranma elakka yuboriladi.

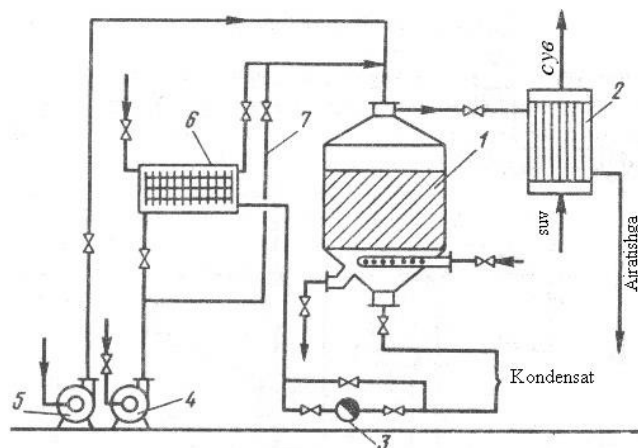
**Bug` - havoli aralashmani organik moddalardan tozalash adsorbstion qurilmasi** 5.86-rasmda tasvirlangan.

Ushbu sxemaning asosiy qurilmasi adsorberlar bo'lib, ular galma-gal ishlaydi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, bitta qurilmada adsorbstiya, ikkinchisida esa - desorbtsiya jarayoni kechadi. Adsorberga kirishda avval bug`-havoli aralashma changlardan tozalash uchun filtrlanadi. Portlash havfini bartaraf qilish maqsadida, filtdan keyin yong'in to'sqich va saqllovchi membrana o'rnatiladi. Ushbu moslamada bosim miqdori ruxsat etilgandan oshib ketmasligini ta'minlab beradi.



**5.85-rasm. Qiyomlarni uzluksiz tozalash qurilmasi.**

1,13-nasoslar; 2-issiqlik almashinish qurilmasi; 3-adsorber; 4-konveyer; 5,11-bunkerlar; 6-tebranma elak; 7,10-vakuum-qurilmalar; 8-kolonna; 9-gidrociklon; 12-injektor.



**5.86-rasm. Bug`-havo aralashmasini tozalash uchun adsorbstion qurilma shemasi.**

1-adsorber; 2-sovutkich; 3-kondensat chiqargich; 4,5-ventilyatorlar; 6-issiqlik almashinish qurilmasi; 7- aylanma liniyalari.

Adsorberga bug`-havo aralashmasi ventilyator yordamida uzatiladi va adsorbent qatlamining tepa qismidan kirib, pastidan chiqib ketadi.

Desorbtsiya jarayonida o'tkir bug` adsorberning pastki qismiga yuboriladi. Adsorberdan chiqayotgan bug`lar kondensastiyalanadi va kondensat ajratish uchun separatorga yoki rektifikastiyaga uzatiladi. Adsorbentni quritish uchun issiqlik almashinish qurilmasidagi isitilgan havo adsorberga yuboriladi. Adsorbentni sovitish uchun ventilyator 1 yordamida aylanma liniya 7 orqali sovuq havo haydaladi.

Agar, adsorbstion sxemada bir nechta adsorber bo'lsa, qurilma uzluksiz ravishda ishlaydi.

### 5.37. Adsorberlarni hisoblash

**Davriy ishlaydigan adsorberlarni** hisoblash adsorbent qatlamining balandligini aniqlashdan iborat.

Boshlang'ich konstantriyasi  $u_b$  bo'lgan aralashmaning konstantriyasini  $u_{ox}$  gacha tushirish uchun zarur adsorbent miqdori moddiy balansdan topiladi:

$$G \cdot y_{ox} \sim y_{ox} \bullet V_a x_{ox} \sim x_{ox} \quad (5.175)$$

bu erda  $G$  va  $V_a$  - gaz (yoki suyuqlik) aralashmasi va adsorbentning massalari, kg;  $x_b$ ,  $x_{ox}$  - adsorbentiv va adsorbent konstantriyalari, g/kg.

Agar,  $x = 0$  va  $x_{ox} \rightarrow x_m$  deb qabul qilsak, ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$V_a \bullet \frac{G y_{ox}}{x} \quad (5.176)$$

yoki aralashmadagi adsorbentivning oxirgi konstantriyasi quyidagi tenglamadan aniqlanishi mumkin:

$$y_{ox} \bullet \frac{V_a}{G} \quad (5.177)$$

Oxirgi tenglama  $tg \psi = -V_a/G$  ga teng qiyalik burchagida joylashgan to'g'ri chiziqni ifodalaydi. Adsorber diametri bug' - gaz aralashma yoki eritmaning sarfi  $V$  ga qarab topiladi:

$$D \bullet \frac{V}{0,785} \quad (5.178)$$

Adsorbent balandligi esa:

$$H \bullet \frac{V_a}{0,785 D^2 \times}$$

yoki

$$H \bullet u \quad (5.179)$$

bu erda  $\times_t$  - adsorbentning to'kma zichligi, kg/m<sup>3</sup>.

Adsorbentni jarayonining davomiyligi:

$$\bullet \frac{V_a x_{ox} \sim x_{ox}}{w_0 \bullet 0,785 \bullet D^2 \bullet y_{ox} \times} \quad (5.180)$$

Adsorbentni ko'lamining siljish tezligini (5.170) tenglamadan topish mumkin.

Qatlarning himoyalash tasir vaqti yo'qotilishi  $h_0$  ni quyidagi tenglamadan taxminan hisoblash mumkin:

$$\bullet \frac{0,5 \bullet h_0}{u} \quad (5.181)$$

bu erda  $h_0$  - adsorbent qatlamining balandligi bo'lib, (5.171) tenglamadan aniqlanadi.

Adsorbent qatlami balandligi va konstruktiv o'lchamlardan kelib chiqqan holda, adsorber balandligi aniqlanadi.

**Uzluksiz ishlaydigan adsorberlarni** hisoblashda kolonna balandligi, ishchi hajm, tarelkalar diametri va soni aniqlanadi.

Bunday adsorberlar balandligi moddiy balans tenglamasidan aniqlanadi. Moddiy balans tenglamasida tegishli o'zgarishlar va qisqartirishlardan so'ng, ushbu ko'rinishga kelamiz:

$$H \bullet \frac{V_a}{0,785 \bullet D^2 \bullet \times}$$

qurilmaning ishchi hajmi esa:

$$V \bullet L \quad (5.182)$$

$$a \quad \frac{x_{ox}}{y_p} \quad \frac{1}{K_y} ?$$

bu erda  $L$  - adsorbent sarfi, kg/s;  $\gamma$  - jarayon paytidagi adsorbentning solishtirma yuzasi,  $m^2/kg$ ;  $u_{ur}$  - o'rtacha harakatlantiruvchi kuch bo'lib, ushbu tenglamadan topiladi:

$$\frac{y_p}{y_m} = \frac{\gamma y_{ox}}{dy}$$

bu erda  $u_b, u_{ox}$  - gaz aralashmadagi adsorbentning boshlang'ich va oxirgi konsentrationlari;  $u_m$  - muvozanat konsentrationi.

Agar,  $\tau = V/L$  ekanligini inobatga olsak, adsorbentning adsorberda bo'lish vaqti:

$$\tau = \frac{1}{K_y \gamma} x_{ox} \quad (5.183)$$

Mavhum qaynash qatlamli adsorberlardagi tarelkalar soni ushbu tenglamadan topiladi:

$$n = \frac{H}{h_a} \quad (5.184)$$

bu erda  $h_a$  - tarelkadagi adsorbent qatlamining balandligi (odatda  $h_a = 50$  mm deb qabul qilsa bo'ladi).

### 5.38. Ion almashinish jarayonlari va qurilmalari

Elektrolit eritmalar bilan o'zaro ta'siri paytida ion almashinish qobiliyatiga ega adsorbentlar (ionitlar) tarkibidagi faol ionlarning eritmadagi ionlar bilan almashishi **ion almashinish jarayoni** deb nomlanadi.

Ion almashinish jarayonining qo'llanish sohasi juda keng, chunki u suvli eritmalaridan begona ionlarni yo'qotish va mineralsiz (yumshoq, tuzsiz) suvlar olishda ishlatiladi. Bu usulda tozalangan suv ichish uchun, hamda o'ta toza modda ishlab chiqarish sanoatida qo'llaniladi. Undan tashqari, issiqlik elektr stanstiyalari uchun suvni tayyorlashda, atom elektr stanstiyalarining oqava suvlarini tozalashda ham, ion almashinish jarayonidan foydalaniladi.

Oziq-ovqat sanoatining tuli sohalarida ayrim mahsulotlarni tayyorlashda ushbu jarayon juda ko'p ishlatiladi. Masalan, qand ishlab chiqarish sanoatida ionlar sharbat va qiyomlarni, begona moddalardan tozalash imkonini beradi. Vinochilikda vino tarkibidan kalstiy va temirni ajratib olishda, sutni kalstiy va boshqa metal ionlaridan tozalashda, yog'-moy sanoatida o'simlik moylarini tozalashda, qimmatbaho metallarni ajratib olishda, medistina, metallurgiyada ionitlar juda katta samara beradi. Texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari bo'yicha ion almashinish jarayoni ekstrakstiya, rektifikastiya va boshqa jarayonlar bilan raqobat qila oladi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, ushbu jarayonda ionit va eritma orasida ion almashinish yuz beradi. Bunda, eritmadagi ionlar ionit yuzasiga, ionit yuzasidagi ionlar esa, eritmaga o'tadi.

Ionitlar sifatida qattiq, suvda va organik erituvchilarda erimaydigan tabiiy va sun'iy materiallar ishlatiladi. Ionitlar sharsimon shaklda, mayda donador, granula holatida bo'ladi. Ularning ion almashinish xossalari almashinish hajmi bilan xarakterlanadi, ya'ni 1 g ionit bilan almashayotgan milligramm-ekvivalent ion soni bilan ifodalanadi.

Ionitlar kimyoviy tarkibi va tuzilishi bilan farqlanadi. Almashadigan ion zaryadlar ishorasiga qarab, ionitlar kationit va anionitlarga bo'linadi.

Eritmada ionizastiya darajasiga qarab kationitlar quyidagi guruhlariga bo'linadi: kuchli va kuchsiz kislotali.

Anionitlar esa, yuqori va past asosli guruhlariga bo'linadi.

Fovaklilik darajasiga qarab sintetik ionitlar gelli va makrokovakli bo'ladi. Makrokovakli ionitlar rivojlangan g'ovak tuzilishli bo'lib, solishtirma yuzasi katta bo'ladi. Natijada, granula ichida moddalar ko'chishi yuqoridir.

Katta almashinish hajmli, mexanik mustahkam, suvda va organik suyuqliklarda erimaydigan, qayta tiklanadigan sun'iy ionitlar yaratilishi bilan ion almashinish texnologiyasi juda keng tarqala boshladi.

Kationitlar kislota xarakterli va musbat zaryadli ionlarini almashtirish qobiliyatiga ega. Kationitlar tarkibida quyidagi:  $SO_3^{2-}$  - sulfo,  $HCOO^-$  - karboksil,  $RO_3^{2-}$  - fosfon guruhlarini bo'lib, manfiy zaryad olib keladi.

Anionitlar tarkibida quyidagi:  $NH_3^+$  - amido,  $NH_2^+$  - amino guruhlarini bo'lib, musbat zaryad olib keladi.

Ionitlar mexanik mustahkamligi yuqori, ta'sir etayotgan suyuqlikda erimasligi va uni ifloslantirmasligi kerak.

Fizik - kimyoviy jihatdan ionitlar murakkab sistema bo'lib, unda bir vaqtning o'zida ko'pgina o'zaro ta'sirlar bo'ladi. Shuning uchun, ion almashinish nazariyasida, ionitlarning tabiati va unda bo'ladigan o'zaro ta'sirlarni hisobga olmagan muvozanat holatidagi xossalari ko'rib chiqiladi.

Ion almashinish jarayonini xarakterlovchi ionitlarning muvozanat xossalari ifodalash uchun termodinamik usullardan foydalaniladi. Bunda, hamma ionitlar uchun umumiy belgilar ajratiladi:

- a) ionit - eritma sistemasi ikki fazali, geterogen sistemadir;
- b) ionit fazasida bitta yoki bir nechta muayan holatda mahkamlangan ion bo'lib, manfiy yoki musbat zaryadlar olib keladi;
- v) ionlar ionit - eritma fazalar chegarasini kesib o'tolmaydi;
- g) ionit fazasi tarkibida antiionlar bo'ladi va ular ionit - eritma fazalarni ajratuvchi chegarani kesib o'toladi;
- d) muvozanat holatidagi eritma ionit fazasida boshqa zarrachalar ham bo'lishi mumkin, masalan, erituvchi molekullari.

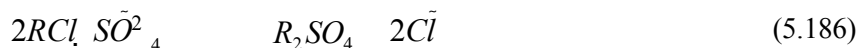
Ion almashinish jarayoni boshlanishi uchun muvozanat o'ng tomonga siljirilishi kerak, ya'ni ion almashinish reaktsiyalarining kimyoviy muvozanat konstantasi birdan ancha katta bo'lishi kerak.

Ion almashinish jarayonini geterogen kimyoviy reaktsiya deb qarash va misol tariqasida quyidagi tenglamalarni keltirish mumkin:

- a) kationli almashinish:



- b) anionli almashinish:



Kationit va anionitlar orasidagi oraliq holatni amfolitlar egallaydi. Uning tarkibida kislotali va asosiy ionogen guruhlar bo'lib, kationit va anionit vazifalarini bajaradi.

Ionit - eritma sistemaning muvozanati muvozanat koeffitsienti bilan xarakterlanadi. Koeffitsientning kattaligi tashqi omillarga bog'liq, ya'ni muvozanatdagi eritma konsentrativasi, temperaturasi va bosimga.

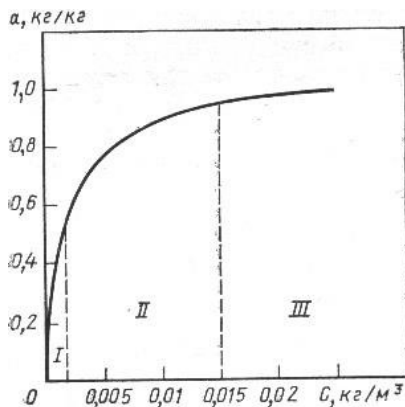
**Ion almashinish jarayonida muvozanat.** Muvozanat izotermalari ionitlarning muvozanat almashinish hajmi va uning tanlovchanligi to'g'risida ma'lumot beradi. Ion almashinish jarayonidagi muvozanat nisbatlari Lengmyur (5.187) yoki Freyndlix (5.188) formulalari bilan ifodalanishi mumkin:

$$a \bullet \frac{K \sqrt{c}}{1 \cdot kc} \quad (5.187)$$

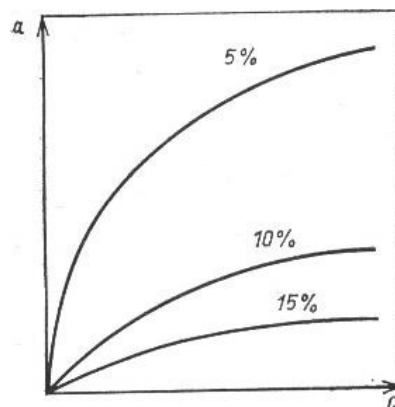
$$a \bullet \frac{c^{1/p}}{c} \quad (5.188)$$

Odatda, muvozanat izotermalari jarayonni harakatga keltiruvchi kuchini aniqlashda qo'llaniladi.

(5.187) tenglamani ifodalovchi eritmalarning tipik sorbstiyalash izotermalari 5.87-rasmda keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, muvozanat konsentrativalar qismi 3 ta zonaga ajratilish mumkin. Birinchi zona past konsentrativalar zonasi bo'lib, u to'g'ri chiziqli ikkinchi zona - Lengmyur tenglamalari va uchinchi esa - eritma konsentrativasi bog'liq bo'lmagan va to'yinish holatlarini ifodalaydi:



5.87-rasm. EDE - 10P anionitda limon kislotasining muvozanat izotermalari.



5.88-rasm. Turli miqdordagi divinilbenzol sulfopolistirolli smola uchun muvozanat izotermari.

Muvozanat holatiga ionit va yutilayotgan ionlar tabiati, temperatura va elektrolit eritmasining  $rN$  miqdoriga ta'sir ko'rsatadi.

Masalan, sulfopolistiroli smolasidagi divinilbenzolning miqdori izoterma holatiga yuqori darajada bog'liq (5.88-rasm).

Eritmaning  $rN$  miqdori muvozanat holatga turlicha ta'sir etadi:  $rN$  ortishi bilan kationitlar hajmi ko'payadi, anionitlarniki esa - kamayadi.

Ion almashinish jarayoni quyidagi ketma - ket bosqichlardan iborat: ionit chegaraviy qatlam yuzasidan yutilayotgan ion diffuziyasi; ionit ichida ion diffuziyasi; ionitda desorbsiyalangan ion diffuziyasi; suyuqlik chegaraviy qatlam yuzasidan desorbsiyalangan ionning suyuqlik faza yadrosiga diffuziyasi.

Ushbu taklif etilgan sxema, ion almashinish jarayonining chegaralovchi bosqichini topish imkonini beradi.

**Ion almashinish kinetikasi.** Jarayonda qatnashayotgan jami hodisalar murakkabligiga qaramasdan, ion almashinish kinetikasini ifodalovchi tenglama sodda ko'rinishga ega. Kimyoviy reaksiya tezligi qolgan bosqichlarda ion almashinish tezligidan juda katta va u jarayon tezligiga ta'sir qilmaydi deb tahmin qilinadi. Ion almashinish kinetikasi quyidagi tenglama orqali ifodalanishi mumkin:

$$\frac{dM}{Vd} = \tilde{c} c_u \quad (5.189)$$

bu erda  $\tilde{c}_V$  - massa berish koeffitsienti, 1/s

Massa berish koeffitsientini hisoblash uchun  $10 < Re < 100$  oralikda ushbu tenglama tavsiya etiladi:

$$\tilde{c}_V = 1,85 \frac{w}{d_e} \frac{Re^{0,56} Pr^{0,66}}{m} \quad (5.189)$$

yoki

$$Nu_0 = 28,4 Re^{0,41} \quad (5.190)$$

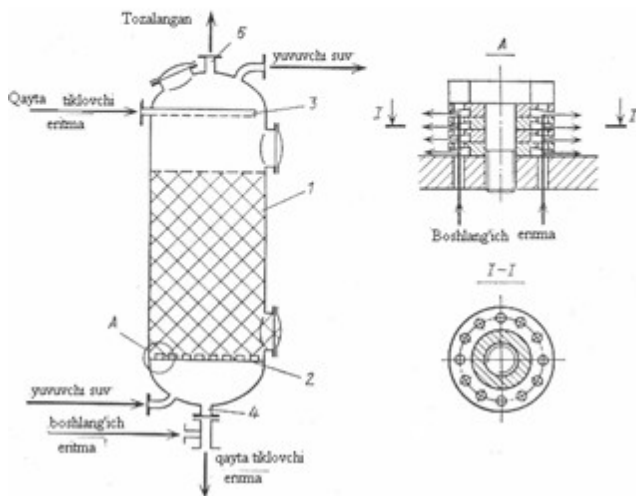
bu erda  $w$  - suyuqlik tezligi;  $Re_m = wd_0 \rho_c / (\mu \psi)$  - modifikastiyalashgan Reynolds kriteriyasi;  $d_e$  - ionit granulatsiya diametri, m;  $\rho_c$  - suyuqlik faza zichligi, kg/m<sup>3</sup>;  $\psi$  - g'ovaklilik;  $\psi$  - dinamik qovushoqlik, Pa s;  $Pr$  - Prandtl kriteriyasi.

Sanoat miqyosidagi texnologiyalarda ion almashinish qurilmalari 2 xil: davriy va uzluksiz ishlaydigan bo'ladi.

Davriy ishlaydigan qurilmalar o'z navbatida qo'zg'almas va mavhum qaynash ionit qatlamli bo'ladi.

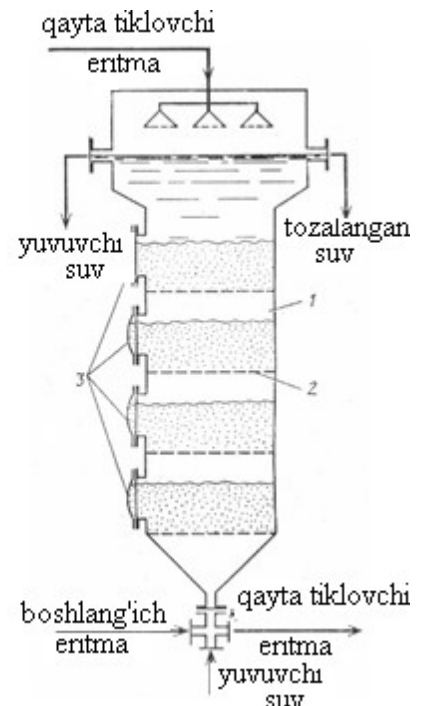
Uzluksiz ishlaydigan qurilmalar harakatchan ionit qatlamli va pog'onalarda mavhum qaynash qatlamli bo'ladi.

**Davriy ishlaydigan, qo'zg'almas ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi** 5.89-rasmda keltirilgan. Qurilma silindrik qobiq 1 va taqsimlovchi moslama 2,3 lardan tarkib topgan. Pastki taqsimlovchi moslama 3 tiriqishli qalpoqchali tarelka ko'rinishida bo'lib, unda qo'zg'almas ionit qatlami joylashtiriladi.



**5.89-rasm. Qo'zg'almas ionit qatlamli davriy ishlaydigan ion almashinish qurilmasi.**

1 - qobiq; 2 - tirqishli qalpoqcha tipidagi taqsimlovchi tarelka; 3 - taqsimlagich; 4,5 - dastlabki eritmaning kirish va tozalangan eritma chiqarish shtuserlari.



**5.90-rasm. Davriy ishlaydigan sekeiyali, mavhum qaynash ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi.**

1 - qobiq; 2 - teshikli panjara; 3 - lyuklar.

Qayta ishlanadigan eritma esa, qurilma pastki qismidagi shtuster 4 orqali uzatiladi va gaz taqsimlovchi teshikli panjaradan ionit qatlamiga o'tadi. Qurilmaning tepa (bo'sh) qismida tozalangan eritma to'planadi va yuqoridagi shtuster 5 dan chiqariladi.

Ion almashinish jarayoni tugagandan so'ng, qurilma to'xtatiladi va ionit qayta tiklanadi. Buning uchun avval ionitdan eritma yuvib tashlanadi va undan keyin maxsus erituvchi yordamida tozalanadi. Odatda, qayta tiklovchi erituvchi, eritma yo'nalishiga qarama - qarshi harakatlantiriladi. Keyin esa, yana ionit qatlami suv bilan yuviladi.

Ikkinchi yuvishdan maqsad maxsus erituvchini yo'qotishdir, ya'ni ionitdagi tuz, kislota va ishqor eritmalarining qoldiqlarini suv yordamida tozalashdir.

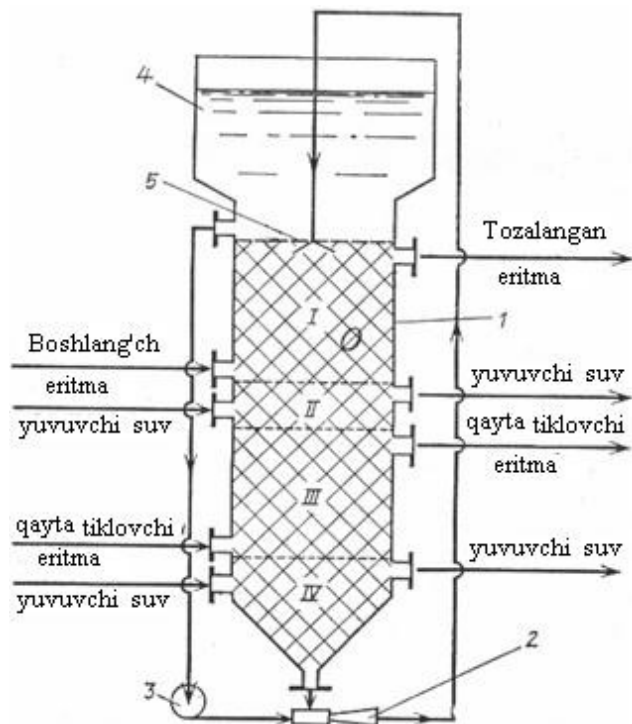
Shunday so'ng qurilma keyingi ion almashinish stikliga tayyor bo'ladi.

**Davriy ishlaydigan sekstiyali, mavhum qaynash ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi** 5.90-rasmda ko'rsatilgan. Ion almashinish qurilmasi kolonna 1 va uni bir necha sekstiyaga ajratuvchi teshikli panjara 2 lardan tarkib topgan. Qurilmani sekstiyalash mavhum qaynash jarayonida ionitlarni ko'ndalang harakatlanishini kamaytiradi va ideal siqib chiqarish rejimini ta'minlaydi. Ma'lumki, bu rejimda jarayon maksimal harakatga keltiruvchi kuchga ega bo'ladi.

Qurilma lyuklari 3 orqali ionit yuklanadi va undan so'ng boshlang'ich eritma o'zaro ta'sir uchun yuboriladi. Ionit yutilgan moddalar bilan to'yingandan so'ng, u yuviladi va qayta tiklanadi.

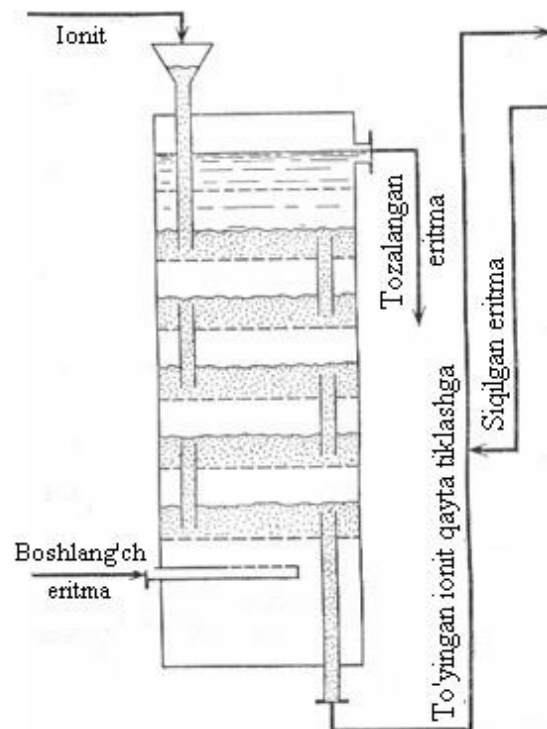
**Uzluksiz ishlaydigan, harakatchan ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi** 5.91-rasmida tasvirlangan.

U quyilish trubkalari bilan to'rt sekstiyaga bo'lingan kolonna 1 tipidagi qurilmadir. Qayta tiklangan ionit qurilmaning pastki qismidan injektor 2 ga tushadi. U erga nasos 3 yordamida qurilmaning cho'ktirish qismi 4 dan ishlatib bo'lingan eritma ham haydaladi. Hidrotransportlovchi suyuqlik vazifasini bajaruvchi suyuqlikning bu qismi, restirkulyastiya sistemasiga ulangan. Ionit pulpasi injektor 2 dan sorbstiyalash sekstiyasi 1 ga uzatiladi. Undan tashqari, shu sekstiyaga boshlang'ich eritma ham yuborilib, tozalangan suyuqlik esa, qurilmaning tepasidan chiqariladi. Uzatilish uchun zarur suyuqlik ulushi filtr to'siq 5 dan qurilmaning injektor qismi 4 ga o'tadi va nasos 3 yordamida injektor 2 ga haydaladi. Ishlatib bo'lingan ionit sorbstiyalash sekstiyasining I quyilish tarelkasidan yuvilish sekstiya II ga o'tadi. U erda ionit suv bilan yuviladi. Undan keyin, xuddi shunday qilib, ionit III sekstiyaga o'tadi va qayta tiklovchi eritma bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. So'ng, qayta tiklangan ionit yuvish sekstiyasi IV ga o'tadi, u erda eritmadan tozalanadi va injektor 2 ga yo'naltiriladi va stikl qaytadan takrorlanadi.



**5.91-rasm. Uzlüksiz ishlaydigan, harakatchan ionit qatlamli ion almashinish qurilmasi.**

1 - qobiq; 2 - injektor; 3 - nasos; 4 - cho'ktirgich; 5 - filtr to'siq; I, II - ionit sorbcialash va qayta tiklash zonalari; III, IV - ionitni suv bilan yuvish zonalari.



**5.92-rasm. Uzlüksiz ishlaydigan, ko'p pog'onali mavhum qaynash ionit qatlamli qurilma sxemasi.**

**Uzlüksiz ishlaydigan, ko'p pog'onali mavhum qaynash ionit qatlamli qurilma sxemasi** 5.92-rasmda ko'rsatilgan. Sxemadan ko'rinib turibdiki, ionitning mavhum qaynash jarayoni pog'onalarda, elaksimon tarelkalarda tashkil etiladi.

Fazalarning yo'nalishi qarama - qarshi bo'ladi. Tozalangan eritma qurilmaning tepa, ionit esa - pastki qismidan chiqariladi.

Bu turdagi qurilmalarda eritma tezligi ionit zarrachalarining mavhum qaynash boshlanishi tezligidan kattaroq bo'ladi.

Odatda eritma pastdan yuqoriga qarab harakatlanadi. Ushbu kolonnada faqat sorbstiya jarayoni o'tkaziladi. Yutilayotgan komponentga to'yingan ionit pulpa holatida siqilgan havo yordamida qayta tiklashga uzatiladi. Qayta tiklangan ionit shnek yordamida qurilmaning tepa qismiga qaytariladi.

# QURITISH

## 5.39. Umumiy tushunchalar

Qattik va pastasimon materiallarni suvsizlantirish yo'li bilan ularga zarur xossalar berish, transport vositalarida uzatish va uzoqmuqaddat davomida saqlash imkoniyatini beradi.

Suvsizlantirishni 3 xil usulda amalga oshirish mumkin:

1. Mexanik (siqish, cho'ktirish, filtrlash, stentrifugalash va h.);
2. Fizik-kimeviy (suvni o'ziga tortib oluvchi moddalar yordamida (kalstiy xlorid, sulfat kislota va h.);
3. Issiqlik ta'sirida suvsizlantirish, ya'ni quritish.

Lekin, yuqorida qayd etilgan usullardan eng samaralisi, issiqlik ta'sirida suvsizlantirish, ya'ni quritishdir. Chunki, quritish jarayonida to'liq suvsizlantirishga erishsa bo'ladi.

Qattiq va pastasimon materiallar tarkibidagi namlikni bug'latish va hosil bo'layotgan bug'larni chetga olish chiqishga **quritish jarayoni** deyiladi.

Nam materiallarni issiqlik yordamida quritish - sanoatda eng keng tarqalgan usul. Ushbu usul kimyoviy, oziq-ovqat va bir qator boshqa texnologiyalarda ishlatiladi. Material tarkibidagi namlik dastavval arzon, mexanik (masalan, filtrlash) usulda, yakuniy, to'la suvsizlantirish esa - quritish usulida olib boriladi. Suvsizlantirishning bunday kombinastiyalashgan usuli iqtisodiy jihatdan samaralidir.

Sanoatda nam materiallarni quritish sun'iy (maxsus quritish qurilmalarida) va tabiiy (ochiqhavoda quritish - juda davomiy jarayon) usullar qo'llaniladi.

Fizik mohiyatiga ko'ra, quritish jarayoni murakkab diffuzion jarayondir. Uning tezligi, quritilayotgan material ichidan namlikning atrof muhitga tarqalishi, diffuziya tezligi bilan belgilanadi. Ma'lumki, quritish jarayoni bu issiqlik va modda (namlik) ning material ichida harakati va material yuzasidan atrof muhitga uzatilishidir. Shunday qilib, quritish bu issiqlik va massa almashinish jarayonlarining bir-biri bilan uzviy bog'langan majmuasidir.

Qattiq, nam materialga issiqlik ta'sir etish usuliga qarab quritish quyidagi turlarga bo'linadi:

1) **konvektiv** quritish - bunda nam material bilan qurituvchi eltkich bevosita o'zaro ta'sirda bo'ladi. Odatda, qurituvchi eltkich sifatida qizdirilgan havo yoki tutun gazlari ishlatiladi;

2) **kontaktli** quritish - issiqlik tashuvchi eltkich va nam material orasida ajratuvchi devor bo'ladi. Materialga issiqlik shu devor orqali izatiladi;

3) **radiation** quritish - nam materialga issiqlik infraqizil nurlar orqali uzatiladi;

4) **dielektrik** quritish - nam material yuqori chastotali tok maydonida uzatiladi;

5) **sublimastion** quritish - nam material muzlagan holatda, yuqori vakuum ostida quritiladi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, istalgan quritish usulida quritilayotgan nam material ko'pchilik hollarda issiqhavo bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. Konvektiv quritish sanoat texnologiyalarida juda ko'p ishlatiladi. Ushbu jarayonni amalga oshirish uchun nam materialga issiqhavo ta'sirining ahamiyati katta. Shuning uchun, nam havoning asosiy xossalarini bilish quritish jarayonini o'rganish va hisoblash uchun zarur.

## 5.40. Ramzinning nam havo I-x diagrammasi

Quruq havoning suv bug'i bilan aralashmasi **nam havo** deb nomlanadi. Nam havo absolyut va nisbiy namlik, nam saqlash, entalpiya, quruq va ho'l termometr temperaturalarini, parstial bosim kabi parametrlar bilan xarakterlanadi.

**Absolyut namlik** deb  $1 \text{ m}^3$  nam havo hajmidagi suv bug'i (kg) miqdoriga aytiladi.

Agar parstial bosim  $r_b$  da suv bug'i butun hajmi, masalan  $1 \text{ m}^3$  ni, egallasa, unda, absolyut namlik suv bug'i zichligi  $X_b$  ga teng.

**Nisbiy namlik** deb havo absolyut namligining, to'yinish paytidagi absolyut namlik nisbatiga aytiladi:

$$\mu \bullet \frac{X_\sigma}{X_m} \quad (5.191)$$

bu erda  $X_t$  - to'yingan suv bug'ining zichligi,  $\text{kg/m}^3$ ;  $X_b$  - suv bug'ining zichligi,  $\text{kg/m}^3$ .

Gaz tarkibidagi bug'lar parstial bosimi, uning miqdoriga proporsional bo'lgani uchun, nisbiy namlik bir xil temperatura va bosimda havodagi suv bug'i parstial bosimi  $r_b$  ning to'yingan suv bug'lari bosimi  $r_T$  ga nisbati sifatida ifodalanishi mumkin:

$$\mu \bullet \frac{p_\sigma}{p_T} \quad \text{yoki} \quad \frac{p_\sigma}{p_T} \bullet \mu \quad (5.192)$$

**Nam saqlash** deb 1 kg absolyut quruqhavoga to'g'ri keladigan suv bug'lari (1 kg) miqdoriga aytiladi. Nam havoning solishtirma nam saqlashi  $x$  (kg/kg) yoki (g/kg) bilan belgilanadi. Havoning nam saqlashi ushbu nisbat orqali aniqlanadi:

$$x = \frac{m_b}{m_{akx}} \frac{\rho_b}{\rho_a} \quad (5.193)$$

bu erda  $m_b$  va  $m_{akx}$  - suv bug'i va absolyut quruqhavo massalari, kg.

Mendelev - Klapeyron ideal gazlar holatining tenglamasiga binoan nam saqlash va nisbiy namliklar orasidagi bog'liqlikni aniqlaymiz. Suv bug'i va quruqhavo zichliklarini ushbu tenglamalardan topish mumkin:

$$\rho_b = \frac{p_b M_b}{RT} \quad \text{va} \quad \rho_{akx} = \frac{P_{akx} M_{akx}}{RT} \quad (5.194)$$

bu erda  $M_b$  va  $M_{aks}$  - 1 mol suv bug'i va absolyut quruqhavolar massalari, kg/kmol;  $r_{aks}$  - biror temperaturadagi quruqhavoning parstial bosimi, Pa;  $R = 8314$  - gazning universal doimiysi, J/(kmol·K).

(5.194) ni (5.193) ga qo'yib, ushbu ko'rinishli tenglamani olamiz:

$$x = \frac{M_b p_b}{M_{akx} P_{akx}} \quad (5.195)$$

Dalton qonuniga binoan  $P = p_b + p_{aks}$ . Unda:

$$p_{aks} = \tilde{P} p_{akx} \quad (5.196)$$

(5.192) tenglamadan bilamizki,  $r_b =$

$r_t$ .

Agar,  $r_{aks}$  va  $r_b$  qiymatlarini (5.195) ga qo'ysak:

$$x = \frac{18 p_m}{29 \tilde{P} p_m} = \frac{0,622 p_m}{\tilde{P} p_m} \quad (5.197)$$

bu erda  $M_{aks}=29$  kg/mol;  $M_b=18$  kg/mol.

**Entalpiya** termodinamik sistemaning holat funkstiyasi bo'lib,  $I$  harfi bilan belgilanadi.

Nam havo entalpiyasi quruq havo bilan shu nam havoda bo'lgan suv bug'ining entalpiyalari yig'indisiga teng:

$$I = c_{akx} t + x I_b \quad (5.198)$$

bu erda  $s_{aks}$  - absolyut quruqhavoning o'rtacha temperaturasi;  $s_{aks} = 1000$  J/(kg·K);  $I_b$  - suv bug'ining solishtirma entalpiyasi, J/kg.

Quritish jarayonida havo bilan aralashmada bo'lgan suv bug'i o'ta qizdirilgan holatda bo'ladi. Uning solishtirma bug' hosil qilishi  $r_0 = 2493 \cdot 10^3$  J/kg bo'lsa, o'ta qizdirilgan suv bug'ining solishtirma issiqlik sig'imi esa,  $s_b = 1,97 \cdot 10^3$  J/(kg·K).

O'ta qizdirilgan suv bug'ining solishtirma entalpiyasi:

$$I_b = r_0 + c_b t \quad I = 2493 \cdot 10^3 + 1,97 \cdot 10^3 t \quad (5.199)$$

Agar, (5.199) ni (5.198) ga qo'ysak, ushbu ko'rinishdagi tenglamaga erishamiz:

$$I = 1000 \cdot 1,97 \cdot 10^3 x + t \cdot 2493 \cdot 10^3 + x \quad (5.200)$$

**Zichlik.** Nam havoning zichligi  $\rho_{akx}$  absolyut quruqhavo  $\rho_{aks}$  va suv bug'i  $\rho_b$  zichliklari yig'indisiga teng. Agar,  $\rho_b = x \rho_{aks}$  ekanligini inobatga olsak, ushbu tenglamani olamiz:

$$\rho_{akx} = \rho_{aks} + \rho_b = \rho_{aks} (1 + x) \quad (5.201)$$

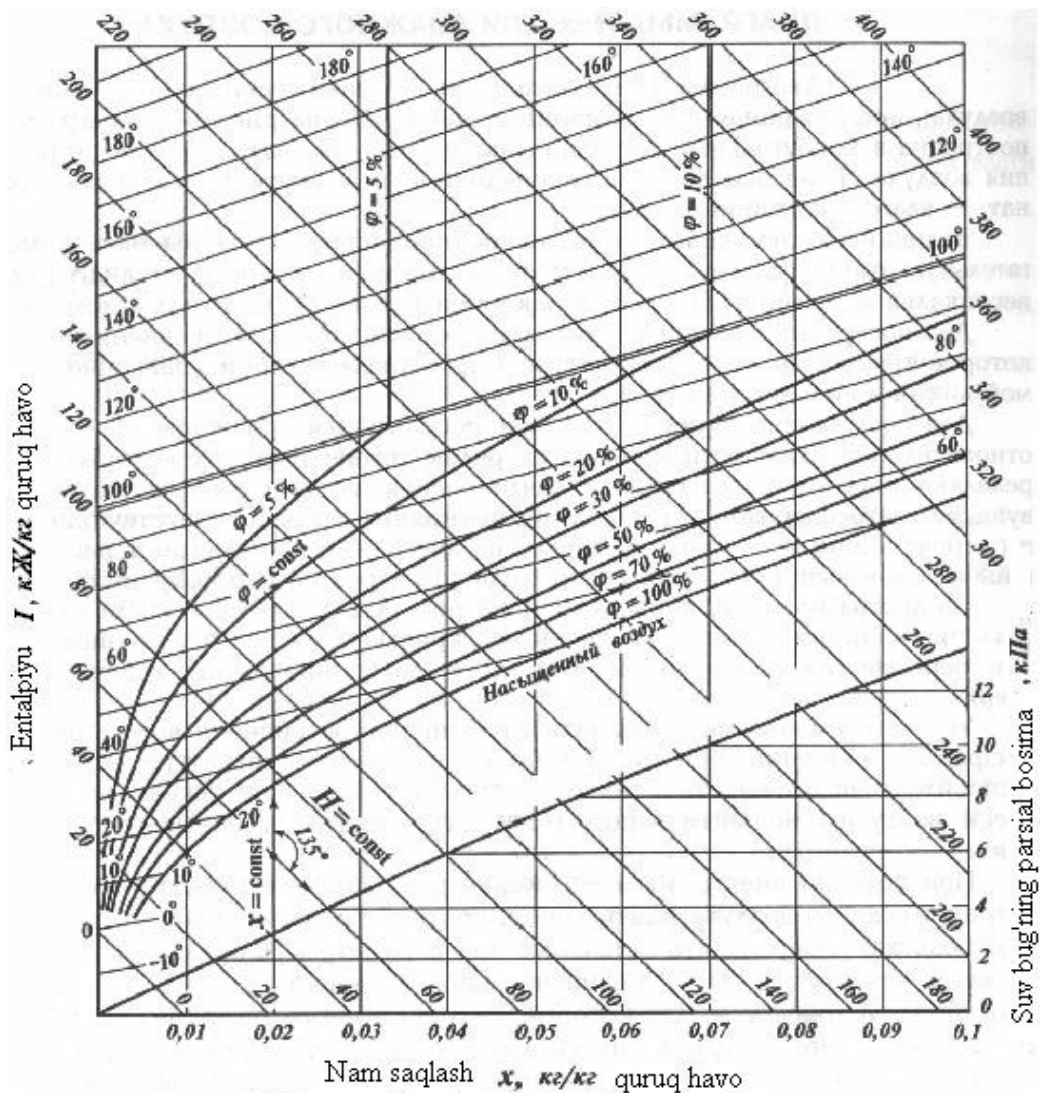
Mendelev - Klapeyronning holat tenglamasiga binoan absolyut quruqhavo zichligi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\chi_{akx} \frac{M_{akx}}{RT} = \frac{p_{akx}}{p} = \frac{\tilde{P} p}{287T} \quad (5.202)$$

(5.197) tenglamadan  $x$  va (5.202) dan  $\chi_{akx}$  qiymatlarini olib (5.201) ga qo'ysak, ushbu ko'rinishli ifodani olamiz:

$$\frac{\tilde{p}}{p_0} = \frac{0,378}{287T}$$

(5.203)



5.93-rasm. Ramzinning I-x diagrammasi

Isitish, sovitish va quritish jarayonlarida havoning asosiy xossalari o'zgarishi tasvirlangan va texnik hisoblashlar uchun etarli aniqlikda L.K. Ramzinning entalpiya diagrammasi yordamida aniqlanishi mumkin.

I - x diagramma o'zgarmas bosim  $r = 745$  mm.sim.ust. (99 kPa) uchun qurilgan (5.93-rasm). Diagramma entalpiya  $I$  (ordinata o'qi) - nam saqlash  $x$  (absstissa o'qi) koordinatalarida qurilgan.

Koordinata o'qlari  $135^\circ$  burchak ostida joylashtirilgan. Diagrammadan foydalanish qulay bo'lishi uchun nam saqlash qiymatlari ordinata o'qiga perpendikulyar, ya'ni qo'shimcha gorizontal o'qga proekstiyalangan.

Diagrammaga quyidagi chiziqlar o'tkazilgan: ordinata o'qiga parallel ( $x = \text{const}$ ), o'zgarmas nam saqlash vertikal chiziqlar; qo'shimcha absstissa o'qiga  $135^\circ$  burchakda o'tkazilgan o'zgarmas entalpiya ( $I = \text{const}$ ) qiya chiziqlari; o'zgarmas temperatura (izoterma) chiziqlari; o'zgarmas nisbiy namlik ( $\varphi = \text{const}$ ) chiziqlari; nam havodagi suv bug'ining parstial bosim  $p_b$  chiziqlari.

O'zgarmas temperatura chiziqlari (5.200) tenglama yordamida quriladi. Buning uchun  $x_1$  va  $x_2$  parametrlarning istalgan qiymatlari qabul qilinib, ularga tegishli  $I_1$  va  $I_2$  qiymatlari hisoblanadi.

Undan keyin, diagrammada koordinatlari  $I_1, x_1$  va  $I_2, x_2$  bo'lgan nuqtalar aniqlanadi. Topilgan nuqtalar to'g'ri chiziq bilan birlashtiriladi va u izoterma deb nomlanadi.

O'zgarmas nisbiy namlik chiziqlari (5.197) tenglama yordamida quriladi.  $\varphi = \text{const}$  chiziqlari koordinatalari  $t = -273^\circ\text{C}$  va  $x = 0$  bo'lgan nuqtadan tarqaluvchi egri chiziqlar dastasini hosil qiladi.

$\varphi = \text{const}$  chiziqlari bir-biriga yonishib ketmasligi uchun diagramma ma'lum burchakli sistema koordinatalarida qurilgan.

I - x diagramadan ko'rinib turibdiki,  $99,4^\circ\text{S}$  temperaturada  $\varphi = \text{const}$  chiziqlari sinadi va yuqoriga vertikal ko'tarilib ketadi, ya'ni diagramma ikki qismga bo'linadi. Ushbu temperaturada to'yingan suv bug'ining bosimi 745 mm.sim.ust. teng bo'ladi. (5.197) tenglamadan ko'rinib turibdiki, temperatura  $t \approx 99,4^\circ\text{S}$

etganda

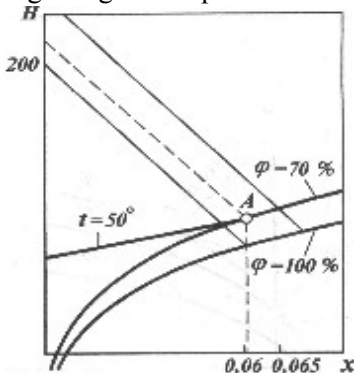
nisbiy namlik  $\varphi$  temperaturaga bog'liq bo'lmay va o'zgarmas kattalik bo'lib qoladi.

Havoning suv bug'i bilan to'yinish, chizig'i, ya'ni  $\varphi = 100\%$ , diagrammani to'yinmagan nam havo va chiziqostida joylashgan, suv bug'i bilan o'ta to'yingan havo zonalariga ajratadi.

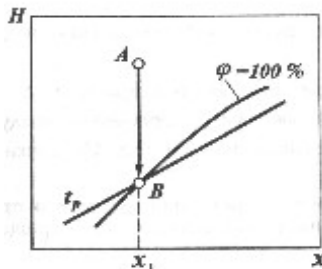
Suv bug'ining parstial bosim chiziqlari (5.192) tenglamani inobatga olgan holda (5.197) tenglamadan aniqlanadi:

$$p_0 = \frac{P_x}{0,622 x} \quad (5.204)$$

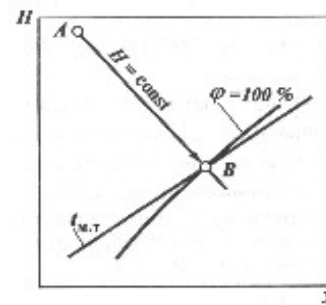
Suv bug'ining **parstial bosimi I - x** diagrammaning pastki qismida joylashgan. Diagramma yordamida nam havoning istalgan ikki parametri ma'lum bo'lsa, qolgan parametrlarini topish mumkin.



5.93a-rasm. I-x diagramma yordamida ma'lum ikki parametr orqali nam havoning qolgan parametrlarini topish.



5.93b-rasm. I-x diagrammada shudring nuqtasini aniqlash.



5.93c-rasm. I-x diagrammada ho'l termometr temperaturasi aniqlash.

I-x diagramma yordamida, nam havoning istalgan ikki parametri orqali qolgan parametrlarini topish mumkin. Masalan: havo temperaturasi  $t=55^{\circ}\text{S}$  va nisbiy namligi  $\varphi=70\%$  bo'lgan parametrlar uchun nuqta A ni aniqlaymiz (5.93a-rasm). Bu nuqta uchun nam saqlash parametri  $x=0,0608$  kg namlik/kg quruqhavo va entalpiyasi  $I=207,25$  kJ/kg quruqhavo.

**Shudring nuqtasi.** Havoning o'zgarmas nam saqlash parametrda sovishi, uning suv bug'lari bilan butunlay to'yinishi natijasida, havo eki gaz tarkibidagi suv bug'larining kondensastiyalanishi ro'y beradi. Ushbu temperatura shudring nuqtasi deb nomlanadi.

5.93b-rasmda A nuqtaga mos boshlang'ich parametrli havo uchun shudring nuqta V ni grafik usulda aniqlash tasvirlangan. Shudring nuqtasi  $\varphi=100\%$  va nam saqlash  $x_l$  larning kesilish nuqtasi V orqali o'tgan izoterma  $t_p$  sifatida aniqlanadi. **Ho'l termometr temperaturasi.** Havoning nam material bilan izotermik o'zaro ta'siri natijasida havo soviydi. Bunda, havo materialga o'z issiqligini beradi va nam materialdan havoga o'tayotgan suv bug'larining entalpiyasi hisobiga o'z entalpiyasini orttiradi. Bunday sharoitda temperatura pasayadi, entalpiya esa o'zgarmas bo'ladi. Ushbu izoentalpiya jarayoni havoning suv bug'lari bilan to'liqto'yingunga qadar boradi, ya'ni  $\varphi=100\%$  ga erishadigan temperaturagacha. I-x diagrammada A nuqtadan

$\varphi=100\%$  chizig'ida V nuqta bilan kesishguncha  $I=\text{const}$  chizig'i o'tkaziladi (5.93v-rasm). Nuqta V orqali o'tadigan, izoentalpiya sharoitida havoning sovish chegarasiga to'g'ri keladigan izoterma  $t_{MT}$  - xul termometrning temperaturasi deb nomlanadi.

**Quritish potentsiali.** Havo temperaturasi  $t_v$  va ho'l termometr temperaturasi  $t_{MT}$  larning farqi quritish potentsiali  $\Delta t$  deb ataladi. Ushbu ko'rsatkich havoning materialdan namlikni yutish qobiliyatini xarakterlaydi. Quritish potentsiali qanchalik katta bo'lsa, materialdan namlikning bug'lanish tezligi shunchalik yuqori bo'ladi. Agar,  $t_v = t_{MT}$  bo'lsa, quritish potentsiali  $\Delta t = 0$ .

## 5.41. Quritish jarayoni statikasi

Har bir qattiqnam material atrof muhitdan namlikni yutish yoki uni atrof muhitga berish qobiliyatiga ega. Nam materialni o'rab turgan muhit tarkibi faqat suv bug'i yoki suv bug'i - gaz aralashmasidan iborat bo'lishi mumkin. Havo bilan aralashma hosil qilgan suv bug'ining parstial bosimini  $r_b$  deb belgilaymiz. Material tarkibidagi namlikka tegishli suv bug'inig bosimi deb nomlanadi.

Material bilan nam havo o'zaro ta'siri paytida sistema 3 holatda bo'lishi mumkin:

1. Quritilayotgan nam materialdagi suv bug'ining bosimi  $r_o$ , materialni o'rab turgan havo yoki gazdagi parstial bosimdan katta, ya'ni  $p_o > p_b$ . Bunday holda materialdan namlik atrof muhitga desorbstiya qiladi, ya'ni quritish jarayoni sodir bo'ladi. Quritilayotgan materialdagi suv bug'ining bosimi  $p_o$  material namligi,

temperatura va namlikning materialga bog'lanish usuliga bog'liq;

2. Atrof muhitdagi bug'ning parstial bosimi, uning nam materialdagi bosimidan katta, ya'ni  $p_b > r_o$ . Bu holda, material va namlik orasida sorbstiya jarayoni yuz beradi, ya'ni material namlanishi ro'y beradi;

3. Nam material va atrof muhitdagi suv bug'larining bosimi bir-biriga teng, ya'ni  $p_o = p_b$ . Bunday holda sistema dinamik muvozanatda bo'ladi. Dinamik muvozanat boshlanishiga to'g'ri keladigan material namligi muvozanat namligi  $W_M$  deb nomlanadi. Muvozanat namlik suv bug'ining parstial bosimi  $p_b$  yoki unga proporsional bo'lgan havoning nisbiy namligi  $\omega$  ga bog'lidir.

Muvozanat namligining  $t = const$  da  $\omega$  ga bog'liqligi *sorbstiya izotermasi* deb ataladi va ko'pincha tajribaviy yo'l bilan topiladi.

Quritish jarayonida material sirtidagi bug' bosimi kamayib boradi va muvozanat namligiga intiladi. Namlash jarayonida esa aksincha bo'ladi, ya'ni material sirtidagi bug' bosimi ortib borib, muvozanat namligiga intiladi.

Material namligi erkin va bog'langan holda bo'lishi mumkin.

Erkin namlik deb materialdan bug'lanayotgan namlikning bug'lanish tezligi suvning erkin yuzadan ( $p_o = p_i$ ) bug'lanish tezligiga teng bo'lgan namlik tushuniladi. Malumki, materialdagi bog'langan namlikning bug'lanish tezligi erkin yuzadan suvning bug'lanishi tezligidan har doim kichik bo'ladi. Bunda,  $p_o < p_i$ , bu erda  $p_i$  - suv bug'ining to'yinish bosimi.

Material tarkibidagi namlikni xarakterlash uchun material namligi  $W$  (%) va nam saqlash  $x$  (kg namlik/kg quruqhavo) degan tushunchalar qo'llaniladi.

Material namligi materialning umumiy miqdori yoki uning tarkibidagi absolyut quruqmodda miqdoriga nisbatan hisoblanishi mumkin.

#### 5.42. Material bilan namlikning bog'lanish usullari

Material bilan namlikning bog'lanishi klassifikastiyasi akad. Rebinder P.A. tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, unga bog'lanish energiyasi asos qilib olingan. Ushbu bog'lanish quyidagi shakllarda bo'lishi mumkin:

- namlikning kimyoviy bog'lanishi, kimyoviy reakstiya natijasida hosil bo'ladi;
- namlikning fizik-kimyoviy bog'lanishi, yarim o'tkazuvchan qobiqcha orqali gaz molekulalarining adsorbstiyasi natijasida hosil bo'ladi;
- namlikni fizik-mexanik bog'lanishi, mikrokapillyar ( $r < 10^{-7}$ ), makrokapillyarlar ( $r > 10^{-7}$ ) tomonidan bug'larni yutishda, hamda gel hosil bo'ladi;

Sirti namlik eng oson, kimyoviy bog'langan namlik esa, eng qiyin yo'qotiladi.

**Kimyoviy bog'langan namlik** gidrooksid suvi ko'rinishida bo'lib, gidratasiya reakstiyasi natijasida gidrooksid va kristallogidrat tipidagi birikmalar tarkibiga kirib oladi. Ushbu namlikni qizdirish yo'li bilan yo'qotish mumkin.

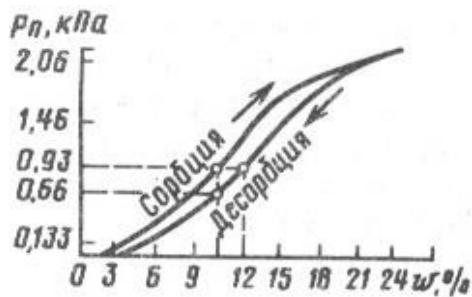
**Fizik-kimyoviy bog'lanish** shakllari turli-tuman bo'ladi:

**Adsorbstion bog'langan namlik.** Ushbu namlik atrof muhit va kolloid zarrachani ajratib turuvchi chegara yuzasida ushlanib turadi. Kolloid zarrachalar katta yuza va yuqori adsorbstion qobiliyat tuzilishga ega. Adsorbstion namlik molekulyar kuchli maydon yordamida tortilib turadi. Adsorbstion namlik yo'qotilishi davrida issiqlik ajrab chiqadi va u gidratasiya issiqligi deb nomlanadi.

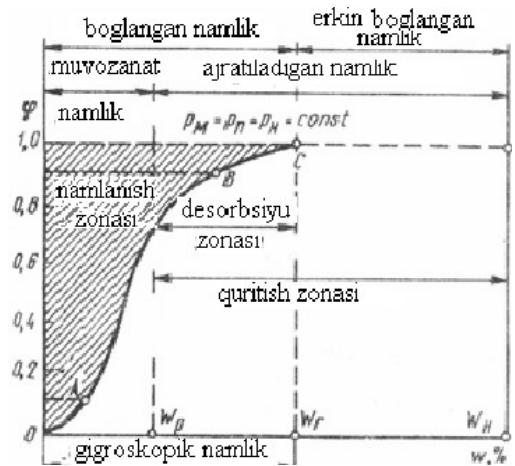
**Osmotik bog'langan namlik** yoki bo'rtish namligi material skeleti ichida bo'ladi va osmotik kuchlar yordamida ushlanib turiladi.

**Kapillyar - bog'langan namlik** mikro va makrokapillyarlar ichida bo'ladi. Ushbu namlik material bilan mexanik bog'lanishda bo'ladi va nisbatan oson bartaraf etiladi.

Namlikning material bilan bog'lanishi qanchalik mustahkam bo'lsa, material yuzasidagi bug' bosimi shunchalik kam bo'ladi. Eng mustahkam bog'lanish gigroskopik moddalarda bo'ladi.



5.94-rasm. Kraxmal namligining sorbsiya - desorbtsiya izotermalari.



5.95-rasm. Qotirilgan non namligining sorbsiya - desorbtsiya izotermalari.

Material bilan namlik bog`lanish turlarini xarakterlash uchun sorbstiya - desorbtsiya izotermalari qo`llaniladi. 5.94-rasmda sorbstiya va desorbtsiya izotermalari keltirilgan.

Desorbtsiya egri chizig`i (desorbtsiya izotermasi) nam kraxmaldan namlik yo`qotilishi davri uchun qurilgan, ya`ni uni quritish jarayonida.

Sorbtsiya egri chizig`i kraxmalni namlash davri uchun qurilgan va sorbstiya izotermasi deb nomlanadi. Sorbstiya va desorbtsiya egri chiziqlari o`ziga xos shakldagi **gisterezis halqasi** deb ataladi.

Gisterezis hodisasidan ushbu xulosa qilish mumkin: bir xil qiymatga ega bo`lgan muvozanat namlikka erishish uchun havoning nisbiy namligi, quritish jarayonida materialni namlash jarayoniga nisbatan katta bo`lishi zarur.

Buni, quritilayotgan material kapillyarlarida havo borligi ya`ni havoning kapillyar devorlarida sorbstiyalanishi bilan tushuntirish mumkin.

Oziq- ovqat mahsulotlarining sorbstiya-desorbtsiya xarakteristikalarini, ya`ni havo namligi va uning temperaturasini aniqlash imkonini beradi.

Sorbtsiya izotermalari tahlili yordamida material bilan namlikning bog`lanish usulini bilish mumkin. 5.95-rasmda qotirilgan non sorbstiya izotermalari keltirilgan. Mahsulotning boshlang`ich namligi  $W_b$ , oxirgisi esa -  $W_{ox} = W_m$  (bu erda  $W_m$ -muvozanat namligi). Material namligining  $W_b$  dan  $W_{ox}$  gacha o`zgarish oraligi **quritish sohasi** deyiladi. Bu sohada materialdan chiqadigan namlik yo`qotiladi. Gigroskopik namlik  $W_g$  dan  $W_{ox}$  gacha bo`lgan oraliqdesorbtsiya sohasi deb ataladi. Muvozanat namlik egri chizig`ining yuqorisida sorbstiya, ya`ni material namlanish, sohasi bo`ladi. Materialning nam holati (material tarkibida erkin bog`langan namlik) va gigroskopik holatlarini (materialda faqat bog`langan namlik) gigroskopik namlik ajratib turadi.

Nisbiy namlik  $\varphi = 0,4$  bo`lganda, izoterma abstsissa o`qiga nisbatan bo`rtiqko`rinishga ega. Ushbu holat monomolekulyar adsorbtsiyaga xosdir. Material bilan namlik bog`lanishini engish uchun monomolekulyar adsorbtsiyada juda katta miqdorda issiqlik sarflanishi zarur. Nisbiy namlik  $\varphi = 0,1...0,9$  oralig`ida izotermaning  $AV$  bo`lagi ordinata o`qiga nisbatan bo`rtiqko`rinishga ega. Ushbu holat polimolekulyar adsorbtsiyaga xosdir. Bu namlikni yo`qotish uchun monomolekulyar adsorbtsiyada namlikni yo`qotishga sarflanadigan issiqlik miqdori nisbatan kam bo`ladi.

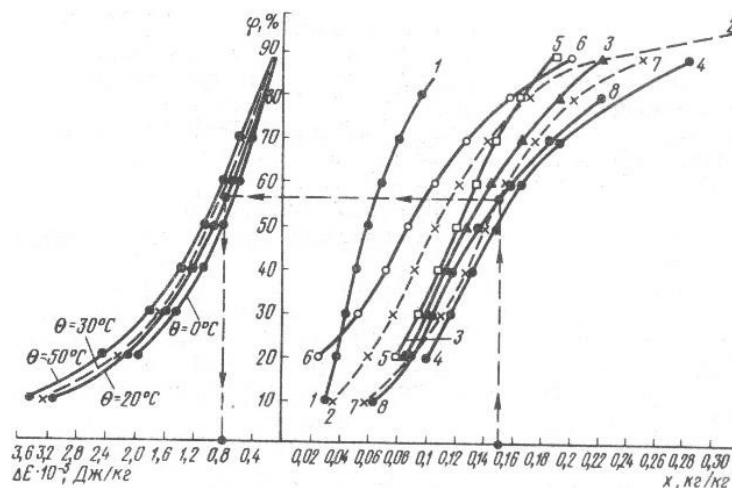
Izotermaning  $VS$  ( $\varphi = 0,9...1,0$ ) bo`lagi mikrokapillyar ( $r < 10^{-8}$ cm) lardagi namlikni ifodalaydi. Mexanik bog`langan erkin namlik materialdan mexanik usulda ajratib olinishi mumkin.

Materialni suv bilan bog`lanishi natijasida uning ustidagi suv bug`larining bosimi pasayadi. Shuning uchun, erkin energiya ham kamayadi.

O`zgarimas temperaturada erkin energiya yoki bog`lanish energiyasining kamayishi ish bilan ifodalanadi. Bu ish 1 mol suvni materialdan ajratish uchun sarflanadi va uni akad. Rebinder P.A. tomonidan keltirilgan chiqarilgan formula yordamida topish mumkin:

$$E \bullet RT \ln \frac{p_T}{p_M} \bullet \sim RT \ln \varphi \quad (5.205)$$

bu erda  $r_t$  - to`yingan suv bug`i bosimi;  $r_m$  - namligi  $x$  bo`lgan material ustidagi suv bug`ining muvozanat parstial bosimi;  $\varphi$  - havoning nisbiy namligi.



5.96-rasm. Turli mahsulotlarda namlikni bog`lanish energiyasini aniqlash chizmasi.

- 1 - pista ( $t=20^{\circ}\text{S}$ ); 2 – bug`doy ( $t=50^{\circ}\text{S}$ ); 3 - makkajo`hori ( $t=20^{\circ}\text{S}$ );  
 4 - javdari bug`doy ( $t=0^{\circ}\text{S}$ ); 5 - tozalangan guruch ( $t=20^{\circ}\text{S}$ ); 6 - un ( $t=24^{\circ}\text{S}$ );  
 7 – makkajo`hori krahmali ( $t=20^{\circ}\text{S}$ ); 8 - makaron ( $t=30^{\circ}\text{S}$ ).

Material bilan namlik bog`lanishi qanchalik mustahkam bo`lsa, shunchalik  $r_m$  kattaligi kichik bo`ladi. Erkin suvni ajratish davrida,  $r_t = r_m$  bo`lgani uchun (5.205) formula quyidagi ko`rinishni oladi:

$$E \bullet RT \ln l \bullet 0$$

Materialni quritish jarayonida bog`lanish energiyasi asta-sekin ko`payib boradi, chunki material namligi kamayishi bilan adsorbstion bog`langan namlik ulushi ortadi.

5.96-rasmda ayrim oziq- ovqat mahsulotlar muvozanat namliklarining egri chiziqlari, hamda turli temperaturalarda bog`lanish energiya funkstiyalari keltirilgan.

Ushbu grafikdan foydalanib, bog`lanish energiyasi va bog`langan namlikni yo`qotish uchun zarur ish miqdorini aniqlash mumkin.

Quritish jarayonidagi umumiy issiqlik sarfi:

$$Q \bullet Q_{bug} Q_{bn}$$

bu erda  $Q_{bug}$  - erkin namlikni bug`lanishi uchun sarflanadigan issiqlik;  $Q_{bn}$  - bug`langan namlikni yo`qotish uchun sarflanadigan issiqlik.

### 5.43. Quritish jarayoni kinetikasi

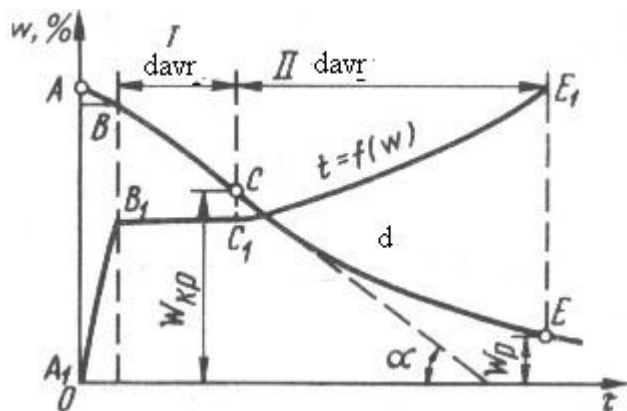
Yuqorida qayd etilgandek, quritish jarayoni murakkab issiqlik va massa almashinish jarayondir. Materialdagi namlik uning ichidan fazalarni ajratib turuvchi yuzaga massa o`tkazuvchanlik, ajratib turuvchi yuzadan gaz oqimi yadrosiga esa - konvektiv diffuziya hisobiga o`tkaziladi.

Material tarkibidagi namlikning diffuziyasi na faqat nam saqlash gradienti, balki temperatura gradienti ham ta`siri ostida ro`y beradi.

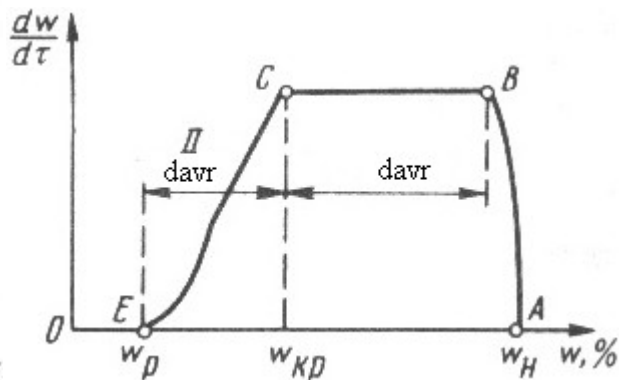
Materialdagi diffuziyani analitik usulda ifodalash juda qiyin masala. Ma`lumki, Quritish jarayoni tezligi material bilan namlikning bog`lanish shakli va unda namlikning diffuziya mexanizmiga bog`liq. quritish jarayoni kinetikasi materialning nam saqlashi yoki o`rtacha namligining ma`lum vaqtdan keyin o`zgarishi bilan xarakterlanadi.

Odatda, quritish tezligini tajribaviy usulda topish uchun quritish egri chizig`i quriladi, so`ng u differentsiallanib quritish tezligining egri chizig`i hosil qilinadi.

5.97-rasmda material namligi  $W$  va qurish vaqti  $t$  orasidagi bog`liqlik tasvirlangan.



5.97-rasm. Quritish egri chizigi.



5.98-rasm. Quritish tezligining egri chizig'i.

**Undan tashqari, rasmda material temperaturasi bog'liqligi ham keltirilgan.**

Tipik quritish egri chizig'i quritish jarayonining turli davrlarini ifodalovchi bir necha qismdan iborat.

**Jarayon boshlanishida nam material qiziydi va undan namlik bug'lanib chiqa boshlaydi.**

**Materialning quritish temperaturasi qizishi  $AV$  kesma bilan ifodalanadi. Undan so'ng, o'zgaras quritish tezligi davri ( $VS$  kesma), ya'ni I davr, boshlanadi. Bu davr qiyalik burchagi  $\checkmark$  ning o'zgaras tangensli to'g'ri chizig'i ( $VS$  kesma) bilan ifodalanadi va  $S$  nuqtada yakunlanadi. Ushbu davrda materialning temperaturasi termometrning ho'l temperaturasi (temperatura egri chizig'idagi  $V_1S_1$  kesma) qiymatiga teng bo'ladi. O'zgaras quritish tezligi davrida uzatilayotgan issiqlik, materialdagi erkin namlikni bug'lanishiga sarflanadi. Ushbu, o'zgaras quritish tezlikli davr to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi va u birinchi kritik tezlik  $W_{kr}$  ga etganda tamom bo'ladi.**

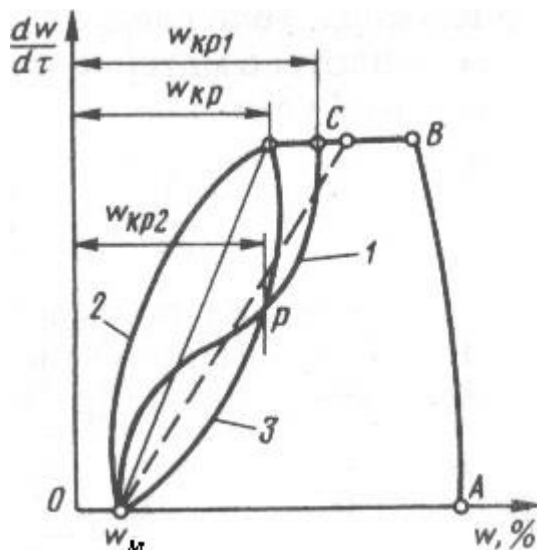
$W_{kr}$  dan boshlab esa kamayuvchi tezlik davri boshlanadi, ya'ni material namligi asta - sekin kamayadi va u  $SE$  kesma bilan ifodalanadi. Bu davrda materialdagi temperaturasi  $S_1E_1$  egri chiziq bo'ylab ko'tariladi. Quritish jarayoni oxirida material namligi asimptotik ravishda muvozanat namligi  $W_M$  ga yaqinlashib boradi. Material  $W_M$  namlikka erishishi bilan undan namlik chiqishi to'xtaydi. Ushbu daqiqada material temperaturasi uni o'rab turgan issiqlik eltich temperaturasi ( $E_1$  nuqta) teng bo'ladi. Lekin, muvozanat namligiga erishish uchun ancha vaqt zarurdir.

Quritish tezligi vaqt birligida namlik o'zgarishini ifodalaydi, ya'ni  $dW/dt$  (%/soat) yoki  $dx/dt$  ( $c^{-1}$ ).

Quritish tezligi bo'yicha ma'lumotlar asosida quritish tezligining egri chiziqlari quriladi (5.98-rasm).

$VS$  gorizontal kesma quritish jarayonining birinchi,  $SE$  esa - ikkinchi davrdagi tezligini ko'rsatadi.

Jarayonning birinchi davrida erkin bog'langan namlik yo'qotiladi va uning tezligi tashqi diffuziya zonasidagi massa almashinish qarshiligi, ya'ni konvektiv massa berish koeffitsienti bilan aniqlanadi. Birinchi kritik tezlikka oid  $S$  nuqtada material tashqi yuzasidagi namlik gigroskopik namlikka teng bo'lib qoladi.  $W_{kr}$  dan boshlab materialdan bog'langan namlik haydalib boshlanadi va jarayon tezligi ancha susayadi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, quritish tezligi egri chiziqlarining ko'rinishi 5.98-rasmda keltirilgandan ancha farq qilishi mumkin. Namlikning material bilan bog'lanish shakllariga qarab, ikkinchi davrning o'zi bir necha davrdan iborat bo'lishi mumkin (5.99-rasm).



5.99-rasm. Kapillyar - g'ovakli materiallarning quritish tezligi egri chiziqlarining tasviri.

Rasmdagi egri chiziq1 tipik kapillyar - g'ovakli jismlar uchun xosdir. Chiziqning tepa qismi kapillyar, pastki qismi esa -  $W_{kr}$  ga teng adsorbstion namlikni yo'qotish tezligini ifodalaydi. Egri chiziq2 gazlama va yupqa listli materiallar, 3 esa - keramik materiallarni quritish jarayonini xarakterlaydi.

Quritish tezligi jarayonning muhim texnologik parametri bo'lmish - quritish intensivligini aniqlash imkonini beradi.

Material namligining bug'lanish intensivligi, quritilayotgan material yuzasi birligidan vaqt birligida chiqarib yuborilayotgan namlik miqdori bilan belgilanadi, ya'ni:

$$m \bullet \frac{W}{F \Delta t}$$

bu erda  $\Delta t$  - quritish jarayonining umumiy davomiyligi.

Qattiqnam materialda namlikning diffuziyasi 5.6-rasmda keltirilgan. Qattiqmaterial ichidan tashqi yuzasiga namlikning

tarqalishi massa o'tkazuvchanlik usulida boradi. Fazalarni ajratib turuvchi yuzadan gaz oqimi yadrosiga namlikning tarqalishi esa, konvektiv diffuziya usulida o'tadi.

Ma'lumki, kapillyar - g'ovakli materiallarda moddaning tarqalishi konstrastiya va temperatura gradientlari ostida bo'lishi mumkin. Temperatura gradienti ta'sirida kattiqmaterialda ro'y beradigan namlikning tarqalishi termodiffuziya hisobiga bo'ladi. Agar, materialni quritish qattiqrejimlarda olib borilsa, ya'ni temperaturalar gradienti salmoqli bo'lganda, termodiffuziya hodisasi namoyon bo'ladi.

$r = const$  bo'lganda, massaviy oqimni ushbu tenglama bilan ifodalash mumkin:

$$i \cdot \frac{dW}{Fd} = k \frac{dx}{dt} + \frac{\rho_{aqm} \cdot l}{\rho} \frac{dx}{dt} + r \frac{dt}{dn} \quad (5.206)$$

bu erda  $k$  - massa o'tkazuvchanlik koeffisienti,  $m^2/soat$ ;  $\rho_{aqm}$  - absolyut quruqmaterial zichligi,  $kg/m^3$ ;  $x$  - materialning nam saqlashi,  $kg/kg$  quruqmaterialga;  $l$  - izokonstrastion yuza normal;  $r$  - termonamlik o'tkazuvchanlik koeffisienti,  $K^{-1}$ ;  $t$  - temperatura,  $K$ .

(5.206) tenglamaning birinchi qo'shiluvchisi konstrastiya gradienti ta'sirida, ikkinchisi esa - temperatura gradienti ta'sirida modda uzatilishini xarakterlaydi.

Tenglamadagi kinetik  $k$  va  $r$  koeffisientlar temperatura va jism namligi funktsiyasidir. Shuning uchun, nam materialda namlikning tarqalishini unda issiqlik almashinish bilan birgalikda qarash kerak. Issiqlik almashinish Furening issiqlik o'tkazuvchanlik qonuni bilan ifodalanadi.

$$\frac{dQ}{Fd} = s \frac{dx}{dt} + r \frac{dt}{dn}$$

Yuqorida keltirilgan massa va issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamalar asosida A.V. Likov tomonidan kapillyar - g'ovakli jismda issiqlik va massa almashinishning differensial tenglamalar sistemasi keltirib chiqarilgan:

$$\frac{dx}{dt} + \frac{c \cdot \rho_{aqm}}{\rho} \frac{dx}{dt} = k \frac{dx}{dt} + \frac{\rho_{aqm} \cdot l}{\rho} \frac{dx}{dt} + r \frac{dt}{dn} + s \frac{dx}{dt} + r \frac{dt}{dn} \quad (5.207)$$

bu erda  $s = dx/dx$  - fazaviy o'zgarish kriteriysi;  $r$  - bug'lanish issiqligi,  $kJ/kg$ .

Ushbu tenglamadagi  $s$ ,  $r$  va  $r$  koeffisientlar o'zgaruvchi kattaliklar bo'lib, jismning namligi va temperaturasiga bog'liq.

(5.207) dagi birinchi tenglama qattiqjismda namlik va temperatura gradientlari ta'sirida nam saqlashning o'zgarish tezligini ifodalaydi. Ikkinchi tenglama esa, issiqlik o'tkazuvchanlik va ichki bug'lanish hisobiga temperatura maydoni o'zgarish tezligini xarakterlaydi.

Konvektiv quritishda moddalar diffuziyasi yo'nalishiga qarshi yo'nalgan termodiffuziya oqimi massa o'tkazuvchanlik tezligini pasaytiradi.

Materialdagi noturg'un konstrastiya va temperatura maydonlarini topish uchun differensial tenglamalar sistemasini echish kerak. Quritish jarayonini bunday hisoblash usuli, kerakli namlikka erishish vaqtini va quritkich o'lchamlarini aniqlash, nazariy jihatdan o'rindir.

Lekin, differensial tenglamalar sistemasini echish uchun massa va issiqlik o'tkazish koeffisientlarini material namligi va temperaturaga bog'likligini bilish zarur. Yuqorida qayd etilgan hamma koeffisientlar,  $s$  va  $r$  dan tashqari,  $x$  va  $t$  ga bog'liqligi juda murakkabdir.

Prof. A.N. Planovskiy tomonidan quritish jarayonini faqat massa o'tkazuvchanlik koeffisienti  $k$  orqali hisoblash mumkinligi isbotlangan. Unga binoan, (5.207) ning birinchi tenglamasi ushbu ko'rinishni oladi:

$$\frac{dx}{dt} + \frac{c \cdot \rho_{aqm}}{\rho} \frac{dx}{dt} = k \frac{dx}{dt} + \frac{\rho_{aqm} \cdot l}{\rho} \frac{dx}{dt} + r \frac{dt}{dn} \quad (5.208)$$

bu erda  $k^*$  - ham termodiffuziya, ham massa o'tkazuvchanlikni xarakterlovchi koeffisient bo'lib, faqat material namligiga bog'liq.

Agar, namlikning ma'lum oralig'ida  $k = const$  va  $r = const$  deb qabul qilsak, (5.208) chiziqli tenglama ko'rinishiga keladi:

$$\frac{dx}{dt} + \frac{c \cdot \rho_{aqm}}{\rho} \frac{dx}{dt} = k^* \frac{dx}{dt} + r \frac{dt}{dn}$$

$$k \frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$\left( \frac{\dots}{5} \right)$$

Quritish jarayonining boshlang'ich shartlariga, qattiq materialda namlikning bir tekisda tarqalishi, ya'ni  $\frac{d^2 x}{dt^2} = 0$  bo'lganda  $x = x_b = \text{const}$  to'g'ri keladi.  
 (5.208) va (5.209) tenglamalar tahlilidan quyidagi ko'rinishdagi kriterial formula keltirib chiqariladi:

$$E = f(Bi_d, Fo_d) \quad (5.210)$$

bu erda  $E$  - materialdagi namlikning o'lchamsiz konstantrastiyasi, ya'ni:

$$E = \frac{x - x_M}{x_0 - x_M}$$

bu erda  $x_M$  - materialdagi namlikning muvozanat konstantrastiyasi;  $Bi_d = \frac{v \cdot l}{k \cdot x_k}$  - Bio diffuzion kriteriyasi;  $Fo_d = \frac{k \cdot l^2}{D}$  - Fure diffuzion kriteriyasi.

Noto'g'ri geometrik shakldagi jismlar uchun (5.210) tenglama  $G_1, G_2, \dots, G_n$  parametrik kriteriyalar bilan to'ldirilishi mumkin.

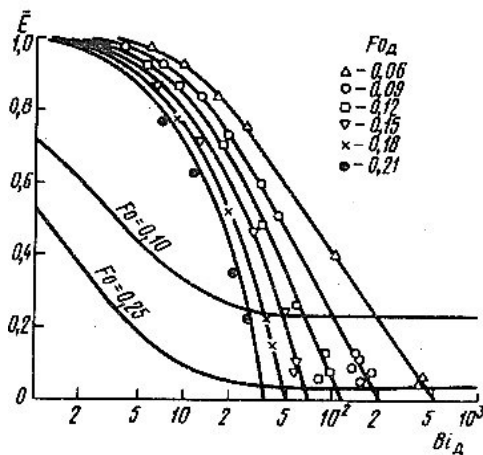
Agar materialning issiqlik - fizik xossalari va jarayon davomida temperaturaning o'zgarishi ma'lum bo'lsa, quritish kinetikasi prof. A.N.Planovskiy va prof. S.P.Rudobashta tomonidan taklif etilgan issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamalari asosida hisoblash usulidan foydalanish mumkin. Lekin, Fure tenglamasi va massa o'tkazuvchanlik tenglamalari orasidagi o'xshashlik rasmiy xarakterga ega.  $Fo = const$  chiziqlarining turli xarakteri temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsienti  $a$  ning  $t$  dan va massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti  $k^*$  ning  $x$  dan bog'liqligi orasida prinsipial farqborligini ko'rsatadi (5.100-rasm)

$Fo_d = const$  egri chiziqlar  $k = f(x)$  funkstiyani xarakterlaydi.

To'g'ri geometrik shaklli jism va cheksiz oqim uchun (5.200) tenglamaning umumiy echimi ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$E = \frac{x - x_M}{x_0 - x_M} = \sum_{i=1}^n A_i \exp(-\lambda_i^2 Fo_d) \quad (5.211)$$

bu erda  $A = f(Bi_d, \lambda_n)$  - jism shakli, chegaraviy va boshlang'ich shartlariga bog'liqbo'lgan jism funkstiyasi;  $\lambda_n$  - xarakteristik tenglamalar ildizlari.



5.100-rasm. Issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini echishga oid  $Fo_d = const$  va  $F_0 = const$  chiziqlari.

Kapilyar-g'ovakli jismda massa o'tkazuvchanlik bo'yicha ma'lumotlar bo'lsa, (5.211) tenglamadan  $i$  - intervalda quritish vaqtini aniqlash mumkin

(bu erda  $k_i = const$ ):

$$Fo_d = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^n \frac{\lambda_{j,i}^2}{R_j^2} \ln \left( \frac{E}{\sum_{j=1}^n \frac{A_j}{R_j^2} \exp(-\lambda_{j,i}^2 Fo_d)} \right) \quad (5.212)$$

bu erda  $\lambda_{j,i}$  va  $\lambda_{j,i} - j$  - yo'nalishda jism yuzasi shakliga va namlik o'zgarishining  $i$  - oralig'idagi  $Bi_m$  ning kattaligi.

Amaliyotda quritish vaqtini aniqlash uchun kinetika va quritish tezligi egri chiziqlaridan yoki kinetik tenglamalardan foydalaniladi.

Kinetik tenglamalar yordamida quritkichning asosiy o'lchamlari hisoblanadi. Davriy qurilmalarda - quritish jarayoni davomiyligi, uzluksiz ishlaydigan quritgichlarda -

materialni quritish vaqti yoki fazalar o'zaro ta'sir uchun zarur yuza aniqlanadi.

Umumiy holatda davriy jarayonlar uchun umumiy quritish vaqti quyidagi tenglamadan hisoblanadi:

$$\tau_{um} = \tau_1 + \tau_2 \quad (5.213)$$

bu erda  $\tau_1$  - birinchi davrda quritish davomiyligi, soat;  $\tau_2$  - ikkinchi davrda quritish davomiyligi, soat.

$\tau_1$  ning qiymati massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan aniqlanadi:

$$\tau_1 = \frac{W}{\alpha_x F} \quad \text{yoki} \quad \tau_1 = \frac{W}{\alpha_p F} \quad (5.214)$$

bu erda  $\alpha_{ur}$  - jarayonning o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchi.

$$\alpha_{ur} = \frac{\alpha_x \alpha_p}{\alpha_x + \alpha_p} \quad \text{yoki} \quad \alpha_{ur} = \frac{2.31g}{x}$$

yoki

  $P_{yp}$

  $P_x$

$\bar{\sigma}$

  $P_x$

$\sigma_x$

2

3

1

  $P_g$

$P$

$\bar{\sigma}$



bu erda  $x_b = (x_{uy}-x_b)$  - quritish jarayonidagi to'yingan havo nam saqlashi va ishchi nam saqlashlarning boshlang'ich farqi, kg/kg quruqhavo;  $x_{ox} = (x_{uy}-x_{ox})$  jarayon oxiridagi nam saqlashlar farqi, kg/kg quruqhavo;  $R_b = (R_{uy}-R_b)$  quritish jarayonidagi to'yingan havo parstial bosimi va ishchi parstial bosimlarning farqi;  $R_{ox} = (R_{uy}-R_{ox})$  - jarayon oxiridagi parstial bosimlar farqi.

Quritish jarayonining birinchi davri uchun kinetik qonun massa berish tenglamasi bilan ifodalanishi mumkin:

$$W \cdot x \cdot F \cdot r_{uy} \cdot x \quad W \cdot F \cdot p \cdot r \cdot p \quad (5.215)$$

bu erda  $W$  - bug'latilgan suyuqlik miqdori, kg;  $F$  - fazalar o'zaro ta'sir yuzasi, m<sup>2</sup>;  $x_{uy}$  - material tashqi yuza temperaturasidagi to'yingan havo nam saqlashi, kg/kg quruqhavo;  $x$  - havoning haqiqiy nam saqlashi, kg/kg quruqhavo;  $r_{uy}$  - massa berish koeffitsienti, kg/(m<sup>2</sup> soat Pa);  $r$  - material yuzasi atrofidagi to'yingan havo suv bug'larining bosimi, Pa;  $p$  - havodagi suv bug'ining parstial bosimi, Pa.

Quritish jarayonining birinchi davrida massa berish koeffitsientini hisoblash uchun quyidagi tahminiy formuladan foydalanish mumkin:

$$Nu = 2 \cdot A \cdot Re^n \cdot Pr_{II}^{0,33} \cdot Gu^{0,133} \quad (5.216)$$

bu erda  $Gu = (T_c - T_m) / T_c$  - Guxman kriteriyasi;  $T_s$  - muhit temperaturasi, K;  $T_m$  - material tashqi yuzasining temperaturasi, K. Formuladagi konstanta  $A$  va daraja ko'rsatkichi  $n$  Reynolds kriteriyasiga bog'liq, ya'ni

Re	A	n
200-25000	0,385	0,57
25000-70000	0,102	0,73
70000-315000	0,025	0,9

$Nu$ ,  $Re$  va  $Pr$  kriteriyalaridagi parametrlar gaz oqimining o'rtacha temperaturasida hisoblanadi.

Quritish jarayoni ikkinchi davrining davomiyligini hisoblash uchun Shervud - Likov tahminiy usulidan foydalansa bo'ladi. Lekin, quritish tezligining egri chizig'i to'g'ri chiziq tenglamasi bilan ifodalanish sharti bajarilishi zarur. Ikkinchi davr uchun kinetik qonun ushbu ko'rinishga ega:

$$\frac{dW}{F \cdot d} = K \cdot x \cdot x_m \quad (5.217)$$

bu erda  $K$  - quritish tezligi koeffitsienti;  $x$  - materialning shu ondagi namligi, kg/kg quruqhavo;  $x_m$  - materialning muvozanat namligi, kg/kg quruqhavo.

Lekin, quritish tezligining  $x_{kr}$  va  $x_{ox}$  oralikdagi o'zgarishi to'g'ri chizikli qonunga bo'ysinmaydi. Shuning uchun, (5.217) tenglama 40...60% xatolik beradi.

Moddiy balans tenglamasini hisobga olsak:

$$dW = G \cdot dx = K \cdot F \cdot x \cdot x_m \cdot d$$

bu erda  $G$  - quritilayotgan material massasi, kg.

Matematik o'zgartirishlardan so'ng ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$2,31g \cdot \frac{x_{kp} \cdot x_m}{x_{ox} \cdot x_m} = \frac{K \cdot F}{G} \quad (5.218)$$

Oxirgi tenglamadan ikkinchi davrdagi quritish jarayoni davomiyligini aniqlash mumkin:

$$\frac{G}{2,31g \cdot K \cdot F} = \frac{x_{kp} \cdot x_m}{x_{ox} \cdot x_m} \quad (5.219)$$

Agar quritish jarayoni uzluksiz bo'lsa, birinchi va ikkinchi davrlarni o'tkazish uchun zarur bo'lgan fazalar to'qnashish yuzasini ushbu tenglamadan topamiz:

$$F_{yM} = F_1 \cdot F_2 \quad (5.220)$$

bu erda  $F_1$  - birinchi davrdagi gaz va materiallar o'zaro ta'sir yuzasi, m<sup>2</sup>;  $F_2$  - ikkinchi davrdagi fazalar to'qnashish yuzasi, m<sup>2</sup>.

$W$  ni  $W_{ox}$  orqali belgilab, (5.213) va (5.214) tenglamalardan  $F_1$  ni topamiz:

$$F_1 \bullet \frac{W}{\begin{array}{c} \text{бicycle } p \\ \text{P}_{yp} \end{array}} \bullet \frac{W}{\begin{array}{c} \text{бicycle } x \\ \text{X}_{yp} \end{array}} \quad (5.221)$$

$G_{\text{ox}}$  ni  $G_{\text{ox}}$  deb belgilab, (5.219) tenglamadan ushbu ko'rinishni olamiz:

$$F \bullet \frac{G_{\text{ox}}}{K} 2,31g \frac{x_{\text{ox}} x_{\text{m}}}{x_0 x_{\text{m}}} \quad (5.222)$$

Shunday qilib, quritish jarayoni tezligini oshiruvchi omillarga quyidagilar kiradi:

- a) jarayon temperaturasini ko'tarish;
- b) quritilayotgan material ustidagi bo'shliqda bosimni pasaytirish;
- v) issiqlik eltkich nam saqlashini kamaytirish;
- g) material ustidagi issiqlik eltkich tezligini oshirish;
- d) jarayon davomida materialni aralashtirish.

#### 5.44. Quritkichning moddiy va issiqlik balanslari

Konvektiv quritish qurilmasi quritkich, transport moslamasi, ventilyator va kaloriferdan tarkib topgan deb faraz qilaylik (5.101-rasm).

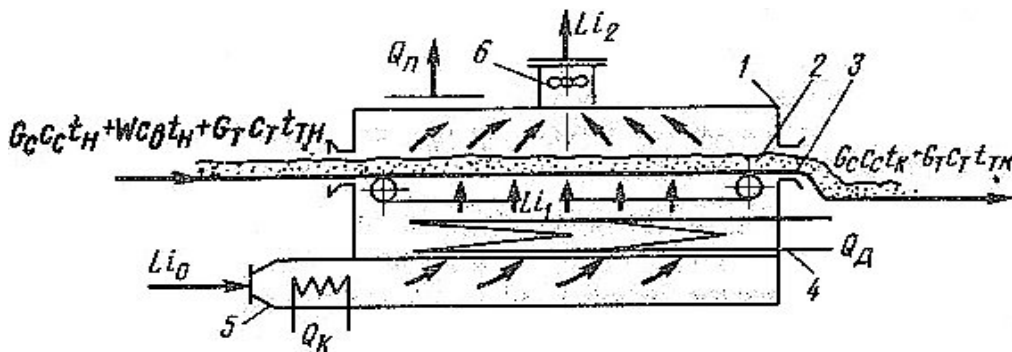
Quritishga uzatilayotgan nam materialning massaviy sarfini  $G_b$  (kg/soat), quritilgan material massaviy sarfini  $G_{\text{ox}}$  (kg/soat), materialning boshlang'ich va oxirgi namliklarini  $W_1$  va  $W_2$  (%), bug'langan namlik miqdorini  $W$  (kg/soat) deb belgilab olamiz.

Unda, jarayonning moddiy balansini ushbu tenglama ko'rinishida ifodalash mumkin:

$$G_{\text{ox}} \bullet G_{\text{ox}} W \text{ yoki } W \bullet G_{\text{ox}} \frac{100 - W_1}{100 - W_2} \quad (5.223)$$

Quruqmoddalar bo'yicha moddiy balansni quyidagi yozish mumkin:

$$G_{\text{ox}} \bullet 100 \frac{W_1}{100 - W_1} \bullet G_{\text{ox}} \frac{100 - W_2}{100 - W_2} \quad (5.224)$$



5.101-rasm. Konvektiv quritkich shemasi.

1 - quritkich; 2 - nam material; 3 - lentali transporter; 4 - qo'shimcha kalorifer; 5 - asosiy kalorifer; 6 - ventilyator.

yoki

$$G_{\text{ox}} \bullet G_{\text{ox}} \frac{100 - W_1}{100 - W_2} \quad (5.225)$$

Bug'latilgan namlik miqdori esa, ushbu tenglamadan hisoblab aniqlanadi:

$$W \bullet G_{\text{ox}} \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} \quad (5.226)$$

Quritkichga uzatilayotgan gaz yoki absolyut quruqhavo miqdorini  $L$  (kg/soat), boshlang'ich nam saqlashini  $x_1$  va oxirgisini  $x_2$  deb belgilab olamiz.

Unda, namlik bo'yicha moddiy balans:

$$W \bullet L x_1 \bullet L x_2 \quad (5.227)$$

bundan quruqhavo sarfi:

$$L \bullet \frac{W}{x_2 - x_1} \quad (5.228)$$

Havoning solishtirma sarfi (1 kg namlikni bug'latish uchun ketayotgan sarf) esa,

$$l \frac{\bullet}{L} \bullet \frac{1}{x_2 x_1} \quad (5.229)$$

**Konvektiv quritishning issiqlik balansini** ham 5.101-rasm asosida tuzamiz. Quritish vaqtida issiqlik va massa almashinish jarayonlari birgalikda o'tadi. Moddiy va issiqlik oqimlar orasida ma'lum bog'liqlik mavjud. Kontaktli quritish jarayonida issiqlik materialni qandaydir boshlang'ich quritish temperaturasigacha isitish va quritish uchun sarflanadi.

Quritishga kirayotgan material miqdori  $G_c+W$  (kg/soat) bo'lib, u massasi  $G_r$  bo'lgan konveyerda joylashgan. Quritkichga  $L$  (kg/soat) miqdorda absolyut quruqhavo uzatilmoqda. Kaloriferda isitilayotgan havoga  $Q_k$  (kJ/soat) miqdorda issiqlik uzatilsa, qurilmada esa unga qo'shimcha  $Q_d$  (kJ/soat) issiqlik beriladi.

Quritish jarayonida qatnashayotgan material, issiqlik eltkich va moslamalar parametrlarini quyidagicha belgilab olamiz:

- $G_c$  - quritilayotgan material massasi, kg/soat;
- $s_s$  - quritilgan material solishtirma issiqlik sig'imi, kJ(k<sup>o</sup>K);
- $s_T$  - transport moslamasining solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg<sup>o</sup>K);
- $t_n$  - materialning quritishgacha bo'lgan temperaturasi, °S;
- $s_v$  - suvning solishtirma issiqlik sig'imi, kJ/(kg<sup>o</sup>K);
- $t_k$  - materialning quritilgandan keyincha temperaturasi. °S;
- $t_{m}, t_{tk}$  - transport moslamasining quritkichga kirishdan avvalgi va undan chiqqandan keyingi temperaturalari, °S;
- $I_0$  - quritkichga kirayotgan havoning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;
- $I_1$  - kaloriferda isitilayotgan havoning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;
- $I_2$  - quritkichdan chikayotgan havoning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;
- $Q_p$  - atrof muhitga issiqlikning yo'qotilishi, kJ/kg.

Jarayonning issiqlik balans tenglamasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$LI_0 \cdot Q_k \cdot Q_n \cdot G_c c_{t_n} \cdot W c_{t_n} \cdot G_T c_T t_{m_k} \bullet LI_2 \cdot G_c c_{t_k} \cdot G_T c_T t_{m_k} \cdot Q_n \quad (5.230)$$

Ushbu tenglamadan quritish uchun kerakli issiqlik sarfini aniqlash mumkin:

$$Q \bullet Q_k \cdot Q_D \bullet L \bullet I_2 \cdot I_0 \cdot G_c c_{t_k} \cdot t_n \cdot G_T c_T t_{m_k} \cdot t_{m_k} \cdot W c_{t_n} \cdot Q_n \quad (5.231)$$

Agar, hamma issiqlik sarflarini bug'latilayotgan 1 kg namlikka nisbatan olib, tegishli belgilashlarni amalga oshirsak, (5.231) tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$q \bullet q_k \cdot q_D \bullet l \bullet I_2 \cdot I_0 \cdot q_m \cdot q_T \cdot q_n \cdot c_{t_n} \quad (5.232)$$

Ushbu tenglamadan kaloriferdagi solishtirma issiqlik sarfini topamiz:

$$q_k \bullet l \bullet I_2 \cdot I_0 \cdot q_m \cdot q_T \cdot q_n \cdot q_D \cdot c_{t_n} \text{ yoki } q_k \bullet l \bullet I_2 \cdot I_0 \quad (5.233)$$

Olingan  $q_k$  qiymatini (5.232) tenglamaga qo'yib, quyidagi ko'rinishga erishamiz:

$$l \bullet I_1 \cdot I_0 \cdot q_D \bullet l \bullet I_2 \cdot I_0 \cdot q_m \cdot q_T \cdot q_n \cdot c_{t_n}$$

yoki

$$l \bullet I_1 \cdot I_0 \bullet q_D \cdot c_{t_n} \cdot q_m \cdot q_T \cdot q_n \quad (5.234)$$

Agar,  $q_D = 0$  bo'lsa

$$l \bullet I_2 \cdot I_0 \bullet c_{t_n} \cdot q_m \cdot q_T \cdot q_n$$

(5.234) tenglamaning o'ng tomonini

$$\cdot q_D \cdot c_{t_n} \cdot q_m \cdot q_T \cdot q_n \bullet \quad (5.234a)$$

deb belgilasak, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\cdot II_2 \cdot I_1 \bullet \quad (5.235)$$

yoki

$$I_2 \bullet I_1 \cdot \frac{1}{l} \quad (5.235)$$

Agar, (5.229) tenglamani inobatga olsak, ushbu tenglamaga erishamiz:

$$\frac{I_2 \sim I_1}{x_2 x_1} \bullet \quad (5.236)$$

oraliq, biror ondagi qiymatlar uchun esa:

$$\frac{\tilde{I} \ I_1}{x \ x_1} \bullet \quad (5.237)$$

(5.237) to'g'ri chiziq tenglamasi bo'lib, quritish jarayonining ishchi tenglamasi deb nomlanadi.

Shunday qilib, entalpiya va nam saqlashlar orasidagi bog'liqlik to'g'ri chiziq funktsiyasi bilan xarakterlanadi.

Quritish jarayonlarini tahlil qilish uchun nazariy quritkich tushunchasini kiritamiz. Quritishga uzatilayotgan material temperaturasi nolga teng, hamda material va transport vositalar isitilishi bo'lmagan qurilma, nazariy quritkich deb ataladi. Unda, (5.234a) tenglamaga binoan,  $\Delta t = 0$  bo'ladi. Bunda  $I = 0$  va (5.235) tenglamadan nazariy quritish uchun  $I_1 = I_2$  ekanligini aniqlaymiz. Shunday qilib,  $I - x$  diagrammada jarayon  $I = const$  chizig'i bilan tasvirlanadi. Nazariy quritkichda material namligining bug'lanishi faqat havoning sovishi hisobiga bo'ladi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, havo berayotgan issiqlik miqdori materialdan bug'langan namlik bilan birga qaytariladi.

Haqiqiy quritkichlarda havoning entalpiyasi ko'pchilik hollarda o'zgaruvchan bo'ladi.

Agar issiqlikning kirishi uning sarfidan katta ( $q_D + c_v t_n > q_m + q_T + q_n$ ) bo'lsa, ya'ni  $\Delta t > 0$ , unda (5.235)ga binoan  $I_2 > I_1$  bo'ladi. Bunday hollarda quritkich iqtisodiy jihatdan tejamisiz rejimda ishlaydi, chunki hamma issiqlik foydali sarflanmaydi.

Agar,  $\Delta t < 0$  dan bo'lsa, unda  $I_2 < I_1$  bo'ladi. Bunday hollarda quritkich tejamkor va samarali ishlaydi.

Haqiqiy quritkichlarda  $\Delta t = 0$  bo'lgan tenglik hollari ham bo'lishi mumkin. Bunday holatda quritkichga kirayotgan issiqlik uning sarfiga tengdir, ya'ni,  $q_D + c_v t_n = q_m + q_T + q_n$

Kontaktli quritkichda namlikni bug'latishi uchun zarur issiqlik fazalarni ajratib turuvchi devor orqali uzatiladi. Ushbu quritish jarayonida issiqlik eltkich sifatida to'yingan suv bug'i ishlatiladi.

Uzatilayotgan issiqlik materialni quritish temperaturasigacha isitish va undan namlikni yo'qotish uchun sarflanadi, ya'ni  $Q_{um} = Q_n + Q_s$ .

Materialni isitish uchun issiqlik sarfi

$$Q_n = D_n I'' \sim I' \bullet G c_c t_{cb} \cdot t_K, W c_e t_{ch} \sim t_n Q_n \quad (5.238)$$

Quritish uchun zarur issiqlik sarfi

$$Q_c = D_c I'' \sim I' \bullet G c_c t_{cx} \cdot t_{ch} W I_e \sim c_{stch} \cdot Q_n \quad (5.239)$$

Bug'ning umumiy sarfi

$$D_{ym} \bullet \frac{Q_{ym}}{\tilde{I} \ I'} \quad (5.240)$$

Konvektiv quritish jarayonini  $I - x$  diagrammada tasvirlash uchun havoning 2 ta boshlang'ich parametri  $t_1$  va  $x_1$  berilgan bo'lishi kerak. Jarayon tamom bo'lgandan so'ng, havoning oxirgi 3 ta parametrlaridan, ya'ni nisbiy namlik, temperatura yoki nam saqlashdan, bittasi qabul qilinadi.

Keyin, havoning boshlang'ich parametrlarini ifodalovchi va berilgan

( $\Delta t = const$ ,  $t_2 = const$  yoki  $x = const$ ) nuqtalar bo'yicha  $I - x$  diagrammada quritish jarayonining ishchi chizig'i o'tkaziladi. Topilgan nuqta bo'yicha issiqlik eltkich - havoning hamma oxirgi parametrlari, hamda uning sarfi va issiqlik miqdori aniqlanadi.

*I-x diagrammada quritish uchun havo va issiqlikning sarfini aniqlash*

Quritish jarayoni I-x diagrammada quyidagicha tasvirlanadi (5.102-rasm). Kaloriferga kirayotgan havoning temperaturasi  $t_0$  va uning nisbiy namligi  $\Delta t_0$  bo'lgan parametrli havo diagrammada A nuqta bilan ifodalanadi. Ushbu parametrli havoning nam saqlashi  $x_0$ .

Kaloriferda havoning  $t_0$  dan  $t_1$  temperaturagacha isishi o'zgarimas nam saqlash  $x_0 = x_1$  da o'tadi va jarayon diagrammada vertikal kesma AV bilan ifodalanadi. Nuqta V ga izoterma  $t_1$  to'g'ri keladi.

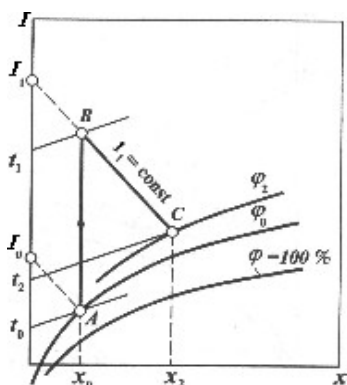
Quritish jarayonida havo holatining o'zgarishini quyidagi tenglama yordamida aniqlaymiz:

$$I \sim (I_1 - I_2) = \Delta t \quad (5.241)$$

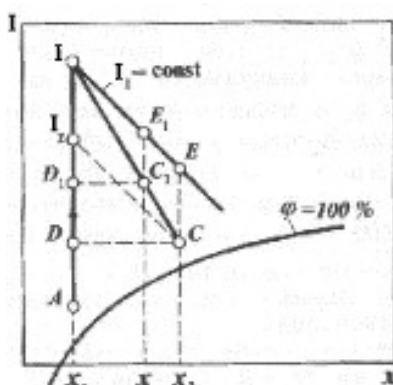
bu erda  $\Delta t$  - issiqlikning solishtirma sarfi.

Agar quritkichga qo'shimcha issiqlik uzatilmasa  $Q_{qo'sh}=0$ , unda

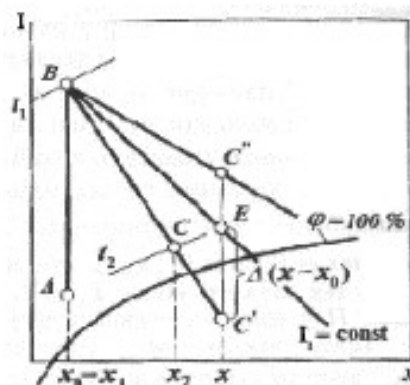
$$q_M + q_T + q_{yo'q} > q_W$$



5.102-rasm. I-x diagramada nazariy quritish jarayoni grafik tasviri.



5.103-rasm. Quritish jarayoni ishchi chizig'ini I-x diagramada tasvirlash.



5.103a-rasm. I-x diagramada quritish chizig'ini aniqlash.

ya'ni  $\epsilon > 0$ . Quritkichdan chiqib ketayotgan issiqhavoning entalpiyasi unga kirayotgandan kichik ( $I_2 < I_1$ ). Agar quritkichga qo'shimcha issiqlik  $Q_{qo'sh}$  uzatilsa, unda

$$q_M + q_T + q_{yo'q} < q_{qo'sh} + q_W$$

ya'ni  $\epsilon < 0$ . Quritkichdan chiqib ketayotgan havoning entalpiyasi ortib boradi ( $I_2 > I_1$ ). Lekin, shunday quritish sharoitlarini tashkil etish mumkinki, unda

$$q_M + q_T + q_{yo'q} = q_{qo'sh} + q_W$$

$$ya'ni \epsilon = 0 \text{ va } I_1 = I_2 = \text{const.}$$

Quritkichda havo entalpiyasi o'zgarmasdan kechadigan jarayon nazariy quritish deb nomlanadi. I-x diagrammada nazariy quritish jaryoni  $V$  nuqtadan  $I = \text{const}$  bo'ylab havoning yuqori nam saqlash qiymatlari o'ngga tomon yo'nalgan chizig'i bilan ifodalanadi. Ushbu chiziq  $S$  nuqtadagi izoterma  $t_2$  yoki nisbiy namlik  $\mu_2$  to'xtaydi (5.102-rasm). Nuqta  $S$  ning absstissasi ishlatib bo'lingan issiqhavo nam saqlashi  $x_2$  ni ko'rsatadi.

Agar,  $x_2$  va  $x_0$  ma'lum bo'lsa, havoning solishtirma sarfi  $I$ , uning sarfi  $L = I \cdot W$  va kaloriferda o'zatilayotgan issiqlik miqdori  $Q = L(I_1 - I_0)$  aniqlanishi mumkin. Hisoblashlarda ishlatiladigan hamma kattaliklar ( $x_0, x_2, I_0, I_1$ ) I-x diagrammadan topiladi.

Agar,  $\epsilon = 0$  bo'lgan hollarda  $S$  nuqta  $I = \text{const}$  chizig'idan yuqorida yoki pastda bo'ladi.

Avval  $\epsilon > 0$  bo'lgan sharoit uchun I-x diagrammada quritish chizig'ining shaklini ko'ramiz. Boshlang'ich ma'lumotlar bo'yicha nazariy quritishning chizig'i  $VS$  ni topamiz. Quritkichga qo'shimcha issiqlik uzatilganda ( $\epsilon > 0$ ), haqiqiy quritkichning chizig'i  $V$  nuqtadan boshlanib,  $I_1 = \text{const}$  chizig'ining yuqorisidan o'tadi (5.103-rasm). Haqiqiy quritkich chizig'ini topish uchun  $VS$  kesmada ixtiyoriy  $S_1$  nuqtani tanlaymiz va vertikal, gorizontaal chiziqlar o'tkazib  $D, D_1$  va  $E, E_1$  nuqtalarni topamiz.  $VS_1E_1$  va  $VSE$ , hamda  $VD_1S_1$  va  $VDS$  uchburchaklarning o'xshashligidan quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$\frac{CE}{CD} = \frac{C_1E_1}{C_1D_1}$$

Nuqta  $E$  da havo entalpiyasi  $I_1$  bo'lib,  $C$  da esa  $I_2$  bo'lgani uchun, ularga tegishli kesmalar  $SE = I_1 - I_2$  va  $DC = x_2 - x_1$  ga teng bo'ladi.

Demak,

$$\frac{CE}{CD} = \frac{I_1 - I_2}{x_2 - x_1}$$

Ammo,  $\epsilon = (I_1 - I_2)/(x_2 - x_1)$  ekanligini inobatga olsak, ya'ni

$$\frac{CE}{CD} = \epsilon \frac{I_1 - I_2}{x_2 - x_1}$$

Agar,  $S_1$  nuqtaning koordinatlarining  $x$  va  $I$  deb belgilab olsak, unda tegishli kesmalar quyidagi

koʻrinishni oladi:

$$S_1 E_1 = I_1 - I \quad \text{va} \quad C_1 D_1 = x - x_0$$

Yuqorida keltirilganlarni hisobga olsak, ushbu nisbatni olamiz:

$$\frac{CE}{E_1} \cdot \frac{C_1}{CD C_1 D_1} \cdot \frac{I_1 - I_2}{x_2 - x_0} = \frac{I_1 - I}{\tilde{x} - x_0}$$

yoki

$$I_1 - I = \tilde{x} (x_2 - x_0)$$

Demak,  $VS$  quritish chizig'i kattalikni havoning boshlang'ich parametrlari  $I_1$  va  $x_0$ , hamda koordinatlar  $I$  va  $x$  lar bilan bog'laydi.

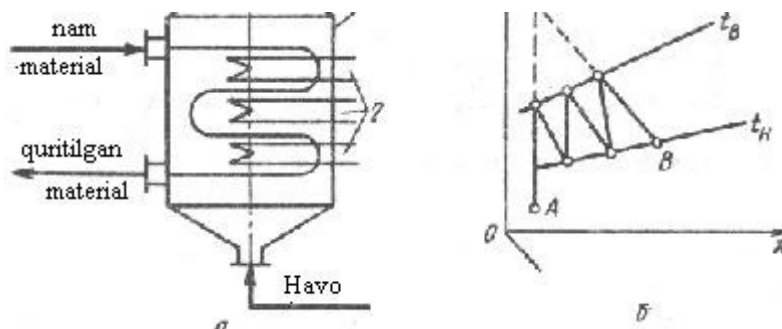
Shunday qilib, yuqorida keltirilganlarga asoslanib istalgan holat uchun quritish chizig'ining yo'nalishini topish mumkin.

Agar,  $\tilde{x} < 0$  bo'lsa, ya'ni quritgichda issiqlikning yo'qotilishi mavjud bo'lsa, haqiqiy quritgichning chizig'ini tuzish avvalgi misoldan (ya'ni  $\tilde{x} > 0$  bo'lgandagidan) farqqilmaydi (5.103a-rasm). Quritish chizig'i  $VS$  kesma bilan ifodalanadi.

### 5.45. Quritish jarayonini tashkil etish usullari

Kimyo, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda havo qizdirilishi va bir marta quritish kamerasidan o'tishi kabi eng sodda quritish jarayonidan tashqari boshqa usullar yordamida ham jarayonni tashkil etish mumkin. Sanoat miqyosida quyidagi usullar qo'llaniladi: havoni ko'p marta oraliqsitish yo'li bilan quritish, ishlatilgan havoni qisman restirkulyastiya qilish yo'li bilan quritish, ishlatilgan havodan ko'p marta foydalanish yo'li bilan quritish.

Havoni ko'p marta oraliqsitish yo'li bilan quritish sxemasi 5.104-rasmda keltirilgan.



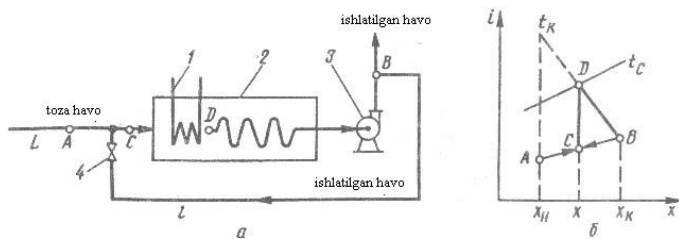
5.104-rasm. Havoni ko'p marta oraliq isitish yo'li bilan quritish shemasi (a) va jarayonning  $I - x$  diagrammadagi (b) tasviri.  
1 - quritish kamerasi; 2 - kalorifer.

Odatda, bu usulda havoning yuqori  $t_v$  va quyi  $t_n$  temperaturalari qabul qilinadi. Dastavval havo  $t_v$  temperaturagacha qizdiriladi va undan so'ng nam material bilan o'zaro ta'sirda bo'lib,  $t_n$  temperaturagacha soviydi. Keyin, kaloriferda havo yana  $t_v$  temperaturagacha qizdiriladi va yana material bilan o'zaro ta'sirda bo'lib  $t_n$  temperaturagacha soviydi va h. Bu holda havoning oxirgi temperaturasi  $V$  nuqta orqali aniqlanadi.

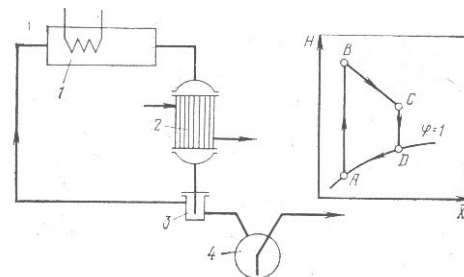
Quritishning bu usulida nam materialni nisbatan past temperaturali issiqhavo yordamida quritish imkoni bor. 5.104b-rasmdagi punktir chiziqlardan ko'rinib turibdiki, agar issiqlik eltkich kameralar oralig'ida qo'shimcha qizdirilmaganda, havoni  $t_1$  temperatura ( $S$  nuqta) gacha qizdirish zarur bo'lar edi.

Bu usulda yuqori temperaturalarga chidamli materiallar quritiladi.

**Ishlatilgan havoni qisman restirkulyastiya qilish yo'li bilan quritish sxemasi** 5.105-rasmda ko'rsatilgan. Diagrammada  $A$  nuqtani ifodalovchi parametrlil issiqhavo, ishlatib bo'lingan havo ( $AS$  va  $VS$  chiziq) bilan aralashadi va kaloriferda  $t_s$  temperaturagacha qizdiriladi. Undan keyin, qizdirilgan havo nam material bilan o'zaro ta'sir ettiriladi. Nam havoning so'nggi parametrlarini  $V$  nuqta xarakterlaydi.



**5.105-rasm. Ishlatilgan havoni qisman recirkulyaciya qiladigan quritkich shemasi (a) va jarayonni  $i-x$  diagrammada tasvirlash (b).**  
1 - kalorifer; 2 - quritish kamerasi;  
3 - ventilyator.



**5.106-rasm. Ishlatilgan gazdan ko'p marta foydalanish usulida quritish shemasi.**  
1 - quritkich; 2 - kondensator-sovutkich; 3 - suv ajratgich;  
4 - yig'gich.

Oddiy quritish usuliga nisbatan bu usul pastroqtemperaturalarda, ya'ni  $t_k$  o'rniga  $t_s$  da va gaz oqimining yuqori tezliklarida o'tkaziladi.

Yuqorida qayd etilgan havoning parametrlari va uning quritgichdagi tezligi aralashish karraligi  $n = VL$  ga bog'liq. Stirkulyastiyali va stirkulyastiyasiz quritish usullari va havo holatining o'zgarish oraligi bir xil bo'lganda, issiqlik sarfi ham bir xil bo'ladi.

Ishlatilgan gaz ko'p marta foydalanish usulida quritish sxemasi 5.106-rasmda keltirilgan.

Qurituvchi gaz sifatida toza va qimmat gazlar, masalan vodorod, ishlatilganda ushbu usulni qo'llash maqsadga muvofiq. Bunday hollarda ishlatib bo'lingan gazni atmosferaga chiqarib bo'lmaydi. Shuning uchun, bu sxemalar yopiqstirkulyastiyali bo'ladi.

Suv bug'lari bilan to'yingan gaz kaloriferda qizdiriladi ( $AV$  kesma). Natijada uning nisbiy namligi pasayadi va quritish qobiliyati ortadi. Undan keyin, gaz va material o'zaro ta'sirda bo'ladi ( $VS$  kesma) va namlik bilan to'yinadi. So'ng esa, namlangan gaz shudring nuqtasigacha ( $SD$  kesma) sovutiladi. Lekin, namlangan gaz tarkibidagi bir qism namlik kondensastiyalanadi ( $DE$  kesma). Keyin esa, gaz qizdiriladi va yana quritkichga yo'naltiriladi.

Bu quritish usuli havoning past temperaturasi, yuqori boshlang'ich nam saqlash va nisbiy namliklari bilan xarakterlanadi. Undan tashqari, quritkichda gaz tezligi ham juda katta. Gaz tezligining yuqori bo'lishi massa berish koeffitsienti va birinchi davrda quritish tezligining ortishiga olib keladi.

Yuqorida qayd etilgan quritish usullari kerakli miqdordagi issiqlikni uzatish va mayin quritish rejimlarini ta'minlaydi.

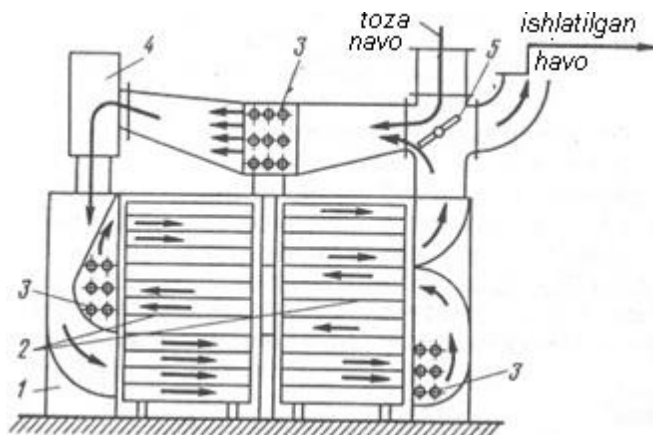
Shuni alohida ta'kidlash kerakki, u yoki bu quritish usuli jarayonni tezlashtirishi yoki sekinlashtirishi, uni o'tkazish sharoitiga ta'sir etishi mumkin. Lekin, issiqlik sarfiga salmoqli ta'sir etmaydi, chunki u qurituvchi gazning boshlang'ich va oxirgi parametrlari bilan aniqlanadi.

## 5.46. Quritkichlar konstrukstiyalari

Kimyo, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda qo'llaniladigan quritkichlar konstrukstiyalari turli - tumandir. Ular bir - biridan har xil belgilariga qarab farqlanadi. Qattiq, nam materialga issiqlik uzatish turiga qarab konvektiv, kontaktli va maxsus quritkichlarga bo'linadi. Issiqlik eltich sifatida havo, gaz va bug' qo'llanilishi mumkin. Quritish kamerasidagi bosim kattaligiga qarab, vakuum va atmosfera bosimida ishlaydigan quritkichlarga bo'linadi. Jarayonni tashkil etish usuliga qarab, davriy va uzluksiz ishlaydigan quritkichlar bo'lishi mumkin. Undan tashqari, material va issiqlik eltich harakatiga qarab parallel, qarama-qarshi va o'zaro kesishgan yo'nalishli quritkichlar tayyorlanadi. Yuqorida qayd etilganlardan ko'rinib turibdiki, quritkichlarni umumlashtiruvchi klassifikastiya qilish juda qiyin.

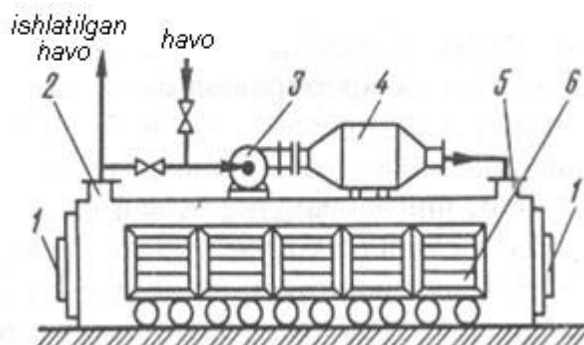
Shuning uchun, quyida issiqlikni uzatish va quritilayotgan material qatlamining holatiga qarab guruhlariga ajratilgan quritkichlar konstrukstiyalarini ko'rib chiqamiz.

Halqxo'jaligining turli sohalarida kamerali, tunnelli, lentali, shaxtali, sirtmoqli, mavhum qaynash qatlamli, barabanli, tebranma, jo'vali, purkovchi, pnevmatik, ikki pog'onali va boshqa quritkichlar qo'llaniladi.



**5.107-rasm. Kamerali quritkich.**

1 - qobiq; 2 - vagonetka;  
3 - kalorifer; 4 - ventilyator; 5 - shiber.



**5.108-rasm. Tunnelli quritkich.**

1-eshikchalar; 2-gazohod; 3- ventilyator; 4-kalorifer; 5- qobiq;  
6-materialli aravacha.

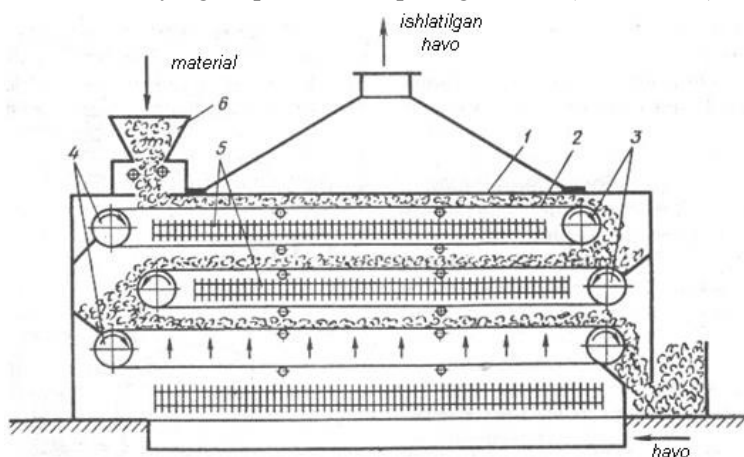
**Kamerali quritkichlar** konvektiv qurilmalar ichida eng sodda tuzilgan va qobiq1 ichida vagonetka 2 lar joylashgan bo'ladi.

Vagonetkalar tokchalarida nam material joylashtiriladi. Havo kaloriferda qizdirilib, ventilyator yordamida haydaladi va material ustidan yoki ichidan o'tib namlikni bug'latadi. Ishlatib bo'lingan havoning bir qismi yangi havo bilan aralashtiriladi. Bu turdagi quritkichlar, odatda atmosfera bosimida ishlaydi. Ular kichik korxonalarda mayin rejim va past temperaturada nam materiallarni quritish uchun mo'ljallangan. Afzalliklari: tuzilishi sodda va ta'mirlash oson. Kamchiliklari: kamerali quritkichlarning ish unumdorligi kichik va mahsulot qurishi bir tekisda emas.

**Tunnelli quritkichlar.** Jarayonni tashkil etish bo'yicha bu qurilmalar uzluksiz ishlaydigan quritkichlar qatoriga kiradi. Bu quritkichlar to'g'ri to'rtburchak ko'ndalang kesimli uzun kameradan iboratdir (5.108-rasm). Nam material yuklangan aravachalar temir relslar ustida harakatlanadi. Qurilmaning kirish va chiqish eshiklari zich yopiladi. Aravachalarning quritish kamerasida bo'lish vaqti quritish jarayoni davomiyligiga teng. Material yuklangan aravachalarning kameradan bir marta o'tishida nam material quritiladi. Issiqlik eltkich kaloriferda qizdirilib, ventilyator yordamida qurilmaga uzatiladi.

Bu turdagi quritkichlarda issiqlik eltkich qisman restirkulyastiya qilinadi. Nam material va issiqlik eltkich parallel yoki qarama – qarshi yo'nalishli bo'lishi mumkin. Ko'pincha kalorifer va ventilyator quritkichning yoniga yoki tomiga o'rnatiladi. Ishlatib bo'lingan havo quvur orqali atmosferaga chiqarib yuboriladi. Bu turdagi qurilmalarda, materialni aralashtirib bo'lmaydi va qurish bir tekisda emas; tunnelli quritkichlar o'lchami katta, donasimon materiallarni, sabzavot, meva, makaron va boshqa mahsulotlarni quritish uchun mo'ljallangan. Quritkich kamchiliklari: quritish tezligi kichik, jarayon uzoqmuddatda davom etadi va bir tekisda emas.

**Lentali quritkichlar** uzluksiz ishlaydigan quritkichlar qatoriga kiradi (5.109-rasm).



**5.109-rasm. Lentali quritkich.**

1 - qobiq; 2 - lentali konveyer; 3 - etaklovchi barabanlar;  
4 - etaklanuvchi barabanlar; 5 - kalorifer; 6 - yuklovchi

Nam material qurilmaning tepa qismidagi bunker orqali yuklanadi va konveyerning yuqori lentasiga tushadi. Odatda, ikkita baraban orasiga tortilgan lenta teshikli bo'ladi va nam material uning ustida

harakatlanadi. Lentaning ikkinchi uchiga etganda, material pastki konveyerga to'kiladi. Eng pastki konveyerdan, quritilgan material chiqarish bunkeriga to'kiladi.

Quritilgan materialning bir lentadan ikkinchisi to'kilib o'tishi uning aralashishiga sababchi bo'ladi. Natijada, quritish tezligi ortadi. Ko'pincha bunday quritkichlar ko'p lentali qilib yasaladi.

Material va issiqlik eltich o'zaro kesishgan yo'nalishda harakatlanadi.

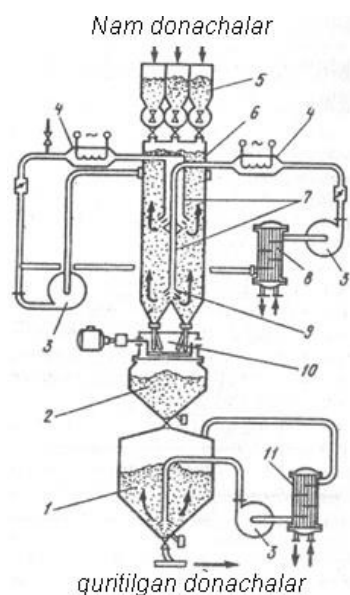
Shu bilan birga, parallel va qarama - qarshi yo'nalishli quritkichlar ham ishlab chiqariladi. Bunday quritkichlarda issiqlik eltich qisman restirkulyastiya qilinishi mumkin.

Havoni restirkulyastiya va oraliqqizdirilishi tufayli lentali quritkichlarda mayin quritish rejimlariga erishish mumkin.

Lentali quritkichlarning ayrim konstrukstiyalarida, bir tekisda quritishga erishish uchun, material qatlamini aralashtirish va qatlamni tekislash uchun lenta ustiga maxsus ag'diruvchi moslama o'rnatiladi.

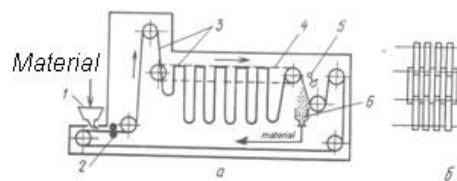
Quritkichning asosiy kamchiliklari: qo'pol, ko'p joy egallaydi, ta'mirlash va ekspluatasiya qilish murakkab, ish unumdorligi kichik va issiqlik sarfi katta.

**Shaxtali quritkichlar** donador, sochiluvchan materiallarni quritish uchun ishlatiladi (5.110-rasm). Issiqlik eltichni uzatish uchun quritkichning o'qi bo'ylab trubalar o'rnatilgan.



**5.110-rasm. Sochiluvchan, donador materiallarni quritish uchun shahtali quritkich.**

1 - bunker - sovutkich; 2 - oraliq bunker; 3 - gazoduvka; 4 - kalorifer; 5 - bunker; 6 - shahta; 7 - issiqlik eltichni uzatish trubalari; 8 - kondensator-sovutkich; 9 - jalyuzlar; 10 - qadoqlagich; 11 - sovutkich.



**5.111-rasm. Sirtmoqli quritkich (a) va to'rli lenta elementi (b).**

1 - nam material ta'minlagich; 2 - isitiladigan juvalar; 3 - cheksiz to'rli lenta; 4 - zanjirli konveyer; 5 - tayanchli mexanizm; 6 - shnekli bunker.

Trubalarning ikkinchi uchida issiqlik eltichni bir xilda taqsimlash uchun jalyuzlar o'rnatilgan. Issiqlik eltichni uzatish va stirkulyastiya qilish sistemasi quritish hajmini ikkita zonaga bo'ladi. Birinchi zonada ikkinchisidan chiqayotgan issiqlikdan foydalaniladi. Birinchi zonada asosan sirtiy namlik, ikkinchisida esa - ichki namlik yo'qotiladi.

Ikkinchi zonaga yuborilayotgan issiqlik eltich dastavval shu zonadagi kondensatorida qisman quritiladi. Quritkichning tepa qismida ikkila oqim bir-biriga aralashib ketadi va kaloriferda qizdirilgandan so'ng, gazoduvka yordamida quritkichning birinchi zonasiga uzatiladi. Quritilgan materialni to'kish uzluksiz ishlaydigan tokchali qadoqlagich yordamida amalga oshiriladi.

**Sirtmoqli quritkichlar** pastasimon materiallarni uzluksiz quritishga mo'ljallangan qurilmalardir (5.111-rasm).

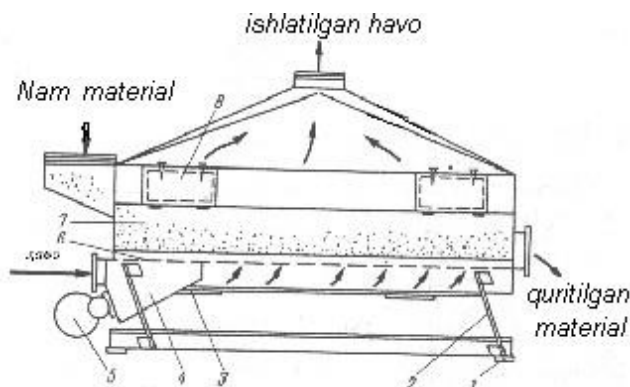
Sirtmoqli quritkichlarda material 5...20 mm li qatlamda, ikki tomonidan issiqhavo bilan isitiladigan juvalar qizdirilishi natijasida (masalan, qog'oz) quritiladi. Bu qurilmada kamerali quritkichga qaraganda jarayon tezligi yuqori. Quritkich kamchiliklari: konstrukstiyasi murakkab va ekspluatasion sarflar katta.

**Tebranma quritkichlar** mayin dispers, polidispers, qumoq- qumoqva shular kabi boshqa, ya'ni mavhum qaynashga moyil bo'lmagan, materiallarni quritish uchun mo'ljallangan. Dispers material qatlamiga past chastotali tebranishlar ta'siri qatlamdagi issiqlik va massa almashinish jarayonlarni intensivlaydi. Undan tashqari, tebranishlar o'zaro kesishgan yo'nalishli, yuqori samarador va ideal siqib chiqaruvchi quritkichlar

yaratish imkonini ochib beradi. Bu turdagi quritkichlarda temperatura va konstantrastriya maydonlari bir tekisda bo'ladi.

Tebranma mavhum qaynash qatlamini vertikal, gorizontal va novli qurilmalarda tashkil etish mumkin.

Kimyo va oziq- ovqat sanoatlarida novli quritkichlar eng keng tarqalgan. Lekin, shuni alohida qayd etish kerakki, bu qurilmalar kichik qiyalik burchak ostida o'rnatilgan bo'ladi (5.112-rasm).



**5.112-rasm. Tebranma mavhum qaynash qatlamli quritkich.**

- 1 - amortizator; 2 - prujina; 3 - to'kish lyuki; 4 - tebratkich;
- 5 - yuritkich; 6 - gaz taqsimlovchi teshikli panjara; 7 - tarnov;
- 8 - kuzatish oynasi.

Quritkich uzatmasi mayatnikli yuritkich - tebratkichdan iborat. Qatlam orqali o'tayotgan gaz oqimi va past chastotali tebranmalarning bir vaqtda ta'siri natijasida tebranma mavhum qaynash qatlamini hosil bo'ladi. Bunday qatlamda massa va issiqlik almashinish juda yuqori bo'ladi.

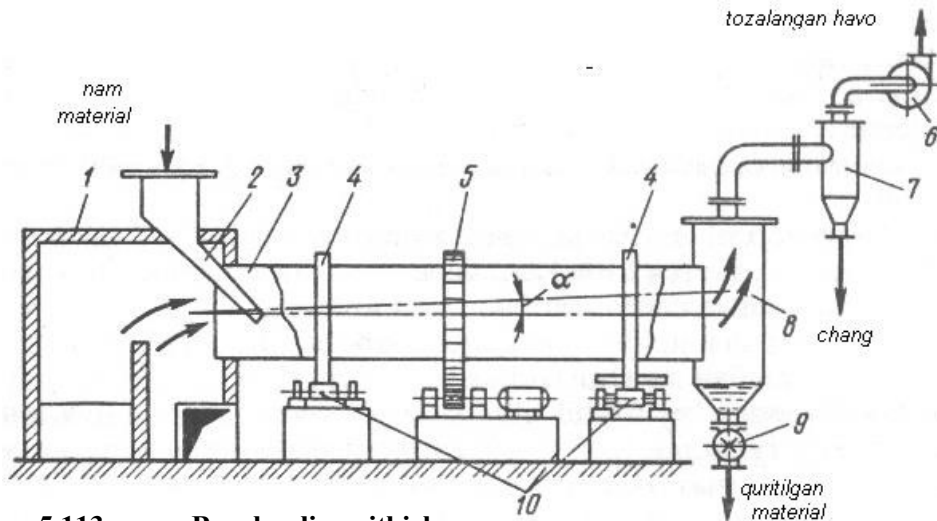
**Barabanli quritkichlar** uzluksiz ishlaydigan qurilmalar qatoriga kiradi va atmosfera bosimida donador, sochiluvchan materiallarni (mineral tuz, fosforit, qand lavlagi turpi, bug'doy, shakar va h.) quritish uchun qo'llaniladi. Issiqlik eltkeychi sifatida havo yoki tutun gazlari xizmat qiladi.

Barabanli quritkichlar ichi bo'sh silindrik iborat bo'lib, ufqqa nisbatan kichik qiyalik burchagida o'rnatilgan bo'ladi (5.113-rasm).

Baraban bandaj va roliklarga tayanib turadi. Uning aylanishi elektr yuritkich va reduktor, hamda tishli g'ildirak yordamida amalga oshiriladi. Barabanning aylanish chastotasi  $5...8 \text{ min}^{-1}$  dan oshmaydi. Quritkichga nam material ta'minlagich yordamida uzatiladi. Baraban aylanishi davrida material tepaga ko'tarilib pastga to'kiladi va bu jarayon uzluksiz davom etadi. Shu bilan birga, qurilma o'rnatilgani va ichiga maxsus nasadkalar joylanganligi sababli, quritilayotgan material to'kish bunkeriga qarab harakatlanadi. Odatda nasadkalar silindrik barabanning butun uzunligi bo'ylab joylashtiriladi. Baraban ichida material issiqlik eltkeychi bilan o'zaro ta'sirda bo'lib quritiladi.

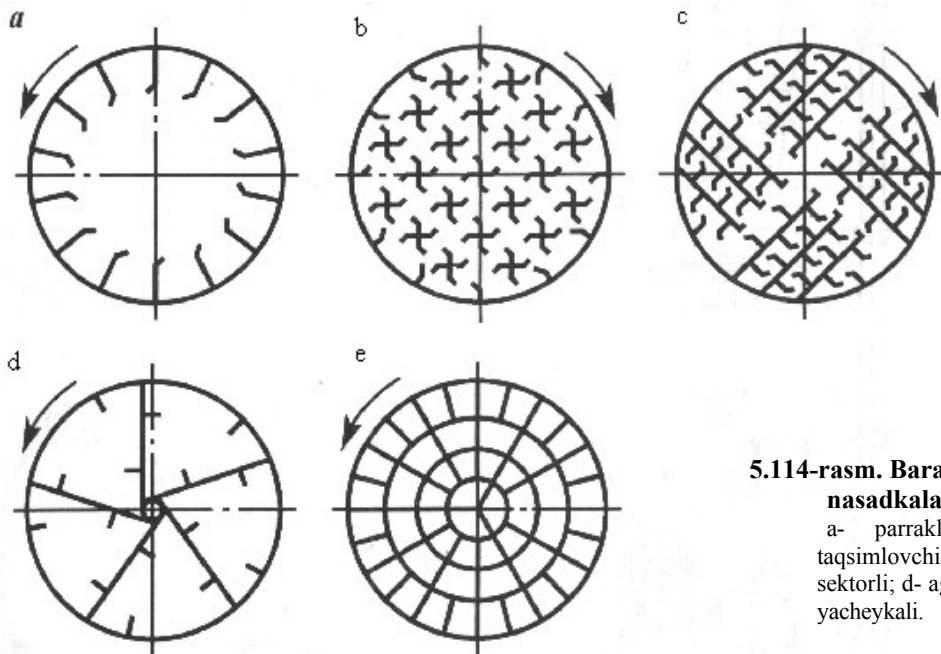
Material va qurituvchi eltkeychi bilan o'zaro ta'sir samarasini oshirish uchun turli xildagi nasadkalar mavjud.

Nasadkalar nam materialni bir tekisda tarqatadi va uni issiqlik eltkeychi bilan yuvilib turishini yaxshilaydi. Nasadka turi material xossalari qaytib tanlanadi (5.114-rasm).



5.113-rasm. Barabanli quritkich.

1 - o'thona; 2 - bunker; 3 - baraban; 4 - bandaj; 5 - tishli g'ildirak;  
6 - ventilyator; 7 - siklon; 8- to'kish bunker; 9 - shlyuzli ta'minlagich; 10 -  
tayanch roliklar.



5.114-rasm. Barabanli quritkich nasadkalarining asosiy turlari.

a- parrakli; b,v- hajmiy tipidagi, taqsimlovchi; g – ag`daruvchi, sektorli; d- ag`daruvchi, yopiq yacheykali.

Yirik bo'lakli va yopishib qolishga moyil materiallarni quritish uchun ko'taruvchi kurakchali nasadkalarini qo'llash maqsadga muvofiq. Mayda, sochiluvchan materiallarni quritish uchun esa, taqsimlovchi nasadkalar qo'llaniladi. Mayin dispers, kukunsimon, changiydigan materiallar esa ag'daruvchi nasadkali qurilmada quritiladi.

Issiqlik eltich va material parallel va qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanishi mumkin. Parallel yo'nalishli quritkichlarda material o'ta qizib ketish oldini olish mumkin, chunki issiqlik eltich yuqori namlikka ega material bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. Quritilayotgan material tarkibidagi kukunsimon fraktsiya uchib ketmasligi uchun ventilyator haydayotgan issiqlik eltich tezligi 2...3 m/s dan oshmasligi kerak. Ishlatilgan gaz atmosferaga chiqarib yuborishdan avval stiklonda tozalanadi.

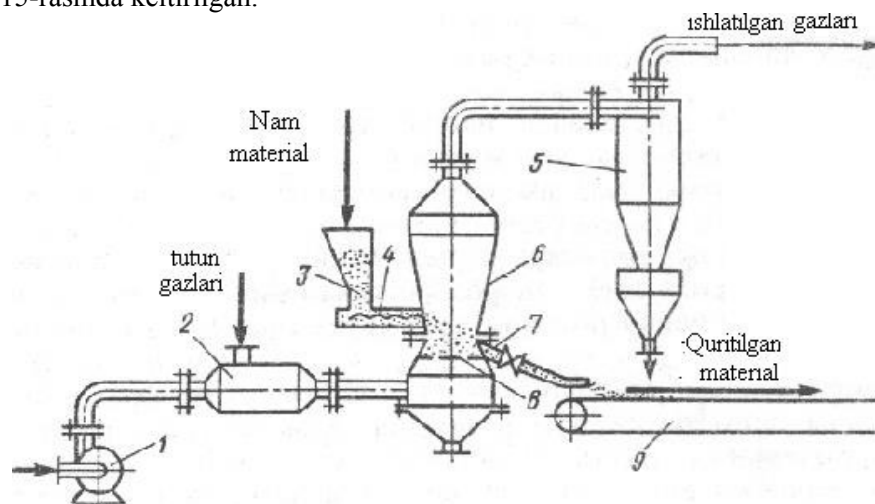
Barabanli quritkichlar diametri 1 dan 3,5 m gacha bo'ladi. Diametri 2,8, 3,0 va 3,5 m li barabanlarning uzunliklari 14, 20 va 27 m qilib yasaladi.

Undan tashqari barabanli vakuum-quritkichlar ham sanoatning turli sohalarida ishlatiladi. Ko'pincha bu qurilmalar davriy ishlaydigan bo'ladi. Ushbu quritkichlar issiqlikka sezgir materiallardan suv va organik eritmalarni yo'qotish, hamda zaharli materiallarni quritish uchun qo'llaniladi.

Barabanli vakuum - quritkichlar gerbistid, zaharli dorilar, ba'zi bir polimerlarni ishlab chiqarish, hamda medistina, oziq- ovqat, kimyo va farmastevtika sanoatlarida ishlatiladi.

**Mavhum qaynash qatlamli** quritkichlar uzluksiz ishlaydigan qurilmalar qatoriga kiradi va mayda, sochiluvchan, donador nam materiallarni quritish uchun keng ko'lamda ishlatiladi. Bunday qurilmalarda sirtiy va bog'langan materiallarni suvsizlantirish mumkin. Mavhum qaynash qatlamli quritkichlar vertikal va

gorizontal, bir yoki bir necha sekstiyali qilib yasaladi. Uzluksiz ishlaydigan, bir sekstiyali mavhum qaynash qatlamli quritkich 5.115-rasmda keltirilgan.



**5.115-rasm. Bir sekciyalı mavhum qaynash qatlamli quritkich.**

1 - ventilyator; 2 - kalorifer; 3 - bunker; 4 - shnek; 5 - ciklon; 6 - quritkich;  
7 - to'kish patrubkasi; 8 - gaz taqsimlovchi teshikli panjara; 9 - konveyer.

Nam material uzluksiz ravishda quritkichga uzatiladi. Kaloriferda qizdirilgan issiqlik eltkich ventilyator yordamida gaz taqsimlovchi teshikli panjara ostiga haydaladi. Quritish jarayoni ushbu panjara yaqinidagi zonada yuz beradi. Quritilgan material to'kish patrubkasi orqali chiqariladi. Ishlatib bo'lingan gaz stiklonda tozalanib, quritkichdan atmosferaga chiqazib yuboriladi.

Mavhum qaynash qatlamli quritkich kamchiliklari: materialni quritish bir tekisda emas. Bu kamchilikni bartaraf qilish uchun ko'p sekstiyali yoki o'zgaruvchan ko'ndalang kesimli quritkichlardan foydalaniladi.

Ushbu turdagi qurilmalarda material qurishi bir tekisda bo'ladi. Konussimon quritkichlarda tartibli stirkulyastiya vujudga keladi, ya'ni zarrachalar qurilmaning markaziy qismida tepaga ko'tariladi va chekka qismida esa - pastga qarab tushadi. Natijada material bir tekisda qiziydi va kameraning ishchi balandligi kamayadi.

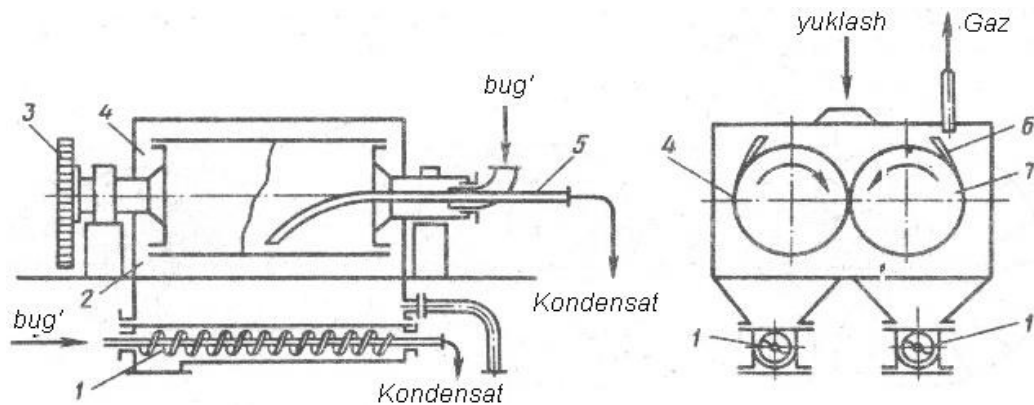
Hozirgi kunda mavhum qaynash qatlamli quritkichlar kimyoviy texnologiyada mineral va organik tuzlar, yopishib qolishga moyil, masalan sulfat ammoniy, polivinilxlorid, polietilen va boshqa polimerlarni, hamda pastasimon materiallar (pigment, anilinli bo'yovchi moddalar), eritmalar, suspenziyalarni quritish uchun ishlatiladi.

**Juvali quritgichlar** suyuqva pastasimon materiallarni atmosfera bosimi yoki vakuum ostida quritish uchun mo'ljallangan (5.116-rasm).

Juva bir - biriga qarab  $2...10 \text{ min}^{-1}$  chastota bilan aylanadi. Ichi bo'sh juvaga stapfa orqali isituvchi bug` yuboriladi va issiqligini berib kondensatga aylanadi. Juvalar issiqsuv yoki yuqori temperaturali organik suyuqliklar yordamida qizdirilishi mumkin.

Material qurilmaning tepasidan, juvalar orasiga yuklanadi va uni yupqa qatlam bilan qoplaydi. Yupqa qatlam qalinligi juvalar orasidagi tirqish kattaligi bilan belgilanadi. Odatda, ushbu tirqish eni  $0,5...1,0 \text{ mm}$  bo'ladi. Materialning kirishi yupqa qatlamda, juvaning to'liq aylanishida sodir bo'ladi.

Juvadagi material qatlamining qalinligi qanchalik kichik bo'lsa, u shunchalik tez va bir tekisda quriydi. Lekin, quritish davomiyligi kam bo'lgani uchun, ko'pincha qo'shimcha quritish talab etiladi. Quritilgan material pichoqyordamida juvadan kesib olinadi.

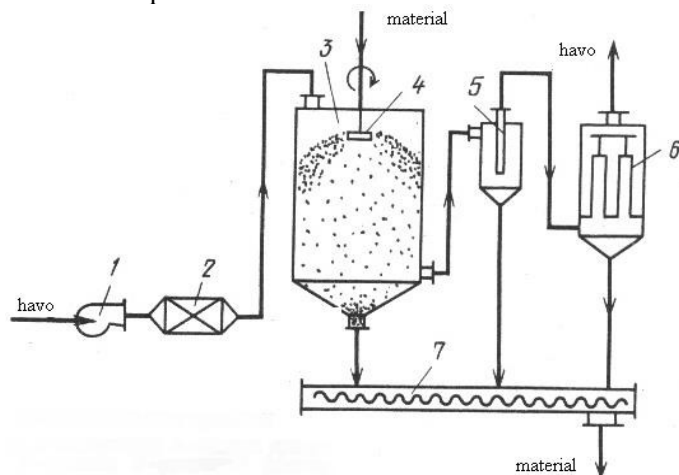


**5.116-rasm. Juvali quritkich.**

1 - shnekli nov-quritkich; 2 - qobiq; 3-uzatma; 4 - etaklovchi juva; 5 - sifon trubkasi; 6 - pichoq; 7 - etaklanuvchi juva.

**Purkovchi quritkichlar** eritma, suspenziya va pastasimon materiallarni quritish uchun qo'llaniladi. Purkab quritish usulida sut kukuni, sut-sabzavot konsentratlari, xamirturish, tuxum kukuni va boshqa mahsulotlar olinadi.

Bunday quritkichlarda material maxsus moslamalarda purkaladi va issiqlik eltich oqimida quritiladi (5.117-rasm). Materialning quritish zonasida bo'lish vaqti juda qisqa, lekin yuqori darajada maydalanganligi va namlikning bug'lanish tezligi kattaligi, uning tez qurishiga olib keladi. Shuning uchun, purkovchi quritkichlarda yuqori temperaturali issiqlik eltichlarni qo'llash mumkin.



**5.117-rasm. Purkovchi quritkich.**

1 - ventilyator; 2 - kalorifer; 3 - quritish kamerasi; 4 - disk; 5 - siklon; 6 - engli filtr; 7 - quritilgan materialni to'kuvchi shnek.

Quritish natijasida olingan mahsulot bir xil dispers tarkibli, sochiluvchan va mayda dispers bo'ladi.

Purkovchi quritkichlar kamchiliklari: gabarit o'lchamlari va energiya sarfi katta.

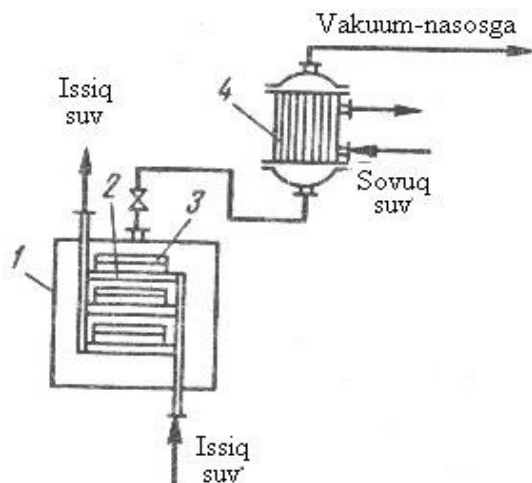
Materialni purkash mexanik yoki pnevmatik purkagichlar yordamida, hamda aylanish chastotasi  $4000...20000 \text{ min}^{-1}$  bo'lgan markazdan qochma diskda amalga oshiriladi. Quritkichda materialning bo'lish vaqti 50 s dan ortmaydi. Shu qisqa vaqt ichida issiqlik va massa almashinish jarayoni yuz beradi. Purkovchi quritkichlarda fazalar parallel va qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanishi mumkin. Bunday quritkichlar afzalliklari: yuqori temperaturali issiqlik eltichlarni ham qo'llash mumkin.

Kamchiliklari: issiqlik eltich sarfi katta bo'lgani uchun energiya va metall sarfi ham nisbatan yuqori; solishtirma namlik olish ko'rsatkichi juda past, ya'ni  $20 \text{ kg/m}^3$ ; material quritkich devorlariga yopishib qoladi; issiqlik eltich tezligi nisbatan kichik, chunki katta tezliklarda mayda zarrachalar uchib ketadi.

Sublimatsiyali quritkichlar. Turli materiallardagi muz agregat holatidagi namligini vakuum ostida bug'ga (suyuqagregat holatidan sakrab) aylantirib suvsizlantirish jarayoni sublimatsiyali quritish deb nomlanadi. Sublimatsiyali quritish yuqori vakuum, qoldiqbosim  $133,3...13,3 \text{ Pa}$  ( $1,0...0,1 \text{ mm sim.ust.}$ ) bo'lgan oralik va past temperaturalarda o'tkaziladi.

Sublimatsiya quritish jarayonida material yuzasidan namlikning bug' agregat holatida tarqalish mexanizmi o'ziga xos effuziya usulida boradi. Effuziya usulida bug' molekularining erkin harakati davrida molekular bir-biri bilan o'zaro to'qnashmaydi.

Sublimatsiyali quritkich quritish kamerasi, kondensator-muzlatgich va vakuum nasosdan tarkib topgan (5.118-rasm.)



**5.118-rasm. Sublimatsiyali quritkich**

1 - quritish kamerasi; 2 - plita; 3 – tunuka tova; 4 - kondensator-muzlatkich.

navbatma-navbat ishlaydi, ya'ni bittasida kondensastiya va muzlatish sodir bo'lsa, ikkinchisida hosil bo'lgan muz eritib yo'qotiladi.

Materialdan namlikni chiqarib yuborish jarayoni 3 bosqichdan iborat:

1) quritish kamerasida bosim pasayishi bilan namlik o'z - o'zidan muzlaydi va materialdan chiqqan issiqligi hisobiga muzdan bug'ga aylanadi. Bu bosqichda 15% namlik yo'qotiladi;

2) namlikning asosiy qismi sublimatsiya yo'li bilan quritish jarayonining o'zgarish tezlik davrida yo'qotiladi;

3) qoldiqnamlik materialdan issiqlik yordamida yo'qotiladi.

Sublimatsiyali quritish oz miqdorda past temperaturali (40...50°C) issiqlik eltqich sarflanadi. Lekin, umumiy energiya va ekspluatatsion sarflar boshqa quritish (dielektrik quritishdan tashqari) usullariga qaraganda yuqori.

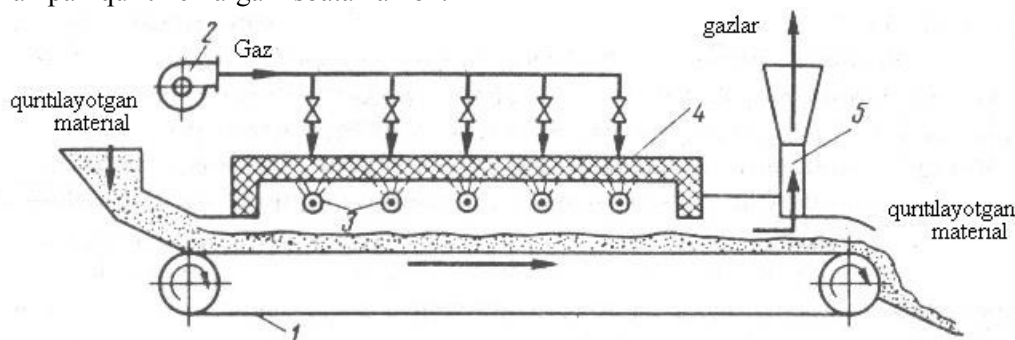
Shuning uchun, bu quritish usuli qimmatbaho moddalar, yuqori temperaturaga chidamsiz va biologik xossalari uzoqmuddat davomida saqlanib turishi kerak bo'lgan materiallarni (go'sht, meva, sabzavot, medistina va farmastevtika mahsulotlari) quritish uchun ishlatiladi.

Energiya sarfi bo'yicha sublimatsiyali quritish, atmosfera bosimida quritishga yaqinroqturadi.

**Termoradiatsiyali quritkichlar.** Bu quritkichlarda material tarkibidagi namlikni bug'latish uchun zarur issiqlik infraqizil nurlar orqali uzatiladi. Issiqlik infraqizil nurlanishga moslangan lampalar yoki o'ta qizdirilgan keramik yoki metall yuzalardan tarqaladi. Infraqizil nurlanishli lampalar oddiy yoritish lampalaridan qizdirish temperaturasi bilan farq qiladi. Nurlanish oqimini nam materialga yo'naltirish uchun parabola shaklli reflektorlar ishlatiladi.

Ushbu usulda quritish davrida material yuza birligiga kontaktli quritishga qaraganda vaqt birligida ancha ko'proq issiqlik to'g'ri keladi. Natijada, jarayon intensivlashadi. Masalan, yupqa qatlamli materiallarni infraqizil nurlar yordamida quritish davomiyligi 30...100 martagacha qisqaradi.

Gaz bilan isitiladigan radiatsiyali quritkich tuzilishi 5.119-rasmda keltirilgan. Bunday quritkichlar tuzilishi sodda va lampali quritkichlarga nisbatan arzon.



**5.119-rasm. Radiatsiyali quritgich.**

1-konveyer; 2-gazoduvka; 3-gaz gorelkasi; 4-nur tarqatgich; 5-chiqish

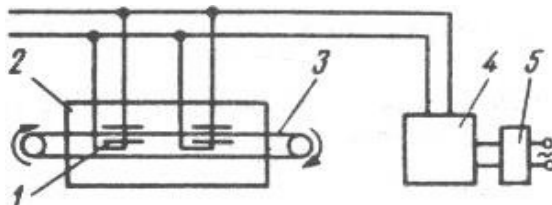
Nur tarqatuvchi qurilmaning pastki qismida gaz yoqiladi. Gaz yonishi oqibatida nur tarqatuvchi qurilma qiziydi, so'ngra infraqizil nurlarni tarqatadi. Nur tarqatgich nam material xossalari qaraib tanlanadi. Yuqori

sifatli mahsulot olish uchun murakkab jarayonlardan (masalan, radiastiyali va konvektiv usullarni bir vaqtda qo'llash) foydalaniladi.

Namlikning termodiffuzion oqimi material sirtidan namlik diffuziyaga halaqit bermasligi, hamda termoradiastiyali quritish jarayonini intensivlash uchun quritkich osstillyastiyali rejimda ishlashi kerak.

Termoradiastiyali quritkich tuzilishi ixcham, yupqa qatlamli materiallarni quritishda yuqori samara beradi. Lekin, uning energiya sarfi nisbatan kup, ya'ni 1 kg namlikni bug'latish uchun  $1,5 \div 2,5$  kVt soat energiya zarur.

Yuqori chastotali (dielektrik) quritkichlar qalin qatlamli materiallarni quritish uchun mo'ljallangan. Bu quritish usulida materialning yuzasi va qalinligi bo'ylab temperatura va namlikni rostdash mumkin. Ushbu quritkichda plastmassa va dielektrik xossalarga ega bo'lgan materiallarini, hamda oziq-ovqat mahsulotlarini quritish mumkin.



**5.120-rasm. Yuqori chastotali quritkich.**

1-kondensator plastinkasi; 2-quritish kamerasi; 3-lentali konveyer;  
4-lampali, yuqori chastotali generator; 5-to'g'rilagich.

Dielektrik quritkichlar lampali yuqori chastotali generator, quritkich va lentali konveyerdan tarkib topgan (5.120-rasm).

Chastotasi 50 Gst li o'zgaruvchan tok to'g'rilagich orqali generatorga uzatiladi. Generatorda tok yuqori chastotali tokka aylantiriladi. So'ng, bu tok lentali konveyerning ikki tomonida joylashgan kondensator plastinkalariga yuboriladi.

Kondensator plastinalari zaryad ishoralari o'zgarishi bilan yuqori chastotali maydon ta'sirida material ion va elektronlari sinxron ravishda harakat yunalishi o'zgaradi. Dipol molekulalar aylanma harakatlansa, elektr zaryadlar siljishi tufayli qutbsiz molekulalar qutblanadi.

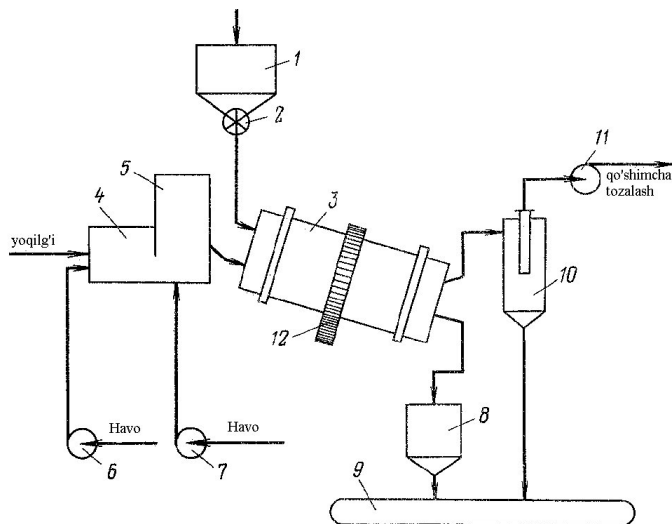
Yuqorida qayd etilgan hodisalar oqibatida materialda issiqlik ajrab chiqadi va u qiziydi. Elektr maydon kuchlanishini o'zgartirib quritish tezligini rostdash mumkin.

Bu usulda namlik va temperatura gradientlarning yo'nalishi bir xil bo'ladi. Natijada, namlikning diffuziyasi tezlashadi. Shuning uchun bu quritish usuli tezligi, konvektiv quritish tezligidan ancha katta.

Dielektrik quritish jarayonini o'tkazish uchun ko'p miqdorda energiya zarur. 1 kg namlikni bug'latish uchun  $2,5 \div 5$  kVt soat energiya sarflanadi.

Bu turdagi quritkichlar tuzilishi murakkab va qimmat. Shuning uchun, yuqori chastotali quritkichlar qimmatbaho materiallarni suvsizlantirish uchun ishlatish maqsadga muvofiq, ya'ni iqtisodiy jihatdan samarali.

## 5.47. Quritgichlarni hisoblash



**5.121-rasm. Barabanli quritgichning prinsipial sxemasi.**

1 - bunker; 2 - ta'minlagich; 3 - qurituvchi baraban; 4 - o'thona;  
5 - aralashtirish kamerasi; 6,7,11 - ventilyatorlar; 8 - oraliq bunker;  
9 - transporter; 10 - siklon; 12 - tishli uzatma

Bu qurilmalar atmosfera bosimda uzluksiz ravishda turli sochiluvchan va donasimon materiallarni tutunli gazlar yoki issiqhavo bilan quritish uchun ishlatiladi. Ular stilindsimon korpusdan iborat bo'lib, gorizontalga nisbatan juda kichik og'ish burchagida joylashtiriladi. Baraban ikkita rolikli tayanchlarga joylashtirilgan bo'lib, elektr yuritkich va reduktor yordamida aylantiriladi. Aylanish soni 5-8 ayl/min. Baraban ichida nasadkalar o'rnatilgan bo'lib, ular fazalararo ta'sir yuzasini oshirish uchun qo'llaniladi. Nasadkalar barabanning ko'ndalang kesimi bo'yicha materialni bir me'yorda tarqatish va aralashtirishni ta'minlaydi. Material va issiqlik eltkich bir-biriga nisbatan to'g'ri yo'nalishda berilsa, barabanning ichida material o'ta qizib ketmaydi, chunki bu sharoitda yuqori temperaturali issiqlik eltkich katta namlikka ega bo'lgan material bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. Barabanli quritgichlar uzunligi  $L$  va tashqi diametri  $D$  bo'yicha tanlanadi.

Nam material bunker 1 dan ta'minlagich 2 orqali aylanib turgan baraban 3 ga beriladi. Material bilan bir xil yo'nalishda barabanga issiqlik eltkich beriladi. U yoqilg'i o'txonasi 4 da yonishida hosil bo'lgan gazlarni aralashtirish kamerasi 5 da havo bilan aralashtirish natijasida hosil bo'ladi. Havo o'txona va aralashtirish kamerasiga ventilyatorlar 6 va 7 yordamida beriladi (5.121- rasm).

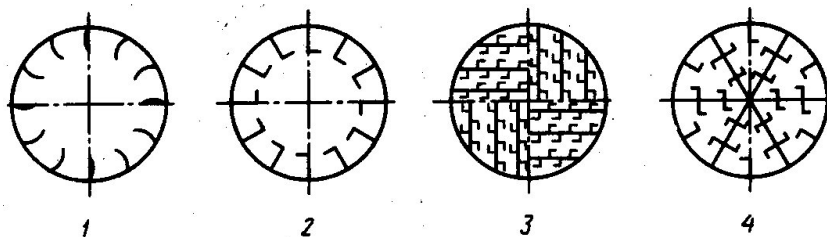
Quritilgan material barabanning boshqa tomonidan bunker 8 ga tushadi va undan transporter 9 ga o'tadi.

Ishlatilgan gazlar atmosferaga chiqarib yuborishdan avval mayda zarrachalardan stiklon 10 da tozalanadi va kerak bo'lsa yana qo'shimcha tozalaniladi.

Qurituvchi eltkich baraban orqali ventilyator 11 yordamida uzatiladi. Uzatilish davrida uncha katta bo'lmagan siyraklanish hosil bo'ladi va bu esa qurituvchi agentning barabanli quritgich teshiklari orqali yuqotilishiga yo'l qo'ymaydi.

Baraban elektr yuritkich va tishli uzatma 2 yordamida aylantirib turiladi.

Barabanning ichida materialni bir me'yorda tarqatish, aralashtirish va yo'naltirish uchun nasadka joylashtirilgan. Quritilayotgan material donalarining o'lchamiga va xossalriga qarab, xar-xil nasadkalardan foydalaniladi. Katta bo'lakli va yopishib qolish xususiyatiga ega bo'lgan materiallarni quritishda ko'taruvchi parrakli nasadkalar, yomon sochiluvchan va katta zichlikka ega bo'lgan katta bo'lakli materiallarni quritish uchun sektorli nasadka; kichik bo'lakli, tez sochiluvchan materiallarni quritishda tarqatuvchi nasadka ishlatiladi; mayda qilib ezilgan, chang hosil qiluvchi kukun materiallarni berk yacheykali, dovonsimon nasadkalar bo'lgan



**5.122-rasm. Barabanli quritgich nasadkalarining turlari va ularning to'ldirilish koeficientlari  $\beta$ .**

1 - ko'taruvchi - parrakli,  $\beta = 12\%$ ; 2 - huddi avvalgidek,  $\beta = 14\%$ ;  
3 - taqsimlovchi,  $\beta = 20,6\%$ ; 4 - taqsimlovchi, yopiq yacheykali,  $\beta = 27,5$ .

barabanlarda quritish maqsadga muvofiqdir. Ayrim sharoitlarda murakkab nasadkaldan foydalansa ham bo'ladi (5.122-rasm).

### I. Quritish qurilmasining hisobi

1. Qurilmaning quritilgan modda bo'yicha unumdorligi:

$$G = 10 \text{ t/soat}$$

2. Material zarrachalarining o'lchamlari (NaCl):

$$d = 2,0-1,5 \text{ mm} \quad - 25\%$$

$$d = 1,5-1,0 \text{ mm} \quad - 75\%$$

3. Materialning namligi (NaCl):

boshlang'ich  $w_1 = 6,0\%$

oxirgi  $w_1 = 0,2\%$

4. Boku shahri uchun nam havoning parametrlari

	yanvar	iyul
temperatura	$t = +3,4^\circ S$	$t = +25,3^\circ S$

nisbiy namlik	$\varphi_o = 82\%$	$\varphi_o = 65\%$
---------------	--------------------	--------------------

5. Issiq havoning temperaturasi

barabanga kirishda  $-t = 160^\circ C$

barabandan chiqishda  $-t = 60^\circ C$

#### 1. Moddiy balans

Moddiy balans tenglamasidan quritish davomida bug'latilgan namlik  $W$  miqdorini aniqlaymiz.

$$W = G_k \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1}$$

$$G = 10 \text{ m/coam} \cdot \frac{10 - 1000}{3600} = 2,778 \text{ kg/c}$$

$$W = 2,778 \cdot \frac{6 - 0,2}{100 - 6} = 0,171 \text{ kg/c}$$

#### II. Quritishga sarflangan havo va issiqlikni aniqlash

Quritkichning ichki issiqlik balansini yozamiz:

a) Qish fasli uchun:

$$c \cdot \vartheta_1 \cdot q_k = (q_{mp} + q_m + q_u)$$

Bu erda:

$s$  - suvning issiqlik sig'imi,  $s = 4190 \text{ kJ/kg} \cdot K$ ;

$q_k$  - qo'shimcha ichki kalorifer bergan issiqlik miqdori,  $q_k = 0$ ;

$q_{tr}$  - transport qurilmalari bilan kirgan issiqlik miqdori,  $q_{tr} = 0$ ;

$q_y$  - atrof muhitga yo'qotilgan issiqlik miqdori, taxminan isitishga sarflangan issiqlik miqdoring 10% ni olsa bo'ladi;

$q_m$  - moddani isitishga sarflangan issiqlik miqdori,

$$q_m = G_k \cdot c_m \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) / W$$

$\vartheta_2$  - moddaning quritgichdan chiqishdagi temperaturasi quritivchi agent nam havoning ho'l termometr temperaturasi teng deb olamiz.

$$\vartheta_2 = t_x = 42^\circ S$$

Ramzinning  $I-x$  diagrammasidan aniqlanadi.

$s_m$  - materialning issiqlik sig'imi [6]:

$$c_m = \frac{c_{Na} + c_{Cl}}{M_{(NaCl)}}$$

$$Na = 26,0 \text{ kJ/kg} \cdot K; \quad Cl = 26,0 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

$$s_m = (26+26)/56 = 0,88 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$q_m = 2,778 - 0,88 - (42 - 3,4)/0,171 = 551,83 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$q_k = 4,19 - 3,14 - 551,83 - 22,6 = -560,185 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

Quritish jarayoniga sarflangan solishtirma havo va issiqlik sarflarini aniqlash uchun  $I - x$  diagrammada quritish jarayoni ifodalanadi (5.123-rasm).

Boku shaxri uchun havoning o'rtacha temperaturasi va nisbiy namligi aniqlanadi

a) Qish fasli uchun  $t_o = +3,4^\circ\text{S}$  va  $\varphi_o = 82\%$ .

Shu parametrlar bo'yicha diagrammada "A" nuqta topiladi, ya'ni kaloriferga kirayotgan havoning parametrlarini ko'rsatuvchi nuqtani topamiz. "A" nuqtadan, ya'ni o'zgarmas nam saqlash chizig'i bo'yicha to'g'ri chiziqo'tkazib, berilgan quritish temperaturasi bilan kesishgan "V" nuqtani topamiz. Bu nuqta kaloriferda isitilgan va quritgichga kirayotgan havoning parametrlari  $x_1 = x_o$ ,  $t_1$ ,  $I_1$  - larni ko'rsatadi. AV chiziqhavoni kaloriferda isitish jarayonini ifodalaydi. Kaloriferda havo qizdirilganda uning nam saqlashi o'zgarmaydi. "V" nuqtadan  $I_1$  chizig'ini - o'zgarmas entalpiya chizig'ini o'tkazamiz. Shu  $I_1$  chizig'ida ixtiyoriy bir nuqta "e" olinadi va undan AV chizig'iga perpendikulyar tushiriladi va hosil bo'lgan "f" deb belgilaymiz. So'ng ef kesmaning uzunligi o'lchanadi -  $ef = 2,4 \text{ sm} = 24 \text{ mm}$ . Nihoyat, quritishning ideal jarayondan farqi eE kesmaning uzunligi hisoblanadi.

$$eE \bullet ef \bullet \frac{24}{M} \bullet \frac{24}{(560,185)} \bullet 10,75 \text{ mm}$$

bu erda  $M = 1250$  -  $I - x$  diagramma masshtabi.

Diagrammada eE kesmani "e" nuqtadan pastga  $x = \text{const}$  chiziq bo'yicha o'tkazamiz, chunki  $\varphi < 0$ . "V" nuqtadan "E" nuqta orqali to'g'ri chiziqo'tkazib, berilgan  $t_2 = 60^\circ\text{S}$  chizig'i bilan kesishguncha davom ettiramiz. Kesishgan nuqtani "S" deb belgilaymiz va bu nuqta quritish qurilmasidan chiqayotgan havoning parametrlari  $x_2$ ,  $t_2$ ,  $I_2$ ,  $\varphi_2$  ni ko'rsatadi:

$x_2 = 0,029 \text{ kg/kg}$  va  $I_2 = 136 \text{ kJ/kg}$  ( $I - x$  diagrammadan topiladi).

Qish faslida quritish jarayoniga ketgan solishtirma havo sarfi:

$$x_o \bullet x_1 \bullet \frac{I_2 - I_o}{I_1 - I_o} \bullet \frac{1}{x_2 - x_o} \bullet \frac{1}{0,029 - 0,003} \bullet 38,46 \text{ kg/kg}$$

Havoning umumiy sarfi

$$h \bullet l \bullet W \bullet 38,46 \bullet 0,171 \text{ kg/c}$$

$$\bullet 6,58$$

Sarflangan solishtirma issiqlik miqdori esa:

$$I_o \bullet 11 \text{ kJ/kg} \bullet q \bullet \frac{I_2 - I_o}{x_2 - x_o} \bullet \frac{136 - 11}{0,029 - 0,003} \bullet 4707,69 \text{ kJ/kg}$$

va umumiy issiqlik sarfi:

$$Q = q \bullet W = 4807,69 \bullet 0,171 = 622,12 \text{ kWt}$$

Kaloriferdagi issiqlik sarfi:

$$q \bullet \frac{I_1 - I_o}{x_1 - x_o} \bullet \frac{169 - 11}{0,029 - 0,003} \bullet 6076,9 \text{ kJ/kg}$$

$I_1 = 169 \text{ kJ/kg}$  -  $I - x$  diagrammadan topiladi.

b) Yoz fasli uchun.

$$s = s_o + q_k - (q_{tr} + q_m + q_y)$$

$$s = 2,95 - 4,19 = -1,24 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

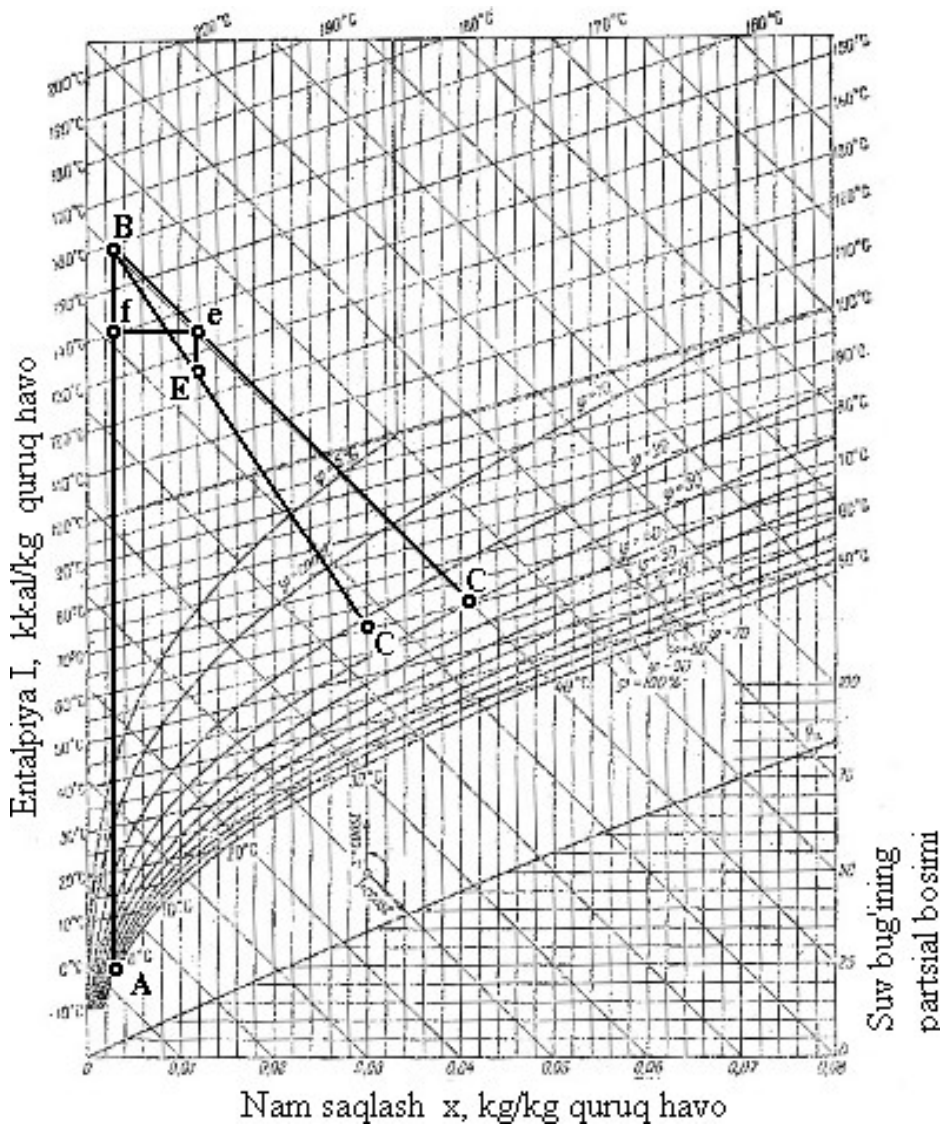
$$q_k = 0; \quad q_{tr} = 0; \quad q_m = G_2 \bullet c_m \bullet (t_2 - t_1) / W;$$

$$t_2 = 42^\circ\text{S} = t_m \text{ (I - x diagrammadan)}$$

$$t_1 = t_o = 25,3^\circ \text{ (Boku shaxri uchun)}$$

$q_m =$   
2,77  
8  
0,88  
(42 -  
25,3  
) /  
0,17  
I =  
238,  
746  
kJ/k  
g  
12,3  
6  
42 -  
238,  
746  
-  
23,8  
7 =  
257,  
77  
kJ/kg

Nam havo parametrlarini, havoning solishtirma va issiqlik sarfini yoz fasli uchun aniqlaymiz. Buning uchun  $I - x$  diagrammada quritish jarayonini ifodalaymiz.



5.123- rasm. Nam havoning  $I - x$  diagrammasi

$$ef \bullet 94 \text{ mm}; M \bullet \frac{Ee \bullet ef \bullet 94 \frac{257,77}{1250} \bullet 19,5 \text{ mm}}{1250}$$

$M$

So'ng,  $I - x$  diagrammadan:

$$x_0 = 0,014 \text{ kg/kg}; \quad x_2 = 0,0525 \text{ kg/kg};$$

$$I_0 = 55 \text{ kJ/kg}; \quad I_1 = 192 \text{ kJ/kg}; \quad I_2 = 195 \text{ kJ/kg}.$$

$$l \bullet \frac{I}{x_2 x_0} \bullet \frac{I}{0,0525 \cdot 0,014} \bullet 25,98 \quad \text{kg/kg}$$

$$L = l \bullet W = 25,98 \bullet 0,171 = 4,13 \text{ kg/s}$$

$$q \bullet \frac{I_2 - I_0}{x_2 - x_0} \bullet \frac{195 - 55}{0,0525 - 0,014} \bullet 3381,64 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = q \bullet W = 3381,64 \bullet 0,171 = 578,26 \text{ kWt}$$

$$G \bullet \frac{10 \text{ m}^3/\text{coam}}{3600} \bullet \frac{10}{1000} \bullet 2,778 \text{ kg/c}$$

$$q \bullet \frac{I_1 - I_0}{\kappa} \bullet \frac{162 - 55}{3309,18} \text{ kJ/kg}$$

$$\tilde{x}_2 - \tilde{x}_0 = \overline{0,0525 \quad 0,014}$$

Yoz va qish fasllari uchun topilgan sarflarni solishtiramiz:

$$L_{kish} = 6,58 \text{ kg/s} > L_{ez} = 4,13 \text{ kg/s}$$

$$Q_{kish} = 822,12 \text{ kVt} > Q_{ez} = 578,26 \text{ kVt}$$

## II. Barabanli quritkichning asosiy o'lchamlarini aniqlash

Barabanning hajmini topamiz:

$$V_{\text{gap}} = \frac{W}{A_v} = \frac{3600 \cdot 0,171}{7,2} = 85,5 \text{ m}^3$$

bu erda  $A_v$  - barabanning namlik bo'yicha kuchlanishi,  $A_v = 7,2 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{soat})$  [16,128].

Barabanning hajmi bo'yicha 9.3-jadvaldan barabanning asosiy o'lchamlarini [128], ya'ni N 7208. Ushbu sonli barabanning asosiy parametrlari quyidagicha:

- barabanning ichki diametri, m	2,8
- barabanning uzunligi, m	14
- devorlarining qalinligi, mm	14
- quritish hajmi, m <sup>3</sup>	86,2
- yacheykalar soni, dona	51
- aylanish tezligi, ayl/min	5
- umumiy massasi, t	70
- iste'mol qilinadigan quvvat, kVt	25,8

Havoning barabandagi haqiqiy tezligi ushbu formulada aniqlanadi:

$$w_x = V_x / (0,785 \cdot d^2)$$

bu erda  $V_x$  - qurituvchi eltkichning barabandan chiqishdagi hajmi sarfi:

$$V_x = \frac{6,58 \cdot 22,4 \cdot 273 \cdot 110}{273 \cdot 29 \cdot 16} = 7,31 \text{ m}^3/\text{c}$$

$$w_x = 7,31 / (0,725 \cdot 2,8^2) = 1,2 \text{ m/c}$$

Materialning barabanda o'rtacha bo'lish vaqti :

$G_m$  - barabandagi materialning sarfi:

$$G_m = V \cdot \rho \cdot \alpha \cdot X_m$$

bu erda  $V$  - quritgichning hajmi, 86,2 m<sup>3</sup>;  $X_m$  - materialning «to'kma» zichligi  $X_m = 1200 \text{ kg}/\text{m}^3$  [6,16];  $\alpha$  - barabanning to'ldirilish darajasi, ushbu misoldagi nasadka uchun 12% [128].

$$G_m = 86,2 \cdot 0,12 \cdot 1200 = 12412,8 \text{ kg}$$

unda:

$$\frac{12412,8}{2,778 \cdot 0,171} = 4335 \text{ c}$$

Barabanning og'ish burchagini quyidagi formulada aniqlanadi:

$$\alpha = \frac{1}{2} \left( \frac{l}{d} \cdot n \right)$$

bu erda  $l$  - barabanning uzunligi, 14 m;  $n$  - aylanishlar soni, 5 ayl/min;  $d$  - barabanning diametri, 2,8 m.

$$\alpha = \frac{1}{2} \left( \frac{14}{2,8} \cdot 5 \right) = 15^\circ$$

Agar  $\sqrt{l}$  ning qiymati juda kichik bo'lsa (0,5 dan kam), barabanning aylanish soni  $n$  kamaytiriladi va hisob qaytariladi.

Materialning eng kichik zarrachalari qurilmadan havo bilan chiqib ketmasligi uchun, uning tezligini hisoblaymiz. Buning uchun moddaning chiqib ketish tezligini, ya'ni erkin uchish tezligini topamiz:

$$w = \frac{Ar}{d} \sqrt{\frac{2}{\rho_{ur}}} \quad \text{Ar} = 18 \cdot 0,575 \cdot Ar$$

bu erda  $\rho_{ur}$  - qurituvchi eltkichning zichligi.

$$\rho_{ur} = \frac{p}{R \cdot T} = \frac{p_0}{R \cdot T_0} \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T}$$

$r$  - nam havodagi bug'larning partial bosimi.

$$p = \frac{p_0}{1 + \frac{r}{p_0}} = \frac{p_0}{1 + \frac{r}{p_0}}$$

$r_0 = 10^5$  Pa, chunki qurilma atmosfera bosimi ostida ishlaydi. qurilmaga kirishdagi:

$$p_1 = \frac{0,00318}{10^5} = 480,81 \text{ Pa}$$

qurilmadan chiqishidagi:

$$p_2 = \frac{0,02918}{10^5} = 4463,64 \text{ Pa}$$

unda o'rtacha  $r$

$$r = (480,81 + 4463,64) / 2 = 2472 \text{ Pa}$$

va zichlik:

$$\rho_{ur} = \frac{p}{R \cdot T} = \frac{2472}{22,4 \cdot 10^{-3} \cdot 273} = 0,91 \text{ kg/m}^3$$

Arximed kriteriysini aniqlaymiz:

$$Ar = d^3 \cdot \rho_3 \cdot g$$

bu erda  $\rho_3$  - quritilayotgan material zarrachalarining zichligi,  $\rho_3 = 2165 \text{ kg/m}^3$  [129];  $\rho_{ur}$  - havoning o'rtacha temperaturadagi qovushoqligi,  $\rho_{ur} = 0,022 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  [130].

$$Ar = \frac{(1 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 2165}{0,91 \cdot 9,8} = 39891468 \cdot \frac{10^6}{10^9} = 3,99 \cdot 10^4$$

va chiqib ketish tezligi

$$w_2 = \frac{0,022 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,91} \sqrt{\frac{2 \cdot 3,99 \cdot 10^4}{18 \cdot 0,575 \cdot 3,99 \cdot 10^4}} = 7,3 \text{ m/s}$$

Havoning qurilmadagi tezligi 1,2 m/s va bu 7,3 m/s dan ancha kam. Demak, zarrachalar qurilmadan havo bilan chiqib ketmaydi, chunki  $w_x < w_{ch}$ .

Agar bu son aksincha kattaroq bo'lsa, havo tezligi kamaytiriladi va hisob qaytadan o'tkazilishi kerak.

### III. Quritish qurilmasining gidravlik hisobi.

Issiqlik eltkich quritgich ichida va kanallarda harakat qilganda gidravlik qarshiliklar hosil bo'ladi. Ular ishqalanish  $R_n$ , mahalliy  $R_{m.k}$ , quritgichning ichidagi  $R_k$ , kalorifer qarshiliklardan va chang tozalovchi qurilma qarshiliklaridan hosil topadi:

$$R = R_n + R_{m.k} + R_k + R_{kal} + R_{ch}$$

1) Ishqalanish qarshiliklari tufayli yo'qotilgan bosimni aniqlaymiz:

$$R_n = \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

✦ - ishqalanish qarshiligi koeffitsienti, va u xarakat rejimiga bog`liq:

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

$w$  - qurituvchi eltkichning trubadagi tezligi, odatda uni 10 - 20 m/s atrofida olish mumkin [5,129];  $d$  - trubaning diametri, sekundli sarf tenglamasidan aniqlaymiz,

$$d = \sqrt[3]{\frac{V_c}{0,785}}$$

$V_c$  - qurituvchi eltkichning sekundli hajmiy sarfi:

$$V_c = \frac{L}{X}$$

$X$  - havoning zichligi, odatda u atrof muhit temperaturasida olinadi.  
 $t_o = +3,4^{\circ}\text{S}$  (Boku shahri uchun qish faslida).

$$X = \frac{M \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t)} = \frac{29 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 3,4)} = 1,28 \text{ kg } m^3$$

va unda

$$V = \frac{6,58}{c \cdot 1,28} = 5,14 \text{ m}^3$$

Trubaning diametri:

$$d = \sqrt[3]{\frac{5,14}{0,785}} = 0,570 \text{ m}$$

va

$$Re = \frac{20 \cdot 0,57 \cdot 1,28}{0,017 \cdot 10^{-3}} = 858353$$

ya'ni turbulent rejim [6,130]:

$$\lambda = 0,11 \cdot \epsilon \cdot Re^{0,25}$$

$$\epsilon = \frac{e}{d}; \quad e = 0,0002$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \sqrt[4]{0,0002 \cdot 68 \cdot 858353} = 0,0142$$

Bu erda  $l$  - trubaning uzunligi. Ventilyator joylashishiga qarab olinadi, bizning misol uchun  $l = 2 \text{ m}$  deb hisoblaymiz (5.121-rasm).

$$P_u = 0,0142 \cdot \frac{2}{0,57} \cdot \frac{20^2}{1,28} = 12,78 \text{ Pa}$$

2) Mahalliy qarshiliklarni engishda yo'qotilgan bosim:

$$P_{m.k} = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2}$$

Bu erda  $\xi$  - mahalliy qarshilik koeffitsientlarini ilovadagi 5-7 jadvaldan aniqlaymiz [5]:

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| 1. Trubaga kirish  | $\xi = 0,5$                       |
| 2. Trubadan chiqish  | $\xi = 1,0$                       |
| 3. To'g'ri burchak ( $90^{\circ}$ ) ostida trubaning burilishi | $\xi = 1,1$                       |
| 4. Normal ventillikita bo'lgani uchun                          | $\xi = 5,5$<br>$5,5 \cdot 2 = 11$ |

$$P_{m.k} = (0,5 + 1 + 1 + 11) \cdot \frac{20^2}{1,28} = 3481,6 \text{ Pa}$$

Chang tozalagich sifatida stiklon olsak:

$$P_y = \sum \xi \cdot w^2 \cdot X \cdot 2;$$

$$X = \frac{M \cdot 273}{22,4 \cdot (T + t)} = \frac{29 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 60)} = 1,1 \text{ kg } m^3$$

$\xi = 6$  stiklon ATI uchun [127],

$$P_{\text{y}} \bullet 6 \bullet 20^2 \bullet 1,1,2 \bullet 1320 \text{ Pa}$$

Quritish barabanining qarshiligi  $R_b = 100 \text{ Pa}$  [19] va kaloriferning qarshiligi  $R_k = 200 \text{ Pa}$  [19,128].

$$R = 12,76 + 3481,6 + 200 + 100 + 1320 = 5798,36 \text{ Pa}$$

#### IV. Ventilyatorni tanlash

Ventilyator asosan ikki parametr: havoning hajmiy sarfi va nabori orqali tanlanadi:

$$V \bullet \frac{h_{\text{max}}}{c} \bullet \frac{6,58}{1,28} \bullet 5,14 \text{ m}^3/\text{c}$$

$$H \bullet \frac{R}{g} \bullet \frac{5498,36}{9,8} \bullet 439,87 \text{ m}$$

Bu parametrlar orqali [127] yoki ilovadagi 15 jadvaldan [5] gazoduvka TV - 450 - 1,08 ni tanlaymiz, u  $V = 5,86 \text{ m}^3/\text{c}$  va  $R = 6000 \text{ Pa}$  ga to'g'ri keladi.

Gazoduvkaning **AO2-82-2** markali elektr yuritkichi  $N = 55 \text{ kVt}$  quvvatga ega.

#### V. Kalorifer hisobi

Nam havoni isitish uchun ko'pincha bug` bilan ishlaydigan plastinali kaloriferlar ishlatiladi. Kaloriferni tanlash uchun isitish yuzasini aniqlash kerak:

$$F \bullet \frac{Q}{k \bullet t_{yp}}$$

bu erda  $Q$  - havoni isitishga sarflangan issiqlik miqdori:

bu erda  $s_x$  - havoning issiqlik sig'imi,  $s_x = 0,241 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$  [25];  $t_1 = 160^\circ\text{C}$ ;  $t_2 = 3,4^\circ\text{C}$ .

$$Q = 6,58 \bullet 0,24 \bullet (160 - 3,4) = 248,3 \text{ kJ/s}$$

bu erda  $k$  - bug`dan havoga issiqlik o'tkazish koeffitsienti  $k = 40 \text{ Wt/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ;  $t_y$  - o'rtacha temperaturalar farqi. Bug`ning temperaturasini  $t_1 = (160^\circ)$  dan  $20^\circ$  balandroqolamiz [5, 127].

Bug` kondensatga aylanganda uning temperaturasi o'zgarmaydi.

$$t_{ka} \bullet 180 \bullet 3,4 \bullet 176,6^\circ\text{C}$$

$$t_{ku} \bullet 180 \bullet 160 \bullet 20^\circ$$

$$t_{yp} \bullet \frac{176,6 \bullet 20}{2,3 \bullet 8,83} \bullet 71,2^\circ\text{C}$$

$$F \bullet \frac{248,3 \bullet 10^3}{40 \bullet 71,2} \bullet 87,2 \text{ m}^2$$

Ushbu yuza bo'yicha KFS - 11 kalorifer tanlaymiz va undan ikki dona olishimiz kerak [127].

KFS - 11 ning xarakteristikalari:

- issiqlik almashinish yuzasi -  $F = 54,6 \text{ m}^2$
- massasi -  $m = 244,45 \text{ kg}$
- balandligi -  $h = 1160 \text{ mm}$
- eni -  $l = 960 \text{ mm}$
- ko'ndalang kesim yuzasi,  $\text{m}^2$ :  
 havo bo'yicha -  $0,638 \text{ m}^2$   
 isitgich bug` bo'yicha -  $0,0122 \text{ m}^2$

## VI. Quritkichning mexanik hisobi.

Baraban devorlarining qalinligi

$$\delta = 0,007 \cdot D_{bar} = 0,007 \cdot 2814 = 19 \text{ mm}$$

Barabanning aylanish tezligi.

$$n = (m \cdot k \cdot L_{bar}) / (D_{bar} \cdot t_d \cdot \psi)$$

$m$  - nasadkaning turiga bog'liq koeffitsient:  $m = 0,5$ ;  $k = 0,5 - 2,0$  [127,128]

$$(0,5 \cdot 2 \cdot 14) / (4335 \cdot 2,814 \cdot \text{tg}24,4) = 0,05 \text{ ayl/c}$$

Odatda, qumni quritishda  $n = 3,8 \text{ ayl/min}$  qabul qilinadi

Barabanni aylantirishga sarflangan quvvat:

$$N = 0,078 \cdot D_{bar} \cdot L_{bar} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot n$$

$\beta$  - quvvat koeffitsienti, nasadka turiga va barabanning to'lalilik koeffitsientiga bog'liq  $\beta = 0,071$  [85,127].

$$N = 0,078 \cdot 2,814^3 \cdot 14 \cdot 1200 \cdot 0,071 \cdot 3 = 6,22 \text{ kVt}$$

# KRISTALLANISH

## 5.48. Umumiy tushunchalar

Eritmalardan erigan qattiq komponentlarni kristall holda ajratib olish **kristallanish** jarayoni deb nomlanadi.

Kristallanishga teskari jarayon **eritish** jarayoni deyiladi.

Kristall deganda har xil shakldagi, tekis qirralar bilan cheklangan bir jinsli qattiq moddalar tushuniladi.

Kristallanish qattiq moddalarni toza holda olishning asosiy usuli, chunki kristallanish jarayonida har doim shunday sharoit yaratish mumkinki, keraksiz moddalar eritmada qolib, faqat toza modda kristallanadi.

Kristallanish jarayoni kimyo, neft kimyosi, metallurgiya, medistina, farmastevtika, oziq-ovqat va boshqa sanoatlarda keng miqyosda qo'llaniladi. Kristallanish jarayonini o'tkazishdan maqsad: eritmalardan kristallik fazani ajratish; bir va ko'p bosqichli kristallash usullarida aralashmalarni ajratish; moddalarni aralashmalardan o'ta tozalash; monokristallar etishtirish.

Kristallanish jarayonida turli o'lchamli kristallar, ya'ni sochiluvchan mahsulot olinadi.

Har bir modda kristallarining o'ziga xos geometrik shakllari bor. Hammasi bo'lib 32 xil kristallar simmetriya o'qlar soni mavjud va ular 7 ta kristallografik guruhga ajratilgan: kubik, trigonal, tetragonal, geksagonal, rombik, monoklin, triklin.

Bir kimyoviy modda bir necha xil kristallar hosil qilishi **polimorfizm** deb yuritiladi.

O'z tarkibida suv molekularini tutgan kristall **kristallogidratlar** deyiladi.

Kristallanish jarayoni ro'y berishi uchun boshlang'ich eritma o'ta to'yingan holatda bo'lishi kerak. Agar, eritmada erigan modda konstantriyasi uning eruvchanligidan yuqori bo'lsa, bunday eritmalar o'ta to'yingan deb nomlanadi. Lekin, o'ta to'yingan eritmalar noturg'un sistema bo'lgani uchun, undan erigan moddaning ortiqcha miqdori ajralib chiqadi, ya'ni kristallanish jarayoni sodir bo'ladi. Kristallar ajrab chiqishi tugagandan keyin to'yingan eritma qoladi.

Sanoat texnologik jarayoni 3 bosqichdan iborat: 1) kristallanish; 2) kristallarni eritmalardan ajratish; 3) kristallarni yuvish va quritish.

## 5.49. Kristallanish statikasi va kinetikasi

**Jarayon statikasi.** Temperatura ortishi bilan qattiq moddalar eruvchanligi o'zgarishiga qarab "musbat" yoki "manfiy" eruvchanlikka ega bo'lishi mumkin.

Agar, temperatura o'sishi bilan moddalar eruvchanligi ortsa, unda "musbat", aksincha bo'lsa "manfiy" eruvchanlikli bo'ladi.

Ma'lum temperaturada qattiq faza bilan muvozanatda bo'lgan eritma **to'yingan** eritma deb nomlanadi. Bunday eritmalarda qattiq modda va eritma o'rtasida dinamik muvozanat holati mavjuddir.

Erigan modda konstantriyasi uning eruvchanligidan katta bo'lgan aralashmalarga **o'ta to'yingan** eritmalar deb nomlanadi. O'ta to'yingan eritmalar noturg'un bo'ladi va to'yingan holatga oson o'tadi. Bunday o'tish davrida o'ta to'yingan eritmalardan kristallar ajralib chiqadi.

Temperatura o'zgarishi bilan eritmalarda yuz beradigan o'zgarishlarni holat diagrammasi xarakterlaydi (5.124-rasm).

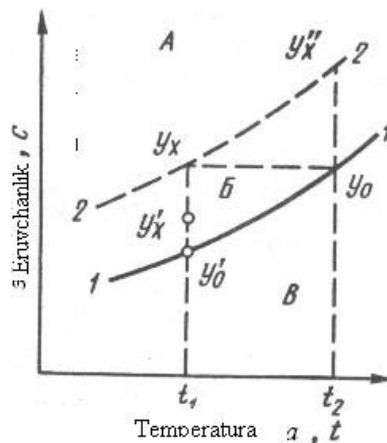
Konstantriyasi labil (o'zgaruvchan) zonaga to'g'ri keladigan eritmalar juda tez kristallanadi. Metastabil zonaga oid konstantriyali eritmalar esa - nisbatan sekin kristallanadi, chunki jarayon tezligi eritma temperaturasi, issiqlikni ajratib olish yoki erituvchini bug'lanish tezligi, aralashtirish va boshqa omillarga bog'liq.

Agar, temperatura  $t_2$  dan  $t_1$  gacha o'zgarsa, eritmada juda kam miqdorda kristallar ajrab chiqadi va u eritma konstantriyasi  $u_2 - u_0$  o'zgarishiga to'g'ri proporsionaldir. O'zgarimas  $t_2$  temperaturada erituvchining bir qismi yo'qotilgan taqdirda, o'ta to'yingan eritma olishga erishish mumkin. Bunda, konstantriyalar farqi  $u_x - u_0$  ga proporsional miqdorda kristallar hosil bo'ladi. Demak, bunday eritmalar kristallanishi eritma temperaturasini pasaytirish yoki erituvchining bir qismini yo'qotish yo'li bilan o'tkazish mumkin.

Eritma eruvchanligining temperaturaga bog'liqligi juda katta bo'lsa, temperaturani kamaytirib kristallash optimal usulga to'g'ri keladi.

Agar, temperatura ortishi bilan moddalar eruvchanligi o'zgarmasa, unda erituvchining bir qismini yo'qotish usulida kristallash mumkin.

**Jarayon kinetikasi.** Eritmadan moddani qattiq fazaga o'tishi, erigan moddalarning chegaraviy qatlam orqali diffuziya usulida amalga oshadi. Kristallanish jarayonining tezligi chegaraviy qatlam orqali erigan modda diffuziyasi yoki kristall bilan modda qo'shilish tezligi yoki bir vaqtning o'zida ikkala omil bilan aniqlanishi mumkin.



5.124-rasm. Eritmalar holat diagrammasi.

1-1 - eruvchanlik egri chizig'i; 2-2 - metastabil soha chegarasi;  
 A - labil (o'zguruvchan) eritmalar zonasi; B - metastabil eritmalar zonasi;  
 V - barqaror eritmalar zonasi.

Saxarozaning kristallanish jarayonini ko'rib chiqamiz. Kristallar o'lchami o'sishi jarayonida ular qalinlikdagi o'ta to'yingan, metastabil eritma chegaraviy qatlami bilan o'ralgan bo'ladi. Ushbu o'ta to'yingan eritmada ortiqcha saxaroza molekullari tezda ajralib chiqadi va kristall yuzasiga yopishadi. Natijada, eritma  $u_n$  konstantriyali holatiga o'tadi.

Lekin, kristallarni ma'lum bir masofada o'rab turgan eritmada konstantriyasi  $u_p$  bo'lgan o'ta to'yingan saxaroza saqlanib turadi.

Konstantriyalar farqi  $u_p - u_n$  bo'lgani uchun eritmaning chegaraviy qatlami orqali saxaroza diffuziya qiladi. Kristall qirralariga yaqinlashgan, saxaroza molekullari kristallik panjaraga o'tadi, ya'ni fazaviy o'tish sodir bo'ladi. Shunday qilib, kristallar o'sish tezligi saxarozaning diffuziya va fazalarni ajratuvchi chegarada fazaviy o'tish tezliklari bilan belgilanadi. Agar, fazaviy o'tish tezligi saxarozaning diffuziya tezligidan yuqori bo'lsa, unda saxarozaning kristallanish jarayonini cheklovchi bosqichi bo'lib uning diffuziyasi hisoblanadi.

Saxaroza kristallarining o'sish tezligi ushbu tenglama yordamida ifodalash mumkin:

$$\frac{dM}{d} = \frac{D \cdot F \cdot y_n \cdot y_n}{d} \quad (5.242)$$

bu erda  $dM$  - vaqt birligida kristallangan modda miqdori;  $D$  - diffuziya koeffitsienti;  $F$  - kristallanish yuzasi;  $u_p$  - o'ta to'yingan eritma hajmidagi modda konstantriyasi;  $u_n$  - kristall sirti atrofidagi modda konstantriyasi (odatda eritma konstantriyasiga teng deb qabul qilinadi);  $d$  - konstantriyasi  $u_p$  dan  $u_n$  gacha o'zgaradigan eritma chegaraviy qatlaminin g'alinligi.

(5.242) tenglamani integrallasak, ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$M = \frac{D \cdot y_n \cdot y_n \cdot F \cdot d}{d} \quad (5.243)$$

Kristallanish tezligi esa:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{D \cdot y_n \cdot y_n \cdot F \cdot d}{d} \quad (5.243)$$

Kristallar laminar rejimda o'ta to'yingan eritma bilan yuvilib turishini hisobga olsak, chegaraviy qatlam qalinligi ushbu ifodadan aniqlanadi:

$$d = \frac{D \cdot y_n \cdot y_n \cdot F \cdot d}{v} \quad (5.244)$$

bu erda  $v$  - to'yingan eritmaning dinamik qovushoqligi;  $w$  - kristallarining eritmada g'arakat tezligi. Stoks qonuniga binoan  $v = I/v$ .

Eynshteyn nazariyasiga binoan diffuziya koeffitsientining absolyut temperatura  $T$  va qovushoqlik  $v$  ga bog'liqligi quyidagi funktsiya bilan ifodalanadi:

$$D = \frac{kT}{v} \quad (5.245)$$

bu erda  $k$  - diffuziyalanayotgan modda tabiatiga bog'liq o'zgarmas kattalik.

(5.244) va (5.245) tenglamalarni (5.243) ga qo'ysak, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\frac{M}{F_{\text{eritma}}} \cdot \frac{k T y_n \sim y_n}{\dot{V}^2} \quad (5.246)$$

$\dot{V}^2 = I$  bo'lganda, koeffitsient  $k = 2318$ . Unda, (5.246) tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$\frac{M}{F_{\text{eritma}}} \cdot \frac{2318 y_n \sim y_n}{\dot{V}^2} \quad (5.247)$$

bu erda  $M/(F_{\text{eritma}})$  - saxarozaning kristallanish tezligi,  $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ ;  $u_p - u_n$  - konstantarstiyalar farqi, gramm 100 g eritmaga;  $\dot{V}$  - to'yingan eritmaning dinamik qovushoqligi,  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ .

Kristallanish tezligini belgilovchi asosiy omillar: eritmaning o'ta to'yinish darajasi; temperatura; kristallanish markazlarining hosil bo'lishi; aralashtirish intensivligi; eritmada qo'shimcha moddalar borligi va h.

Kristallanish jarayoni 2 bosqichdan iborat: kristallanish markazlarini hosil bo'lishi va kristallarning o'sishi.

**Kristallanish markazlarining hosil bo'lishi.** O'ta to'yingan yoki sovutilgan eritmalarda kristallanish markazlarini sun'iy ravishda hosil qilish mumkin. Masalan, eritmaga mayin dispers zarrachalar yoki "tomizg'ini" qo'shish yo'li bilan yoki erkin, o'z - o'zidan hosil bo'ladi.

O'z - o'zidan kristallanish markazlarining hosil bo'lishiga induktsion davr sababchi, chunki bu davrda kristallanish yuz bermaydi. Ushbu davrda kristallik asoslari eritma bilan harakatchan muvozanatda bo'ladi. Kristallik asoslar va eritma orasidagi harakatchan muvozanat buzilishi bilan yoppasiga kristallanish boshlanadi. Eritmani silkitish yoki aralashtirish va temperatura ortishi bilan kristall asoslari hosil bo'lish tezligi ko'payadi.

**Kristallarning o'sishi.** Eritmada erigan modda zarrachalarining hosil bo'lgan kristallik asoslarda adsorbtsiyasi hisobiga bo'ladi.

Kristallanish jarayonida kristall hamma qirralari bo'ylab bir vaqtda o'sadi, lekin o'sish tezligi har xil bo'ladi. Bu hol kristallar o'lchami va shaklining o'zgarishiga olib keladi.

Kristallarning shakli asosan kristallanayotgan modda tabiatiga bog'liq. Agar, kristallik asoslar erkin va bir tekisda yuvilib tursa, to'g'ri shaklli, yaxshi qirra va tomonli kristallar hosil bo'ladi. Agar qurilma devori va aralashtirish moslamasiga kristallar ishqalansa yoki urilsa, uning qirralari silliqlanishi hisobiga kristall shakli buziladi, ya'ni mahsulot sifati yomonlashadi.

Odatda, olinayotgan kristallar har xil bo'lishi, eritmani yomon aralashtirilishi bilan bog'liqdir. Lekin, eritma intensiv aralashtirilishi bir tomondan kristallanish tezligini oshirsa, ikkinchi tomondan - mayda kristallar hosil bo'lishiga sababchi bo'ladi.

Olingan mahsulot granulometrik tarkibini yaxshilash maqsadida klassifikatsiya qilinadi.

Kristallar tozaligi kristallanish jarayonini o'tkazish sharoitlariga, hamda kristallarni filtrlash va yuvishga bog'liq.

## 5.50. Kristallanish usullari

Kristallanish jarayonini davriy va uzluksiz tashkil etish mumkin. Davriy kristallanish jarayoni kam tonnajli, uzluksiz esa - ko'p tonnajli ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

Sanoat miqyosida quyidagi kristallanish usullaridan foydalanadi: eritmalardagi erituvchining bir qismini bug'latish; eritma temperaturasini o'zgartirib kristallash; kombinatsiyalangan usullardan foydalanib kristallash.

**Eritmadagi erituvchining bir qismini bug'latib kristallash.** Erituvchining bir qismini yo'qotish uchun bug'lanish yoki muzlatish usulidan foydalanish mumkin. Eritma tarkibidagi suvni haydash uchun bug'lanish keng ko'lamda ishlatiladi. Odatda bu jarayon bug'latish qurilmalarida amalga oshiriladi. Kerakli darajadagi o'ta to'yingan eritma hosil bo'lgandan keyin, u shu qurilmada kristallanadi. Ushbu usul **izotermik** kristallanish deb ataladi.

Bu usulning kamchiliklari: hosil bo'layotgan kristallar issiqlik almashinish yuzalariga yopishib qoladi; boshlang'ich eritma tarkibidagi aralashmalar ham quyuuqlashadi.

Qurilma ichida qattiq moddalar yopishib yoki cho'kib qolmasligi uchun eritmaning sirkulyatsiya tezligi ko'paytiriladi.

Kristallarni ajratish va yuvish filtr yoki stentrifugalarda o'tkaziladi.

**Eritma temperaturasini o'zgartirib kristallash.** Bunday usul **izogidrik** kristallash deb nomlanadi, chunki bu jarayon eritmada erituvchi miqdori o'zgarmas bo'lgan holatda olib boriladi.

Kimyo sanoatida musbat eruvchanlikli tuzlarni kristallash juda keng tarqalgan. Bunday eritmalarning o'ta to'yinishiga uni sovitish yo'li bilan erishiladi. Jarayon davriy yoki uzluksiz, pog'onali joylashgan bir yoki ko'p

korpusli qurilmalarda olib boriladi. Sovutuvchi eltkich sifatida suv ishlatiladi. Havo yordamida sovutilganda jarayon nisbatan sekin boradi, lekin yirik va bir jinsli kristallar hosil bo'ladi. Manfiy eruvchanlikli eritmalarni kristallash uchun eritma qizdirilishi zarur.

**Kombinastiyalangan usullarga** vakuum ostida, erituvchining bir qismini issiqlik eltkich yordamida bug'latib kristallash va frakstiyali kristallashlar kiradi.

**Vakuu ostida kristallash.** Bu usulda erituvchi devor orqali issiqlik uzatish yo'li bilan bug'latilmasdan, balki eritmaning o'z fizik issiqligini berish hisobiga ro'y beradi. Ushbu issiqlikning bir qismi erituvchini (tahminan 10% mass) bug'latish uchun sarflanadi. Hosil bo'layotgan bug'lar vakuum - nasos yordamida so'rib olinadi. Uzatilayotgan issiq to'yingan eritma temperaturasi qurilmadagi bosimga tegishli eritmaning qaynash temperaturasigacha pasayadi va jarayon adiabatik kechadi. Eritmaning o'ta to'yinish holatiga uni sovutish yo'li bilan erishiladi, chunki konstentrastiya bunda sezilar - sezilmas o'zgaradi. Erituvchi eritmaning fizik issiqligi hisobiga, hamda kristallanish jarayonida ajralib chiqayotgan issiqlik hisobiga bug'lanishi mumkin. Eritmaning sovutish va kristallanishi bilan birga bug'lanishi uning butun hajmida sodir bo'ladi. Bunday holat qurilma devorlarida kristallar yopishib qolishini kamaytiradi, hamda uni tozalash bilan bog'liq sarflar qisqaradi.

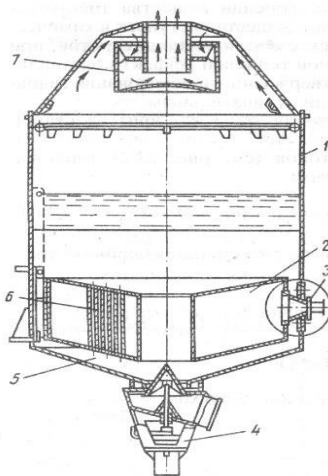
**Erituvchining bir qismini issiqlik eltkich yordamida bug'latib kristallash.** Bu usulda erituvchining bir qismi eritma ustida harakatlanayotgan havo yordamida bug'lanadi va eritma sovutiladi.

**Frakstiyali kristallash.** Agar eritma tarkibida ajratiladigan moddalar bir nechta bo'lsa, uni frakstiyali kristallash usulida qayta ishlanadi. Bu usulda eritma temperatura va konstentrastiyasini o'zgartirish yo'li bilan kristallar ketma - ket cho'ktiriladi va ajratib olinadi.

### 5.51. Kristallizatorlar konstrukstiyalari

Ishlash prinsipiga qarab kristallizatorlar davriy va uzluksiz qurilmalarga bo'linadi. Uzluksiz ishlaydigan qurilmalar o'z navbatida erituvchining bir qismini bug'latuvchi va eritmani sovutuvchi kristallizatorlarga ajraladi. Undan tashqari, mavhum qaynash qatlamli kristallizatorlar ham bo'ladi.

**Tabiiy sirkulyatsiyali, davriy ishlaydigan, osma isituvchi kamerali vakuum - kristallizator** 5.125-rasmda tasvirlangan.



5.125-rasm. Osma isituvchi kamerali vakuum - kristallizator.

1 - qobiq; 2 - isituvchi kamera; 3 - bug'ni uzatish moslamasi; 4 - sirkulyatsion truba; 5 - konussimon tub; 6 - isituvchi truba; 7 - inersion separator.

Isituvchi kamera konussimon teshikli panjara va trubalar o'ramidan tarkib topgan. Trubalar ushbu panjaraga razvaltsovka usulida mahkamlangan.

Isituvchi kameraning o'qi bo'ylab sirkulyatsion truba joylantirilgan. Qurilma qobig'i va isituvchi kamera orasida halqasimon bo'shliq bo'lib, unda utfel sirkulyatsiya qiladi. Qurilmada temperaturalar farqi tufayli chiziqli uzayishlar paydo bo'ladi. Shu sababli, bug'ni uzatish uchun temperatura deformastiyalarini kompensastiya qiluvchi maxsus moslama o'rnatilgan.

Ushbu moslama isituvchi kamera bilan qattiq birlashtirilgan bo'lsa, qurilma qobig'i bilan esa - temperatura ta'sirida hosil bo'ladigan uzayishlarni bartaraf qiluvchi membrana yordamida birlashtiriladi. Utfel sirkulyatsiyasini yaxshilash maqsadida isituvchi kamera ostiga bug' yordamida puflash qo'llaniladi.

Vakuu-kristallizatorlarda qo'llaniladigan isituvchi kamera konstrukstiyalari turli bo'lishi mumkin. Hozirgi kunda eng keng tarqalgan isituvchi kamera konstrukstiyasi - bu osma kameralardir. Ularning teshikli panjarasi konussimon, sferik va boshqa murakkab shaklli bo'lishi mumkin. Isituv bug' kameraning trubalararo bo'shlig'iga, bug'latilayotgan eritma esa - truba ichiga yuboriladi.

**Uzluksiz ishlaydigan kristallizatorlar** quyuqlashtirgich, kristall generatori va kristall o'stirish

kamerasidan iborat. Qurilma konstruktiviyasi kristallarni devorlarga cho'kib qolmasligini ta'minlovchi, intensiv sirkulyatsiyali bo'lishi kerak. Undan tashqari, uning issiqlik almashinishi yuqori va bir xil kattalikdagi kristallar olishni ta'minlashi kerak.

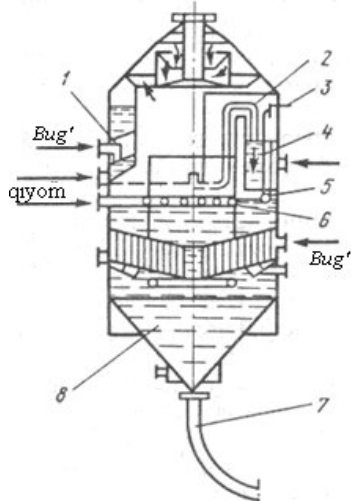
5.126-rasmda qand ishlab chiqarish sanoatida qo'llaniladi uzluksiz ishlaydigan kristallizator konstruktiviyasi keltirilgan. Quyuqlashtirgich va kristall generatorlari halqasimon segment ko'rinishida yasalgan bo'lib, isitish yuzalari zarur o'lchamdagi trubalardan hosil qilingan. Qurilmaning boshqa qismlaridan quyuqlashtirgich ajratilgan va yaxshi zichlangan. Shuning uchun ham, uning ichida boshqa qismlariga bog'liq bo'lmagan holda ortiqcha bosim hosil qilish imkoni bor. Kristall generatorining yuqori, ochiq qismi kristall o'stirish kamerasi utfel usti bo'shlig'i bilan bog'langan. Odatda, kristall o'stirish kamerasi stilindrik ko'rinishda bo'lib, stilindrik va radial to'siqlar yoradamida 4 ta bo'limga ajratilgan bo'ladi.

Turg'un rejim o'rnatilgandan so'ng, qiyom (patoka) quyuqlashtirgich va kristall o'stirish kamerasiga o'zatiladi.

Quyuqlashtirgichdagi yuqori bosimda va kristall hosil bo'lish temperaturasidan 10...15°S yuqori temperaturada qiyom konstantastiyasi oshiriladi. So'ng esa, quyuqlashtirilgan eritma kristall generatoriga yuboriladi va u erda qaynaydi. Natijada eritmadagi erituvchining bir qismi bug'lanadi va temperaturasi pasayadi. Bu hol o'ta to'yinish koeffitsientining keskin o'sishiga olib keladi. Qiyomning sirkulyatsiyasi davrida intensiv ravishda kristallar hosil bo'lib boshlaydi. Quyuqlashtirgichdagi qiyomning o'ta qizish kattaligi va kristall generatoriga uzatilayotgan bug' miqdori bilan kristallar tarkibini roslash mumkin.

Kristall generatorida olingan utfel va qiyom uzluksiz ravishda kristall o'stirish kamerasining birinchi bo'limiga uzatiladi. Utfel esa birinchi bo'limdan to'rtinchisiga oqib o'tadi, qaynatib quyultiriladi va to'kish moslamasi orqali uzluksiz ravishda chiqarib turiladi.

Qurilma ishlashi avtomatik ravishda boshqariladi.



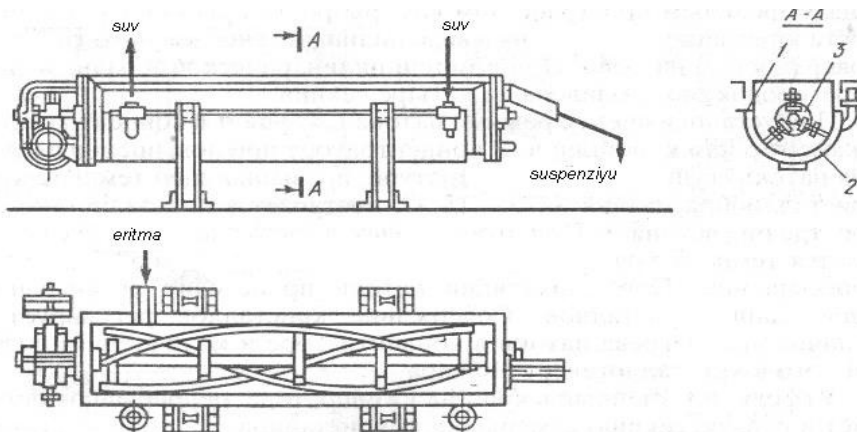
**5.126-rasm. Uzluksiz ishlaydigan kristallizator.**

1 - quyuqlashtirgich; 2 - truba; 3 - truba holatini rostlovchi g'ildirak (shturval); 4 - kristall

generatori; 5 - quyulish trubalari; 6 - barboter; 7 - to'kish moslamasi; 8- kristallar

**Davriy ishlaydigan kristallizatorlar** mexanik aralashtirgichli va zmeevikli vertikal, stilindrik qurilmalardir. Bunday qurilmalarda kristallash jarayoni va eritmani sovitish bir vaqtda olib boriladi.

**Lentali aralashtirgichli** tog'orasimon tipdagi kristallizator 5.127-rasmda ko'rsatilgan. Ayrim hollarda lentali aralashtirgich o'rniga uzluksiz vint shaklidagi shnekli aralashtirgich o'rnatilishi mumkin.



**.127-rasm. Lenta aralastirgichli kristallizator.**

1 – tog`orasimon qobiq; 2 - suvli g`ilof; 3 - aralastirgichlar.

Bu turdagi kristallizatorda olingan kristallar o`lchami 0,5...6 mm dan oshmaydi. Tog`orasimon kristallizatorlar tuzilishi sodda, ekspluatatsiya qilish qulay va ishonchligi yuqori.

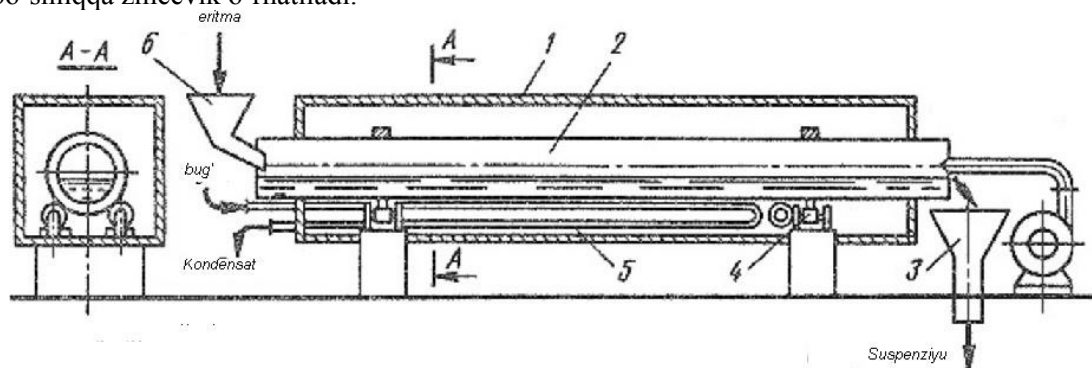
**Barabanli kristallizatorlar** tarkibida suv yoki havoli sovitish moslamali bo`ladi. Havo yordamida sovitilganda, eritmadan havoga issiqlik berish koeffitsienti kichik bo`ladi.

Shuning uchun yirik, katta o`lchamli kristallar hosil bo`ladi. Lekin, kristallizator ish unumdorligi, suv bilan sovitish usuliga qaraganda, kamroq bo`ladi.

Barabanli kristallizator aylanuvchi, stilindrik barabandan tashkil topgan. Odatda baraban eritma harakat yo`nalishi bo`ylab, ufq chizig`iga nisbatan ma`lum qiyalik burchagida o`rnatiladi (5.128-rasm).

Eritma barabanning tepa qismiga beriladi va hosil bo`lgan kristallar uning pastki uchidan to`kiladi. Baraban aylanishi paytida uning devorlari eritma bilan ho`llanadi va natijada suvning bug`lanish yuzasi ortadi.

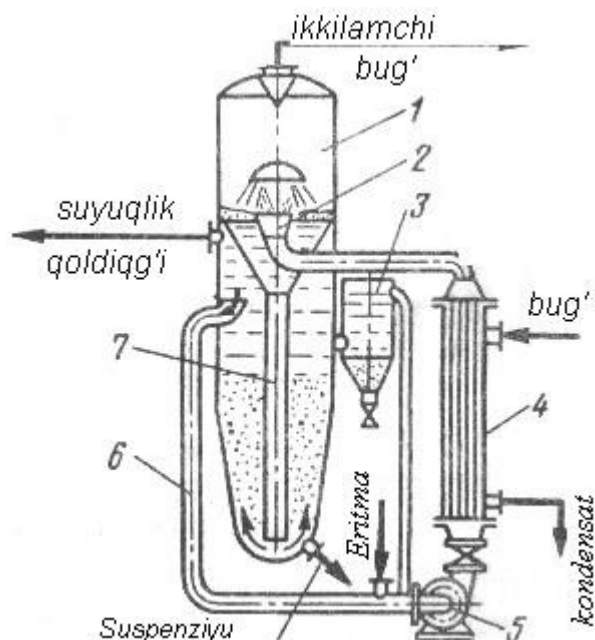
Baraban qobiq ichiga joylashtirilgan bo`lib, ular orasidagi halqasimon bo`shliqqa sovuqlik eltkichlar, ya`ni suv yoki havo yuboriladi. Eritma va sovuqlik eltkich qarama - qarshi yo`nalishda harakatlanadi. 1 m<sup>3</sup> eritmani sovitish uchun taxminan 5 m<sup>3</sup> suv sarflanadi. Qurilma devorlarida kristallar cho`kib yoki yopishib qolish oldini olish maqsadida barabanning pastki qismi qizdirib turiladi. Buning uchun qobiq va baraban orasidagi bo`shliqqa zmeevik o`rnatiladi.



**5.128-rasm. Barabanli kristallizator.**

1 - qobiq; 2 - baraban; 3 - suspenziya; 4 – g`ildirakcha; 5 - zmeevik; 6 - voronka.

**Mavhum qaynash qatlamli kristallizatorlar** kristallash jarayonini intensiv rejimlarda o`tkazish imkoniyatini beradi (5.129-rasm).



**5.129-rasm. Mavhum qaynash qatlamli kristallizator.**

1 - qobiq; 2- qaynash trubasi; 3- yig'gich; 4 - issiqlik almashinish qurilmasi; 5 - nasos; 6 - cirkulyacion truba; 7 - markaziy trubalar.

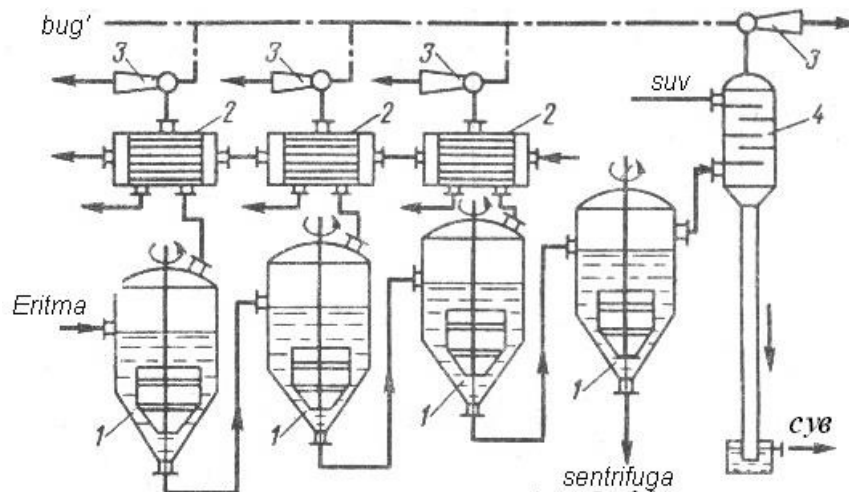
Kristallanish jarayoni erituvchining bir qismini bug'latib yo'qotish yoki eritmani sovitish usullarida tashkil etilishi mumkin.

Sirkulyacion trubada boshlang'ich eritma sirkulyatsiya qilayotgan kristallari ajratib olingan eritma qoldig'i bilan aralashadi. So'ng, aralashma issiqlik almashinish qurilmasida qizdiriladi, qaynash trubasi orqali qurilmaga o'tadi va u erda intensiv ravishda qaynab bug' hosil qiladi. Jarayon mobaynida hosil bo'lgan o'ta to'yingan eritma kristallizatorning pastki qismiga tushadi. Bu erda, eritmaning sirkulyatsiyasi hisobiga mavhum qaynash qatlami paydo bo'ladi. Hosil bo'lgan yirik (2 mm gacha) kristallar qurilma tubiga cho'kadi va ular chiqarib yuboriladi.

Mayda kristallar esa, jarayonda qatnashib, o'sishda davom etadi yoki yig'gich 3 orqali chiqariladi.

Mavhum qaynash qatlamida suspenziyaning intensiv aralashishi tufayli eritmada moddaning diffuziya tezligi ortadi va kristallarning o'sish jarayoni tezlashadi. Bunda, eritmaning o'ta to'yinish darajasi kamayadi va kristallarning o'sish tezligi kristallash markazlari hosil bo'lish tezligiga nisbatan katta bo'ladi. Mavhum qaynash qatlamida kristallash jarayonida boshqa usullarga nisbatan yaxshi granulometrik tarkibli kristallar olinadi.

**Ko'p korpusli vakuum – kristallash qurilmasi** 5.130-rasmda keltirilgan. Odatda bunday qurilmalar tarkibida 3...4 ta aralashirgichli vakuum kristallizator bo'ladi. Eritma, har bir quyidagi joylashgan korpusdan yuqoridagi korpusga vakuum hisobiga so'rib olinadi. Har bir korpus sirtiy kondensator va bug' oqimchali nasos bilan ta'minlangan. Oxirgi korpusdagi vakuum, barometrik kondensator yordamida hosil qilinadi. Sirtiy kondensatorlar boshlang'ich eritma yordamida sovitiladi. Suspenziya esa, oxirgi korpusdan chiqariladi.



5.130. Ko'p korpusli vakuom-kristallash qurilmasi.

1 - vakum-kristallizatorlar; 2 - sirti kondensatorlar;  
3 - bug'-oqimchali nasos; 4 - barometrik kondensator.

Ko'p korpusli vakuom - kristallizatorlar tuzilishi sodda, iqtisodiy jihatdan samarador va yirik, ko'p tonnaji korxonalarda ishlatiladi.

## 5.52. Kristallizatorlarni hisoblash

### MODDIY BALANS

**Eritmadagi erituvchining bir qismini bug'latib kristallash.** Jarayonda qatnashayotgan moddalar va oqimlar parametrlarini belgilab olamiz:

$G_b, G_{kr}, G_m$  - boshlang'ich eritma, olingan kristallar va kristallardan ajratilgan suyuqlik qoldiqlarining massasi, kg;  $W$  - bug'latilgan erituvchi massasi, kg;  $x_b, x_m$  - boshlang'ich eritma va kristallari ajratib olingan suyuqlik qoldig'i tarkibidagi erigan modda konsentratsiyalari, massaviy ulushlar;  $a = M/M_{kr}$  - erigan absolyut quruq modda molekulyar massasining kristallogidratning molekulyar massasiga nisbati; suv molekularini qo'shmasdan kristallash uchun  $M = M_{kr} \cdot a = 1$ ;  $L$  - quruq gaz sarfi, kg;  $x_1, x_2$  - gazning boshlang'ich va jarayon oxiridagi nam saqlashi.

Kristallanish jarayonining umumiy moddiy balansi ushbu formula bilan ifodalanadi:

$$G_o \bullet G_{kp} \bullet G_k \bullet W \quad (5.248)$$

Erigan absolyut quruq modda buyicha moddiy balans ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$G_o x_o \bullet G_{kp} a \bullet G_m x_m \quad (5.249)$$

Agar,  $a=1$  bo'lsa, bug'latilgan erituvchining massasi ushbu formuladan topiladi:

$$W \bullet \frac{G_{kp}}{x_o - x_m} \quad (5.250)$$

(5.248) va (5.250) formulalardan foydalanib hosil bo'lgan kristallar massasini aniqlash mumkin:

$$G_{kp} \bullet \frac{G_o x_o - x_m W}{x_m a} \quad (5.251)$$

**Eritmadagi erituvchini bug'latmasdan kristallashda**  $W=0$  bo'ladi. Bu usulda olingan kristallar miqdori:

$$G_{kp} \bullet \frac{G_o x_o - x_m}{a x_m} \quad (5.252)$$

Agar  $a=1$  bo'lsa:

$$G_{kp} \bullet \frac{G_o x_o - x_m}{1 x_m}$$

Erituvchini bug' holatiga o'tkazish uchun sarflangan gaz miqdori ushbu tenglamadan hisoblanadi:

$$L \bullet \frac{W}{x_2 x_1} \quad (5.253)$$

ISSIQLIK BALANSI.

**Eritmadagi erituvchining bir qismini bug`latib kristallash.** Issiqlik balansini tuzish uchun ushbu belgilashlarni kiritamiz:

$D$  - isituvchi bug` sarfi, kg/s;  $i_r, i_{kr}, i_m, i_{vt}, i_{\square}, i_{\circ}$  - eritma, kristall, kristallari ajratib olingan eritma qoldig`i, ikkilamchi bug`, isituvchi bug` va kondensatlarning solishtirma entalpiyasi, kJ/kg;  $r_{kr}$  - kristallarning kristallik panjarasi hosil qilish issiqligi, kJ/kg;  $q$  - eritmani  $x_b$  dan  $x_m$  gacha konstantlashning issiqlik effekti.

Eritmani kristallash jarayonida kristallik panjarasi hosil bo`ladi va ma`lum miqdorda issiqlik (qotib qolish issiqligi) ajralib chiqadi. Moddalarni eritish jarayonida esa, issiqlik sarflar zarur bo`ladi.

Agar, eritilayotgan modda erituvchi bilan kimyoviy reaksiyaga kirishib gidratlar hosil qilsa, unda issiqlik ajralib chiqadi.

Qotish issiqligi va gidratlar hosil bo`lishiga qarab kristallanishning summar issiqlik effekti musbat yoki manfiy bo`ladi.

Yuqorida qabul qilingan belgilashlarni hisobga olsak, kristallanish issiqligi  $Q_{kr} = Q_{kr} \bullet r_{kr}$ , gidratlash issiqligi esa -  $Q_G = q G_m x_m$ .

Issiqlik balansini quyidagi tenglik bilan ifodalash mumkin:

$$\frac{G_{\bullet} i_p}{r_{sp}} + G_{kp} \bullet \frac{q G_m x_m}{i_{kp}} + Di_{\square} \bullet G_{kp} + G_m \bullet i_m + Wi_{BT} + Di_{\square} Q_n \quad (5.254)$$

**Bundan, kristallash uchun zarur bo`lgan bug` sarfini aniqlash mumkin:**

$$\frac{Q}{i_{sp}} \bullet Di_{\square} i_{\square} \bullet G_{kp} + G_m \bullet i_m + Wi_{BT} + Q_n G_m \bullet r_{sp} + q G_m x_m \quad (5.255)$$

Eritmani sovitish jarayonidagi sovuq suvning massaviy sarfi:

$$G_{cvs} \bullet \frac{Q_{cos}}{G_m c_m t_{ox} - t_{\bullet}} \quad (5.256)$$

Sovuq havoning sarfi esa:

$$L \bullet \frac{Q_{cos}}{i_{ox} i_{\bullet}} \quad (5.257)$$

bu erda  $t_b, t_{ox}$  - suvning boshlang`ich va oxirgi temperaturalari, °S;  $i_b, i_{ox}$  - havoning boshlang`ich va oxirgi entalpiyalari, kJ/kg.

Kristallizatorlarning isitish va sovitish yuzalari issiqlik almashinish qurilmalarini hisoblash formulalari bo`yicha olib boriladi.

## 9 – bob. KIMYOVIY JARAYONLAR

### 9.1. Umumiy tushunchalar

Kimyoviy aylanishlarni o'tkazish uchun mo'ljallangan qurilmalar **reaktorlar** deb ataladi. Kimyoviy texnologiyaning jarayon va qurilmalari orasida kimyoviy reaktorlar va ularda kechadigan jarayonlar alohida o'rin tutadi. Ushbu jarayonlar kimyo sanoatining asosidir.

Kimyoviy aylantirishlar quyidagi xosligi bilan xarakterlanadi:

a) gidrodinamik, issiqlik va massa almashinish hodisalari, hamda kimyoviy kinetika qonunlari kimyoviy jarayonlar kechish qonuniyatlarini belgilaydi;

b) kimyoviy-texnologiya jarayonlarining kechishiga katta ta'sir etuvchi omillar kimyoviy jarayonlar uchun muhit ahamiyatga ega; reaksiyalarni bir vaqtda parallel va ketma-ket kechishida temperatura va aralashtirish kabi omillar mahsulot sifatiga salmoqli ta'sir etadi;

v) umuman olganda, jarayon tezligi eng sekin o'tadigan bosqich bilan belgilanganligi sababli, kimyoviy jarayonlar diffuzion, kinetik va oralik sohalarda kechishi mumkin.

Agar jarayon tezligi massa almashinish (diffuziya) tezligi bilan belgilansa, jarayon **diffuzion** sohada o'tadi. Agar jarayon tezligi faqat kimyoviy aylanishlar tezligi bilan belgilansa, jarayon **kinetik** sohada boradi. Agar kimyoviy reaksiya va diffuziya tezliklari taxminan bir xil bo'lsa, jarayon **oralik** sohada kechadi. Lekin, sanoat qurilmalarida kimyoviy jarayonlarning tezligi faqat issiqlikni uzatish yoki ajratib olish tezliklari bilan ham belgilanishi mumkin.

Ko'pincha reaktorlar sifatida maxsus, o'ta murakkab konstruktsiyali qurilmalar qo'llaniladi.

### 9.2. Kimyoviy aylanishlar davridagi muvozanat

Odatda, yangi reaktorlar yaratish uchun loyihachiga reaksiya yo'nalishi va oxirgi konstantastiyalar berilgan bo'ladi. Shunga qaramasdan, loyihachi kimyoviy muvozanat nazariyasining (fizik kimyo fanining kimyoviy termodinamika qonuniyatlari) asosiy holatlarini bilishi zarur.

**Massalar ta'sir qonuni.** Ma'lumki, kimyoviy reaksiyalar qaytar bo'lishi mumkin, ya'ni boshlang'ich moddalar o'zaro kimyoviy ta'siri (to'g'ri reaksiya) bilan birga, reaksiya mahsulotlarining o'zaro kimyoviy ta'sirida boshlang'ich moddalar hosil bo'lishi (teskari reaksiya) mumkin. To'g'ri reaksiya o'tib borishi bilan uning tezligi kamaysa, shu davrda mahsulot ortishi bilan teskari reaksiya tezligi o'sadi. To'g'ri va teskari reaksiya tezliklari tenglashishi bilan kimyoviy muvozanat holati boshlanadi. Tashqi sharoitlar buzilmasdan turganda muvozanat aralashmadagi moddalar tarkibi va konstantastiyasi o'zgarmas bo'ladi. Tashqi sharoitlarning cheksiz kichik o'zgarishi, muvozanat holatini cheksiz o'zgarishiga olib keladi. Demak, kimyoviy reaksiyalar termodinamik muvozanat holatida borishi va ularga termodinamik muvozanatning umumiy shartlarini qo'llash mumkin.

Kimyoviy reaksiyada qatnashayotgan moddalarning parstial bosimlari yoki muvozanat konstantastiyalari o'rtasidagi bog'liqlik massalar ta'sir qonuni bilan ifodalanadi. Muvozanat holatidagi gomogen gazli kimyoviy reaksiya uchun:



agar, reaksiya komponentlari - ideal gazlar bo'lsa, quyidagi tenglama to'g'ri keladi:

$$\frac{p_C^c \cdot p_D^d}{p_A^a \cdot p_B^b} = K_p \quad (9.2)$$

bu erda  $a, b, c, d$  -  $A, V, S, D$  moddalarning stexiometrik koeffitsientlari;

$r_i$  - tegishli stexiometrik koeffitsientlar darajasidagi  $A, V, S, D$  komponentlarning parstial bosimlari.

O'zgarmas  $K_p$  ning qiymati **muvozanat konstantasi** deb ataladi. Ushbu konstanta faqat temperaturaga bog'liq va boshlang'ich aralashma komponentlarning parstial bosimi va bosimlar yig'indisiga bog'liq emas. (9.2) tenglama massalar ta'sir qonunining ifodasi bo'lib, uning miqdoriy ifodasi va keltirib chiqarilishi 1867 yili Guldberg va Vaaglar tomonidan taklif etilgan.

Haqiqiy gazlar uchun komponentlar parstial bosimlarini har bir  $i$  - komponentning uchuvchanligi  $f_i$  bilan almashtirish kerak. Bunda, muvozanat konstantasi  $K_f$  ham komponentlarning uchuvchanligi orqali ifodalanadi.

Muvozanat konstantasi konstantastiyalar yordamida ham ifodalanishi mumkin:

$$\frac{K_c^c \cdot K_c^d}{K_c^a \cdot K_c^b} = K_c \quad (9.3)$$

Ideal bo'lmagan eritmalar uchun muvozanat konstantasi  $K_a$  komponent  $a$  ning faolligi orqali ham ifodalanishi mumkin.

Suyultirilgan eritmalar uchun  $a_i = s_i$  va  $K_s = K_a$ .

Parstial bosim va mol ulushlar ( $K_N$ ) orqali ifodalangan muvozanat konstantalari o'zaro quyidagicha bog'langan:

$$K_p = K_c RT^{n} = K_N P^{n} \quad (9.4)$$

bu erda  $n$  - reaksiya gazsimon qatnashchisining mol soni o'zgarishi;  $R$  - sistemadagi umumiy bosim;  $P$  - gaz doimiysi;  $T$  - temperatura,  $K$ .

Agar, reaksiya gazsimon moddaning mol ulushi o'zgarishsiz o'tsa, ya'ni  $n=0$  bo'lsa, unda  $K_R = K_S = K_N$  bo'ladi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, umumiy holda  $K_N$  miqdoriy jihatdan  $K_R$  dan farq qiladi va temperatura, hamda sistemadagi bosimga bog'liqdir.

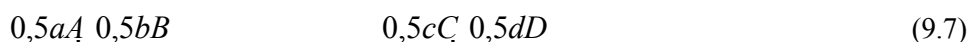
Muvozanat konstantasining son qiymati reaksiyaning yo'nalishi va qaysi miqdorlari uchun stexiometrik tenglama yozilganiga bog'liq. Agar, (9.1) reaksiya tenglamasini teskari yo'nalish uchun yozsak, ya'ni:



unda, muvozanat konstantasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$K = \frac{1}{K_p} \quad (9.6)$$

Agar, (9.1) tenglamadagi stexiometrik koeffitsientlarni 2 barobar kamaytirsak, unda quyidagi ifodaga erishamiz:



unda, muvozanat konstantasi  $K_p$  quyidagicha ko'rinishni oladi:

$$K_p = K_p^{0,5} \quad (9.8)$$

Agar, muvozanat sistemasiga, masalan (9.7)ga qo'shimcha ma'lum miqdorda  $A$  komponent kiritilsa, u  $V$  modda bilan reaksiyagi kirishib, qo'shimcha miqdorda  $S$  va  $D$  moddalar hosil qiladi. Natijada muvozanat holatiga erishiladi va  $S$ ,  $D$  moddalarning parstial bosimlari boshlang'ich holatdagidan ancha ko'payadi. Modda  $V$  ning bosimi kamayadi,  $A$  niki esa - ortadi. Muvozanat holatiga erishilgandan so'ng, reaksiyada qatnashayotgan hamma moddalar parstial bosimlarining nisbati muvozanat konstantasi  $K_R$  ning son qiymatiga yana to'g'ri keladi.

Geterogen reaksiyalar uchun muvozanat konstantalari gazsimon komponentlar parstial bosimi yoki haqiqiy gazlar uchun gazsimon komponent uchuvchanligi orqali ifodalanadi. Erimaydigan va uchuvchan bo'lmagan fazalar kondensatlari muvozanatga ta'sir etmaydi.

Har bir qattiq faza gazsimon faza tarkibiga kiradigan to'yingan bug' hosil qiladi deb tahmin qilish mumkin. Masalan, ushbu reaksiyani ko'rib chiqamiz:

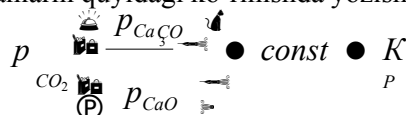


Ushbu holatda 2 ta qattiq va 1 ta gazsimon fazalar mavjud. Sistemadagi moddalar parstial bosimlari  $P_{CaCO_3}$ ,  $P_{CaO}$ ,  $P_{CO_2}$ . Unda, massalar ta'sir qonuniga binoan:

$$\frac{P_{CaO} P_{CO_2}}{P_{CaCO_3}} = const \quad (9.9)$$

O'zgarmas temperaturada qattiq faza ishtirok etgan sistemada moddaning to'yingan bug' bosimi o'zgarmas, va  $P_{CaO} / P_{CaCO_3}$  nisbati o'zgarmas kattalikdir.

Shunday qilib, yuqorida qayd etilganlarni quyidagi ko`rinishda yozish mumkin:



ya'ni, ushbu reaksiyada muvozanat konstantasi karbonat angidrid gazining bosimiga teng.

Jarayonni amalga oshirish imkoniyati izobar-izotermik ( $\Delta G$ ) yoki izoxor-izotermik ( $\Delta F$ ) potentsiallar kattaliklari bilan belgilanadi. Standart sharoitda ular muvozanat konstantasi bilan belgilanadi. Standart sharoitda quyidagi bog`liqlikda bo`ladi:

$$\begin{aligned} \Delta G^0 &= RT \ln K_p \\ \Delta F^0 &= RT \ln K_C \end{aligned} \quad (9.10)$$

Agar,  $\Delta G^0 = 0$  bo`lsa, standart sharoitda reaksiya boradi; agar  $\Delta G^0 \neq 0$  bo`lsa, reaksiya bormaydi. Xuddi shunday, agar  $\Delta F^0 = 0$  bo`lsa, reaksiya to`g`ri,  $\Delta F^0 \neq 0$  bo`lsa - teskari yo`nalishda boradi.

Nostandard sharoitda jarayon yo`nalishini aniqlash uchun **kimyoviy reaksiya izotermalari tenglamasidan** foydalanish mumkin:

$$\Delta G^0 = RT \ln \frac{p_C^c \cdot p_B^d}{p_A^a \cdot p_B^b} = RT \ln K_p \quad (9.11)$$

$$\begin{aligned} \Delta F^0 &= RT \ln \frac{C_C^c \cdot C_D^d}{C_A^a \cdot C_B^b} = RT \ln K_C \end{aligned} \quad (9.12)$$

(9.11) tenglamaning o`ng qismidagi birinchi hadi boshlang`ich sistema komponentlarining parstial bosimini ifodalaydi; (9.12) tenglamaning o`ng tomonidan birinchi hadi esa - boshlang`ich aralashmadagi komponentlar konstentrastiyasini ko`rsatadi.  $\Delta G^0 = 0$  va  $\Delta F^0 \neq 0$  bo`lganda, reaksiya to`g`ri,  $\Delta G^0 > 0$  va  $\Delta F^0 \neq 0$  bo`lganda esa - teskari yo`nalishda boradi.

**Jarayonni amalga oshirish imkoniyatlari va reaksiya to`liq borishiga ta`sir etuvchi omillar.** Termodinamik hisoblarga ( $\Delta G^0 = 0$ ) qaramasdan reaksiya bormasa, demak uni sekinlashturuvchi qandaydir omillar bor. Bunday hollarda ushbu omilni engish, yani reaksiya tezligini oshirish zarur.

Jarayon termodinamikasi va kinetikasiga reagentlar temperaturasi, bosimi va konstentrastiyasi kabi omillar ta`sir etadi. Faqat reaksiya tezligiga ta`sir etuvchi omil, bu katalizatorlar bo`lib, lekin ular muvozanat konstantasi qiymatini o`zgartirmaydi.

Kimyoviy muvozanatning temperaturaga miqdoriy bog`liqligini **Vant-Goffning izobar tenglamasidan** topish mumkin:

$$\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad (9.13)$$

bu erda  $\Delta H$  - entalpiya o`zgarishi yoki o`zgarmas bosimdagi reaksiyaning issiqlik effekti.

(9.13) tenglamani kichik temperaturalar oralig`ida integrallasak, ushbu ko`rinishga erishamiz:

$$\ln \frac{K_{pT_2}}{K_{pT_1}} = \frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (9.14)$$

Xuddi shunday qilib, Vant-Goffning izoxor tenglamasini keltirib chiqarish mumkin:

$$\ln \frac{K_{CT_2}}{K_{CT_1}} = \frac{\Delta U}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (9.15)$$

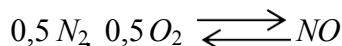
bu erda  $\Delta U$ -sistema ichki energiyasining o`zgarishi yoki o`zgarmas hajmdagi reaksiyaning

isciqlik effekti.

Temperatura o`shishi bilan  $K_r$  ortishi yoki kamayishi mumkin, lekin jarayon tezligi ko`pchilik hollarda ortadi.

Bosim o`shishi bilan konstantrastrasiya ortadi. Shuning uchun, ko`pincha reaksiya tezligi ortadi. Agar, jarayon hajm o`shishi bilan kechayotgan bo`lsa, unda umumiy natija qanday bo`lishi noma'lum. Bunday hollarda qandaydir bir optimal qiymatni qabul qilish kerak.

Muvozanat o'zgarishini hisoblash uchun muvozanat konstantasi va boshlang'ich moddalar mol soni ma'lum bo'lishi kerak. So'ng, muvozanatdagi har bir modda miqdorini mol miqdori orqali ifodalab olamiz. Masalan,



Reaksiya uchun 2500K da  $K_r=0,0455$ . Agar, boshlang'ich aralashmada 21% kislorod va 79% azot bo'lsa, muvozanat aralashmadagi  $NO$  konstantriyasi (mol%) aniqlansin.

Stexiometrik tenglamaga binoan muvozanat aralashma tarkibidagi azot konstantriyasini  $(79-x)$ , kislorod konstantriyasini  $(21-x)$  va  $NO$  konstantriyasini  $2x$  ga teng deb qabul qilamiz. Muvozanat aralashma tarkibini massalar ta'sir qonuniga binoan quyidagicha ifodalash mumkin:

$$K_p = 0,0455 = \frac{(NO)^{2x}}{(N_2)^{0,5x} (O_2)^{0,5x}} = \frac{79^x x^{0,5}}{21^x x^{0,5}}$$

Ushbu tenglamani  $x$  ga nisbatan echsak, uning qiymatini topamiz. Muvozanat aralashmada  $NO$  ning miqdori  $2x$  ga teng, yani 1,8%

### 9.3. Kimyoviy jarayonlar kinetikasi

Har doim ham kimyoviy jarayonlarning o'tish tezligi kimyoviy aylanishlar tezligi bilan belgilanmaydi. Ayrim hollarda jarayon tezligi issiqlikni uzatish va ajratib olish tezligi yoki massaning bir fazadan ikkinchisiga tarqalish tezligi bilan aniqlanadi. Bunday holatlarda reaktorlar issiqlik yoki massa almashinish qonunlari bilan topiladigan o'lchamlarga ega bo'lishi kerak. Juyida, kimyoviy aylanishlarning kinetik qonuniyatlarini ko'rib chiqamiz.

**Kimyoviy reaksiyalar tezligi.** Kimyoviy kinetikaning asosiy qonuni (postulati)ga binoan, o'zgaras temperaturada gomogen reaksiya tezligini ushbu formuladan topish mumkin:

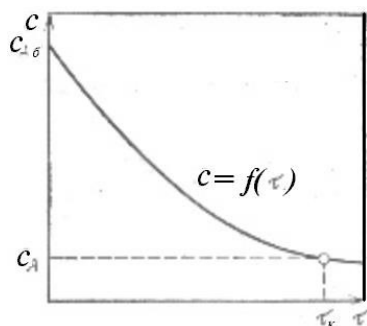
$$w = K c_A^{V_A} c_B^{V_B} \quad (9.16)$$

Oddiy holatlarda  $V_A$  va  $V_B$  daraja qiymatlari stexiometrik koeffisientlarga teng.

O'zgaras temperaturadagi har bir reaksiya uchun proporsionallik koeffisienti  $K$  o'zgaras kattaligidir. Ushbu proporsionallik koeffisient **reaksiyaning tezlik konstantasi** deb nomlanadi. Uning kattaligi reaksiyaga kirishayotgan moddalar konstantriyalari birga teng bo'lgan reaksiya tezligiga teng. Reaksiya darajasi va uning molekulyarligi degan ikkita tushunchani farqlash kerak, chunki ular, bir xil emas.

**Reaksiya darajasi** (9.16) kinetik tenglama konstantriyalaridagi daraja ko'rsatkichlarining yig'indisi bilan aniqlanadi. Kimyoviy kinetika bo'yicha reaksiya darajalarini aniqlash usullari maxsus adabiyotlarda keltirilgan.

**Oddiy reaksiya** molekulyarligi - bu kimyoviy o'zaro ta'sirda qatnashayotgan boshlang'ich modda molekularining soni. Reaksiyalar monomolekulyar, bimolekulyar va hokazo bo'ladi. Bir vaqtda 3 tadan ortiq molekularning to'qnashish ehtimoli juda kam. Shuning uchun, ko'ninga past molekulyarli reaksiyalar bo'ladi.



9.1-rasm. Reaksiyaga kirishayotgan

moddalar konsratsiyasi  $c$  ning vatq  $t$  ga bog'liqligi.

Moddaning reaksiya mahsulotiga aylanish jarayonini ko'rib chiqamiz (9.1-rasm)

Ko'rinib turibdiki,  $0$  dan  $\infty$  oralikda konstantriya  $s_{AB}$  dan  $s_A$  gacha kamayadi:

$$\frac{c_{A0} - c_A}{c_{A0}} = \frac{c_A}{x c_{A0}} \quad (9.17)$$

Ushbu nisbat **aylanish darajasi** deb nomlanadi. (9.17) nisbatdan quyidagi ko'rinishdagi tenglikni olamiz:

$$c_A = c_{A0} \tilde{x} \quad \text{ba} \quad \frac{dc_A}{dx} = -c_{A0} \quad (9.18)$$

Kamayuvchi modda bo'yicha reaksiya tezligi quyidagiga teng:

$$w = \tilde{x} \frac{dc_A}{dx} = K c_A \quad (9.19)$$

Yuqorida qayd etilganlarni hisobga olsak:

$$-\frac{dc_A}{dt} = K_1 \tilde{x} \quad (9.20)$$

yoki

$$\frac{dx}{dt} = K_1 \tilde{x} \quad (9.21)$$

Fizik manosi ko'ra,  $(1-x)^n$  kattalik ushbu daqiqada jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi. Turli darajali reaksiyalar uchun kinetik tenglamalar quyidagi differensial shaklda yozish mumkin:

nol va birinchi darajali reaksiyalar uchun:

$$\frac{dx}{dt} = K_0; \quad \frac{dx}{dt} = K_1 \tilde{x} \quad (9.22)$$

ikkinchi va  $n$  - darajali reaksiyalar uchun:

$$\frac{dx}{dt} = K_2 \tilde{x}^2; \quad \frac{dx}{dt} = K_n \tilde{x}^n \quad (9.23)$$

**Uzluksiz jarayonlar harakatga keltiruvchi kuchi.** Prof. Planovskiy A.N. tomonidan yaratilgan uzluksiz jarayonlar nazariyasiga binoan, reakstion qurilmalar 3 ga bo'linadi: ideal (to'liq) siqib chiqaruvchi; ideal (to'liq) aralashish; ikkila tip oralig'idagi reaktorlar.

Ideal siqib chiqaruvchi reaktorlarda vaqt o'tishi bilan harakatga keltiruvchi kuch asta-sekin kamayadi. Agar, kuch kamaysa, jarayon tezligi ham kamayadi. Bunday hollarda harakatga keltiruvchi kuch o'rtacha logarifmik kattalik sifatida topiladi.

Ideal aralashish yoki oralik tipidagi uzluksiz ishlaydigan reaktorning harakatga keltiruvchi kuchining ideal siqib chiqaruvchi qurilmaning harakatga keltiruvchi kuchiga nisbati ideal siqib chiqarish qurilmasidagi jarayon davomiyligi  $\tau_{id}$  ning ideal aralashish  $\tau_{ar}$  yoki oralik tipidagi reaktordagi jarayon davomiyligi  $\tau_{or}$  nisbatiga teng kattalikka reaktorning **konstrastion foydali ish koeffitsienti**, deb nomlanadi.

Agar,

$$\frac{\tau_{id}}{\tau_{ar}} = \tau_{or} \quad \text{Ba} \quad \frac{\tau_{id}}{\tau_{or}} = \tau_{ar} \quad (9.24)$$

Ideal siqib chiqarish va aralashish qurilmalaridagi qaytmas kimyoviy reaksiyalar tezliklarini taqqoslaymiz. Nol darajali reaksiya qurilmalari uchun

$$\frac{\tau_{id}}{\tau_{or}} = \frac{x}{K_0} \quad \text{Ba} \quad \frac{\tau_{id}}{\tau_{ar}} = \frac{x}{K_0} \quad (9.25)$$

Demak,  $\tau_{or} = 1$  ya'ni, nol darajali reaksiyaning tezligi aralashtirishga bog'liq emas.

Birinchi darajali reaksiya uchun

$$\frac{\tau_{id}}{\tau_{or}} = \frac{1}{K_1 \tilde{x}} \quad (9.26)$$

Ideal aralashtirish qurilmasida jarayon o'zgarmas va oxirgi aylanish darajasida boradi.

Unda

$$\frac{dx}{dt} = \frac{x}{\tau_{ar}} = K_1 \tilde{x} \quad (9.27)$$

yoki

$$\tau_{ar} = \frac{x}{K_1 \tilde{x}} \quad (9.28)$$

Bundan

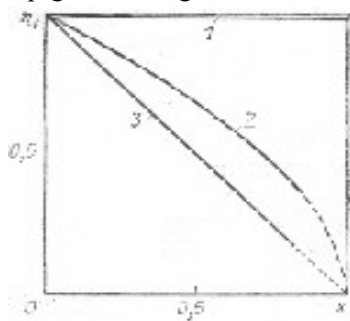
$$\tau_{or} = \frac{\tilde{x}}{x} \ln \frac{1}{1-x} \quad (9.29)$$

Xuddi shunday, ikkinchi darajali reaksiya uchun

$$\tau_{or} = \frac{\tilde{x}}{x}$$

(9.30)

9.2-rasmda ideal aralashirish qurilmasi foydali ish ko'ffistientining aylanishi va reaksiya darajalariga bog'liqligi ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, aylanish va reaksiya darajasi ortishi bilan qurilma foydali ish ko'ffistienti kamayadi. Ya'ni, aylanish va reaksiya darajalari qanchalik katta bo'lsa, kimyoviy aylanish tezligiga aralashirish shunchalik salbiy ta'sir ko'rsatadi.



9.2-rasm. Ideal aralashirish qurilma f.i.k.  $K_s$  ning reaksiyalar aylanish darajasiga bog'liqligi.

1-nol darajali; 2-birinchi darajali; 3-ikkinchi darajali.

Shunday qilib, agar reaksiya tezlik ko'ffistienti  $K$  ning o'zgarmas kattaligida, ideal aralashirish qurilmasining aylanish tezligi ideal siqib chiqarish qurilmasinikidan kam; bir xil aylanish darajasiga erishish uchun siqib chiqarish qurilmanikiga qaraganda, ideal aralashirish qurilmasida ko'proq vaqt bo'lishi zarur.

### Ikkilamchi maxsulotlar hosil bo'lishiga $K_s$ ning ta'siri.

Ma'lumki, reaktorlarda asosiy reaksiya bilan birga qo'shimcha reaksiyalar (parallel va ketma-ket) boradi. Ideal aralashirish qurilmasida foydali ish ko'ffistientining asosiy va ikkilamchi mahsulotlar nisbatiga ta'sirini ko'rib chiqamiz. Ideal siqib chiqarish qurilmasida mahsulot  $A$  dan mahsulot  $X$  hosil bo'lish tezligi (9.31), mahsulot  $X$  dan mahsulot  $Y$  hosil bo'lish tezligi esa (9.32) tenglamadan aniqlanadi:

$$\frac{dx}{dt} = K_x \tilde{a} x \quad (9.31)$$

$$\frac{dy}{dt} = K_y \tilde{x} y \quad (9.32)$$

$$\frac{K_y}{K_x} = B$$

bu erda  $a$  - boshlang'ich modda  $A$  ning miqdori;  $x$  - hosil bo'lgan mahsulot  $X$  ning miqdori;  $u$  -  $Y$  mahsulotga aylangan  $X$  modda miqdori.

(9.31) va (9.32) tenglamalarni solishtirib, ushbu ko'rinishga erishamiz:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{K_y \tilde{x} y}{K_x \tilde{a} x} \quad (9.33)$$

Tezlik ko'ffistientlar nisbatini  $K_y/K_x=B$  deb belgilab, (9.33) tenglamani echsak:

$$y_{ox} = \frac{\tilde{a} x_{ox}^B}{1 - B} \quad (9.34)$$

bu erda  $u_{ox}$  va  $x_{ox}$  -  $u$  va  $x$  parametrlarning oxirgi qiymatlari.

Ideal aralashirish qurilmalari uchun :

$$\frac{x}{K_x} = \tilde{a} x; \quad \frac{y}{K_y} = \tilde{x} y$$

yoki

$$\frac{y}{x} = \frac{B \tilde{x} y}{\tilde{a} x} \quad y_{ox} = \frac{B x_{ox}^2}{a - x_{ox} B x_{ox}} \quad (9.35)$$

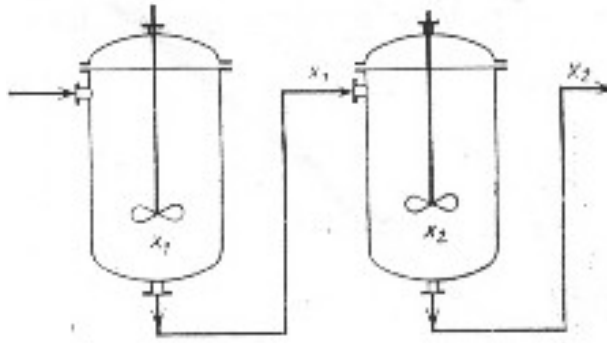
Ideal aralashirish qurilmasida  $u_{ox}$  qiymati yuqori bo'ladi. Demak, foydali ish ko'ffistientning kamayishi jarayon davomiyligi ning ortishiga va mahsulot sifatining yomonlashishiga (ikkilamchi mahsulot o'sishiga) olib keladi.

**Qurilmalarni seksiyalash - foydali ish ko'ffistientni oshirishning asosiy usuli.** Qandaydir kimyoviy jarayonni o'tkazish uchun ideal aralashirish ikkita qurilmasi ketma-ket ulangan deb, faraz qilaylik (9.3-rasm).

Birinchi qurilmada aylanish darajasi  $x_1$ , ikkinchisida esa -  $x_2$ . Reaksiyada qatna-shayotgan moddalarning umumiy vaqti  $\tau = \tau_1 + \tau_2$  (bu erda  $\tau_1$  va  $\tau_2$  - birinchi va ikkinchi qurilmalarda moddaning bo'lish vaqti). Shunday qilib, birinchi darajali reaksiya uchun:

$$\tau = \frac{x_1}{k_1}$$

$$\tilde{x}_2 = \frac{\tilde{x}_2 \tilde{x}_1}{K \tilde{I} x_2} \quad (9.36)$$



9.3-rasm. Ikkita ketma-ket ulangan ideal aralashish qurilmasidan iborat agregat sxemasi.

Ko`rinib turibdiki, yuklamaning taqsimlanish funkstiyasi.  $x_2$  ni o`zgarmas deb, ning minimal qiymatini (9.36) tenglamani differenstiiallab topamiz:

$$\frac{dx}{dV} = \frac{1}{K_1 x_1^2} - \frac{1}{K_1 x_2} = 0 \quad (9.37)$$

bundan

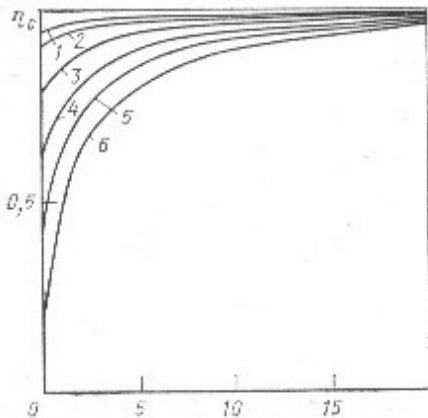
$$K_1 x_1^2 = K_1 x_2; \quad x_1 = x_2 \quad (9.38)$$

Tegishli o`zgartirishlardan so`ng quyidagi ko`rinishni qlamiz:

$$\frac{x_1}{K_1 x_2} = \frac{x_2 x_1}{K_1 x_2} \quad (9.39)$$

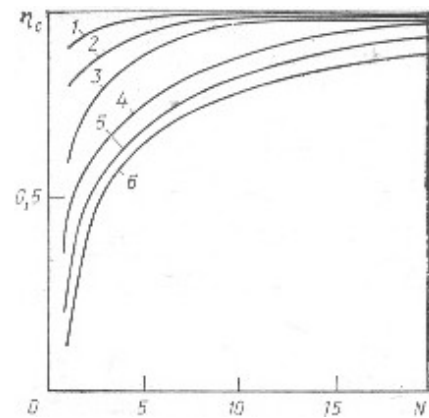
Bundan,  $V_{a1} = V_{a2}$  yoki  $V_{a1} = V_{a2}$  ekanligi kelib chiqadi. Shunday qilib, qurilmalar hajmlari tengligi optimal nisbatdir.

9.4 va 9.5 - rasmlarda qurilma foydali ish koeffistientiga seksiyalar soni va aylanish darajasining ta`sirlari ko`rsatilgan.



9.4-rasm. Seksiyalar soni  $N$  va aylanish darajasi  $x$  larning reaktor f.i.k. ga ta`siri (birinchi darajali reaksiya uchun)

1-  $x=0,1$ ; 2-  $x=0,2$ ; 3-  $x=0,3$ ;  
4-  $x=0,4$ ; 5-  $x=0,5$ ; 6-  $x=0,6$ .



9.5-rasm. Seksiyalar soni  $N$  va aylanish darajasi  $x$

larning ikkinchi darajasi reaksiya berayotgan

kurilmaning f.i.k. ga

ta`siri. 1-  $x=0,1$ ; 2-  $x=0,2$ ;

3-  $x=0,3$ ;

4-  $x=0,4$ ; 5-  $x=0,5$ ; 6-  $x=0,6$ .

Rasmlardan ko`rinib turibdiki, reaktorning foydali ish koeffistienti seksiyalar soni  $N$  va aylanish darajasi  $x$  ga bog`liq. Shuni alohida ta`kidlash kerakki, reaksiyaning darajasi qanchalik katta bo`lsa, uning qurilma foydali ish koeffistientiga ta`siri ham keskin ravishda ortadi. Agar,  $N=8$  bo`lsa, sistema ideal siqib chiqarish qurilmasiga mos keladi.  $N=8...10$  bo`lganda, reaktor ideal siqib chiqarish rejimida ishlaydi.

Ko`p seksiyali reaktorlarning foydali ish koeffistientini quyidagi empirik formuladan topish mumkin:

$$\frac{mN}{30} \frac{mN}{30 \tilde{m} 1N} \quad (9.40)$$

Ushbu formuladagi  $m$  quyidagi tenglamadan topiladi:

$$m = \frac{30 \cdot \kappa_{s1}}{1 \cdot \kappa_{s1}}$$

bu erda  $\kappa_{s1}$  - bir seksiyali qurilma foydali ish koeffitsienti.

**Reaksiya tezligi koeffitsientiga temperatura ta'siri.** Ushbu ta'sir Arrenius qonuniga bo'ysunadi va quyidagicha ifodalanadi:

$$K = z \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (9.41)$$

bu erda  $z_0$  - o'zgarimas, proporsionallik konstantasi (molekulalarning o'zaro to'qnashuv omili);  $E$  - reaksiyaga kirishayotgan moddalarning faollanish energiyasi;  $R$  - gaz doimiysi.

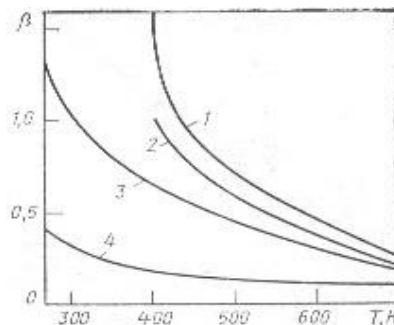
Ushbu tenglamadan quyidagi ko'rinishni olish mumkin:

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{E}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (9.42)$$

bu erda  $K_1$  va  $K_2$  - absolyut temperaturalar  $T_1$  va  $T_2$  ga tegishli tezlik koeffitsientlari.

$K_{t+10}/K_t = \alpha$  nisbat reeaksiya tezligining **temperaturaviy koeffitsienti** deb nomlanadi.

9.6-rasmda faollashish energiyasi va temperaturaning, koeffitsient  $\alpha$  ga ta'siri ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rib turibdiki, faollashish energiyasi ortishi va temperatura kamayishi bilan  $\alpha$  ning miqdori ortadi. Agar,  $\alpha$



9.6-расм. Реакция тезлиги температуравий коэффиценти  $\alpha$  нинг температура  $T$  ва фаоллашиш энергияси  $E$  га таъсири

= 2...4 bo'lsa, jarayon kinetik zonada,  $\alpha = 1,2...1,5$  da esa - diffuzion zonada boradi.

#### 9.4. Kimyoviy jarayonlar moddiy va issiqlik balanslari

**Moddiy balans.** Qayta ishlanayotgan va hosil qilinayotgan materiallar miqdorini aniqlash uchun kimyoviy jarayonning moddiy balansi tuziladi. Yuqorida qayd etilgan miqdorlarni bilish reaktorning asosiy o'lchamlarini aniqlash, issiqlik balansini tuzish va hisoblashlarni o'tkazish uchun zarur.

Olinayotgan moddalar miqdori vaqtga (kg/sutka, kg/soat, kg/s) yoki ishlab chiqilayotgan mahsulot massasiga nisbatan aniqlanishi mumkin.

Moddiy balans tuzish uchun (9.1) stexiometrik tenglama asos bo'la oladi. Agar, reaksiya chapdan o'ngga qaytmas kechayotgan bo'lsa, unda jarayon oxirida  $A$  modda to'liq sarflanadi, ya'ni  $G_A=0$ .

Unda, modda  $V$  ning sarfi quyidagiga teng bo'ladi:

$$G_B = G_A \frac{b \cdot M_B}{a \cdot M_A}$$

Hosil bo'layotgan  $S$  va  $D$  moddalar uchun esa:  $M$

(9.43)

$$G_C \bullet G_A \xrightarrow[c]{a} M_C \xrightarrow{M} G_D \bullet G_A \xrightarrow[d]{a} M_D \xrightarrow{M}$$

(9.44)

$M$

bu erda  $M_A, M_V, M_S, M_D$  - o'zaro ta'sirdagi moddalar massalari;  $G$  - asosiy, boshlang'ich mahsulot (masalan,  $A$ ) miqdori.

Moddiy balansning hisoblash natijalari, odatda ushbu ko'rinishda keltirilishi mumkin (9-1 jadval):

9-1 jadval

Moddalar	Miqdorlar
A	$G_A$
B	$G_A(bM_B/aM_A)$
Kirayotgan moddalar jami:	$G_A + G_A(bM_B/aM_A)$
C	$G_A(cM_C/aM_A)$
D	$G_A(dM_D/aM_A)$
Hosil bo'layotgan mahsulotlar jami:	$G_A(cM_C/aM_A) + G_A(dM_D/aM_A)$

**Issiqlik balansi.** Kimyoviy jarayon issiqlik balansi quyidagi umumiy ko'rinishida yozilishi mumkin:

$$Q_1 - Q_2 - Q_3 = Q_4 - Q_5 \quad (9.45)$$

bu erda  $Q_1$  - qayta ishlanayotgan material bilan kirayotgan issiqlik;  $Q_2$  - issiqlik eltkichdan qayta ishlanayotgan moddaga berilayotgan issiqlik;  $Q_3$  - jarayonning issiqlik effekti;  $Q_4$  - reaksiyada qaynashayotgan materiallar bilan chiqib ketayotgan issiqlik;  $Q_5$  - atrof muhitga yo'qotilayotgan issiqlik.

Qayta ishlanayotgan materiallar bilan olib kirilayotgan va reaksiya mahsulotlari bilan chiqib ketayotgan issiqlik miqdori quyidagi tenglikdan topilishi mumkin:

$$Q = G \cdot c \cdot \Delta t \quad (9.46)$$

bu erda  $G$  - modda massasi;  $c$  - material solishtirma issiqlik sig'imi;  $t$  - temperatura.

Reaksiyaning issiqlik effekti Gess qonuniga binoan hisoblanadi:

$$q = \sum q_K - \sum q_H \quad (9.47)$$

bu erda  $q_r$  - reaksiya issiqlik effekti;  $\sum q_n$  - kimyoviy reaksiyaga kirishayotgan, birikmalar hosil bo'lish issiqliklarining yig'indisi;  $\sum q_k$  - kimyoviy ta'sir natijasida hosil bo'layotgan birikmalar hosil bo'lish issiqliklarning yig'indisi.

Reaksiya issiqligi  $q$  maxsus adabiyotlarda  $20^\circ\text{S}$  uchun keltirilgan bo'ladi. Bundan yuqori temperaturalardagi qiymatini topish uchun Kirxgof qonunidan foydalanish mumkin. Uning matematik talqini ushbu tenglama ko'rinishida bo'ladi:

$$\frac{dq}{dT} = c \quad (9.48)$$

bu erda  $c$  - olingan mahsulot va boshlang'ich moddalar issiqlik sig'imlarining farqi (stexiometrik koeffitsientlar hisobga olingan).

Issiqlik sig'imning temperaturaga bog'liqligi ushbu ko'rinishdagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$c = a + bT + cT^2 \dots \quad (9.49)$$

bu erda  $a, b, c$  - empirik konstantalar;  $T$  - temperatura.

Demak,  $c$  ning temperaturaga bog'liqligi ham (9.49) tenglamaga o'xshash funktsiya bilan ifodalanadi:

$$c = a_1 + b_1 T + c_1 T^2 \dots \quad (9.50)$$

Ushbu tenglamaga binoan, Kirxgof qonunini ifodalovchi tenglik quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\frac{dq}{dT} = a_1 + b_1 T + c_1 T^2 \dots \quad (9.51)$$

bu erda  $a_1, b_1, c_1$  - olingan mahsulot va boshlang'ich moddalar formulalaridagi tegishli  $a, b, c$  koeffitsientlarning farqiga son jihatdan teng koeffitsientlar.

(9.51) tenglamani integrallash, reaksiya issiqlik effekti va temperatura orasidagi bog`liqligining quyidagi ko`rinishini beradi:

$$q = aT + \frac{1}{2}bT^2 + \frac{1}{3}cT^3 + \dots + C \quad (9.52)$$

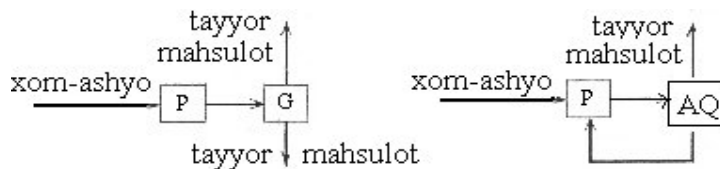
20 yoki 25°S temperaturadagi reaksiya issiqligini  $q_0$  orqali belgilab olsak, integrallash o`zgarmas kattaligi  $S$  ni hisoblash osonlashadi:

$$C = q_0 - aT_0 - \frac{1}{2}bT_0^2 - \frac{1}{3}cT_0^3 - \dots \quad (9.53)$$

Agar,  $S$  ning qiymati (9.53) dan aniqlansa, istalgan  $T$  temperaturadagi reaksiyaning issiqlik effekti (9.52) tenglamadan aniqlanadi.

### 9.5. Kimyoviy jarayonlar prinsipial sxemalari

Kimyoviy jarayonlarning hamma prinsipial sxemalarini 2 guruhga ajratish mumkin: bir bosqichli (9.7a-rasm) va restirkulyatsiyali (9.7b-rasm).



9.7-rasm. Kimyoviy jarayonlar prinsipial sxemalar.  
a - bir bosqichli; b - resirkulyatsiyali.

Bir bosqichli sxemalarda xom-ashyo reaktor  $R$  ga uzatiladi va u erda to`liq o`zgarish ro`y beradi. Jarayonda hosil bo`lgan moddalar tozalash qurilmasi  $T$  ga yuboriladi. Ushbu qurilmada u tayyor mahsulot va aralashmalarga ajratiladi.

Sirkulyatsiyali sxemada ham xom-ashyo reaktor  $R$  ga uzatiladi va u erda qisman o`zgarishga uchraydi. Shuning uchun, u yana qayta ishlanadi. Bunday holda reaktor  $R$  ga boshlang`ich va qayta ishlangan xom-ashyo aralashmasi yuklanadi va uning optimal darajada qayta ishlanishiga erilishadi. So`ng, tayyor mahsulot va reaksiyaga kirishmagan xom-ashyo aralashmasi reaktordan ajratish qurilmasi  $AK_d$  ga uzatiladi. Unda, tayyor mahsulot aralashma tarkibidan ajratib olinadi. Reaksiyaga kirishmagan xom-ashyo qaytadan reaktorga yuboriladi. Birinchi va ikkinchi guruh sxemalaridagi qurilmalarni hisoblash usullari har xil. Birinchi guruh sxemalaridagi qurilmalar jarayonning berilgan boshlang`ich va oxirgi parametrlari bo`yicha hisoblanadi. Ikkinchi guruh sxemalaridagi qurilmalar esa, bir necha variant bo`yicha hisoblanadi va faqat texnik-iqtisodiy taqqoslashgina reaktor va ajratish qurilmasidagi jarayonlarning optimal parametrlarini aniqlash imkonini beradi.

### 9.6. Reaktorlar konstruksiyalari

Jarayonni tashkil etish bo`yicha reaktorlar 3 guruhga bo`linadi:

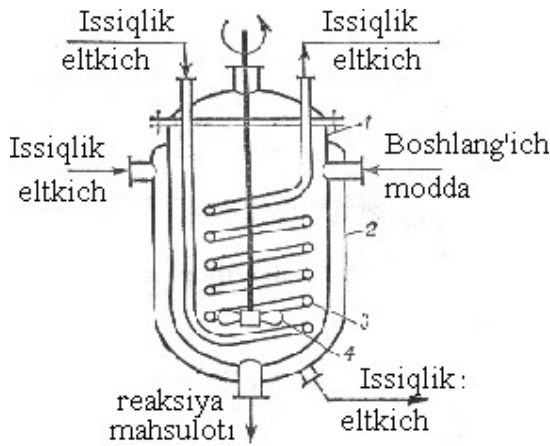
**Davriy ishlaydigan reaktorlarda** jarayonning hamma bosqichlari har xil vaqtda ketma-ket kechadi (9.8-rasm).

O`zaro ta`sirdagi moddalar konstantriyasining o`zgarish xarakteri reakstion hajm-ning hamma nuqtalarida bir xildadir. Lekin, hajmning biror nuqtasi uchun vaqt bo`yicha turlicha bo`ladi. Bu turdagi qurilmada reaksiya davomiyligini bevosita o`lchash mumkin, chunki reaksiya vaqti va reakstion hajmda reagentlarning ta`sir vaqti bir xil. Davriy qurilmalarda texnologik jarayon parametrlari vaqt o`tishi bilan o`zgaradi.

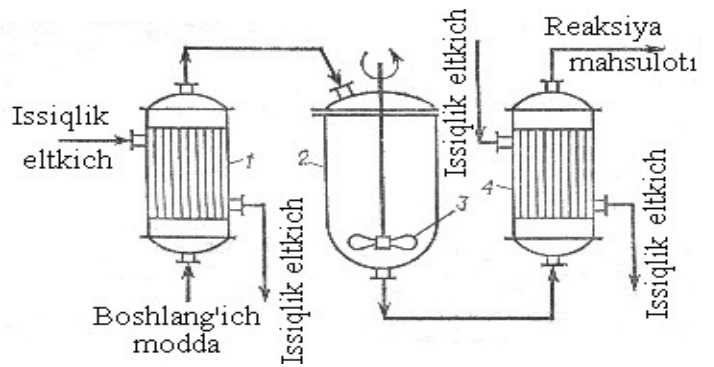
Bunday reaktorlar ish unumdorligi kichik va ularni avtomatlashtirish, hamda roslash qiyin.

**Uzluksiz ishlaydigan reaktorda** kimyoviy aylanish jarayonining hamma bosqichlari parallel va bir vaqtda yuz beradi (9.9-rasm).

O`zaro ta`sirdagi moddalar konstantriyasining o`zgarish xarakteri har bir daqiqada reakstion hajmning turli nuqtalarida har xil. Lekin, hajmning biror nuqtasi uchun vaqt bo`yicha o`zgarmasdir. Bu turdagi qurilmada reaksiya davomiyligini bevosita o`lchash mumkin emas, chunki uzluksiz ishlaydigan qurilmalarda reaksiya vaqti va reakstion hajmda reagentlarning ta`sir vaqti turlicha. Umumiy holda, moddalarning reaktorda bo`lish vaqti aralashtirish intensivligi, oqimlar tarkibiga bog`liq va har bir qurilma uchun alohida bo`ladi.



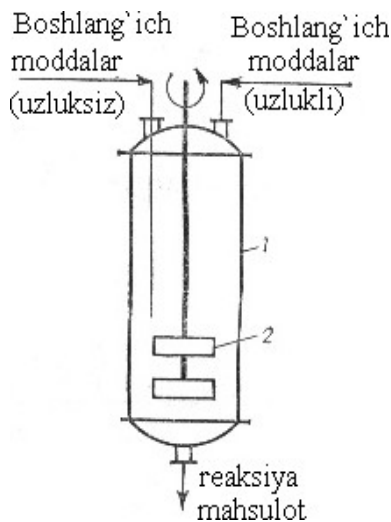
**9.8-rasm. Davriy reaktor.**  
1-qobiq; 2-g'ilof; 3-zmeevik;  
4-aralashtirgich



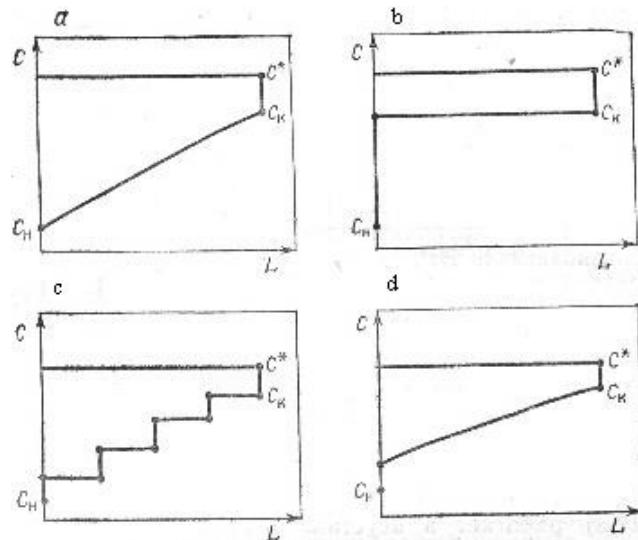
**9.9-rasm. Uzlaksiz ishlaydigan reaktor**  
1,4-isitkichlar; 2-reaktor; 3-aralashtirgich.

Bu turdagi reaktorlarning ish unumdorligi katta, ularni ekspluatatsiya qilish oson va avtomatlashtirishga moyil.

**Yarim uzlaksiz reaktorlar** noturg'un sharoitda ishlaydi, ya'ni ba'zi bir reagentlar uzlaksiz, boshqalari esa - davriy uzatiladi (9.10-rasm).



**9.10-rasm. Yarim uzlaksiz ishlaydigan reaktor.**  
1-qobiq; 2-aralashtirgich.



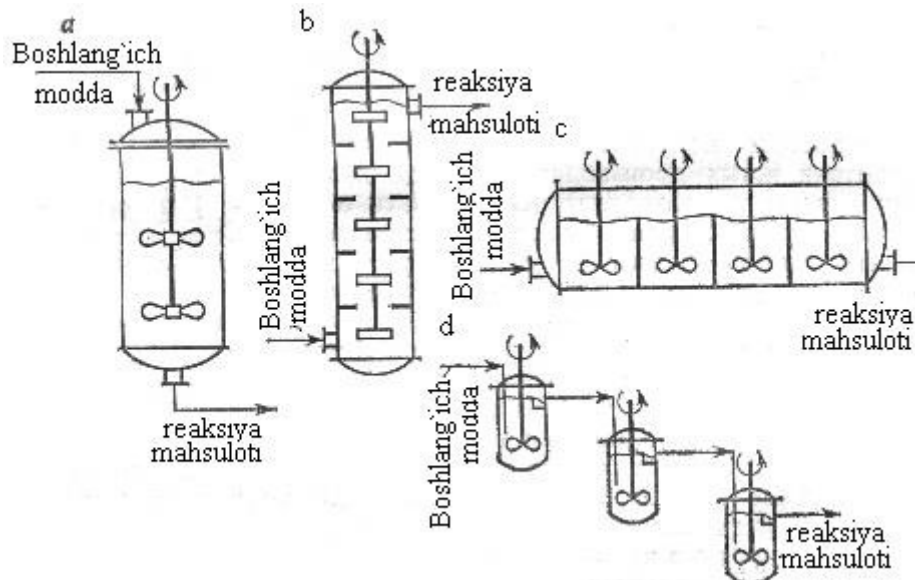
**9.11-rasm. Turli tipdagi reaktorlarda moddalar koncentraciyasining o'zgarish xarakteri.**

a-siqib chiqarish qurilmasi; b-aralashish qurilmasi; c-ko'p seksiyali, aralashish qurilmasi; d-oraliq tipdagi qurilma; C-biror ondagi konsentratsiya;  $C_n$ -boshlang'ich konsentratsiya;  $C_k$ -oxirgi konsentratsiya;  $C^*$ -muvozanat konsentratsiya; L-qurilma uzunligi.

Ushbu turdagi reaktorlar kichik tonnajli ishlab chiqarish korxonalarida, ayniqsa ekzotermik reaksiya o'tkazish zarur bo'lgan jarayonlarda qo'llanilishi maqsadga muvofiq.

**Gidrodinamik rejimga** qarab, reaktorlar 3 guruhga bo'linadi.

**Ideal aralashish reaktorlarida** reagentlar oqimi butun reakstion hajmda bir zumda va bir tekisda aralashadi. Demak, bunday reaktorlarda aralashmaning tarkibi va temperaturasi butun reakstion hajmda bir xil deb hisoblash mumkin. Bu turdagi reaktorlar qatoriga kichik hajmdagi aralashtirgichli, stirkulyastiyali, mavhum qaynash qatlamli qurilmalar kiradi (9.11, 9.12-rasmlar).

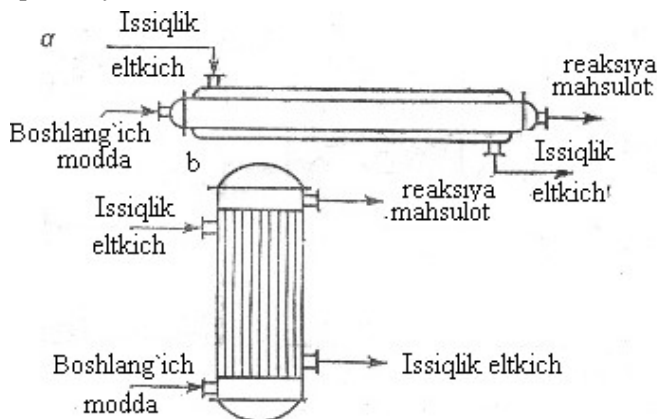


9.12-rasm. Aralashish reaktorlari.

a-bir pog'onali qurilma; b-vertikal, ko'p pog'onali qurilma; c-gorizontaal, ko'p seksiyali qurilma; d-aralashish qurilmasi batareyasi.

**Ideal siqib chiqarish reaktorlarida** reagentlarning harakati porshensimon xarakterda bo'lib, ya'ni qurilmadan o'tayotgan har bir oldin uzatilgan hajm, keyingi uzatilgan bilan aralashmasdan, siqib chiqariladi. Natijada, qurilmaning markaziy qismi va devor atrofidagi aralashmaning tarkibi va temperaturasi bir-biridan farq qiladi. Undan tashqari, qurilmaga kirish va chiqish konstantrasiya va temperaturalar orasida sezilarli katta farq bo'ladi. Bu turdagi reaktorlarga qobiq-trubali, ya'ni kolonnali qurilmalar kiradi (9.11, 9.13 rasmlar).

**Oralik gidrodinamik rejimli reaktorlar** juda keng tarqalgan. Ushbu turdagi qurilmalarda tez-tez ideal aralashish rejimidan chetga chiqish rejimlari sodir bo'ladi. Bunday holatlarda reagentlarning aralashmaydigan zonalari paydo bo'lishi va boshqa salbiy hodisalar hosil bo'ladi.



9.13-rasm. Siqib chiqarish reaktori.

1-bir trubali qurilma; 2-ko'p trubali qurilma.

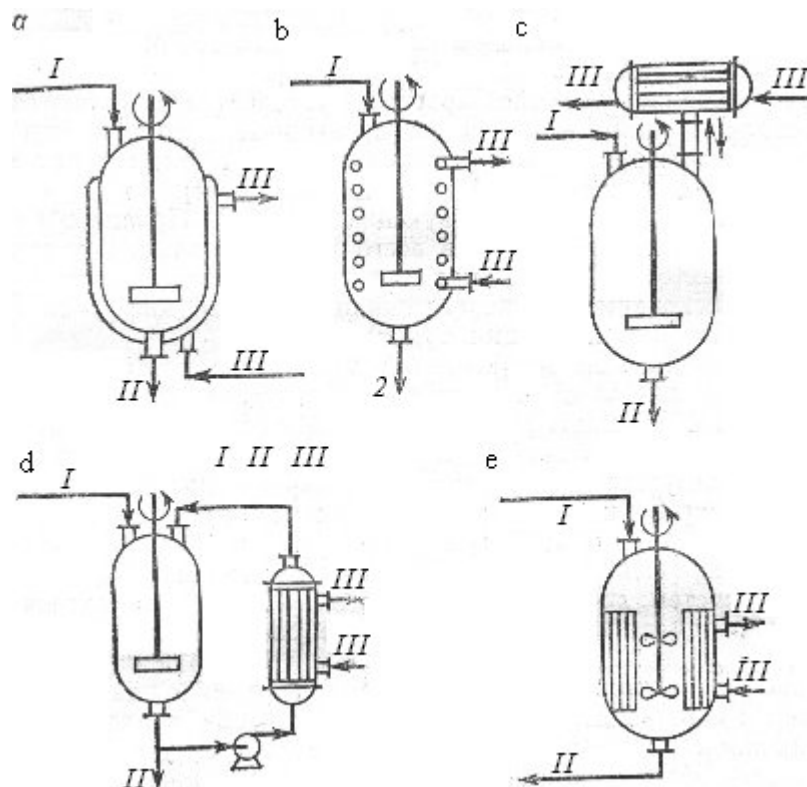
## 9.7. Reaktorlarning aralashirish va issiqlik almashinish moslamalari

Reaktorning normal ishlashi, yuqori ish unumdorlik va oliy sifatli mahsulot olishga erishish uchun undagi moddalarni aralashirish eng asosiy shartlardan biridir.

Aralashirish usullari va uni konstruktiv jihozlash o'zaro ta'sirdagi moddalarning agregat holatiga bog'liq.

**Aralashirish.** Gazlarni aralashirish uchun qo'llaniladigan eng sodda moslamalar qatoriga soplo, injektor, labirintlil va kaskadli aralashirgichlar kiradi. Odatda, aralashirish moslamalari reaktor bilan bir qobiqda o'rnatiladi.

«Suyuqlik-suyuqlik» va «suyuqlik-qattiq jism» sistemalarini aralashirish uchun mexanik usuldan foydalanish yuqori samara beradi. Buning uchun parrakli, turbinali, yakorli va shneklar, hamda pnevmatik aralashirgichlar ishlatiladi. «Gaz-qattiq jism» sistemasida sifatli aralashirishga erishish uchun jarayon mavhum qaynash yoki harakatchan qatlamda o'tkaziladi.



**9.14-rasm. Aralashish reaktorining issiqlik almashinish moslamalari.**

I-boshlang'ich moddalar, II-reaksiya mahsuloti, III-issiqlik eltich;  
 a-g' ilofli qurilma; b-ichki zmeevikli qurilma; v-tashqi deflegmatorli qurilma; g-tashqi issiqlik almashinish qurilmali; d-ichki issiqlik almashinish qurilmali.

**Issiqlik almashinish.** Kimyoviy reaktorlarni turli usullarda isitish yoki sovitish mumkin. Reaktordagi issiqlik almashinish usulini tanlash kimyoviy jarayonning o'tkazish temperaturasi, hamda issiqlik eltichning fizik, issiqlik-diffuzion va kimyoviy xossalariga bog'liq. Sanoat miqyosida isitish va sovitishning 2 ta, ya'ni bevosita va bilvosita usullari bor.

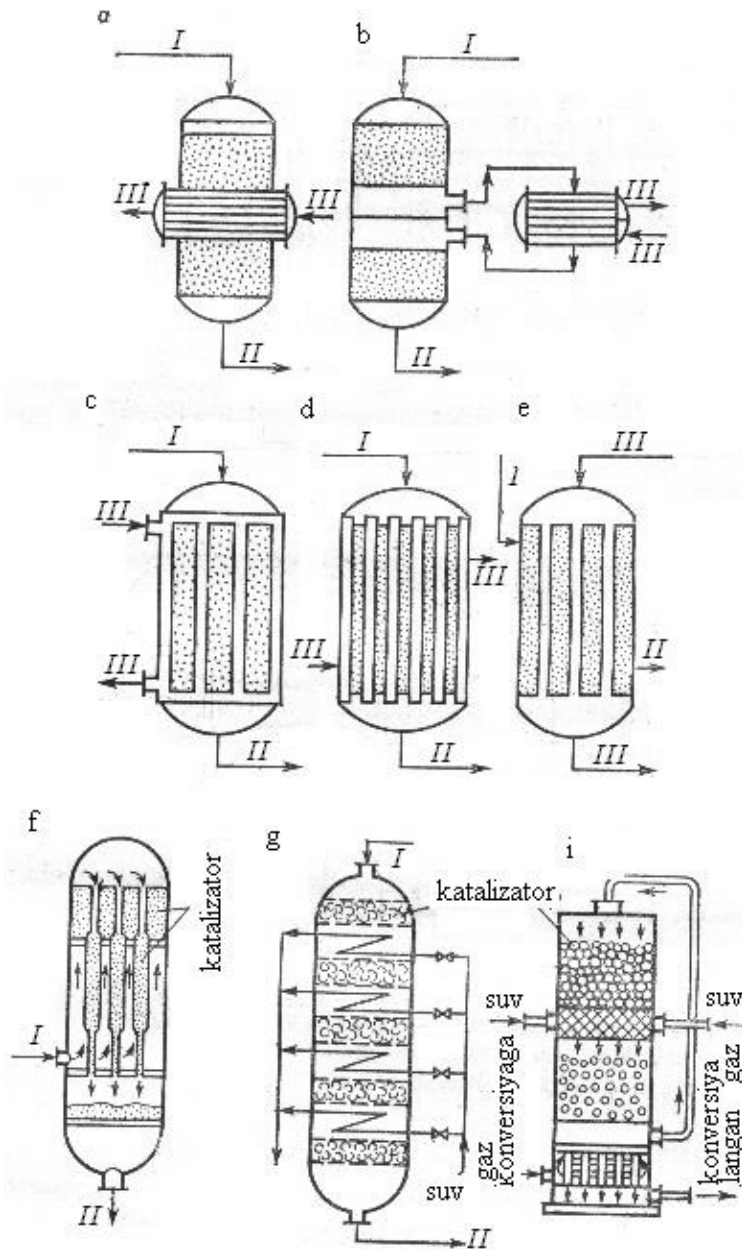
**Bevosita issiqlik almashinishda** aralashma va issiqlik eltich quyidagi variantlardan birida issiqlik uzatiladi:

- 1) issiqlik bevosita reaktorda beriladi, masalan, ekzotermik reaksiya yoki elektrik razryad yo'li bilan;
- 2) issiqlikning uzatilishi reakstion aralashmaning birorta komponentini qisman yoki to'liq bug'latish orqali yoki endotermik reaksiya yo'li bilan;
- 3) reakstion hajmda issiqlik eltichning stirkulyastiyasi hisobiga issiqlik uzatish.

**Bilvosita issiqlik almashinishda** issiqlik eltich va reagentlar qo'zg'almas devor yordamida ajratilgan bo'ladi. Issiqlik almashinish yuzalari turli geometrik shaklda (zmeevik, g' ilof, halqa va hokazo) bo'lishi mumkin.

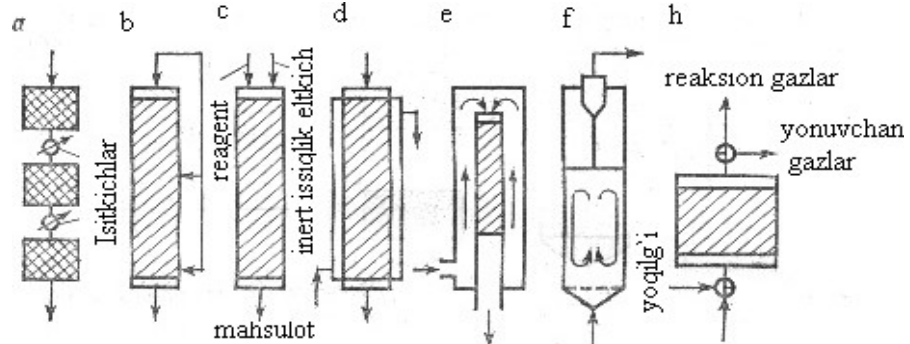
Odatda reaktorni isitish yoki sovitish uning tashqarisidagi g' ilof orqali amalga oshiriladi.

9.14...9.17-rasmlarda issiqlik almashinishni tashkil etish va issiqlik almashinish moslamalari, hamda reagentlarni aralastirish uchun mo'ljallangan ayrim moslamalar keltirilgan.



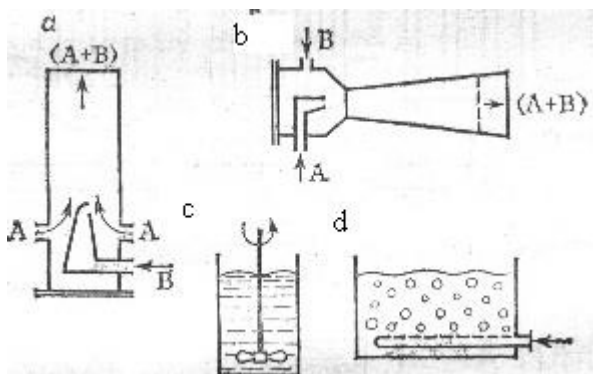
**9.15-rasm. Siqib chiqarish reaktorining issiqlik almashinish moslamalari.**

I-boshlanich moddalar, II-reaksiya mahsuloti, III-issiqlik eltich; a-ichki issiqlik almashinish moslamali; b-tashqi issiqlik almashinish moslamali; c-trubalarida katalizator to'ldirilgan qurilma; d-trubalararo bo'shlig'i katalizator bilan to'ldirilgan qurilma; e-kombinatsiyalangan tipdagi qurilma; j-tokchali va katalizator qatlamlari orasida sovitish moslamali qurilma; z- katalizator qatlami orasiga suv purkovchi moslamali qurilma.



**9.16-rasm. Eritmada optimal temperatura hosil qilish usullari.**

a-adiabatik seksiyalarga ajratish; b-sovuq reagentlar qo'shib; c-inert, issiqlik eltich qo'shib; d-bilvosita issiqlik almashinish; e-reagent bilan bevosita issiqlik almashinish; f-harakatchan (mavhum qaynash) qatlamli; h-regenerativ issiqlik almashinish



9.17-rasm. Kimyoviy reaktorlar aralashtiruvchi moslamalarining turlari. a-soplo; b-oqimchali; c-aralashtirgich; d-barboter.

## 9.8. Reaktorlarni hisoblash

Reaktorning asosiy o'lchamlari (hajmi, fazalarning to'qnashish yuzasi) quyidagi umumiy nisbatdan aniqlanadi:

$$A \bullet \frac{M}{DK} \quad (9.54)$$

bu erda  $M$  - kimyoviy o'zgarishga uchragan yoki bir fazadan ikkinchisiga o'tgan material miqdori (uzatilayotgan yoki ajratib olinayotgan issiqlik miqdori);  $D$  - jarayonning harakatga keltiruvchi kuchi;  $K$  - jarayonning tezlik koeffitsienti.

Kimyoviy jarayonning qaysi omili hal etuvchi bo'lishiga qarab, reaktor asosiy o'lchami jarayon davomiyligi (agar jarayon kinetik zonada bo'lsa), moddaning bir fazadan ikkinchisiga tarqalish tezligi (agar jarayon diffuzion zonada bo'lsa) yoki issiqlik uzatilishi (ajratib olinishi) orqali aniqlanadi. Oxirgi ikki usulda esa, reaktor xuddi issiqlik va massa almashinish qurilmasi kabi hisoblanadi. Bundan keyin, faqat jarayon davomiyligi orqali reaktorlarning asosiy o'lchamini hisoblashni ko'rib chiqamiz.

**Davriy, ideal aralashish reaktorlari.** Eng oddiy reaktor zmeevik yoki g'ilofli qozon va aralashtirgichlardan tarkib topgan bo'ladi. Aralashtirgich aralashmani intensiv qorishtiradi va hajmning istalgan nuqtasida bir xil konstantrasiya bo'lishini ta'minlaydi, ya'ni konstantrasiya faqat vaqt o'tishi bilan o'zgaradi.

Reaktorlarni hisoblash uchun quyidagi parametrlar berilgan bo'ladi: vaqt birligidagi ish unumdorligi va jarayon davomiyligi  $\tau$ . Agar, jarayon davomiyligi  $\tau$  topib olinsa, qurilmada bir sutkada ishlab chiqariladigan mahsulot partiyalarining soni  $n$  ni aniqlash juda oson.

$\tau$  ni soatda ifodalab, quyidagi nisbatni olamiz:

$$\tau \bullet \frac{24}{n} \quad (9.55)$$

Bir sutkada ishlab chiqariladigan partiyalar soni  $n$  esa ushbu nisbatdan topiladi:

$$n \bullet \frac{V_{CVT}}{V_a} \quad (9.56)$$

bu erda  $V_{sut}$  – bir sutkada qayta ishlanayotgan materialning hajmi.

(9.55) va (9.56) tenglamalardan quyidagi bog'liqlikni topish mumkin:

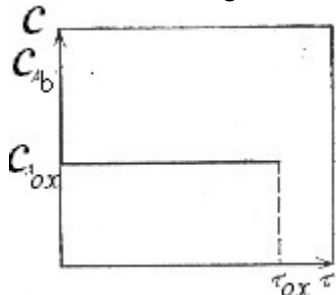
$$\tau \bullet \frac{V_{CVT}}{V_a} \bullet n \quad (9.57)$$

bu erda  $n$  - parallel ishlayotgan qurilmalar soni.

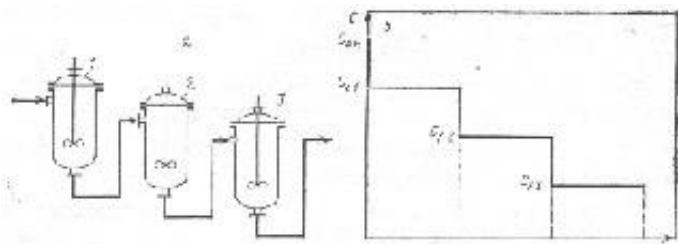
Agar, qurilmalarning ishchi hajmi  $V_a$  ni qabul qilib olsak, qurilmalar soni  $n$  ni aniqlash mumkin. Agar, bitta qurilma ( $n=1$ ) qo'llash maqsadga muvofiq bo'lsa, unda (9.57) tenglamadan uning ishchi hajmini aniqlash mumkin:

$$V \bullet \frac{V_{CVT}}{24} \quad (9.58)$$

**Uzluksiz ishlaydigan ideal aralashish reaktorlari.** Ideal aralashish reaktorlarida material hajmining hamma nuqtalarida va vaqt o'tishi bilan konsentrastiyalar o'zgaribmadi. Bunday turdagi reaktorlar uchun s - diagramma 9.18-rasmda keltirilgan.



9.18-rasm. Ideal aralashish reaktorida konsentrastiya c ning vaqt t ga bog'liqligi.



9.19-rasm. Ideal aralashish qurilmalari kaskadi (a) va unda konsentrastiya c ning vaqt t ga bog'liqligi (b).

Rasmdan ko'rinib turibdiki, bunday qurilmalarda konsentrastiya boshlang'ich qiymat  $s_A$  dan oxirgi konsentrastiya  $s_A=s_{ox}$  ga bir zumda tushadi. Ushbu holat, birinchi darajali reaksiyalar uchun moddalar o'zaro ta'sir vaqti va reaktorning ishchi hajmi ushbu tenglamalardan topiladi:

$$ap \bullet \frac{x_{ox}}{K_1 \tilde{x}_{ox}}; \quad \frac{V_a}{V_{ap}} \bullet \quad (9.60)$$

bu erda  $x_{ox}$  - qurilmadagi modda konsentrastiyasi ( $s_A=s_{ox}$ );  $V_{ap}$  - vaqt ichida qayta ishlangan hajm.

Ma'lumki, ideal aralashish qurilmalari juda kichik foydali ish koeffistienti bilan xarakterlanadi. Demak, boshqa sharoitlar bir xil bo'lganda, uning hajmi maksimal qiymatga ega.

**Ideal aralashish reaktorlar kaskadi.** Ideal aralashish qurilmalarining foydali ish koeffistientini oshirish maqsadida ulardan kaskad qilinadi (9.19-rasm).

Kaskaddagi reaktorlar sonini aniqlash uchun grafik usulidan foydalanish maqsadga muvofiq (9.10-rasm). Birinchi darajali reaksiya uchun birinchi reaktorda boshlang'ich aylanish darajasi  $x_b$  dan  $x_1$  gacha oshadi. Unda,  $abc$  uchburchakdan:

$$\frac{ac}{ab} \bullet \frac{\tilde{x}_2 \cdot x_1}{w} \bullet \quad tg \checkmark \quad (9.61)$$

bu erda  $w = x_1/x_b$  - reaksiya tezligi;  $tg \checkmark$  -  $bc$  chizig'ining reaksiya tezligi o'qiga qiyaligi;

Nuqta  $b$  dan absstissa o'qi bilan kesishguncha to'g'ri chiziq o'tkazib, konsentrastiya  $x_1$  ni topamiz. Shu nuqtadan tezlik egri chizig'i bilan kesishguncha vertikal chiziq o'tkazib  $d$  nuqtani aniqlaymiz. Hosil qilingan  $d$  nuqtadan  $\checkmark$  burchak ostida absstissa o'qi bilan tutashguncha to'g'ri chiziq o'tkazib  $x_2$  topamiz. Xuddi shuni bir necha marta qaytarsak,  $x_b-x_{ox}$  oralikda sinq, pog'onali chiziq hosil bo'ladi.

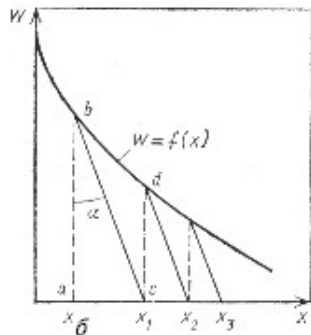
Sinq chiziqdagi pog'onalar soni kaskaddagi reaktorlar sonini bildiradi. Grafikdagi  $\checkmark$  burchak quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{\tilde{x}_2 \cdot x_1}{w} \bullet \quad tg \checkmark \bullet \quad (9.62)$$

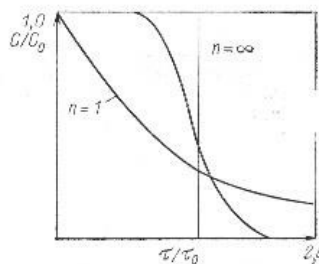
Lekin,  $\bullet = V_a/V_{ap}$ ,  
demak

$$tg \checkmark \bullet \frac{V_a}{V_{ap}}$$

Odatda, hisoblashlarni o'tkazish uchun  $V_{ap}$  ning qiymati berilgan bo'ladi.  $V_a$  ning qiymati esa, tanlab olinadi, so'ng pog'onali sinq chiziq quriladi va undan kaskaddagi reaktorlar soni topiladi.



9.20-rasm. Kaskaddagi reaktorlar sonini aniqlashning grafik usuli.



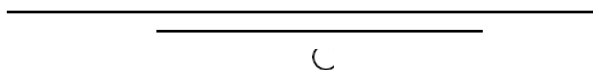
9.21-rasm. F - diagramma (mavhum pog'onalar soni  $n$  bo'lganda moddalarning yuvilib ajrash egri chiziq-lari).

**Ideal siqib chiqaruvchi reaktorlar.** Bunday reaktor modeli sifatida uzunligi  $l$  ning diametri  $D$  nisbati juda katta ( $l/D > 20$ ) bo'lgan trubalar namuna bo'la oladi. Ushbu reaktorning har bir ko'ndalang kesimining radiusi bo'ylab konstantriya bir tekisda (ideal aralashish) bo'ladi. Lekin, reaktorda bo'ylama aralashish yuz bermaydi. Bunday sharoitda konstantriya  $s_A$  ning o'zgarishi xuddi shu turdagi davriy ishlaydigan qurilmaniki kabi va son jihatdan bir xil bo'ladi. Buning uchun 9.11-rasmdagi absstissa o'qida  $\tau$  emas, reaktor uzunligi  $l$  qo'yilishi kerak.

Qurilmaning ishchi hajmi ushbu tenglamadan topiladi:

$$V_a \bullet V_{cek} \quad (9.63)$$

bu erda  $\tau$  - jarayon davomiyligi va u yuqorida keltirilgan kimyoviy kinetika tenglamalaridan aniqlanadi.



## A D A B I Y O T L A R

1. Yusupbekov N.R, Nurmuhamedov H.S., Zokirov S.G., Ismatullaev P.R., Mannonov U.V. Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarining asosiy jarayon va qurilmalarini hisoblash va loyihalash. – T.: Jahon, 2000. – 231 b.
2. Kasatkin A.G. Osnovnie prostessi i apparati ximicheskoy texnologii. - M.: Ximiya, 1973. – 752 s.
3. Planovskiy A.N., Nikolaev P.I. Prostessi i apparati ximicheskoy i nefteximicheskoy texnologii. - M.: Ximiya, 1987. – 496 s.
4. Stabnikov V.N., Lisyanskiy V.M., Popov V.D. Prostessi i apparati piщevix proizvodstv. - M.: Agropromizdat, 1985. – 503 s.
5. Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov X.S., Ismatullaev P.R. Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarning jarayon va qurilmalari fanidan hisoblar va misollar. - Toshkent: Nisim, 1999. – 351 s.
6. Salimov Z., Tuychiev I.S. Ximiyaviy texnologiya prestesslari va apparatlari.- Toshkent: oqituvchi, 1987. – 408 b.
7. Sokolov R.S. Ximicheskaya texnologiya. – M.: Vldos, 2000. – t.1-2.– 814 s.
8. Nurmuxamedov X.S. Nauchnie osnovi sozdaniya prestessov i apparatov dlya sushki i granulirovaniya zernisto-voloknistix materialov. – Diss.....dokt. tex. nauk, Tashkent, TashXTI, 1993. – 440 s.

## MUNDARIJA

<b>KIRISH</b> .....		3
1.	«Jarayon va qurilmalar» fanining mazmuni va mohiyati .....	3
2.	«Jarayon va qurilmalar» fanini kelib chiqishi va rivojlanishi. ....	4
3.	Asosiy texnologik jarayonlar klassifikatsiyasi. ....	5
<b>5-bob. MASSA ALMASHINISH JARAYONLARI</b>		
<b>MASSA ALMASHINISH ASOSLARI</b>		
5.1.	Umumiy tushunchalar .....	6
5.2.	Massa o`tkazish kinetikasi .....	6
5.3.	Massa almashinish jarayonining moddiy balansi .....	8
5.4.	Massa o`tkazishning asosiy qonunlari .....	8
5.5.	Qattiq jism ishtirokida massa almashinish .....	11
5.6.	Konvektiv diffuziyaning differensial tenglamasi .....	14
5.6.1.	Massa almashinish jarayoni mexanizmi .....	16
5.6.2.	Massa o`tkazish va berish koeffitsientlari o`rtasidagi bog`liqlik ..	17
5.6.3.	Massa almashinish jarayonlarining modellari .....	18
5.6.4.	Massa almashinish jarayonlarini harakatga keltiruvchi kuch .....	19
5.7.	Massa almashinish qurilmalarining asosiy o`lchamlarini hisoblash .....	22
<b>ABSORBTSIYA</b>		
5.8.	Umumiy tushunchalar .....	26
5.9.	Absorbtsiya jarayonining fizik asoslari .....	26
5.10.	Absorbtsiyaning moddiy balansi va kinetik qonuniyatlari .....	27
5.11.	Absorbtsiya jarayonini olib borish usullari .....	29
5.12.	Absorberlar konstruktsiyalari .....	30
5.13.	Absorberlarni hisoblash .....	37
<b>HAYDASH VA REKTIFIKATSIYA</b>		
5.14.	Umumiy tushunchalar .....	41
5.15.	Haydash va rektifikatsiya jarayonlarining nazariy asoslari. ....	42
5.16.	Oddiy haydash .....	44
5.17.	Rektifikatsiya .....	47
5.17.1.	Rektifikatsiya jarayonining moddiy va issiqlik balanslari .....	48
5.17.2.	Uzluksiz ishlaydigan rektifikatsion kolonnaning issiqlik balansi .....	49
5.17.3.	Haqiqiy flegma soni .....	50
5.17.4.	Rektifikatsion kolonna ishchi balandligi va tarelkalar sonini hisoblash .....	51
5.18.	Rektifikatsiya jarayonini tashkil etish usullari .....	51
5.19.	Rektifikatsion kolonnalarni hisoblash .....	53
<b>«SUYUQLIK–SUYUQLIK» SISTEMASIDA EKSTRAKSIYALASH</b>		
5.20.	Umumiy tushunchalar .....	56
5.21.	«Suyuqlik - suyuqlik» sistemasining muvozanati .....	56
5.22.	Ekstraksiya jarayonida massa o`tkazish .....	58
5.23.	Ekstraksiya jarayonini tashkil etish usullari .....	59
5.24.	Ekstraktorlar konstruktsiyalari .....	62
5.25.	Ekstraktorlarni hisoblash .....	67
<b>«QATTIQ JISM – SUYUQLIK» SISTEMASIDA EKSTRAKSIYALASH</b>		
5.26.	Umumiy tushunchalar .....	74
5.27.	Eritish jarayoni statikasi va kinetikasi .....	74
5.28.	Ishqorlab ajratish ekstraktorlarining konstruktsiyalari .....	76

5.29.	Eritkichlarni hisoblash .....	79
<b>ADSORBTSIYA</b>		
5.30.	Umumiy tushunchalar .....	30
5.31.	Adsorbentlar turlari va xarakteristikalari .....	31
5.32.	Adsorbtsiya jarayoni muvozanati .....	83
5.33.	Adsorbtsiya statikasi va kinetikasi .....	84
5.34.	Adsorbtsiya jarayonini tashkil etish usullari .....	85
5.35.	Desorbtsiya .....	86
5.36.	Adsorberlar konstruktsiyalari .....	87
5.37.	Adsorberlarni hisoblash .....	91
5.38.	Ion almashinish jarayon va qurilmalari .....	93
<b>QURITISH</b>		
5.39.	Umumiy tushunchalar .....	98
5.40.	Ramzinning nam havo I-x diagrammasi .....	98
5.41.	Quritish jarayoni statikasi .....	101
5.42.	Material bilan namlikning bog`lanish usullari .....	102
5.43.	Quritish jarayoni kinetikasi .....	104
5.44.	Quritkichning moddiy va issiqlik balanslari .....	109
5.45.	Quritish jarayonini tashkil etish usullari .....	113
5.46.	Quritkichlar konstruktsiyalari .....	116
5.47.	Quritkichlarni hisoblash .....	122
<b>KRISTALLANISH</b>		
5.48.	Umumiy tushunchalar .....	132
5.49.	Kristallanish statikasi va kinetikasi .....	132
5.50.	Kristallanish usullari .....	134
5.51.	Kristallizatorlar konstruktsiyalari .....	135
5.52.	Kristallizatorlarni hisoblash .....	139
<b>9-bob. KIMYOVIY JARAYONLAR</b>		
9.1.	Umumiy tushunchalar .....	141
9.2.	Kimyoviy aylanishlar davridagi muvozanat .....	141
9.3.	Kimyoviy jarayonlar kinetikasi .....	144
9.4.	Kimyoviy jarayonlar moddiy va issiqlik balanslari .....	148
9.5.	Kimyoviy jarayonlar printsipl sxemalari .....	150
9.6.	Reaktorlar konstruktsiyalari .....	150
9.7.	Reaktorlarning aralashtirish va issiqlik almashinish moslamalari .	152
9.8.	Reaktorlarni hisoblash .....	155
<b>A D A B I Y O T L A R</b> .....		
		158