

## 12-Mavzu: BUG’LATISH.MODDA ALMASHINISH JARAYONLARI.

### Reja:

1. Bug’latish haqida umumiy tushunchalar.
2. Bug’latishning nazariy asoslari.
3. Bug’latish usullari.
4. Massa almashinish asoslari.
5. Massa almashinish jarayonining moddiy balansi.
6. Massa almashinish jarayoni mexanizmi.

Qattiq, uchuvchan bo’lmagan yoki uchuvchanligi yomon bo’lgan moddalar eritmalarini qaynatish davrida erituvchisini va hosil bo’lgan bug’larni chiqarib yuborish jarayoniga *bug’latish* deyiladi.

Odatda, sanoat miqyosida bug’latish jarayoni eritmalarni qaynatish yo’li amalga oshiriladi.

Eritmalarni bug’latishdan maqsad ularning konsentratsiyasini orttirish bo’lib, yahni eritmalarni quyuqlashtirishdir. Agarda, quyuqlashtirilgan eritmalardan yana erituvchi chiqarilsa, qattiq moddalar kristallana boshlaydi va kristallar ajralib chiqadi.

Suyultirilgan eritmalar konsentratsiyasini oshirish yoki ulardan erigan moddalarni kristallash usulida ajratib olish uchun bug’latish jarayoni qo’llaniladi.

Kimyo, oziq - ovqat va boshqa sanoatlarda bug’latish jarayonidan keng ko’lamda foydalaniladi. Masalan, tuz, ishqor kabi moddalarning suvli eritmalarini, mineral va organik kislotalar, ko’p atomli spirtlar, shakar va konserva mahsulotlarini ishlab chiqarish texnologiyasida tomat, sut va sharbatlarni konsentrlashda bu jarayonsiz texnologiyani tasavvur qilib bo’lmaydi. SHu bilan birga, ushbu jarayonni toza erituvchi ishlab chiqarish uchun ham qo’llasa bo’ladi.

SHuni alohida qayd etish kerakki, agar **bug’lanish** jarayoni qaynash temperaturasidan past, istalgan temperaturada eritma yuzasida sodir bo’lsa, **bug’latish** esa - qaynash temperaturasidan yuqori temperaturada, eritmaning butun hajmida yuz beradi.

Ushbu jarayonlar bug’latish qurilmasi deb nomlanadigan qurilmalarda amalga oshiriladi. Mahlumki, uzluksiz va uzlukli bug’latish jarayonlarini tashkil etish mumkin. Uzlukli ishlaydigan qurilmalar, odatda kam miqdorda mahsulot ishlab chiqaradigan texnologiyalarda qo’llaniladi.

Yirik sanoat korxonalarida uzluksiz ishlaydigan bug’latish qurilmalaridan foydalaniladi va ularning issiqlik almashinish yuzalari 600...1000 m<sup>2</sup> bo’ladi. Bunday qurilmalarning tejamliligini aniqlovchi asosiy omil bo’lib, undagi bug’ va suv sarfi hisoblanadi.

Bug’latish vakuum, atmosfera va yuqori bosim ostida olib borilishi mumkin.

**Vakuum ostida bug’latish** paytida ikkilamchi bug’ni maxsus kondensatorda kondensatsiyalash yo’li bilan qurilmada vakuum hosil qilinadi va nasos yordamida

kondensatsiyalanmagan gazlar so'rib olinadi. Bu usulda jarayon olib borilsa, eritmaning qaynash temperaturasi pasaytirishga erishsa bo'ladi. Natijada yuqori temperaturaga o'ta tahsirchan mahsulotlar sifatini saqlab qolish imkoniyati tug'iladi. Undan tashqari, vakuumni jarayonda qo'llash, harakatga keltiruvchi kuch miqdorini oshiradi va bug'latish qurilmasining issiqlik almashinish yuzasini, hamda metall sarfini kamaytirish imkonini beradi.

Vakuum ostida bug'latishning yana bir afzalligi shundaki, past temperatura va bosimli issiqlik eltkichlardan foydalanish mumkin. Bu usulda bug'latilganda, hosil bo'lgan ikkilamchi bug'ni, keyingi korpusda birlamchi bug' sifatida qo'llash mumkin.

Albatta, bu usulning kamchiliklari ham bor: jarayonda vakuumni qo'llash uning narxini oshiradi; bug'latgichdan tashqari bir nechta qo'shimcha qurilma va moslamalar ishlatish kerak.

**Atmosfera bosimida bug'latish** jarayonida hosil bo'lgan ikkilamchi bug' atrof muhitga chiqarib yuboriladi. Bunday usul eng sodda deb hisoblansa ham, lekin u iqtisodiy jihatdan eng tejamsizdir.

**Yuqori bosim ostida bug'latish** jarayonida hosil bo'lgan ikkilamchi bug' qaytadan bug'latish jarayonida, hamda boshqa maqsadlar uchun ham ishlatish mumkin. Bu usulda jarayon yuqori bosimda olib borilgani uchun, eritmalarning qaynash temperaturasi ancha ko'tariladi.

Boshqa maqsadlar uchun ishlatiladigan ikkilamchi bug' - *ekstra bug'* deb nomlanadi. Yuqori bosim ostida bug'latish jarayonida ajralib chiqqan ikkilamchi bug'ni qaytadan qo'llash, vakuum ostida bug'latishga nisbatan issiqlikdan to'la miqdorda foydalanish imkonini beradi. SHuning uchun, ushbu usul faqat issiqlikka bardosh eritmalarni bug'latish uchun ko'llaniladi. Undan tashqari, yuqori bosim ostida bug'latish jarayoni uchun yuqori temperaturali issiqlik eltkichlarni ishlatish kerak. Bu hol albatta uning eng asosiy kamchiligidir.

Atmosfera bosimi, ayrim hollarda vakuum ostida jarayon olib borilganda, bir korpusli bug'latkichlardan foydalaniladi. Lekin, sanoat miqyosida ko'pincha bir necha qurilmadan yig'ilgan ko'p korpusli bug'latish qurilmalarida jarayonni olib borish keng tarqalgan. Bunday qurilmalarda faqat birinchi korpusda birlamchi bug' ishlatiladi. Ikkinchi, uchinchi va keyingi korpuslarda esa, oldingi korpusda ajralib chiqqan ikkilamchi bug' ko'llanilsa, eltkich tejalishiga sababli bo'ladi va bug' sarfining kamayishiga olib keladi.

Bir korpusli bug'latish qurilmalarida ham, birlamchi bug' sarfini kamaytirish mumkin. Buning uchun, qurilmadan chiqayotgan ikkilamchi bug' issiqlik nasosi yordamida birlamchi bug' temperaturasi to'g'ri keladigan bosimgacha siqiladi va qaytadan eritmani bug'latish uchun qurilmaga yo'naltiriladi.

Bug'latish jarayonida eritmalarning konsentratsiyasi ortadi va natijada uning fizik va issiqlik xossalari o'zgaradi.

Bug'latish qurilmalarini hisoblash, loyihalash va ekspluatatsiya qilish uchun muhim bo'lgan eritmalarning bahzi bir xossalari ko'rib chiqamiz.

**Temperatura depressiyasi -  $\Delta'$ .** Eritma  $T_e$  va erituvchilar  $T$  qaynash temperaturalarini o'rtasidagi farqdir, ya'ni  $\Delta t = T_e - T$  temperatura depressiyasi deb nomlanadi. Eritmalar nazariyasidan mahlumki, bir xil  $T$  temperaturada toza erituvchi ustidagi bug'larining bosimi  $r$ , eritma ustidagi bug'larning bosimi  $r_e$  dan har doim ko'p bo'ladi. Yoki bir xil bosimda toza erituvchining qaynash temperaturasi eritmaning qaynash temperaturasidan past bo'ladi.

Eritmalarning temperatura depressiyasi erituvchi va erigan moddalar xossalriga bog'liqdir. Bosim va konsentratsiya ortishi bilan temperatura depressiyasi oshadi. Ko'pincha ushbu ko'rsatkich tajribaviy yo'l bilan aniqlanadi.

Ma'lumki, bug'latkichlarda issiqlik yo'qotilishi oqibatida temperaturalarining pasayish hodisasi yuz beradi. Natijada temperaturalar farqi kamayadi va jarayon intensivligi susayadi. Temperaturalar yo'qotilishi  $\Delta$ , temperatura depressiyasi  $\Delta'$ , gidrostatik  $\Delta''$  va gidravlik depressiya  $\Delta'''$  lar yig'indisiga teng, ya'ni:  $\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$ .

Agar, eritmaning atmosfera bosimidagi temperatura depressiyasi  $\Delta'_{atm}$  mahlum bo'lsa, istalgan boshqa bosimlardagi depressiya Tishenko formulasidagi tahminan hisoblab aniqlanish mumkin:

$$\Delta' = 1,62 \cdot 10^{-2} \frac{T^2}{r} \Delta'_{atm} \quad (1)$$

bu yerda,  $T$  - mahlum bosimdagi toza erituvchining qaynash temperaturasi, K;  $r$  - mahlumki bosimdagi toza erituvchining bug'latish issiqligi, kJ/kg;  $\Delta'_{atm}$  - atmosfera bosimidagi temperatura depressiyasi,  $^{\circ}\text{S}$ .

Agar,  $\Delta'_{atm}$  kattaligi bo'yicha tajribaviy ma'lumotlar yo'q bo'lsa, uni bir nechta usul bilan tahminan hisoblab topish mumkin. Biror bosimda eritmaning bitta qaynash temperaturasi mahlum bo'lsa - Babo, ikkita temperaturasi mahlum bo'lganda esa - Dyuring yoki Kireev qoidasiga binoan aniqlash imkoni bor.

Babo qoidasiga binoan, biror konsentratsiyali eritma ustidagi bug' bosimining pasayishi  $(r_1 - r_2)/r_1$  yoki  $r_2/r_1$  temperaturaga bog'liq emas va o'zgarmas qiymatga tengdir:

$$\frac{p_2}{p_1} = K = const \quad (2)$$

bu yerda,  $r_1$  va  $r_2$  - erituvchi va eritma bug'larining bosimlari.

**Gidrostatik depressiya -  $\Delta''$ .** Bug'latkich qaynash trubalarining bir qismi suyuqlik bilan to'lib turgan bo'ladi va uning ustida bug' - suyuqlikdan iborat emulg'siya qatlamida yuqoriga qarab ko'tarilgan sari bug'ning miqdori oshib boradi.

Agar, qaynash trubasidagi suyuqlik va emulg'siyani shartli ravishda suyuqlik deb nomlasak, unda gidrostatik bosimlar farqi hisobiga trubaning pastki qismidagi suyuqlikning qaynash temperaturasi tepa qismini-kidan yuqori bo'ladi.

Gidrostatik effekt hisobiga eritma qaynash temperaturasining ortishi **gidrostatik depressiya** deb ataladi.

Bug'latish jarayoni vakuum ostida olib borilganda, gidrostatik depressiya

salmoli bo'ladi.

To'yingan suv bug'i  $t_c$  va ikkilamchi bug' temperatura  $T$  lari orasidagi farq gidrostatik depressiyani beradi:

$$\Delta'' = t_c - T'' \quad (3)$$

Ushbu tenglik eritma harakatini inobatga olmagan uchun uning xatoligi katta. SHuning uchun  $\Delta''$  ning qiymatlari tajribaviy usulda topiladi.

Vertikal bug'latkichda intensiv harakatlanayotgan eritmalar uchun  $\Delta''$  miqdori 1...3<sup>0</sup>S oralikda qabul qilinishi mumkin.

**Gidravlik depressiya** -  $\Delta'''$ . Ushbu depressiya ikkilamchi bug'ning separator va quvurlar orqali harakati davrida ishqalanish va mahalliy qarshiliklarni yengishi tufayli vujudga keladigan temperatura yo'qotilishlar.

Ushbu gidravlik qarshiliklarni yengish vaqtida bosimning kamayishi, temperatura pasayishiga sababchi bo'ladi.

Demak, gidravlik qarshiliklar tufayli eritma qaynash temperaturasining ko'payishi **gidravlik depressiya** deb nomlanadi. Odatda  $\Delta'''$  ning qiymati 0,5...1,5<sup>0</sup>S oralig'ida bo'ladi.

Yuqorida qayd etilgan depressiyalarni hisobga olsak, eritmaning qaynash temperaturasi quyidagicha hisoblanadi:

$$t_k = T' + \Delta' + \Delta'' \quad (4)$$

bu yerda,  $T'$  - ikkilamchi bug' temperaturasi, K

**Eritmalar issiqlik sig'imi** temperatura va erigan moddalar konsentratsiyasining funktsiyasidir.

Ko'pchilik eritmalar issiqlik sig'imi additivlik qoidasiga bo'ysinmaydi. SHuning uchun eritmaning ushbu xossasini erigan modda va erituvchilar issiqlik sig'imlari yordamida aniqlab bo'lmaydi. SHuni alohida ta'kidlash kerakki, eritma konsentratsiyasi qanchalik katta bo'lsa, uning issiqlik sig'imi shunchalik additivlik qoidasiga kam bo'ysinadi. Eritmaning ushbu xossasi maxsus adabiyotlarda keltirilgan.

**Eritish issiqligi** eritmaning konsentratsiyasi, erituvchi va erigan moddalar xossalari bog'liq. Qo'shimcha qattiq moddalar erishi davrida kristallik panjara buziladi. Albatta, buning uchun energiya sarflanadi va oqibatda eritmaning sovishi ro'y beradi. Agar, erituvchi va eriydigan moddalar o'zaro kimyoviy reaksiyaga kirishsa, gidratlar hosil bo'lib, jarayon natijasida issiqlik ajrab chiqadi. SHunday qilib, eritish issiqligi erish va kimyoviy o'zaro tag'sir issiqliklari yig'indisiga teng.

Oson gidrat hosil qiladigan moddalar musbat eritish issiqligiga (suvda), ega; gidrat hosil qilmaydigan moddalar - manfiy eritish issiqligiga ega.

Sanoatda mavjud texnologiyalarda asosan quyidagi bug'latish usullaridan foydalaniladi:

- oddiy bug'latish (uzlukli va uzluksiz);
- ko'p korpusli qurilmalarda bug'latish (faqat uzluksiz);
- issiqlik nasoslarini qo'llab bug'latish.

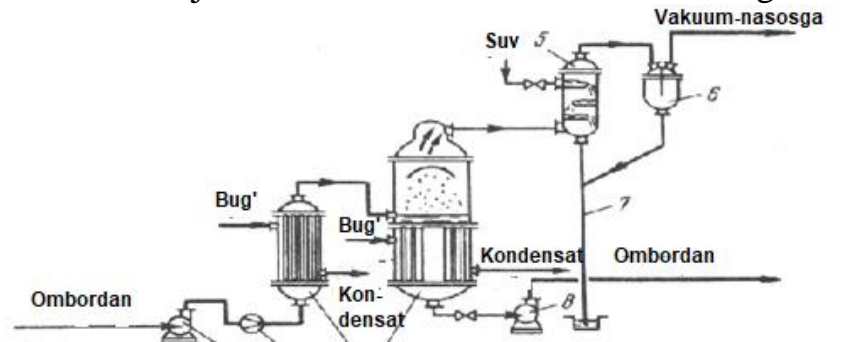
Eritmalar va isituvchi bug' xossalari qarang hamma 3 ta bug'latish usullari

vakuum va bosim ostida o'tkazilishi mumkin. Issiqlik eltkich sifatida, deyarli har doim, to'yingan suv bug'i ishlatiladi. Kamdan - kam hollarda eritmalar elektr toki yoki oraliq issiqlik eltkichlari yordamida isitiladi.

**Oddiy bug'latish.** Issiqlik tejalishi katta ahamiyatga ega bo'lmagan va unumdorligi kichik bo'lgan qurilmalarda oddiy bug'latishdan foydalaniladi. Undan tashqari, temperatura depressiyasi yuqori eritmalarinigina uzlukli ishlaydigan, bir korpusli bug'latish qurilmasida amalga oshirish iqtisodiy jihatdan to'g'ri va maqsadga muvofiqdir. Uzlukli bug'latishni ikki xil yo'l bilan olib borish mumkin: boshlang'ich eritmani dastavval yuklash va oz-oz miqdorda yuklash.

Uzluksiz ishlaydigan oddiy bug'latish qurilmasi 1-rasmda keltirilgan.

Boshlang'ich konsentratsiyali eritma nasos 1 yordamida sarf o'lchagich 2 orqali isitkich 3 ga uzatiladi. U yerda eritma qaynash temperaturasigacha isitiladi va so'ng bug'latkich 4 ga bug'latish uchun yuboriladi. Qurilma 4 ning pastki qismida eritma suv bug'i yordamida isitiladi, natijada erituvchi bug'latadi. Hosil bo'lgan ikkilamchi bug' qurilma 4 ning yuqori qismi bo'lmish separatsion bo'limida mayda tomchilardan ajratiladi va barometrik kondensator 5 ga



1-rasm. Bir korpusli, uzluksiz ishlaydigan bug'latish qurilmasining sxemasi.

1,8-nasoslar; 2-sarf o'lchagich; 3-isitkich; 4-bug'latkich; 5-barometrik kondensator; 6-us hlagich; 7-barometrik

yo'naltiriladi. Undan ikkilamchi bug' kondensatsiyalanadi.

Kondensatsiyalanmagan inert gazlar ushlagich 6 orqali vakuum - nasos 8 yordamida so'rib olinadi. Sovutuvchi suv bilan hosil bo'lgan kondensat barometrik truba 7 orqali yig'gichga tushuriladi. Quyuqlashtirilgan eritma nasos 8 yordamida tayyor mahsulot omboriga uzatiladi.

Vakuum ostida eritmalarini bug'latish jarayonini tashkil etishning bir qator afzalliklari bor: eritma qaynash temperaturasi pasayadi; past bosimli bug'larni issiqlik eltkich sifatida qo'llash mumkin.

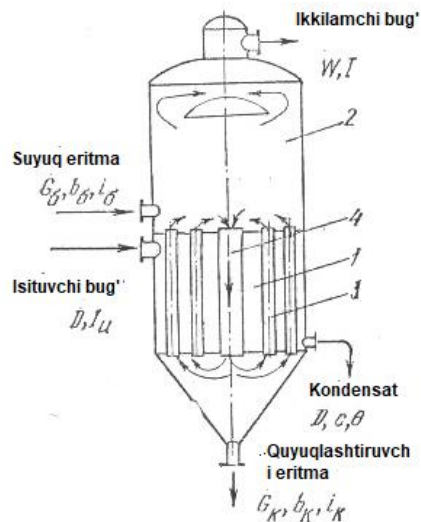
Markaziy tsirkulyatsiya trubali, uzluksiz ishlaydigan bug'latkich 2-rasmda ko'rsatilgan.

Bug'latkich asosan ikki qismdan, ya'ni isituvchi kamera 1 va separator 2 dan iborat bo'ladi.

Kamera 1 ko'pincha to'yingan suv bug'i bilan isitiladi. Suv bug'i kameraning trubalararo bo'shlig'iga yo'naltiriladi, u yerda truba devori orqali o'z issiqligini eritmaga uzatadi va sovitish natijasida kondensatsiyalanadi. Hosil bo'lgan

kondensat kameraning pastki qismidagi shtutser orqali tashqariga chiqariladi.

Trubalarda isitilayotgan eritmaning temperaturasi ortishi bilan zichligi kamayadi. Natijada, eritma tuba bo'ylab yuqoriga ko'tariladi va devor orqali o'tayotgan issiqlik tahsirida qaynash boshlanadi. Qaynash jarayonida hosil bo'layotgan ikkilamchi bug' eritmada ajraydi va separator 2 ga qarab harakatlanadi. U yerda bug' mayda eritma tomchilaridan ajratiladi va bug' tashqariga chiqariladi. Separator 2 da ajratilgan tomchilar yana qaytadan bug'latayotgan eritmaga qo'shiladi.



2-rasm. Markaziy tsirkulyatsiya trubali burlatkich.  
1 - isituvchi kamera; 2 - separator; 3 - isituvchi trubalar;

Eritmaning ma'lum qismi (zichligi yuqori) tsirkulyatsiya trubasi orqali bug'latishning pastki qismiga tushadi. Ushbu trubadagi eritma va isituvchi trubalardagi «bug' - suyuqlik» aralashmasi zichliklari o'rtasidagi farq tag'sirida beto'xtov ravishda tsirkulyatsiya qilib turadi. Kontsentratsiyasi oshgan, yag'ni quyushitiruvchi eritma, qurilmaning pastki qismidan chiqarib olinadi.

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 – kontsentratsiyalar farqi.

**Umumiy tushunchalarga asosan** sanoat texnologiyalarida ishlatiladigan absorbttsiya, 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 jarayonda 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, yahni 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 tahsirida 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 tahkidlash kerakli, bunda modda suyuq fazadan bug’ga va bug’dan suyuq fazaga o’tadi

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

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

Adsorbtsiya jarayonida suyuq yoki gaz fazadagi komponent qattiq jismga o’tadi.

**Quritish** – bu qattiq materiallar tarkibidagi namlikni bug’ 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 yuza orqali o’tishi **massa o’tkazish jarayoni** deb nomlanadi.

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

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:

$$F + S = K + 2 \quad (5)$$

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

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

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

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

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

Lekin, yahni 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 mahlum qiymatiga boshqa fazadagi tegishli aniq bir qiymatli muvozanat konsentratsiyasi  $y_M$  to'g'ri keladi. Xuddi shunday,  $u$  ning mahlum qiymatiga tegishli muvozanat konsentratsiyasi  $x_M$  mos keladi. Muvozanat paytida fazalardagi tarqaluvchi komponent konsentratsiyalari o'rtasida umumiy bog'liqlik quyidagi ko'rinishga ega:

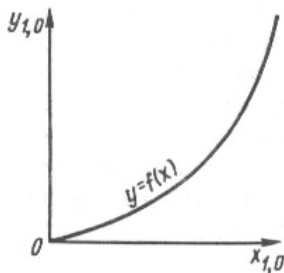
$$\bar{y}_p = f_1(\bar{x}); \quad \bar{x}_p = f_2(\bar{y}) \quad (6)$$

Ushbu tenglamalar grafikda muvozanat chizig'i bilan ifodalanadi va massa almashinish jarayonining turiga qarab to'g'ri yoki egri chiziqli ko'rinishda bo'ladi. 3-rasmda gaz fazasidagi muvozanat konsentratsiyasining suyuq fazadagi konsentratsiya bilan bog'liqligi berilgan.

Muvozanat paytidagi fazalar konsentratsiyalarining nisbati **tarqalish koefitsienti  $m$**  deb nomlanadi.

$$m = \frac{y_M}{\bar{x}}$$

Odatda, ko'pchilik eritmalar uchun muvozanat chizig'i to'g'ri chiziq shaklida bo'ladi. Tarqalish koefitsientining qiymati



3-pasm.  $p = \text{const}$  ba  $t = \text{const}$  bolgandagi muvozanat diagramma.

ko'pincha o'zgarmas bo'lib, muvozanat chizig'ining qiyalik burchagi tangensiga tengdir.

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

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

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

Massa almashinish jarayonlarining tezlik 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 proportsionaldir.

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

$$\frac{dM}{F \cdot d\tau} = k\Delta \quad (7)$$

bu yerda,  $M$  – bir fazadan ikkinchisiga o'tgan modda miqdora, kg;  $F$  – massa o'tkazish yuzasi, m<sup>2</sup>;  $\tau$  - 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

$$M = k \cdot \Delta \cdot F\tau$$

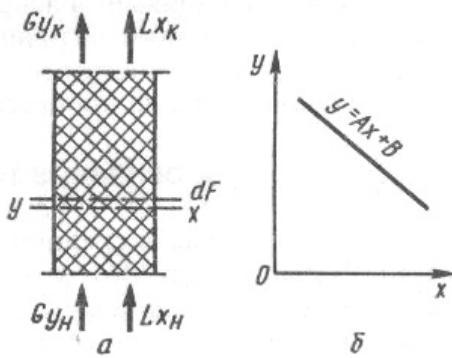
$$M = K_y F \Delta y_{yp} \cdot \tau \quad \text{yoki} \quad M = K_x F \Delta x_{yp} \cdot \tau \quad (8)$$

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

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

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

Bir xil yo'nalishli fazalar o'rtasida massa almashinish ro'y berayotgan elementar massa almashinish qurilmasining sxemasini ko'rib chiqamiz. Fazalarni ajratib turuvchi yuzaga nisbatan massaviy tezliklarini  $G$  va  $L$  (kg/soat), tarqaluvchi modda konsentratsiyalarini esa  $u$  va  $x$  (kg/kg) deb belgilab olamiz (4-rasm).



4-rasm. Jarayonning moddiy balansini tuzishga va ishchi chiziq tenglamasini keltirib chiqarishga oid.  
a- qurilmadagi oqimlar sxemasi;  
b-  $u-x$  koordinatlarida ishchi chiziqni tasvirlash.

Agar,  $u > u_M$  deb faraz qilsak, tarqaluvchi modda  $G$  fazadan  $L$  fazaga o'tadi, ammo  $G$  fazada konsentratsiya  $\bar{u}_b$  dan  $\bar{u}_{ox}$  gacha kamayadi.

$L$  fazada esa, mos ravishda konsentratsiya  $\bar{x}_b$  dan  $\bar{x}_{ox}$  gacha ortadi.

Qurilmaning cheksiz kichik  $dF$  yuzasi uchun:

$$dM = G(-d\bar{y}) = Ld\bar{x} \quad (9)$$

Qurilmada tarqaluvchi modda konsentratsiyalari o'zgarishi chegarasida (9) tenglikni integrallab, quyidagi tenglamani olamiz:

$$M = -G(\bar{y}_{ox} - \bar{y}_\delta) = G(\bar{y}_\delta - \bar{y}_{ox}) = L(\bar{x}_{ox} - \bar{x}_\delta) \quad (10)$$

Bundan, fazalarning massaviy sarfini aniqlaymiz:

$$G = L \frac{\bar{x}_{ox} - \bar{x}_\delta}{\bar{y}_\delta - \bar{y}_{ox}}; \quad L = G \frac{\bar{y}_\delta - \bar{y}_{ox}}{\bar{x}_{ox} - \bar{x}_\delta} \quad (11)$$

(9) tenglamani boshlang'ich va oxirgi konsentratsiyalar oralig'ida integrallab quyidagi ifodani olamiz:

$$G(\bar{y}_\delta - \bar{y}) = L(\bar{x} - \bar{x}_\delta)$$

Bundan, joriy konsentratsiyalar orasidagi bog'liqlik topiladi:

$$\bar{y} = \frac{L}{G} \bar{x} + \frac{G\bar{y}_\delta - L\bar{x}_{ox}}{G} \quad (12)$$

yoki

$$\bar{y} = Ax + B \quad (13)$$

bu yerda,  $A = L/G$ ;  $B = (G\bar{y}_\delta - L\bar{x}_{ox})/G$ .

(12) va (13) 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) kontsentratsiyalar orasidagi bog'liqlikni ifodalovchi to'g'ri chiziq tenglamasi (13) **jarayonning ishchi chizig'i** deb nomlanadi.

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 (Ng'yuton – 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. Maълumki, moddalar har doim kontsentratsiyasi yuqori zonadan kontsentratsiyasi past zonaga qarab tarqaladi. Ushbu qonunga binoan, diffuziya yo'li bilan tarqalgan modda miqdori kontsentratsiyalar gradienti, diffuzion oqim yo'nalishidagi perpendikulyar ajratuvchi yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir:

$$dM = -D \frac{\partial c}{\partial t} F d\tau \text{ yoki } M = -D \frac{dc}{dn} F \tau \quad (14)$$

bu yerda,  $dM$  - diffuziya yo'li bilan tarqalgan massa miqdori;  $D$  – diffuziya koeffitsienti;  $\partial/\partial$  kontsentratsiyalar gradienti;  $F$  – diffuziya o'tayotgan yuza;  $d\tau$  - diffuziya davomiyligi.

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

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

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

$$[D] = \left[ \frac{M \cdot dn}{dc \cdot F \cdot \tau} \right] = \left[ \frac{\kappa\mathcal{Z} \cdot M \cdot M^3}{\kappa\mathcal{Z} \cdot M^2 \cdot c} \right] = \left[ \frac{M^2}{c} \right]$$

Molekulyar diffuziya koeffitsienti o'zgarimas 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:

$$D = 4,35 \cdot 10^{-2} \frac{T^2}{P(V_A^{0,33} + V_B^{0,33})} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (15)$$

suyuqliklar uchun:

$$D = \frac{8,2 \cdot 10^{-12} T}{\mu \cdot V_a^{0,33}} \left[ 1 + \left( \frac{3V_B}{V_A} \right)^{0,66} \right] \quad (16)$$

bu yerda  $T$  – temperatura, K;  $R$  - bosim, Pa;  $V_A$  va  $V_V$  - jarayonda ishtirok etuvchi moddalar molg' hajmi,  $\text{sm}^3/\text{molg}'$ ;  $M_A$  va  $M_V$  - moddalarning molekulyar massasi,  $\text{kg}/\text{kmolg}'$ ;  $\mu$  - dinamik qovushoqlik,  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ;  $A$  va  $V$  – moddaning tabiatiga bog'liq tajribaviy konstanta;

Diffuziya koeffitsienti sistemaning agregat holatiga bog'liq. Gazlar uchun  $D$  ning qiymatlari  $(0,1 \dots 1,0) \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . Suyuqliklarning diffuziya koeffitsienti to'rt darajaga past bo'ladi. Mahlumki, temperatura ortishi bilan  $D$  ortadi, bosim oshishi bilan esa – kamayadi.

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

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

**Turbulent diffuziya.** Turbulent tebranish tahsirida oqimning harakatida bir fazadan ikkinchisiga moddaning tarqalishi **turbulent diffuziya** deb nomlanadi.

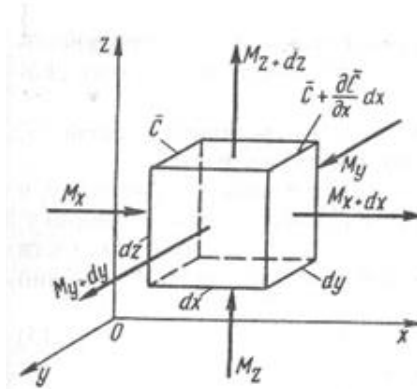
Turbulent diffuziya tezligi oqimning turbulentlik darajasiga, jarayonning gidrodinamik rejimida bog'liqdir. Istalgan fazada turbulent diffuziya yo'li bilan tarqalgan moddaning miqdori ushbu tenglamadan topiladi:

$$\text{yoki } M = -\varepsilon_D \frac{\partial c}{\partial n} F \cdot \tau \quad (17)$$

bu yerda  $\varepsilon_D$  - turbulent diffuziya koeffitsienti (17) tenglamadan  $\varepsilon_D$  - aniklaymiz

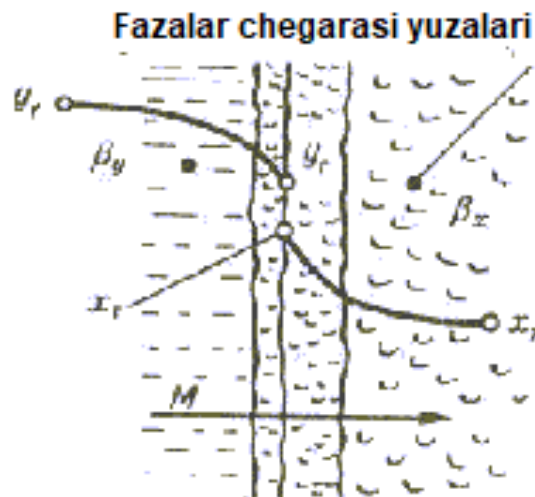
$$[\varepsilon_D] = \left[ \frac{M \cdot dn}{dc \cdot F \cdot \tau} \right] = \left[ \frac{\kappa_2 \cdot M \cdot M^2}{c \cdot M^2 \cdot \kappa_2} \right] = \left[ \frac{M^2}{c} \right]$$

Turbulent diffuziya koeffitsienti vaqt birligi ichida kontsentratsiya 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 yerda gidrodinamik rejim deganda oqimning tezligi va turbulentlik masshtabi nazarda tutiladi.



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

**Molekulyar diffuziyaning differentsial tenglamasi (Fikning 2-qonuni).** Biror fazaning oqimida ajratib olingan elementar parallelepiped uchun tarqaluvchi moddaning moddiy balansi ko'rib chiqiladi va undan konvektiv diffuziya yoki massa berish jarayonining tenglamasini keltirib chiqarish mumkin (6-rasm).



6-rasm. Massa berish teng-

lamasini 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. Yahni, parallelepipedning elementar hajmi  $dM = (M_x - M_{x+dx}) + (M_y - M_{y+dy}) + M_{x+dx}$  miqdorda tarqalgan modda yutib oladi. Bunda, moddaning konsentratsiyasi  $(\partial C / \partial \tau) \partial \tau$  miqdorga ortadi. Fikning 1 - qonuniga binoan:

$$M_x = -D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} dydzd\tau$$

$$M_{x+dx} = -D \frac{\partial \left( \bar{C} + \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} dx \right)}{\partial x} dydzd\tau = -D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} dydzd\tau - D \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} dx dy dz d\tau$$

demak:

$$M_x - M_{x+dx} = D \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} dx dy dz d\tau$$

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

Parallelepiped bilan yutilgan umumiy modda miqdori:

$$dM = D \left( \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) dx dy dz d\tau \quad (18)$$

Ushbu modda miqdorini parallelepiped hajmini tarqalayotgan modda konsentratsiyaning  $\partial \tau$  vaqt ichida o'zgarishiga ko'paytirib ham topsa bo'ladi:

$$dM = dx dy dz \frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} d\tau \quad (19)$$

(18) va (19) larni tenglashtirib, ushbu ko'rinishdagi molekulyar diffuziyaning differentsial tenglamasini olamiz:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} = D \left( \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) \quad (20)$$

(20) tenglama Fikning 2-qonuni deb yuritiladi.  $\partial S / \partial \tau$  - fazoda olingan istalgan nuqtadagi konsentratsiyaning vaqt bo'yicha o'zgarish tezligini xarakterlaydi.

**Massa berishning asosiy qonuni.** Ushbu qonun qattiq jismlar erishini o'rganish paytida rus olimi SHukarev tomonidan aniqlangan. Bu qonunga binoan, fazalarni ajratib turuvchi yuzadan biror faza yadrosiga yoki teskari yunalishda massa berish yo'li bilan o'tgan modda miqdori fazalar konsentratsiyasi 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 (6-rasm). Faza yadrosida moddaning tarqalishi asosan suyuqlik yoki gaz oqimi bilan amalga oshiriladi. Oqimlarning turbulent harakati davrida tarqaluvchi modda konsentratsiyasi o'zgarmas bo'ladi. CHegaraviy diffuzion qatlamga yaqinlashgan sari moddaning turbulent tarqalishi kamayadi va molekulyar diffuziya hisobiga massa berish ulushi ortadi.

Bunda, tarqaluvchi moddaning konsentratsiya gradienti hosil bo'ladi va fazalarni ajratuvchi chegaraga yaqinlashib borgan sari, uning qiymati oshib boradi.

SHunday qilib, chegaraviy diffuzion qatlam atrofi—bu kontsentratsiya gradienti hosil bo'lishi va o'sishi sohasidir. Undan tashqari, bu yer – umumiy massa o'tkazishga molekulyar diffuziya tezligining tahsiri ko'payadigan sohadir.

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

$$dM = \beta_y(y_f - y_u) \cdot F d\tau; \quad dM = \beta_x(x_u - x_f) \cdot F d\tau \quad (21)$$

bu yerda  $\beta_u, \beta_x$  – konvektiv va molekulyar oqimlar bilan modda uzatilishini xarakterlovchi massa berish koeffitsientlari;  $u_{ch}=u_M$  va  $x_{ch}=x_M$  deb qabul qilinadi.

Massa berish koeffitsientining o'lchov birligi quyidagicha:

$$[\beta] = \left[ \frac{M}{(y_f - y_u) \cdot F \cdot \tau} \right] = \left[ \frac{\kappa_2 \cdot M^3}{\kappa_2 \cdot M^2 \cdot coam} \right] = \left( \frac{M}{coam} \right)$$

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

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

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

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

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

Kapillyar-kovakli tuzilishiga qarab qattiq jismlar quyidagi sinflarga ajratiladi: yirik kovakli ( $d_{kp} \leq 100\mu m$ ); o'rtacha kovakli va ulg'tramikrokovakli 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 Vilg'yamslar tomonidan ushbu formula taklif etilgan:

$$D_{si} = D \frac{1}{1 + a \left( \frac{r}{R} \right)} \quad (22)$$

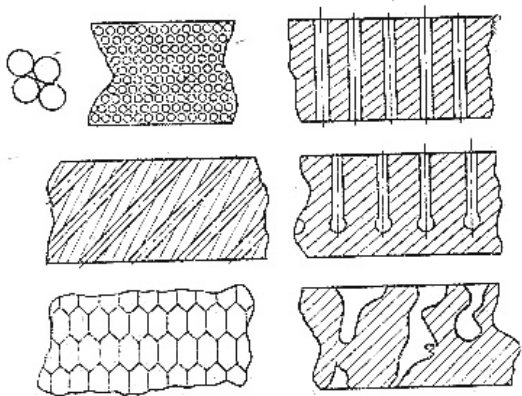
bu yerda,  $D_{si}$  – «siqiq diffuziya» koeffitsienti;  $D$  – molekulyar diffuziya koeffitsienti;  $r$  – tarqalayotgan molekula o'lchami;  $R$  - qattiq jism kovakchalarining ko'ndalang o'lchami.

«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 kontsentratsiyalar gradienti, oqim yo'nalishiga perpendikulyar yuza va jarayon davomiyligiga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni:

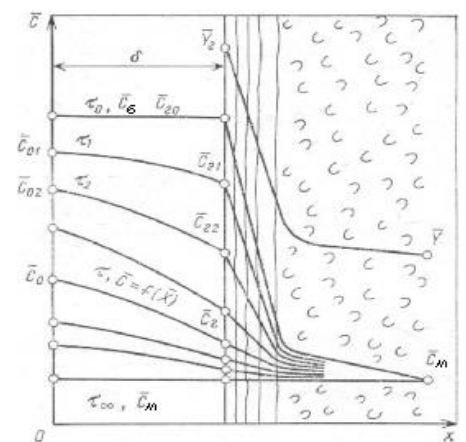
$$dM = -k \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} dF d\tau \quad (23)$$

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

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



7-rasm. G'ovaksimon jismlar tuzilishi modifikatsiyalari.



8-rasm. Kapillyar - G'ovakli

Qattiq jismdan namlikni desorbtsiyasi misolida massa almashinish jarayonini ko'rib chiqamiz (8-rasm). Boshlang'ich vaqt  $\tau = \tau_0$  da plastinaning butun hajmida kontsentratsiya o'zgarmas bo'ladi ( $s = \text{const}$ ). Qattiq jism bilan massa almashinuvchi suyuqlik fazada tarqaluvchi moddaning kontsentratsiyasi o'zgarmas va  $u_f$  ga tengdir. Dastlabki davrda, tarqalayotgan modda qattiq jismdan suyuqlikka qarab harakat qiladi.

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

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

Qandaydir kritik kontsentratsiya  $x_{kr}$  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.

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

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} = k \left( \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) \quad (24)$$

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

(24) differentsial tenglama fazalarni ajratuvchi chegarasida massa o'tkazish shartlarini belgilovchi tenglama bilan birgalikda ko'rilishi kerak. Ushbu shartlarni (23) tenglamani  $dM = \beta(y_u - y_M)F \cdot d\tau$  tenglama bilan taqqoslash mumkin. Tenglamalarning o'ng tomonlarini bir-biriga tenglab, ushbu ko'rinishga ega ifodani olamiz:

$$-k \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} = \beta \Delta \bar{y} \quad (25)$$

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

$$Bi_{\text{д}} = \frac{\beta \cdot l}{k} \quad (26)$$

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 Furg'e diffuzion kriteriysini keltirib chiqarish mumkin:

$$Fo_{\text{д}} = \frac{k\tau}{l^2} \quad (27)$$

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

(25) tenglama tahlili shuni ko'rsatadini, massa o'tkazish tezligi massa o'tkazuvchanlik va massa berishga bog'liq. Ekstraksiya jarayonining massa o'tkazishga tahsiri 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  $\beta$  asosida hisoblanadi;
- massa o'tkazuvchanlik va berish jarayonlarining tezligini o'zaro solishtirish mumkin bo'ladi. Bunda massa o'tkazishning tezligini topishda  $D_i$  va  $\beta$  koeffitsientlar hisobga olinadi.

Qattiq jismdan kerakli komponentni ajratib olish murakkab jarayondir. Bunda, qattiq jism ichida va atrof – muhitda kontsentratsiyalar miqdori vaqt davomida yoki qurilmaning uzunligi bo'yicha o'zgartirib turadi (6-rasm).

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

1. Qattiq jism va tarqalayotgan moddaning diffuziya xossalari, bu xossalar massa o'tkazuvchanlik koeffitsienti  $D_i$  orqali ifodalanadi;
2. «Qattiq jism – suyuqlik» chegarasida massa o'tkazish sharoitlari;
3. Qattiq jism va suyuq fazalar miqdorlarining nisbati

$$\frac{C_{\sigma} - C_0}{C'_{\sigma} - C'_0} = n$$

bilan ifodalanadi.

bu yerda  $S_b'$  va  $C_0'$  – jarayonning boshlanish va oxirida suyuq fozadagi

ekstraksiyalangan moddaning konsentratsiyalar;  $S_b$  va  $S_0$  - jarayonning boshlanishi va oxirida qattiq fazadagi ekstraksiyalanishi zarur bo'lgan moddaning konsentratsiyasi;  $n=W/N$  - o'zaro to'qnashish holatida bo'lgan suyuqlik miqdori  $W$  ning qattiq jism miqdori  $N$  ni nisbati.

4. Qattiq material zarrachalarining suyuqlik bilan o'zaro tahsir qilish usuli;

5. Qattiq material zarrachalarining shakli va o'lchamlari.

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

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

$$\frac{C - C_M}{C_0 - C_M} = f\left(Bi_D, Fo_D, \frac{x}{\delta}\right) \quad (28)$$

bu yerda  $S$  – vaqt momenti  $\tau$  da qattiq fazaning berilgan nuqtasidagi konsentratsiyasi;  $S_b$  - qattiq fazadagi boshlang'ich konsentratsiya;  $S_m$  - qattiq fazadagi ekstraksiyalanayotgan moddaning muvozanat konsentratsiyasi;  $\delta$  - qattiq jismning aniqlovchi o'lchami;  $x$  - qattiq jismning berilgan nuqtasidagi koordinatasi. (28) tenglamaning yechimi faqat eng oddiy shakldagi jismlar (shar, tsilindr va cheksiz plastina) uchun bor. “Qattiq jism – suyuqlik” sistemasida massa o'tkazish jarayonini ifodalash uchun massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan foydalanish mumkin. Unda, massa o'tkazish koeffitsienti ushbu formuladan hisoblanadi:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{1}{(\psi + n) \cdot km} \quad (29)$$

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

Tashqi diffuziya sohasida jarayon o'tkazilganda va  $Bi_D \leq 3,0$  bo'lganda (29) formula ushbu ko'rinishni oladi:

$$K \approx \beta_y \quad (30)$$

Ushbu holatda jarayon tezligi faqat ichki diffuziya omillari bilan aniqlanadi.

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

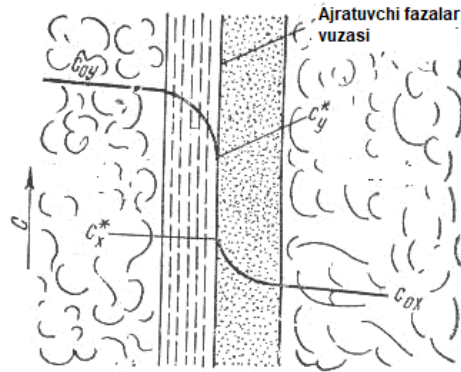
$$Nu = A \cdot Re^n \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,175} \quad (31)$$

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

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

o'rganilmagan.

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



9-rasm. Massa o'tkazish jarayonida fazalarda konsentratsiyalar 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) yengib, bir fazadan ikkinchisiga massa o'tadi, ya'ni massa o'tkazish jarayoni ro'y beradi.

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

Gidrodinamikadan mahlumki, suyuqlik oqimining devor yaqinida harakat paytida chegaraviy qatlam hosil bo'ladi. Har bir faza yadro va chegaraviy qatlamdan tashkil topgan bo'ladi. Faza yadrosida moddaning tarqalishi ko'pchilik hollarda turbulent pulg'satsiya yordamida amalga oshadi va tarqaluvchi moddaning konsentratsiyasi, 9-rasmda ko'rsatilgandek, o'zgarib bo'ladi. CHegaraviy qatlamda esa, turbulentlik asta - sekin so'nib, konsentratsiya esa o'zgarib boradi. Ajratuvchi yuzaga yaqinlashgan sari, konsentratsiya o'zgarishi keskinlashadi. Bevosita ajratuvchi yuzada moddaning tarqalish tezligi juda kichik bo'ladi va u molekulyar diffuziyaning tezligiga bog'liq bo'lib qoladi. Fazalararo ishqalanish va sirtiy taranglik kuchlari tahsirida ajratuvchi yuz yaqinida konsentratsiya keskin, to'g'ri chiziqli qonun bo'yicha o'zgaradi.

SHunday qilib, suyuqlik oqimining turbulent harakati paytida faza yadrosidan ajratuvchi yuzagacha yoki teskari yo'nalishda massaning berilishi ham 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 turbulentslik darajasini ko'paytirish uchun suyuqlik tezligini oshirish kerak bo'lsa, chegaraviy qatlam qalinligini kamaytirish uchun aralashtirish, pulg'satsiya, tebranish, elektromagnit maydon yoki ulg'ratovush kabi usullarni qo'llash mumkin.

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

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

$$dM = \beta \cdot y(y - y_u) \cdot dF$$

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

$$dM = \beta_x(x_u - x) \cdot dF$$

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

$$dM = \beta_x(x_u - x) \cdot dF = \frac{\beta_x}{m}(y_{m^u} - y_m) \cdot dF$$

bundan:

$$y_{m^u} - y_m = \frac{dM \cdot m}{\beta_x dF}; \quad y - y_u = \frac{dM}{\beta_y dF}$$

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

$$y - y_m = \frac{dM}{dF \left( \frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y} \right)} \quad (32)$$

Massa o'tkazishning asosiy tenglamasidan:

$$y - y_m = \frac{dM}{dF} \cdot \frac{1}{K} \quad (33)$$

(32) va (33) tenglamalarni o'ng tomonlarini tenglashtirib, ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\frac{1}{K_y} = \frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y} \quad \text{yoki} \quad K_y = \frac{1}{\frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y}} \quad (34)$$

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

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{m\beta_y} + \frac{1}{\beta_x} \quad \text{yoki} \quad K_x = \frac{1}{\frac{1}{m\beta_y} + \frac{1}{\beta_x}} \quad (35)$$

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, (34) va (35) 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.

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 nol'ga 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 modelg' eng birinchilaridan bo'lib, Lg'yuis va Uitmenlar tomonidan taklif etilgan. Ushbu modelg'ga 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, konsentratsiyalar gradienti faqat chegaraviy yupqa qatlam ichida hosil bo'ladi, chunki fazalar yadrosida konsentratsiyalar o'zgarmas va son jihatidan o'rtacha konsentratsiyalarga tengdir.

Undan tashqari, yuqorida qabul qilingan tahminlar bu modelg'ga ham taalluqli. SHunday qilib, ushbu modelg' sxemasining 5.8-rasmdagidan farqi shundaki, chegaraviy qatlamda turbulent pulg'satsiyalar yordamida aralashtirish to'g'ri chiziq qonuniga bo'ysinadi.

Yupqa qatlamli modelg'ga binoan, vaqt birligida tarqalgan massa miqdori quyidagi tenglamadan aniqlanishi mumkin:

$$M = \frac{D}{\delta_{\text{ef}}} (C_0 - C_q) \quad (36)$$

bu yerda  $S_0$  va  $S_{ch}$  – faza yadrosi va ularni ajratib turuvchi chegaradagi kontsentratsiyalar;  $\delta$  – chegaraviy yuqqa qatlamning effektiv qalinligi;  $D/\delta_{\text{ef}}$  – massa berish tezligini xarakterlovchi koeffitsient.

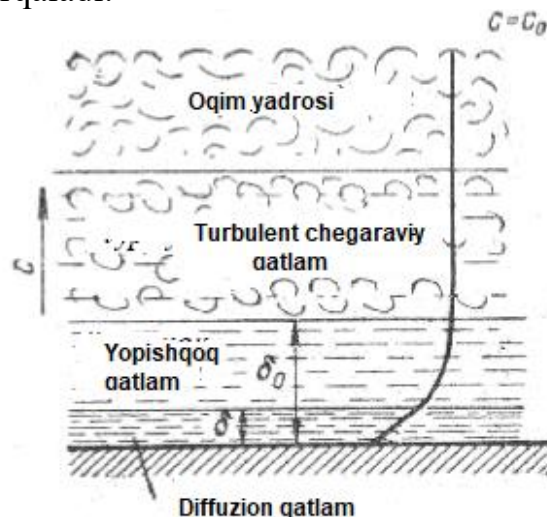
Ushbu modelg'da ajratuvchi yuza atrofidagi gidrodinamik sharoitlar ancha soddalashtirilgan. Molekulyar va turbulent diffuziyalarni ajratib turuvchi chegarasida turbulent pulg'satsiyalarning so'nishi, sistemaning fizik va geometrik kattaliklari hisobga olinmagan. Shu sabablarga ko'ra, ko'pchilik tajribalarda 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 modelg'da fazalarni ajratuvchi chegara yaqinidagi sharoitlar aniqroq hisobga olingan (10-rasm).

«Qattiq jism – suyuqlik» sistemasidagi nisbatan yuqori aniqlikka ega modelg' rus olimlari Landau va Levich tomonidan yaratilgan. Ko'rinib turibdiki, faza yadrosida kontsentratsiya o'zgarmas ( $S_0 = \text{const}$ ) bo'lib, turbulent chegaraviy qatlamda asta-sekin kamayib boshlaydi. Qovushoq qatlamga yaqinlashgan sari turbulent pulg'satsiyalar so'nib boradi. Lekin, qovushoq qatlamda kontsentratsiya 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  $\delta_0$  ning katta qismiga turbulent diffuziya usulida tarqaladigan massaning miqdori molekulyar diffuziyaniqiga qaraganda nisbatan ko'p. Faqat diffuzion qatlam  $\delta$  dagina massaning o'tishi butunlay molekulyar diffuziya yo'li bilan tarqaladi.



10-rasm. Fazadagi oqimning tuzilishi va kontsentratsiyaning o'zgarishi

Diffuzion qatlamda kontsentratsiya keskin o'zgaradi va bu o'zgarish to'g'ri

chiziq bo'yicha boradi.

Qovushoq qatlam qalinligi va  $\delta_0$  diffuzion qatlam qalinligi  $\delta$  o'rtasida quyidagi bog'liqlik bor:

$$\delta = \left(\frac{D}{\nu}\right)^{1/m} \cdot \delta_0 \quad (37)$$

$\delta$  ning qiymatini (36) ga qo'yib, ushbu tenglamani olamiz:

$$M = \frac{D^{m-1}}{\nu^{1/m} \delta_0} (C_0 - C_u) \quad (38)$$

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

Ko'pincha, tajriba yo'li bilan aniqlanadi va «qattiq jism – suyuqlik» sistemasi uchun  $m=3$ , «suyuqlik – gaz», «suyuqlik – suyuqlik» sistemasi uchun –  $m = 2$  va (5.46) tenglamaga asosan  $M \sim D^{0,66}$ , hamda  $M \sim D^{0,5}$ .

SHunday qilib, turbulentlik asta-sekin va uzluksiz ravishda so'nib boradi va qattiq jism yuzasi yaqinida pulg'satsion tezlik nolga tenglashadi,  $\varepsilon_D = 0$ .

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

Yuqorida ko'rib chiqilgan modellarda modda o'tishi uzluksiz deb tahmin qilingan. Lekin, to'qnashish yuzasining yangilanish modeli (Dankverts va Kishinevskiyalar tomonidan yaratilgan) da massa almashinish jarayoni uzlukli bo'ladi, yahni 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 modelga o'tayotgan massa miqdori quyidagi formuladan hisoblanadi:

$$M = 2\sqrt{\frac{D + \varepsilon_D}{\pi\tau}} (C_0 - C_u) \quad (39)$$

bu yerda  $\tau$  - fazalarning to'qnashish vaqti;  $S_0 - S_{ch}$  – fazalar chegarasi va yadrosidagi kontsentratsiyalar 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 eksponentsial qonunga bo'ysinadi, yahni (5.47) tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$M = \sqrt{Ds}(C_0 - C_u)$$

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

Mahlumki, turbulent harakat shu kungacha mukammal o'rganilmagan. SHuning uchun ham, aniq va mukammal massa o'tkazish modellari ishlab chiqilmaganligi uchun (39) tenglama ishlatiladi.

### Nazorat uchun savollar.

1. Bug'latish jarayoni qanday jarayon?
2. Bug'latishning nazariy asoslarini aytib bering.
3. Bug'latish usullari qanday amalga oshiriladi?
4. Massa almashinish asoslari qanday amalga oshiriladi?
5. Massa almashinish jarayonining moddiy balansi qanday xisoblanadi?
6. Massa almashinish jarayoni mexanizmi qanday?
7. Temperatura depressiyasini tushuntiring.
8. Eritmalar issiqlik sig'imi nima?
9. Diffuzion jarayonlarni tushuntiring.
10. Molekulyar diffuziyaning differentsial tenglamasini tushuntiring.