

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/364819489>

# Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi: darslik

Book · October 2022

CITATIONS

26

READS

3,156

3 authors:



[Anvar Abdullayevich Yusupkhodjayev](#)  
Tashkent State Technical University

86 PUBLICATIONS 569 CITATIONS

SEE PROFILE



[Shokhrukh Toshpo'latovich Khojiev](#)  
Tashkent State Technical University

300 PUBLICATIONS 1,499 CITATIONS

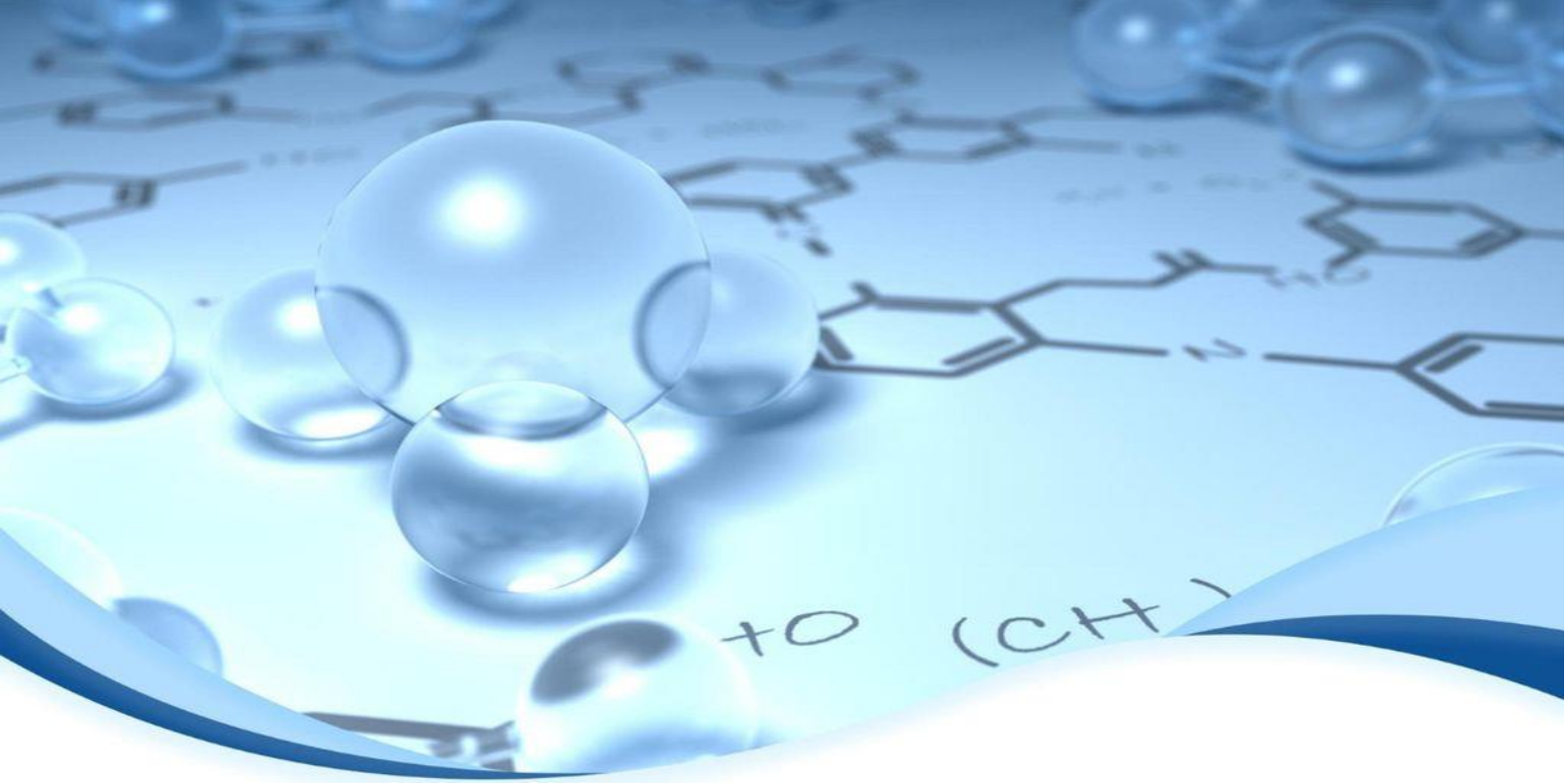
SEE PROFILE



[Kakhramon Ochildiev](#)  
Tashkent State Technical University

51 PUBLICATIONS 219 CITATIONS

SEE PROFILE



# **GIDROMETALLURGIYA** **jarayonlari nazariyasi**

*Yusupxodjayev A.A., Hojiyev Sh.T., Ochildiyev Q.T.*



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

**A.A. YUSUPXODJAYEV, SH.T. HOJIYEV, Q.T. OCHILDIYEV**

**GIDROMETALLURGIYA JARAYONLARI NAZARIYASI**

O‘zbekiston Respublikasi oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligi tomonidan  
oliy o‘quv yurtlari “5310300-Metallurgiya” ta‘lim yo‘nalishi talabalari  
uchun darslik sifatida tavsiya etilgan

**Toshkent – 2022**

**UO‘K 669.053.4(075.8)**

**KBK 34/315yza72**

**Yusupxodjayev A.A.,** Hojiyev Sh.T., Ochildiyev Q.T.  
Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi. Darslik. – Toshkent:  
“Lesson press”, 2022. - 258 b.

Mazkur darslik “Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi” fani asosida yozilgan bo‘lib, ma’ruza matnlari, amaliy mashg‘ulotlar hamda boshqa materiallarni o‘z ichiga jamlagan. Unda elektrolit eritmalarning termodinamikasidan ma’lumotlar, oddiy tanlab eritish va kimyoviy reaksiya bilan boradigan tanlab eritish jarayonlarining termodinamikasi, tanlab eritish kinetikasi va mexanizmi, tanlab eritish tezligini oshirish choralari, sof metall, metall oksidi va metall sulfidlarini tanlab eritish kinetikasi va mexanizmi, ekstraksion jarayonlarning asoslari, ionalmashuvchi jarayonlarning asoslari, metall yoki metall birikmalarini suvli eritmalaridan ajratib olish jarayonlarining asoslariga doir mavzular yoritib o‘tilgan. Bundan tashqari, har bobdan so‘ng amaliy mashg‘ulotlar va hisob ishlari keltirilgan.

**UO‘K 669.053.4(075.8)**

**KBK 34/315yza72**

### **Taqrizchilar:**

Bolibekov M.Sh. – “O‘ZGEORANGMETLITI” DUK, loyihalar bosh muxandisi o‘rinbosari;

Berdiyarov B.T. – PhD, TDTU, “Metallurgiya” kafedrasini mudiri.

Mazkur darslik O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligining 2020-yil 30-iyundagi 356-sonli qaroriga asosan nashrga tavsiya etilgan. Ro‘yxatga olish raqami (359-354)

ISBN 978-9943-8648-8-7

© “**Yusupxodjayev A.A.,** Hojiyev Sh.T., Ochildiyev Q.T.”, 2022

## KIRISH

Metallurgik jarayonlar pirometallurgik va gidrometallurgik jarayonlarga bo‘linadi. Gidrometallurgik jarayonlarning mohiyati metallarni ruda, boyitma, sanoat yarim mahsulotlari va chiqindilaridan kimyoviy reagentlarning suvdagi eritmalarida yordamida eritmaga o‘tkazib va eritmadan metall yoki uning kimyoviy birikmasini cho‘ktirib olishdan iborat.

Gidrometallurgik jarayonlar rux, oltin, platina guruhidagi metallarni, mis nikel, kobalt, uran, volfram, molibden, tantal va niobiy, vanadiy, berilliy va boshqa noyob metallarni ishlab chiqarilishida keng qo‘llaniladi.

Shuningdek, yuqorida nomlari keltirilgan metallardan tashqari ko‘pgina metallar bevosita yoki bilvosita gidrometallurgiya jarayonlari yordamida olinmoqda va yil sayin ularning salmog‘i oshib bormoqda. Bunga sabab, gidrometallurgiyaning pirometallurgiyaga nisbatan bir qancha afzalliklaridir, jumladan:

- gidrometallurgik jarayonlarning qo‘llanilishi kambag‘al va qiyin boyituvchi rudalardan metallarni kam xarajatlar bilan ajratib olish imkoniyatini beradi;

- gidrometallurgik jarayonlar reagentlarning kam sarflanishi va oddiy dastgohlarni qo‘llanilishi bilan ajralib turadi;

- jarayonlarni past haroratda olib borilishi (masalan, oltinni sianli eritmalar yordamida eritmaga o‘tkazish atrof-muhit haroratida olib boriladi);

- metallarni eritmaga konning o‘zida o‘tkazish imkoniyati mavjudligi (yer ostida tanlab eritish usuli);

- gidrometallurgik jarayonlar xomashyoni kompleks qayta ishlash imkoniyatiga ega (xomashyo tarkibidan barcha qimmatbaho moddalarni yuqori ko‘satkichlarda ajratib olish). Bunga misol rux ishlab chiqarilishida qo‘shimcha xomashyodan kadmiy, indiy, talliy metallari ajratib olinadi;

- sorbsiya va ekstraksiya jarayonlarini qo‘llanilishi;

- gidrometallurgik jarayonlarda zaharli gaz va changlarning atmosferaga chiqishining kamayishi, ishlab chiqarish sexlarida ishlash muhiti haroratining pastligi.

Gidrometallurgiyada qo‘llaniladigan asosiy jarayonlar metallarni xomashyodan gidrometallurgiya usullarida ajratib olishda turli jarayonlar quyidagi tartibda olib boriladi:

- tanlab eritishga yuboriladgan mineral zarrachalarini qisman yoki to'liq ochish maqsadida, rudaga dastlabki mexanik ishlov berish jarayonlari – maydalash, yanchish, sinflash;

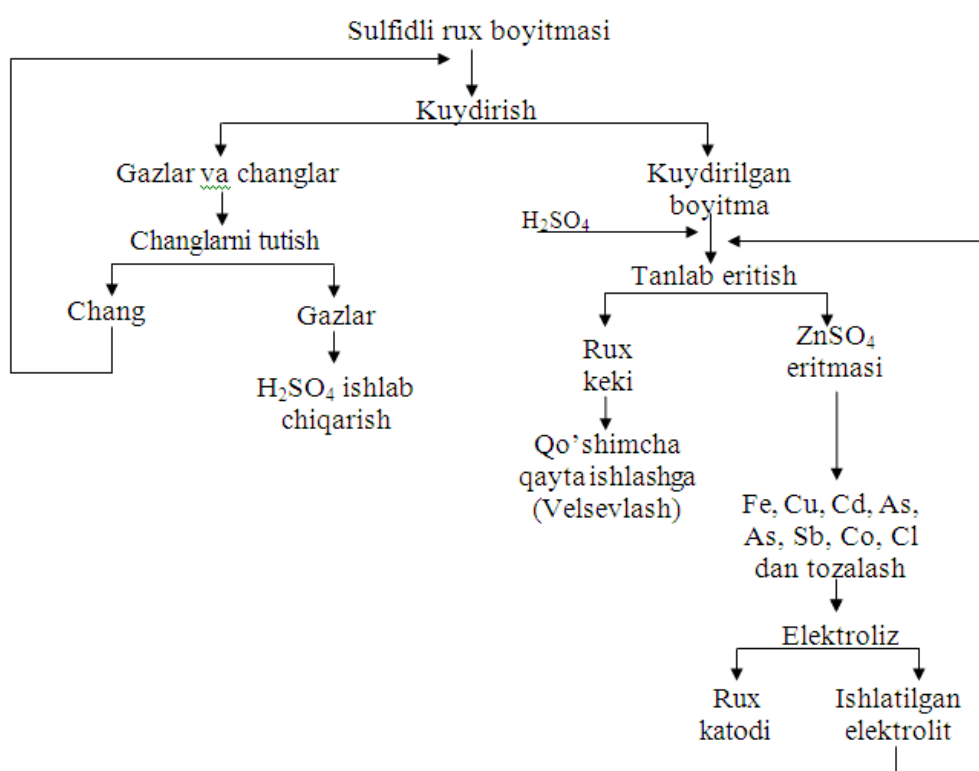
- suvli eritmalarda qiyin eruvchi minerallarni eruvchan holatgacha o'tkazish jarayonlari – sulfatlovchi, xlorlovchi, oksidlovchi kuydirish, avtoklavlarda oksidlash, kimyoviy birikmalar bilan parchalash;

- tanlab eritish jarayoni – metallni ertimaga o'tkazish: chanlarda tanlab eritish, avtoklavlarda tanlab eritish, uyumda va yer osti tanlab eritish usullari;

- tarkibida metall saqlovchi eritmalarini bo'sh jins qoldiqlaridan ajratish maqsadida suvsizlantirish va yuvish jarayonlari – quyuqlashtirish, filtrlash;

- metall saqlovchi eritmalaridan metallni ajratib olishga tayyorlash jarayonlari – kislorodsizlantirish;

- metall va uning birikmalarini eritmalaridan ajratib olish jarayonlari – elektrcho'ktirish (oltin, kumush, mis, rux), kam eruvchi birikmalar holatida cho'ktirish, ionalmashuvchi qatronlar (smolalar) yordamida sorbsiyalash, ekstraksiya, sementasiya, durlanish va h.k. usullar.

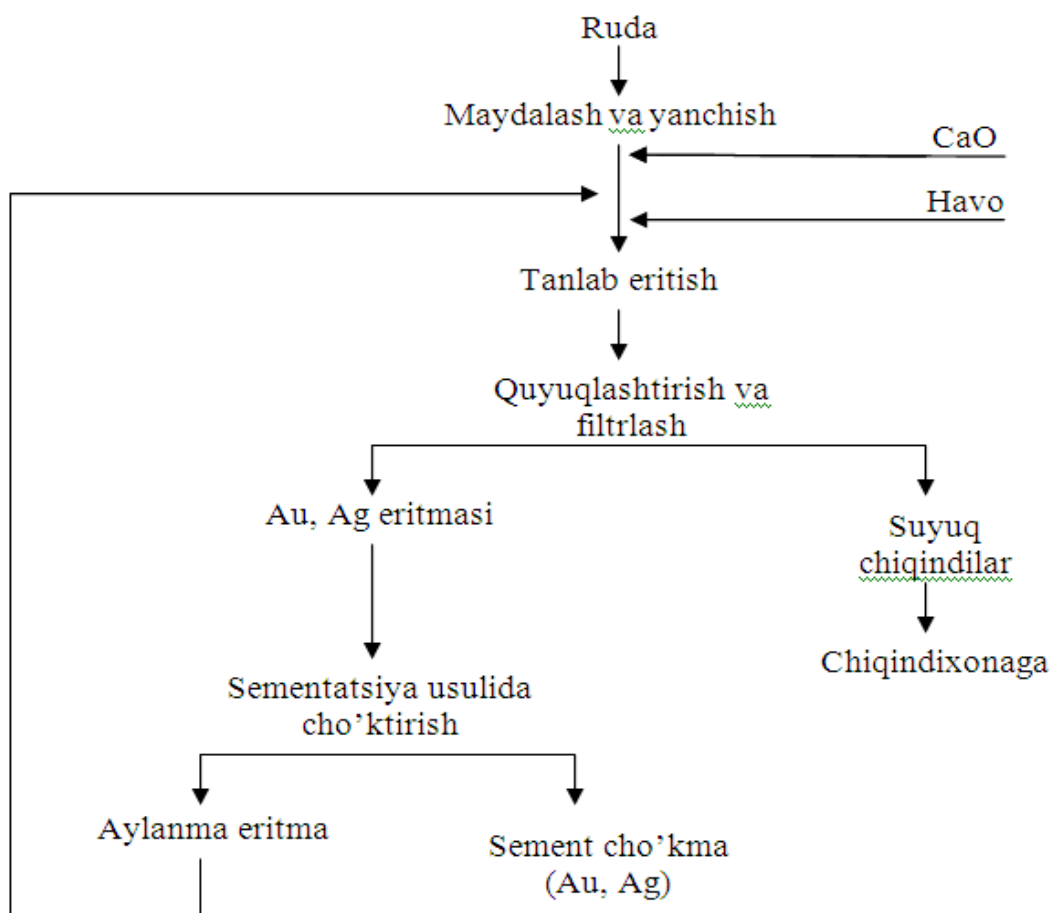


**1-rasm. Sulfidli rux boyitmasini gidrometallurgik usulda qayta ishlashning prinsipial texnologik sxemasi**

Quyida namunali gidrometallurgik sxemalarini ko'rib chiqamiz:

1-sxema: Sulfidli rux boyitmasini qayta ishlash. Dastlab sulfidli rux boyitmasi kuydiriladi va soʻngra hosil boʻlgan kuyindi sulfat kislota eritmasida tanlab eritiladi. Rux eritmadan soʻngra elektroliz usulida metallik holda choʻktiriladi (1-rasm).

2-sxema: Oltin saqlovchi kvarts rudalarini qayta ishlash. Dastlab rudalar maydalanadi va yanchiladi, tanlab eritish jarayoniga yuboriladi. Soʻngi eritma filtrlanadi va eritmadagi oltin rux kukuni ishtirokida sementasiyalanadi yoki elektroliz usuli bilan metallik holda choʻktiriladi (2-rasm).



**2-rasm. Oltin tarkibli rudalarni gidrometallurgik usulda qayta ishlashning prinsipial texnologik sxemasi**

Yuqoridagilardan koʻrinib turibdiki, kon mahsulotlaridan metallarni gidrometallurgiya usuli bilan ajratib olish koʻp bosqichli murakkab jarayondir. Har bir bosqich esa oʻz navbatida turli tarmoqlarga boʻlinadi va maʼlum fizik va kimyoviy qonunlarga boʻysunadi. Bu qonuniyatlarning amaliy tadbqiqini oʻrganish va ularni rivojlantirish gidrometallurgiya jarayonlari fanining vazifasiga kiradi.

# 1-BOB. ELEKTROLIT ERITMALARNING TERMODINAMIKASI

## 1.1. Tanlab eritish turlari. Erituvchilarni tanlash va sinflash

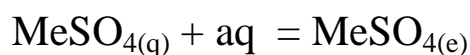
Kon mahsulotlari (ruda va boyitma) tarkibida metallar tug‘ma (Au, Ag, Pt) yoki har xil birikmalar holida (MeS, MeO, MeCO<sub>3</sub> va boshqalar) bo‘ladi. Bundan tashqari, ularning tarkibida keraksiz birikmalar (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, FeS, FeO va boshqalar) bo‘lishi mumkin. Kerakli metallni keraksiz moddalardan gidrometallurgiya usuli bilan ajratib olish uchun kon mahsuloti maxsus sharoitda, maxsus kimyoviy modda (reagent)ning suvdagi eritmasi bilan aralashtiriladi. Bunda kerakli metall yoki uning birikmasi reagent bilan reaksiyaga kirishib, suvda yaxshi eriydigan modda hosil qiladi va metall eritmaga o‘tadi. Keraksiz birikmalar esa o‘z holicha koladi. Bu jarayon – tanlab eritish deb ataladi.

Tanlab eritish jarayoni murakkab jarayon bo‘lib, metallni to‘liq, eritmaga o‘tkazish uchun ma’lum vaqt va maxsus sharoit (harorat, bosim, aralashtirish shiddati) talab qilinadi.

Tanlab eritiladigan moddaning xususiyatiga va kimyoviy tarkibiga qarab, erituvchi moddaning qimmatbaho komponent bilan ta’sirlashuv mexanizmi turli bo‘lishi mumkin.

### *Oddiy tanlab eritish (erish)*

Oddiy erish holati metall qattiq fazada suvda eruvchi holatda mavjudligida kuzatiladi. Tanlab eritish natijasida qattiq fazadagi moddalar kimyoviy tarkibini o‘zgarmasdan eritmaga quyidagi sxema orqali o‘tadilar:



yoki

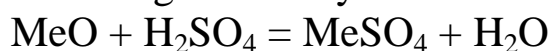


Bu yerda: aq – erituvchi (suv).

Masalan, og‘ir rangli metallarni sulfatlovchi yoki xlorlovchi kuydirishdan so‘ng suvda tanlab eritish.

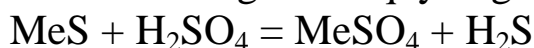
Almashuvchi reaksiyalar bilan oqib boradigan tanlab eritish (erish) Bu turdagi tanlab eritishning uch xil ko‘rinishi mavjud:

Metall oksidi kislota bilan ta’sirlashuvi natijasida eruvchan tuz va suv hosil bo‘lishi bilan oqib boradigan reaksiyalar. Masalan, oksidlovchi kuydirish natijasida hosil bo‘lgan rux kuyindilarini tanlab eritish.

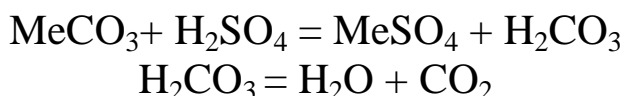




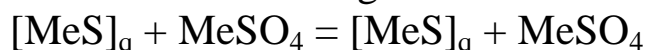
Birikma anionlarining gaz fazasiga o'tishi bilan, MeS, MeCO<sub>3</sub> turdagi qiyin eruvchi birikmalarning erishi quyidagicha:



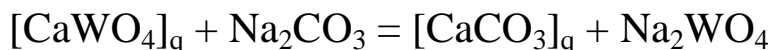
yoki



Ajratib olinadigan metallning (Me) qiyin eruvchi birikmasi ikkinchi metallning (Me') eruvchan tuzi bilan ta'sirlashuvi bilan boradigan tanlab eritish. Bu turdagi tanlab eritish natijasida ikkinchi metallning kam eruvchi birikmasi va birinchi metallning eruvchan tuzi hosil bo'ladi.

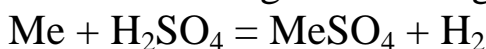


Bu turdagi tanlab eritishga sheyelitni avtoklavlarda soda bilan eritish reaksiyasi misol bo'lishi mumkin:



#### *Metall oksidlanishi bilan boradigan tanlab eritish (erish)*

Bu turdagi tanlab eritishning ham uch xil ko'rinishi mavjud: Kislolaning vodorodi tiklanishi hisobiga metallning oksidlanishi:

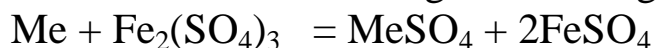


Bu mexanizm bo'yicha barcha elektrmanfiy metallarning erish jarayoni sodir bo'ladi.

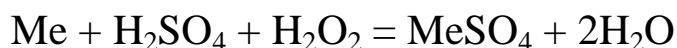
Havo kislorodi hisobiga metallning oksidlanishi:



Bu jarayon elektrmusbat metallarning erishida kuzatiladi. Jarayonga qo'shiladigan oksidlovchi moddalar hisobiga metallning oksidlanishi:

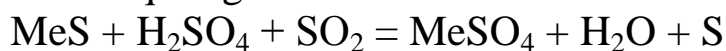


yoki

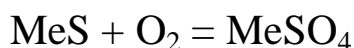


#### *Anionning oksidlanishi bilan boradigan tanlab eritish (erish)*

Qator hollarda erimaydigan metall birikmalarini eritmaga o'tkazish uchun, metallni erimaydigan birikma holatiga bog'lagan anionni va metallning o'zini bir vaqtning o'zida oksidlash lozim:



yoki



Shuningdek, past valentlikkacha tiklanish xususiyatiga ega bo'lgan

ionlar bilan anionlarni oksidlash:



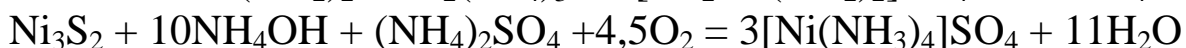
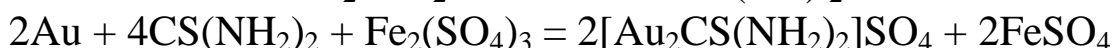
### *Metallni tiklanishi bilan boradigan tanlab eritish (erish)*

Bu holat ajratiladigan metall bir nechta oksidlanish darajasiga ega bo'lgan ionlarni hosil qilganida kuzatiladi. Masalan, o'z tarkibiga oksidlanish darajasi yuqori qiymatga ega metallni olgan erimaydigan birikma, u metallning tiklanishi natijasida past oksidlanish darajasiga o'tganda eruvchi holatga o'tadi:



### *Kompleks hosil qilish bilan boradigan tanlab eritish (erish)*

Bu turdagi tanlab eritish jarayonini quyidagi reaksiyalar orqali ifodalash mumkin:



Tanlab eritiladigan metallni kompleks birkmaga o'tkazish jarayonning tanlovchanligini oshirishga olib keladi va metallni erituvchida erish tezligini oshiradi.

### *Tanlab eritish jarayonlarining tavsifi*

- tanlovchanlik (selektivlik), kerakli erituvchini, uning konsentratsiyasini tanlash, tanlab eritish jarayonining haroratini, pH ko'rsatkichini va jarayonning davomiyligini boshqarish;

- geterogenlik – tanlab eritish jarayonida kamida ikkita faza (qattiq va suyuq) yoki uchta faza ishtirok etadi (qattiq, suyuq va gazsimon);

- ko'p bosqichlilik;

- tanlab eritish jarayoni bir nechta bosqichlar bilan tavsiflanadi, bosqichlarning biri eng sekin bosqich bo'ladi (limitlovchi bosqich) va jarayonning umumiy tezligini aniqlaydi, misol uchun oltinni sianid eritmalar bilan tanlab eritish jarayonida beshta bosqich bor (havodagi kislorodni eritmada erishi, oltin zarrachasining yuzasiga erigan kislorodni va sianid ionining diffuziyasi, kimyoviy reaksiya, hosil bo'lgan oltin sianid kompleksining eritma hajmiga diffuziya yo'li bilan o'tishi);

- ajratib olinadigan moddaning fizika-kimyoviy xususiyati – tanlab

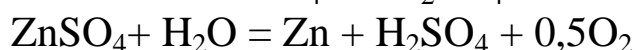
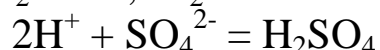
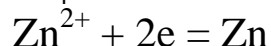
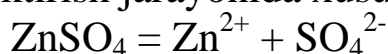
eritish mexanizmini aniqlovchi tavsifdir, masalan, bir nechta metallarning tuzlari suvda yaxshi eriydi, bunda modda hech qanday kimyoviy o'zgarishsiz eritmaga o'tadi;

- oddiy erish jarayoni;
- kimyoviy o'zgarishlar bilan boradigan tanlab eritish jarayoni, masalan, oltinni sianli eritmalarda erishi.

### *Erituvchilarni tanlash va sinflash*

Gidrometallurgik jarayonlarda metallni qattik fazadan suyuq fazaga o'tkazish uchun turli xildagi erituvchilarning (ajratib olinadigan moddaga qarab) suvdagi eritmasi ishlatiladi. Erituvchi moddalarni tanlashda quyidagi talablarni inobatga olish kerak:

- tanlab eritish tabiati (kimyoviy yoki fizikaviy tanlab eritish);
- erituvchining narxi;
- tanlab eritish jarayonida qo'llaniladigan dastgohga erituvchining ta'siri (korroziya);
- jarayonning tanlovchanligi;
- erituvchining xususiyatini qayta tiklash imkoniyati (masalan, rux kuyindisini sulfat kislotasi bilan tanlab eritishda, sulfat kislotasi ruxni elektroliz usuli bilan cho'ktirish jarayonida xususiyatlarini qayta tiklaydi);



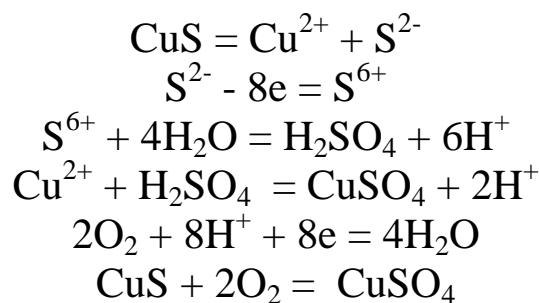
- unsur moddalarning kam miqdorda erishi (erituvchi moddaning kam konsentratsiyasi, eritishning minimal harorati, tanlab eritishning qisqa davomiyligi).

Erituvchilarni quyidagi sinflarga bo'lish mumkin:

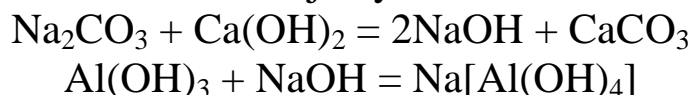
1. Suv – sulfatlovchi yoki xlorlovchi kuydirish mahsulotlarini tanlab eritishda qo'llaniladi. Masalan, molibdenit minerali ( $\text{MoS}_2$ ) boyitmalarining tarkibida ma'lum miqdorda uchraydigan reniy disulfidini ( $\text{ReS}_2$ ) ko'p tubli yoki qaynar qatlam pechlarida kuydirishda gaz fazasiga o'tgan oksidlangan reniy (VII)-oksidini ( $\text{Re}_2\text{O}_7$ ) ni tanlab eritish:



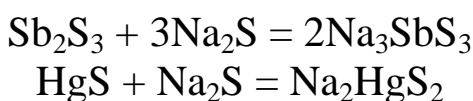
yoki avtoklavlarda sulfidlarga ishlov berish natijasida olingan sulfatlarni tanlab eritish:



2. Tuzlarning suvdagi eritmalari – bunga alyuminiy minerallarini soda eritmalari bilan tanlab eritish jarayoni misol bo‘lishi mumkin:



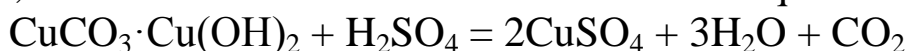
yana bitta misol sifatida simob va surma sulfidlarini tanlab eritilishini olish mumkin:



3. Kislotalar – nordon eritmalarda erish qobiliyatidan foydalanib ajratib olishda foydalaniladi.

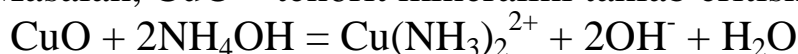
- sulfat kislota  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – mis va rux gidrometallurgiyasida eng keng tarqalgan erituvchi;

Masalan, misni malaxit mineralidan tanlab eritishda qo‘llaniladi:



- xlorid ( $\text{HCl}$ ) va nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) kislotalari volfram va molibden gidrometallurgiyasida qo‘llaniladi;

- ishqorlar –  $\text{NaOH}$  va ammoniy gidroksidi volfram va molibden gidrometallurgiyasida va oksidlangan mis minerallarini tanlab eritishda qo‘llaniladi. Masalan,  $\text{CuO}$  – tenorit mineralini tanlab eritish:



## 1.2. Asosiy termodinamik tushunchalar

Harakat materiyaning mavjudlik shakli bo‘lib, energiya moddalar harakatining o‘lchovidir. Energiya har - xil: issiqlik, yorug‘lik, mexanik va boshqa xil ko‘rinishga ega. Issiqlik energiyasi bilan boshqa xil energiyalar orasida bo‘ladigan munosabatlarni o‘rganadigan ta’limot termodinamika deb ataladi. Kimyoviy jarayonlarni termodinamika nuqtai nazaridan tekshirish masalasi kimyoviy termodinamikaning mazmunini tashkil qiladi.

Kimyoviy termodinamika, moddalarni o‘zaro ta’sirlashuv jarayonining miqdoriy tavsifini, kimyoviy reaksiyaga kirishuvchi moddalarning bir-biriga kimyoviy yaqinlik darajasini va shuning asosida

o'rganilayotgan kimyoviy reaksiyaning yo'nalishi yoki fazoviy o'zgarishini, turli kimyoviy reaksiyalarda muvozanat holatlarga erishish sharoitlarni, qiyin tajribalarni o'tkazmasdan, hisobiy yo'l bilan aniqlashga imkon beradi.

Kimyoviy termodinamikada quyidagi tushuncha va atamalar qo'llanadi. "Sistema" – tashqi muhitdan ajralgan deb faraz qilingan jism yoki jismlar guruhi. Sistemani tashkil qiluvchi moddalar bir-biriga ta'sir etib turadi. Agar sistema bilan tashqi muhit orasida modda va energiya almashinuvi bo'lmasa, bunday sistema o'ralgan (**izolyatsiyalangan**) sistema deyiladi.

Sistemalar gomogen (bir jinsli) va geterogen (ko'p jinsli) bo'ladi. Agar sistemani tashkil qiluvchi jismlar bir xil fizikaviy va kimyoviy xossalarga ega bo'lsa, bunday sistema gomogen sistema deb nomlanadi. Agar sistemani tashkil qiluvchi jismlar bir-biri bilan ajralish chegarasi bilan tavsiflansa (turli xossalarga ega bo'lgan fazalar) bunday sistema geterogen sistema deb nomlanadi.

Sistemaning holati quyidagi termodinamik ko'satkichlar bilan tavsiflanadi: harorat, bosim, hajm, konsentratsiya, ichki energiya. Sistemaning termodinamik ko'satkichlarining o'zgarishi termodinamik jarayonning paydo bo'lishiga olib keladi.

Agar ma'lum vaqt davomida, termodinamik ko'satkichlar o'zgarmasa bunday holat muvozanat holati deb nomlanadi.

### *Asosiy termodinamik tushunchalar*

"Ichki energiya" - U harfi bilan belgilanadi. Sistemaning ichki energiyasi uning umumiy energiyasi bilan o'lchanib, sistemaning faqat kinetik energiyasi hisobga olinmaydi. Demak, sistemaning ichki energiyasi undagi molekulalarning o'zaro tortilish va itarilish energiyasi, ilgariylanma va aylanma harakat energiyasi, molekula ichida, atom va atomlar guruhining tebranish energiyasi, atom yadrosida bo'lgan energiya va hokazo energiyalar yig'indisiga teng.

Jismdagi ichki energiyaning mutloq qiymatini o'lchab bo'lmaydi. Ichki energiyaning kamayishi yoki ko'payishini aniqlash mumkin.

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

bu yerda:  $\Delta U$  – ichki energiyaning o'zgarish miqdori, uning qiymati sistemaning dastlabki ( $U_1$ ) va oxirgi ( $U_2$ ) holatiga bog'liq.

"Erkin energiya". Ichki energiyaning faqat ma'lum qismi ishga aylanishi mumkin. Jism energiyasining ishga aylanishi mumkin bo'lgan

qismi uning erkin energiyasi, ishga aylana olmaydigan qismi esa bog‘langan energiyasi deb ataladi:

$$U = F + Q$$

bu yerda:  $U$  – jismning ichki energiyasi;  $F$  – erkin energiya;  $Q$  – bog‘langan energiya.

Erkin energiya jismda potensial energiya holida bo‘ladi. Jism ish bajarganda uning erkin energiyasi kamayadi. Masalan, dastlab jismning erkin energiyasi  $F_1$ , jism ma‘lum ish bajargandan keyin uning erkin energiyasi  $F_2$  bo‘lsin, u holda o‘zgarmas hajmda bo‘ladigan qaytar izotermik jarayon natijasida bajarilgan eng ko‘p ish  $F_1$  va  $F_2$  orasidagi ayirmaga teng bo‘ladi:

$$A_v = F_1 - F_2 = -\Delta F$$

O‘zgarmas bosimda sodir bo‘ladigan qaytar izobarik jarayon vaqtida bajarilgan ishning qiymati dastlabki va oxirgi izobarik potenciallar  $G_1$  va  $G_2$  orasidagi ayirmaga teng.

$$A_r = G_1 - G_2 = -\Delta G$$

Sistemadagi erkin energiyaning kamayishi izometrik qaytar jarayonda bajarilishi mumkin bo‘lgan eng ko‘p ishning o‘lchovidir. Bu ish esa, o‘z navbatida, moddalarning kimyoviy reaksiyaga kirishish qobiliyatining (yoki kimyoviy moyilligining) o‘lchovidir.

“Bog‘langan energiya”  $Q = T\Delta S$  tenglama bilan ifodalanadi. Bu yerda:  $\Delta S$  – jarayon vaqtida entropiyaning o‘zgarishi.

Sistemaning bir holatdan ikkinchi holatga o‘tishi jarayonida o‘zgarishi mumkin bo‘lgan ichki energiya miqdori bilan o‘zgargan erkin va bog‘langan energiyaning o‘zaro munosabatini quyidagi tenglamalar orqali ifodalash mumkin.

O‘zgarmas hajmda boradigan jarayonlar uchun,

$$\Delta F = \Delta U - T\Delta S$$

o‘zgarmas bosimda boradigan jarayonlar uchun esa

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Jarayon davomida sistema erkin energiyasining o‘zgarish qiymati  $\Delta G$  Gibbs energiyasi deb ataladi;  $\Delta H$  – entalpiya o‘zgarishi. Entalpiya – son jihatdan o‘zgarmas bosimda olib borilayotgan jarayonning teskari ishora bilan olingan issiqlik samarasiga teng.

“Kimyoviy potensial”. Eritmalarda sodir bo‘layotgan termodinamik o‘zgarishlarni izohlash uchun kimyoviy potensial degan tushuncha qo‘llaniladi va u  $E$  harfi bilan belgilanadi.

$$E = \Delta G/n$$

Eritmaning Gibbs energiyasini qiymati eritmadagi moddalar kimyoviy potentsiallarining shu moddalar mollari soniga ko'paytmasining yig'indisiga teng ( $G = \sum E_i n_i$ ).

Modda kimyoviy potentsialining qiymati, shu moddaning qaysi fazada turganligiga, holatiga, tabiatiga, haroratga, bosimga va konsentratsiyasiga, hamda sistemadagi boshqa moddalar konsentratsiyalariga bog'liq bo'ladi.

### 1.3. Termodinamika qonunlari

Termodinamik parametrning o'zgarishi bilan boradigan jarayonga termodinamik jarayon deyiladi.

**Ichki energiya** – sistemani tashkil etgan hamma tarkibiy bo'laklarning bir-biriga ta'sirini potentsial energiyasi bilan ularning harakatini kinetik energiyalari yig'indisiga teng.

**Termodinamikaning 1-qonuni:** energiya yo'qdan bor bo'lmaydi yoki abadiy dvigatel yaratib bo'lmaydi.

$$\Delta Q = \Delta U + A$$

Bu yerda:  $Q$  – berilgan issiqlik miqdori;  $\Delta U$  – ichki energiya o'zgarishi;  $A$  – bajarilgan ish.

Bu termodinamikani birinchi qonunining matematik ifodasidir. Shunday qilib, termodinamik sistemaga berilgan issiqlik miqdori ( $\Delta Q$ ) uning ichki energiyasi ( $\Delta U$ ) ortishiga va sistemani tashqi kuchlarga nisbatan ( $A$ ) ish bajarishiga sarf bo'ladi.

Ma'lumki, barcha jarayonlar sistema energiyasining o'zgarishi bilan amalga oshadi. Umuman, har qanday jarayonning borishi energiyaning saqlanish qonuniga bo'ysunadi. Masalan, bir jismga ortiqcha issiqlik berilsa (qizdirilsa), avval jism qiziy boshlaydi, ya'ni uning ichki energiyasi (atom, molekula va boshqa zarrachalar energiyalari yig'indisi) o'zgaradi, keyinchalik bu jism o'zidan atrof-muhitga issiqlik chiqara boshlaydi, ya'ni tashqi muhitga nisbatan ish bajaradi.

Jarayonlar (reaksiyalar) o'zgarmas hajmda borishi mumkin. Bunday jarayonni *izoxorik jarayon* deyiladi ( $V = \text{const}$ ,  $\Delta V = 0$ ).

Ba'zi jarayonlar o'zgarmas bosimda borishi mumkin, Bunday jarayonlar *izobarik jarayonlar* deyiladi ( $P = \text{const}$ ,  $\Delta P = 0$ ).

Izoxorik jarayonda bajarilgan ish  $A = P \cdot \Delta V$  ekanligini e'tiborga olsak, u holda izoxorik jarayonlarning issiqlik effekti:  $Q_v = \Delta U + P \Delta V$  bo'lib,  $A = P \cdot \Delta V = 0$  bo'lgani uchun  $Q_v = \Delta U$  bo'ladi. Demak, hajm o'zgarmasdan boradigan jarayonlarning issiqlik effekti shu sistema ichki

energiyasining o'zgarishiga teng. Ichki energiya boshqa turdagi energiyalar singari sistema holatining funksiyasi hisoblanib, sistemaning dastlabki holati bilan oxirgi holatiga bog'liq:

$$\Delta U = U_{\text{ox}} - U_{\text{bosh}};$$

Bu yerda:  $U_{\text{ox}}$  va  $U_{\text{bosh}}$  – sistemaning oxirgi va dastlabki holatdagi ichki energiyalari, kJ/mol.

Izobarik jarayonlar uchun  $Q_p = \Delta U + PV$  bo'ladi. Ularning qiymatlari o'rniga qo'yilsa,  $\Delta U = U_2 - U_1$  va  $\Delta V = V_2 - V_1$  ekanligini e'tiborga olsak,  $Q_p = (U_2 - U_1) + P(V_2 - V_1) = (U_2 + PV_2) - (U_1 + PV_1)$  bo'ladi. Bu ifodadagi  $(U + PV)$  yig'indi sistemaning biror holatini belgilab:  $(U + PV) = H$  ga tengdir. Bu yerda:  $H$  – entalpiya sistemaning issiqlik tutumi deyiladi.

Demak, izobar jarayonlarning issiqlik effekti  $Q_p = \Delta H$  bo'lib, u sistema entalpiyasining o'zgarishiga teng:

$$Q_p = H_{\text{ox}} - H_{\text{bosh}} = \Delta H$$

**Entalpiya va termokimyoviy jarayonlar.** Har qanday reaksiyaning issiqlik effekti uning qanday va necha bosqichda borganligiga emas, balki moddalarning boshlang'ich va oxirgi holatlariga bog'liqdir. Bu **Gess qonuni** deyiladi va uning matematik ko'rinishi quyidagicha:

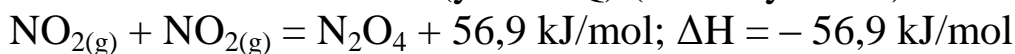
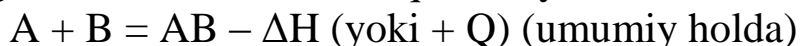
$$\Delta H_{\text{reaksiya}} = \sum H^{\text{h.b.}}_{\text{mahsulot}} - \sum H^{\text{h.b.}}_{\text{dast. modda}}$$

Bu ifodada  $\Delta H^{\text{h.b.}}$  – moddalarning “hosil bo'lish issiqligi” bo'lib, uning ma'nosi – oddiy moddalardan “1 mol” murakkab modda hosil bo'lishida ajralib chiqadigan (yoki yutiladigan) issiqlik miqdoridir. Kimyoviy reaksiyalarning issiqlik effektlarini hisoblashda standart hosil bo'lish issiqligi qiymatidan foydalaniladi. Bu yerda:  $\sum H^{\text{h.b.}}_{\text{mahsulot}}$  – reaksiya natijasida hosil bo'lgan moddalar hosil bo'lish issiqliklarining;  $\sum H^{\text{h.b.}}_{\text{dast. modda}}$  – reaksiyaga kirishayotgan moddalar hosil bo'lish issiqliklarining yig'indisi.

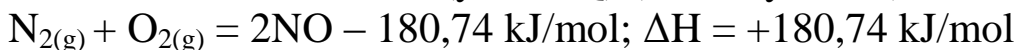
Moddalarning standart sharoit ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  yoki  $298\text{ }^{\circ}\text{K}$  va  $101,325\text{ kPa}$ ) da o'lchangan hosil bo'lish issiqligi shu moddaning *standart hosil bo'lish issiqligi yoki entalpiyasi deyiladi*,  $\Delta H^{\circ}_{298}$  yoki  $\Delta H_{f,298}$  holida belgilanadi. Shuni unutmaslik kerakki, oddiy moddalar (Fe, C, S, Cr, Al, Si,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{I}_2$ ,  $\text{F}_2$  va hokazo)ning standart hosil bo'lish issiqliklari qiymati nolga teng, ya'ni –  $\Delta H^{\text{h.b.}}_{298} = 0\text{ kJ/mol}$ . Boshqa ba'zi moddalar uchun  $\Delta H^{\text{h.b.}}_{298}$  ning qiymatlari ilovadagi jadvallarda yoki fizik-kimyoviy so'rovnomalarda keltirilgan bo'ladi. Shu jadvallardagi qiymatlardan va Gess qonunining matematik ifodasidan foydalanib, har qanday kimyoviy jarayonning issiqlik effekti va biror reaksiyada ishtirok etayotgan moddaning hosil bo'lish issiqligi qiymatlarini hisoblash mumkin.



Agar kimyoviy reaksiya natijasida issiqlik chiqsa ( $\Delta H < 0$ ) sistema entalpiyasi kamayadi, bunday jarayonlar **ekzotermik jarayonlar** deyiladi. Reaksiya tenglamasida  $-\Delta H$  ifodasi qo‘shib yoziladi:



Agar kimyoviy reaksiya natijasida issiqlik yutilsa, ( $\Delta H > 0$ ) sistema entalpiyasi (issiqlik saqlami) ortadi. Bunday jarayonlar **endotermik jarayonlar** deyiladi. Reaksiya tenglamasida  $+\Delta H$  ifoda qo‘shib yoziladi:



Agar kimyoviy reaksiya tenglamasida ajralib chiqadigan yoki yutiladigan issiqlik miqdori ko‘rsatilsa, bunday tenglama **termokimyoviy tenglama** deyiladi. Yuqoridagi tenglamalar termokimyoviy tenglamalardir.

Izoxorik jarayonlardan boshqa har qanday termodinamik jarayonga energiyaning bir qismi kengayish ishiga sarflanadi. Izoxorik jarayonda sistemaga berilgan energiya faqat uning ichki energiyasining o‘zgarishiga sarflanadi. Izoxorik jarayonlarni xarakterlash uchun entalpiya (H) degan funksiya kiritilgan.

$$H=U+pV$$

Entalpiyaning absolyut qiymatini yuqoridagi tenglama yordamida hisoblab bo‘lmaydi. Shuning uchun amalda entalpiyaning o‘zgarishi  $\Delta H$  aniqlanadi.

$$\Delta H=H_2-H_1$$

Entalpiya ham ichki energiya kabi holat funksiyasidir. Uning o‘zgarishi sistemaning faqat boshlangich va oxirgi holatlariga bog‘liq. Ichki energiyaning o‘zgarishi

$$\Delta U=\Delta H-p\Delta V$$

bo‘ladi. Gaz holatdagi moddalar uchun

$$p\Delta V=RT\Delta n$$

bo‘lganligi uchun.

$$\Delta U=\Delta H - \Delta nRT$$

Bunda  $\Delta n$  – jarayon vaqtida o‘zgargan moddaning mollar sonini ko‘rsatadi. Xulosa qilib aytadigan bo‘lsak, ichki energiya va entalpiyaning qiymati qanday o‘zgarishiga qarab, sistemaning (moddaning) kimyoviy energiyasi ortishini yoki kamayishini oldindan aytish mumkin.

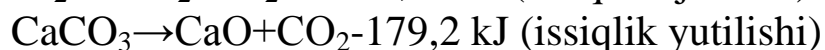
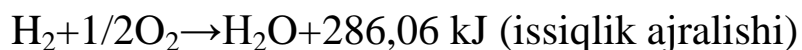
Yutilgan yoki chiqarilgan energiya miqdori reaksiyaning issiqlik effekti deyiladi. Kimyoviy termodinamika jarayonlarining issiqlik

effektini, moddalarning issiqlik sigʻimlarini oʻrganadigan boʻlimga **termokimyo** deyiladi. Issiqlik effekti odatda, reaksiyaga kirishayotgan 1 mol modda uchun va kilokaloriya (kkal) va kiloJoullarda (kJ) ifodalanadi. Oddiy moddalardan 1 mol murakkab hosil boʻlishida ajralib chiqqan yoki yutilgan issiqlik shu murakkab moddaning hosil boʻlish issiqligi deyiladi. Issiqlik effekti tajribada kalorimetr yordamida oʻlchanadi.

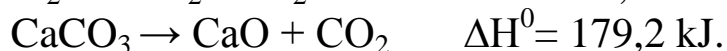
Termokimyo yordamida olingan maʼlumotlar kimyoviy ishlab chiqarishning optimal texnologik rejimlarini tanlashga shuningdek, moddalarning energetik tavsiflari bilan ularning tuzilishi, tarkibining barqarorligi va reaksiyaga kirishish xususiyati orasidagi bogʻlanishini aniqlashga imkon beradi.

Termodinamikada sistemaga berilgan yoki unga yutilgan issiqlik musbat, sistemadan olingan, yaʼni undan ajralib chiqqan issiqlik esa manfiy ishora bilan belgilanadi.

Masalan:



Bu reaksiyalarning birinchisida issiqlik chiqadi, shuning uchun musbat ishora qoʻyilgan, ikkinchisida esa issiqlik yutiladi va unda manfiy ishora qoʻyilgan. Bu reaksiyalarni termokimyoviy ifodalash talab qilinsa quyidagicha boʻladi:



**Termodinamikaning 2-qonuni.** Termodinamikaning birinchi qonuni tabiatdagi jarayonlarning yoʻnalishini aniqlab bermaydi. Masalan, maʼlum tezlik bilan harakatlanayotgan omashinaning kinetik energiyasi tormozlanish natijasida issiqlikka aylanadi va atrof-muhitga sochiladi. Mana shu sochilgan energiya oʻz-oʻzidan yigʻilib, mashinaning kinetik energiyasiga aylanmaydi.

Tajribalardan maʼlumki, issiqlik oʻz-oʻzidan hamma vaqt issiq jismdan sovuqroq jismga oʻtadi. Ammo teskari jarayon oʻz-oʻzidan amalga oshmaydi. Mana shunday jarayonlar termodinamikaning birinchi qonuniga zid emas, chunki bunda issiqlik va ish oʻrtasida maʼlum bir munosabat bajariladi. Masalan, birdan-bir natijasi biror jismdan olingan issiqlikni unga ekvivalent boʻlgan ishga aylantiradigan jarayon termodinamikaning birinchi qonuniga zid emas.

Yuqorida keltirilgan va boshqa koʻp tajriba natijalariga asoslanib quyidagi xulosaga kelamiz, yaʼni abadiy ishlaydigan mashinaning

ikkinchi turini vujudga keltirib bo'lmaydi. Buni ko'pincha *termodinamikaning ikkinchi qonuni* deb ham yuritiladi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni tabiatda bo'layotgan jarayonlarning o'tish yo'nalishini va tavsifini aniqlab beradi.

#### **1.4. Eritmalar va ularning xossalari**

Ko'pchilik kimyoviy o'zgarishlar, shu jumladan texnologik jarayonlar ham eritmalarda kechadi, ayniqsa gidrometallurgik jarayonlarda metallarni ajratib olishdagi asosiy jarayonlar eritmalarda boradi.

Eritmalar – ikki yoki undan ortiq komponentdan iborat bo'lgan gomogen sistemalaridir. Eritmalar agregat holatiga qarab qattiq, suyuq, gazsimon holatlarda bo'ladi. Eritmalar ichida asosan suyuq eritmalar katta ahamiyatga egadir. Suyuq eritmalardan ayniqsa, suvli eritmalar ko'plab sohalarda qo'llaniladi. Eritmalarning hosil bo'lishini fizikaviy va kimyoviy nazariyalar orqali tushuntiriladi.

D.I. Mendeleev moddalarning eritmalardagi holatini tekshirib, erish jarayonining kimyoviy xususiyati to'g'risidagi tushunchani rivojlantirdi. U eritmada erigan modda va erituvchidan iborat birikmalar hosil bo'ladi, degan xulosaga keldi. Bunday birikmalar *solvatlar* deb ataldi. Agar erituvchi sifatida suv bo'lsa, eritmada hosil bo'lgan birikmalar *gidratlar* deyiladi. D.I. Mendeleevning gidratlar nazariyasi eritmalar haqidagi hozirgi zamon ta'limotining asosidir. Eritma bug'latilganda, ko'pincha suv bilan gidrat tarkibiga kirgan suv ham bug'lanib ketadi, ya'ni gidrat parchalanadi va erigan moddaning o'zi qoladi. Ba'zan esa gidrat shu qadar barqaror bo'ladiki, eritma bug'latilganda yoki konsentrlangan eritma sovtilganda faqat gidrat tarkibiga kirmagan suv bug'lanib, gidrat esa parchalanmaydi, u muayyan miqdordagi suv bilan bog'langan holda kristallanadi. Bunday kristallar *kristallgidratlar* deb, ularning tarkibidagi suv esa kristallik suv deb ataladi. Qattiq moddalar eriganda kristallar sirtqi qavatlaridan boshlab, asta-sekin parchalanadi.

#### *Dispers sistemalar: emulsiya va suspenziyalar*

Biri ikkinchisida juda mayda zarrachalar holida tarqalgan ikkita (va undan ortiq) moddadan iborat sistema *dispers sistema* deyiladi. Tarqalgan modda dispers faza, dispers faza tarqalgan modda esa dispersion muhit deyiladi.

Eritmalarda dispers faza (eritmada tarqalgan modda) zarrachalarini koʻz yoki ultramikroskop yordamida koʻrish mumkin. Chin eritmalarini hosil qilgan zarrachalar diametri 1 nm ( $1 \cdot 10^{-9}$  metr) dan ham kichikroq boʻladi. Kolloid eritmalarda loyqa (suspensiya)lar zarrachalari diametri 100 nm kattaroq boʻlib, bu zarrachalar qisqa vaqt davomida eritma tagiga choʻkishi mumkin (*dagʻal dispers sistemalar*).

Ikkita bir-birida erimaydigan suyuq moddalar oʻzaro maydalangan dispers holatdagi aralashma – *emulsiyani* hosil qilishi mumkin (bunday sistemaga mayda yogʻ tomchilarining suvda tekis tarqalgan holati – sutni misol keltirish mumkin). Bunday dispers sistemalardagi zarrachalarning diametri 100 nm katta boʻlishi mumkin.

Maydalangan qattiq modda suyuqlikda tarqalgan sistemalar *suspensiyalar* (boʻtana) deyiladi. Masalan: boʻrning qattiq kukuni suvda chayqatilsa yoki ruda jinslarini suvda eritilsa suspensiya (boʻtana) hosil boʻladi.

Agar dispers sistemadagi zarrachalar 100 nm dan kamroq boʻlsa, ularni *mayin (nozik) dispers sistemalar* deb ataladi. Umuman olganda diametri 1-100 nm oraligʻidagi mayin dispers sistemalar turgʻun boʻlib, oʻlchami 100 nm dan kattaroq boʻlgan dagʻal dispers sistemalar qisqa vaqtda oʻz gomogenligini yoʻqotishi mumkin.

Dispers sistemalarda agregat holatlari uch xil (gaz, suyuq yoki qattiq) boʻlib, ular oʻzaro aralashganda toʻqqiz xil sistemalarni tashkil qiladi.

Dispers muhit va dispers fazaning qaysi agregat holatidan qatʻi nazar dispers sistemalarni uchta guruhga *chin eritmalar, kolloid va dagʻal dispers sistemalar*ga boʻlinadi.

- *chin eritmalar*da dispers faza molekulyar yoki ion holdagi zarrachalardan iborat; oʻlchamlari (kattalıkları) bir-biriga yaqin; ular uzoq vaqt davomida turgʻun, dispers muhit va dispers faza bir-biridan ajralishi (tashqi muhit taʻsiri boʻlmagan holatda) kuzatilmaydi; dispers faza zarrachalarining diametri 1 nm dan katta boʻlmaydi; zarrachalarni hatto ultramikroskop yordami bilan ham koʻrib boʻlmaydi; zarrachalar choʻkmaydi va barcha filtrlardan oʻtib ketaveradi;

- *kolloid sistemalar*da dispers faza zarrachalari yuzlab, baʻzan molekula yoki ionlardan tashkil topgan boʻlishi mumkin; sistema bir jinsli boʻlsa ham dispers faza zarrachalari bilan dispers muhit orasida chegara mavjud; erigan moddalar zarrachalari 1-100 nm oraligʻida boʻlishi mumkin (polidispers xususiyat); uzoq vaqt davomida qiyinchilik bilan choʻkadi; zarrachalarini faqat ultramikroskop yordamida koʻrish mumkin; kichik teshikli ultrafiltrdan oʻtmaydi; oddiy filtrdan oʻtib ketadi;

- *dag'al dispers* sistemalarda dispers faza zarrachalari qisqa vaqt davomidagina turg'un, ular tezgina ikki fazali chegara hosil qiladi (loyqa (bo'tana) cho'kishi); loyqa (bo'tana) zarrachalarini oddiy ko'z bilan ham ko'rish mumkin; osongina cho'kadi, ba'zilar bir necha minutda cho'kadi; Kolloid va dag'al dispers sistemalarda zarrachalar kattaligi har xil bo'lgan polidispers sistemalaridir.

### *To'yinmagan, to'yingan va o'ta to'yingan eritmalar*

Erish vaqtida eritma jarayoniga teskari bo'lgan kristallanish jarayoni ham namoyon bo'la boshlaydi. Dastlab erish jarayoni tez boradi, lekin eritmada zarrachalarning soni ko'paygan sari, kristallanish jarayoni tezlashadi. Ma'lum vaqt o'tganidan keyin ikkala jarayon tezligi tenglashadi, ya'ni bir sekunda nechta molekula eritmaga o'tsa, shuncha molekula kristallanadi. Bu vaqtda erigan modda bilan erimay qolgan modda orasida dinamik muvozanat qaror topadi va eritma to'yinadi. Bunday muvozanatda turadigan eritma *to'yingan eritma* deyiladi.

Erigan moddaning konsentratsiyasi shu haroratdagi to'yingan eritma konsentratsiyasidan kam bo'lgan eritma *to'yinmagan eritma* deyiladi.

Ko'pchilik qattiq moddalarning eruvchanligi harorat ko'tarilishi bilan ortadi, shuning uchun to'yingan eritmaning harorati pasayganda erigan modda cho'kmaga tushadi ya'ni kristallanish sodir bo'ladi. Biroq ba'zi moddalarning to'yingan eritmasi ehtiyotlik bilan va sekin sovitilsa, erigan moddaning ortiqchasi ajralib chiqmaydi. Bunda *o'ta to'yingan eritma*, ya'ni tarkibida ayni haroratda eruvchanligiga qaraganda ko'p erigan modda saqlagan eritma hosil bo'ladi.

## **1.5. Eritma komponentlarining kimyoviy potentsiali**

Ma'lumki, barcha gidrometallurgik jarayonlar eritmalar ishtirokida kechadi. Bunda eritmaning kimyoviy potentsialini bilish muhim ahamiyatga ega. Chunki eritma hosil bo'lishida ma'lum bir termodinamik o'zgarishlar yuz beradi.

Eritmaning hosil bo'lishi sistemaning erkin energiyasi (Gibbs energiyasi) kamayishi bilan kechadi.

Masalan, V suyuqlikda A moddaning erishi, eritma to'yingunga qadar davom etadi, A moddaning erishi sistemaning Gibbs energiyasining kamayishi bilan o'z-o'zidan boradi. Erish jarayonida A moddaning eritma to'yinmaguncha davom etadi, A moddaning erishi sistemaning

Gibbs energiyasining kamayishi bilan o‘z-o‘zidan (samoiroizvoln) boradi. Erish jarayoni A moddani eritmaga o‘tishida Gibbs energiyasining o‘zgarishi nolga tenglashganda to‘xtaydi (eritma A modda bo‘yicha to‘yingan bo‘ladi).

Gibbs energiyasi kamayishi bilan boradigan moddani eritmaga o‘tish jarayonini, suyuqlikni A idishdan V idishga oqib o‘tishi bilan taqqoslasa bo‘ladi. (1.1-rasm).

Suyuqlikni A idishdan V idishga o‘tish qobiliyati, bir massa birligiga teng bo‘lgan suyuqlik miqdori bitta idishdan ikkinchi idishga o‘tishda, bajariladigan ish ko‘rsatkichi kattaligi bilan tavsiflanadi, ya’ni A va V idishdagi suyuqlikning solishtirma potensial energiyasi farqi bilan tavsiflanadi.

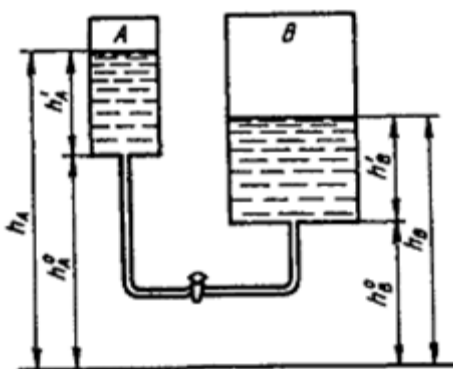
Idishdagi suyuqlikning solishtirma potensial energiyasi, idishga suyuqlik ko‘rsatkichi doimiy bo‘lganda, suyuqlikning bir massa birligi miqdori o‘zgarishidagi potensial energiyasi o‘zgarishiga teng.

$$e_p = (\partial E_p / \partial m)_h$$

Tenglamada:  $e_p$  – solishtirma potensial energiya;  $E_p$  – suyuqlikning potensial energiyasi;  $m$  - suyuqlikning massasi;  $h$  - suyuqlik ko‘rsatkichining balandligi.

Suyuqlikning potensial energiyasi  $E_p = mgh$  ga teng bo‘lganligi uchun, suyuqlikning solishtirma potensial energiyasi, suyuqlikning balandlik ko‘rsatkichi bilan aniqlanadi:

$$e_{p(A)} \approx h_A; \quad e_{p(B)} \approx h_B$$



**1.1-rasm. Moddani bir sistemadan ikkinchi sistemaga o‘tish qobiliyatini namoyon etuvchi model.**

Suyuqlikning balandlik ko'rsatkichi (solishtirma potensial energiyasi) quyidagi ikkita bir-biri bilan qo'shiladigan ko'satkichlar bilan aniqlanadi.

$h_A^0, h_B^0$  – bu ko'satkichlar idishdagi suv miqdoriga emas, idish tubining joylashishiga bog'liq.

$h_A', h_B'$  – idishdagi suv miqdoriga, idishning kesimiga (S), uning shakliga va hajmiga bog'liq.

$$h = h^0 + h'(m, s...)$$

$$e_p = e_p^0 + e_p'(m, s...)$$

Kimyoviy termodinamikada solishtirma potensial energiyaning analogi bu kimyoviy potensialdir.

Ma'lum bir fazada moddaning kimyoviy potentsiali, fazadagi moddaning miqdori 1 molga oshganda va fazadagi harorat, bosim va boshqa moddalarning konsentratsiyasi o'zgarmagan holdagi, fazaning Gibbs energiyasi oshishiga teng.

$$\mu_i = (\partial G / \partial n_i)_{T, p, n_j (j \neq i)}$$

“K” komponentli sistema uchun Gibbos energiyasining o'zgarishi

$$dG = \sum \mu_i dn_i = \mu_1 dn_1 + \mu_2 dn_2 + \dots + \mu_k dn_k$$

Tenglamani integralidan so'ng tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$G = \mu_1 n_1 + \mu_2 n_2 + \dots + \mu_k n_k$$

Shunday qilib, Gibbs energiyasi har bir komponentlarning kimyoviy potentsialini moddaning mol miqdori ko'paytmalarining yig'indisiga teng.

Modda kimyoviy potentsialining ko'rsatkichi, moddaning va fazaning tabiati bilan aniqlanadi, shuningdek, kimyoviy potentsial ko'rsatkichiga harorat, bosim, moddaning konsentratsiyasi, va boshqa moddalarning konsentratsiyasi ham ta'sir etadi, chunki faza tarkibiga kiruvchi moddalar o'zaro ta'sirlashishadi. Kimyoviy potentsialni, solishtirma potensial energiya kabi quyidagi yig'indi ko'rinishida yozish mumkin:

$$\mu_i = \mu_i^0(T, p) + \mu_i'(T, p, n_1, n_2, \dots, n_k)$$

Tenglamadagi  $\mu_i^0(T, p)$  qismi faza va komponentning xossalari bilan aniqlanadi va u fazaning tarkibiga bog'liq emas.

Bitta moddaning har xil fazalardagi kimyoviy potentsial

ko'satkichlarini taqqoslash, moddani bir fazadan ikkinchi fazaga o'tish qobiliyati to'g'risida xulosa qilish mumkin. Masalan, agar kristallik ko'rinishidagi moddaning kimyoviy potentsiali, bu moddaning eritmadagi (erigan holatdagi) kimyoviy potentsialidan ko'p bo'lsa bu modda eritmaga o'tadi (eriydi). Erish jarayoni, erigan moddaning kimyoviy potentsiali, bu moddaning kristallik holatdagi kimyoviy potentsiali bilan tenglashganda to'xtaydi.

### 1.6. Ideal va real eritmalarining termodinamik xossalari

Ideal eritmalar deb bir xil agregat holatidagi va istalgan tarkibiy qismlardan hosil bo'ladigan, issiqlik effekti ajralmaydigan, hajmi o'zgarmaydigan ideal gazlar aralashganda entropiyaning o'zgarishi sodir bo'lgan o'zgarishga  $\Delta S = \Delta S$  ideal hamda  $\Delta V = 0$ ,  $\Delta H = 0$  ga teng bo'lgan eritmalariga aytiladi.

Ideal eritmalarining termodinamik xossasi parsial molyar kattaliklar yordamida ifodalanadi. Masalan, bir mol eritma uchun:

$$\begin{aligned}\Delta V &= N_1 \Delta \bar{V}_1 + N_2 \Delta \bar{V}_2 \\ \Delta H &= N_1 \Delta \bar{H}_1 + N_2 \Delta \bar{H}_2 \\ \Delta S_{uo} &= N_1 \Delta \bar{S}_{1uo} + N_2 \Delta \bar{S}_{2uo}\end{aligned}$$

va hokazo.

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = n_1 R \ln \frac{V_1+V_2}{V_1} + n_2 R \ln \frac{V_1+V_2}{V_1} \text{ tenglamaga muvofiq ideal}$$

gazlar aralashganda entropiyaning o'zgarishi:

$$\Delta S_{uo} = -R(N_1 \ln N_1 + N_2 \ln N_2)$$

va tenglamalardan

$$\begin{aligned}\Delta H_1 = 0 \quad \Delta V_1 = 0 \quad \Delta S_{1uo} &= -R \ln N_1 \\ \Delta H_2 = 0 \quad \Delta V_2 = 0 \quad \Delta S_{2uo} &= -R \ln N_2\end{aligned}$$

Ideal eritmalarini ideal gazlardan farqi shundaki, ideal gazlarda zarrachalar orasidagi o'zaro ta'sir yo'q, lekin ideal eritmalarining zarrachalari orasida o'zaro ta'sir bor, ammo bu ta'sir turli xil zarrachalarda bir xil, ya'ni bir xil va har xil zarrachalar orasida bir xil o'zaro ta'sir mavjuddir.

O'xshash xossali moddalardan tashkil topgan eritmalar ideal eritmalariga mos keladi. Masalan, izotoplar aralashmasi, izomerlar aralashmasi, bir gomologik qatordagi moddalar aralashmasi va hokazo. Eritma hosil bo'lganda komponentlar kimyoviy potentsiallarning o'garishi.



$$\Delta\mu_i = \Delta H_i - T\Delta\bar{S}_i$$

Ideal eritmalar uchun:

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln N_i$$

$$d\mu_i = RT \ln N_i = RT \frac{dN_i}{N_i}$$

$$\mu_i = \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial N_i}\right)_{TP} = \frac{RT}{N_i}$$

$\mu_1^0$  va  $\mu_2^0$  toza erituvchi va erituvchining kimyoviy potentsiali bo'lsa;

$$\mu_1 = \mu_1^0 + RT \ln N_1; d\mu_1 = RT \ln N_1 = RT \frac{dN_1}{N_1}$$

Agar aralashayotgan moddalar suyuq holda bo'lsa, ideal eritmada differensial issiqlik effekti nolga teng bo'ladi. Agar erituvchi qattiq holda bo'lsa, Gess qonuniga muvofiq uning erish issiqligi effekti suyuqlanish issiqlik effektiga teng bo'ladi.

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$Q$  – erish issiqlik effekti,  $Q_1$  – kristall panjarani buzishga sarf bo'lgan issiqlik energiyasi,  $Q_2$  – eruvchi va erituvchining ta'sirlashishi natijasida ajralgan issiqlik. Ideal eritmalarda  $Q_2=0$  bo'lganligidan  $Q=Q_1$  bo'ladi. Ya'ni erish issiqligi eruvchining yashirin suyuqlanish issiqligiga teng.

### *Termodinamik faollik*

Real eritmalar ideal va cheksiz suyultirilgan eritmalar qonuniga bo'ysunmaydi. Real eritmalarining xossalari eritma konsentratsiyasidan tashqari eritmaning komponentlari orasidagi o'zaro ta'siriga ham bog'liq. Shunga ko'ra eritmaning xossalari bilan eritma konsentratsiyasi bilan orasidagi bog'lanishni o'rganishda bu ta'sirni ham e'tiborga olish kerak. Lyuisning real eritmalar nazariyasida shu holat e'tiborga olingan. Real gazlar uchun bosim  $R$  o'rniga uchuvchanlik  $f$  ifodasining qo'llanilishini ko'rgan edik. Xuddi shunga o'xshash, real eritmada konsentratsiya ( $S, N$ ) o'rniga termodinamik faollik  $a$  qo'llaniladi. Lyuis ta'rifiga ko'ra:

$$a = f C$$

Bu yerda:  $a$  – termodinamik faollik,  $f$  – termodinamik faollik koeffitsiyenti,  $C$  – konsentratsiya.

Ideal va cheksiz suyultirilgan eritmalarda  $f=1$  va  $a = f C$  – zarrachalar o'rtasidagi o'zaro ta'sir kuchlarini aks ettiradi, termodinamik faollik koeffitsiyenti ma'lum real eritma xossalarining qabul qilingan standart holatdan cheklanishini xarakterlaydi.

Termodinamik tenglamalar real eritmalarga to'g'ri kelishi uchun ideal va cheksiz suyultirilgan eritmalarga mansub termodinamik tenglamalarda konsentratsiya ifodasi o'rniga termodinamik faollik ifodasini qo'llash kerak. Masalan, komponentlarning kimyoviy potentsiali quyidagicha:

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln a_i;$$

Metallurgiyada asosan konsentrlangan eritmalar foydalaniladi (qotishmalar, shteyn, shlak). Ularning xususiyatlarini fizik jihatdan tushunish maqsadida modda tarkibiga yaqin, ya'ni bitta element izotoplari, temir va nikel eritmasi,  $FeO$  va  $MnO$  h.k. ideal eritmani xususiyatlarini ko'rib chiqamiz.

Ideal eritmalarining hosil bo'lishida hajmi va entalpiya qiymati o'zgarmaydi. ( $\Delta V=0$ , va  $\Delta H=0$ )

Shunday qilib  $\Delta G_1 = \Delta H - T\Delta S$  tenglamaga mos ravishda  $\Delta G_1 = -T\Delta S$  ya'ni ideal eritmalarining hosil bo'lishi faqatgina entropiya  $\Delta S$  ning o'sishi bilan aniqlanadi.

Komponentlarining xususiyatlari yaqin bo'lgani uchun, ular zarrachalarning eritmadagi o'zaro ta'sirlashuvi toza holatda o'zaro ta'sirlashuvidan farq qilmaydi.

### *Qattiq moddaning eruvchanligi*

Oddiy bosimda, qattiq moddaning kimyoviy potentsiali ( $\mu_k$ ) faqat haroratga bog'liq bo'ladi qattiq moddaning potentsiali uning eritmadagi potentsialidan katta bo'lsagina:

$$\mu_k \succ \mu_{er}$$

qattiq modda eritmaga o'tadi.

Potensiallar qiymati tenglashganda  $\mu_k \succ \mu_{er}$  qattiq moddaning eritmaga o'tishi to'xtaydi – (muvozanatga erishiladi), to'yingan eritma hosil bo'ladi.

$$\mu_k = \mu_{er}^0 + RT \ln N_{to'yin}$$

$$\ln N_{to'yin} = (\mu_k - \mu_{er}^0) / RT$$

$$\text{yoki } N_{to'yin} = \exp[(\mu_k - \mu_{er}^0) / RT]$$

*Ikkita bir-biri bilan aralashmaydigan suyuqliklarda moddaning taqsimlanish sharti*

1 va 2 suyuqliklar orasida moddani taqsimlanishining muvozanat sharti

$$\mu_1^0 + RT \ln N_1 = \mu_2^0 + RT \ln N_2$$

$$\ln(N_1 / N_2) = (\mu_2^0 - \mu_1^0) / (RT)$$

Muvozanat sharoitidagi moddaning birinchi va ikkinchi suyuqlikdagi konsentratsiyalarining nisbati;

$$N_1 / N_2 = \exp[(\mu_2^0 - \mu_1^0) / (RT)]$$

*Gazni o'zining eritmasi ustidagi bosimi*

Gazning kimyoviy potentsiali  $\mu_{\text{gaz}} = \mu_{\text{gaz}}^0 + RT \ln p$  tenglamasi bilan aniqlanayotganligi uchun, muvozana holat quyidagicha belgilanadi

$$\mu_{\text{gaz}}^0 + RT \ln p = \mu_{\text{eritma}}^0 + RT \ln N$$

shu sababdan

$$\ln(p / N) = (\mu_{\text{eritma}}^0 - \mu_{\text{gaz}}^0) / RT$$

$$p / N = \exp[(\mu_{\text{eritma}}^0 - \mu_{\text{gaz}}^0) / RT]$$

$$\text{yoki } p = K_{\Gamma} N \text{ va } K_{\Gamma} = \exp[(\mu_{\text{eritma}}^0 - \mu_{\text{gaz}}^0) / RT]$$

Yuqoridagi tenglama Genri qonunining ifodasidir, ya'ni: erigan gazning parsial (bug') bosimi uning molyar qismiga proporsionaldir. Tenglamadagi  $K_{\Gamma}$  ko'rsatkichi "Genri" koeffitsiyenti deb nomlanadi.

*Kimyoviy reaksiyaning muvozanati*

Eritmada  $A + B = 2C + D$  kimyoviy reaksiya borgandi. A va B moddalar reaksiyaga kirishib C va D moddalarini hosil qiladi. Bu jarayon dastlabki moddalar kimyoviy potentsiallarining yig'indisi tenglashgunga qadar davom etadi.

$$\mu_A + \mu_B = 2\mu_C + \mu_D$$

Yoki

$$\mu_A^0 + RT \ln N_A + \mu_B^0 + RT \ln N_B = 2(\mu_C^0 + RT \ln N_C) + \mu_D^0 + RT \ln N_D$$

$$\mu_A^0 + \mu_B^0 - 2\mu_C^0 - \mu_D^0 = RT \ln[N_C^2 N_D / (N_A N_B)];$$

$$\ln[N_C^2 N_D / (N_A N_B)] = f(T);$$

$$N_C^2 N_D / (N_A N_B) = K_a$$

$K_a$ - muvozanat konstantasi

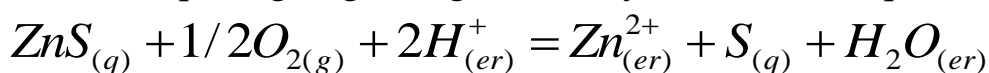
$\mu_i^0 = \Delta G_i^0$  - (1 mol "i" modda hosil bo'lganda Gibbs energiyasining o'zgarishi)

Bu holda ko'rilgan reaksiya uchun

$$\mu_A^0 + \mu_B^0 - 2\mu_C^0 - \mu_D^0 = -\Delta G^0 \text{ yoki } \Delta G^0 = -RT \ln K_a$$

Bu misolda, barcha dastlabki moddalar va mahsulotlar eritmada bo'lgan reaksiya keltirilgan, va ularning standart holatlari alohidagi toza moddalarnikiga to'g'ri keladi, shuningdek standart kimyoviy potentsiallari bu moddalarni hosil bo'lishining Gibbs energiyasi bilan tengdir.

Murakkabroq bo'lgan geterogen reaksiyani ko'rib chiqamiz:



Reaksiyaning muvozanat sharti:

$$\mu_{ZnS} + 1/2\mu_{O_2} + 2\mu_{H^+} = 2\mu_{Zn^{2+}} + \mu_S + \mu_{H_2O}$$

Qattiq moddalarning ZnS, S va erituvchining H<sub>2</sub>O standart holatlari  $N^0 = 1$ , shu sababdan  $\mu_i^0 = \Delta G_i^0$ , qattiq eritmalarni olish imkoniyatini hisobga olgan holda, quyidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

$$\mu_{ZnS} = \Delta G_{ZnS}^0 + RT \ln N_{ZnS(q)}, \mu_S = \Delta G_S^0 + RT \ln S_{(q)},$$

$$\mu_{H_2O} = \Delta G_{H_2O}^0 + RT \ln N_{H_2O}$$

Gazsimon moddaning kimyoviy potentsiali uning bosimi bilan aniqlanadi:

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln(p_i / p^0)$$

gazsimon moddalarning (toza yoki aralashmadagi) – parsial bosimi  $p^0 = 1$  atm, bu holda standart kimyoviy potentsial  $\Delta G_i^0$  bilan tengdir.

Yuqoridagi tenglamaga  $p_i / p^0$  - o'lchovsiz ko'rsatkich, son jihatdan  $p_i$  ga teng bo'lgan ko'rsatkichni qo'ysak, kislorodning kimyoviy potentsiali quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi:

$$\mu_{O_2} = \Delta G_{O_2}^o + RT \ln p_{O_2}$$

Suvli eritmalardagi ionlarning standart konsentratsiyasi 1 mol/l, va unga to'g'ri keladigan kimyoviy potentsiallarni, eritmada ionlarni hosil bo'lishining Gibbs energiyasi bilan belgilanadi. Ya'ni,

$$\mu_{H^+} = \Delta G_{H^+}^o + RT \ln C_{H^+}; \mu_{Zn^{2+}} = \Delta G_{Zn^{2+}}^o + RT \ln C_{Zn^{2+}}$$

Dastlabki moddalar va reaksiya mahsulotlarning kimyoviy potentsiallar ko'satkichlarini yuqoridagi tenglamaga qo'yilsa, quyidagi tenglamani olamiz:

$$RT \ln \frac{C_{Zn^{2+}} N_S N_{H_2O}}{N_{ZnS} p_{O_2}^{1/2} C_{H^+}^2} = \Delta G_{ZnS}^o + 1/2 \Delta G_{O_2}^o + 2 \Delta G_{H^+}^o - \Delta G_{Zn^{2+}}^o - \Delta G_S^o - \Delta G_{H_2O}^o$$

Tenglamaning o'ng qismi, reaksiyaning teskari ishora bilan olingan Gibbs energiyasining standart o'zgarishidir (ya'ni  $\Delta G_{reaks}^o$ ), tenglamaning chap tomonidagi logarifmlanadigan qismi esa muvozanat konstantadir.

### *Real eritmalarning termodinamik xossalari*

Tabiatda va texnikada uchraydigan qariyb hamma eritmalar real eritmalar deyiladi. Real eritmalarning komponentlari orasida o'zaro tortishuv kuchlari mavjud bo'lganligi sababli ularning termodinamik xossalari ideal eritmalar xossalaridan farq qiladi. Real eritmalarning termodinamik xossalarini o'rganish uchun shunday eritma olinadiki unda eritmada erigan moddalarning konsentratsiyasi juda kichik son bo'lsin ya'ni erituvchining molyar qismi birga eruvchiniki esa nolga yaqin bo'lsin. Bunday eritmalar o'ta suyultirilgan eritmalar deyiladi. O'ta suyultirilgan eritmalarda erigan moddaning molekullari orasida o'zaro tortishuv bo'lmaydi, chunki ular erituvchining molekullari bilan o'ralgan bo'lib bir-biridan uzoqda joylashgan bo'ladi. Ikkinchidan, erigan moddaning molekullari juda oz bo'lganligi sababli, erituvchining molekullari bilan erigan modda molekullari orasidagi tortishuv kuchlari ham kichik bo'ladi.

Birdan-bir "B" modda hosil bo'lgan eritmada A moddaning kimyoviy potentsiali o'zgarishining tavsifi bir xil ishorali (A-A, V-V) va har xil ishorali (A-V) molekullar orasidagi o'zaro kimyoviy bog'ining mustahkamligi bilan belgilanadi.

Agar har xil ishorali molekulalar orasidagi bog‘lanish o‘zaro bog‘ning o‘rtacha mustahkamligidan yuqori bo‘lsa eritmaning hosil bo‘lishida eritma komponentlari kimyoviy konsentratsiyasining qo‘shimcha pasayishi yuz beradi.

Eritmada A moddaning konsentratsiyasi juda oz (kam) bo‘lganda ( $\ln N_A < 0$ ), V moddadagi A moddaning eritmasi ideal suyultirilgan eritma xossasidagi va  $M_A$  kimyoviy potensial  $\ln N_A$  bilan chiziqli bog‘liq.  $\ln N_A = 0$  sharoitda ektoropolyatsiya qilingan standart kimyoviy potensialning ko‘rsatkichi  $M_A A^N$  - toza kimyoviy moddaning kimyoviy potensialidan  $M_A$  pastroq bo‘ladi. Buni erigan modda va eruvchi modda orasidagi o‘zaro ta’sirlashuvi bilan tushuntirsa bo‘ladi.

A moddaning konsentratsiyasi yuqori bo‘lganda ( $\ln N_A = 0$ ;  $\ln N_B < 0$ ), V moddaning A moddadagi ideal suyultirilgan eritmasi hosil bo‘ladi. Bu holatda ham  $M_A$ -kimyoviy potensial  $\ln N_A$  bilan chiziqli bog‘liqdir. Ammo A modda eruvchi vazifasini bajarganligi uchun, konsentratsiyasi juda kam bo‘lgan V modda  $M_A$  kimyoviy potensialiga deyarli ta’sir etmaydi, va standart kimyoviy potensial toza A moddaning potensialiga tengdir.

Oraliq mintaqada  $N_A$  va  $N_V$  ko‘rsatkichlari bir xil erigan moddaning kimyoviy potentsiali yuqori, erituvchiniki esa past bo‘ladi.

Shu sababli o‘ta suyultirilgan real eritmalarni ideal eritmalar deb faraz qilinsa bo‘ladi.

O‘ta suyultirilgan real eritmalarda har qanday erigan moddaning kimyoviy potentsiali uning konsentratsiyasi logarifimiga proporsionaldir.

$$M_i = M_i + RT \ln N_i$$

Ushbu tenglamadagi standart potensial ( $M_i$ ) erigan moddaning konsentratsiyasi birga teng bo‘lganda ham eritma ideal suyultirilgan eritma xossasiga ega deb faraz qilinadi.

Ammo eritmada erigan moddaning konsentratsiyasi oshib borgan sari eritmaning xossalari ideal eritmaning xossalaridan farq qilib boradi. Erigan moddaning konsentratsiyasi oshganda uning kimyoviy potentsiali ham oshadi va erigan moddaning 1-molekulasiga to‘g‘ri keladigan erituvchi molekulalarning soni kamayib boradi va buning natijasida erigan modda va erituvchining orasidagi ta’sirlashuv kuchi pasayadi.

Erigan moddaning konsentratsiyasi oshishi bilan, erituvchining konsentratsiyasi kamayadi va uning kimyoviy potentsiali ham pasayadi.

Real eritmadagi moddaning kimyoviy potentsialini hisoblash uchun tenglamaga  $RT \ln J_i$  – ko‘rinishidagi tuzatkich kiritiladi. Tuzatkichdagi  $J_i$  –

faollik koeffitsiyenti. Bu holda erigan moddaning potentsiali quyidagi tenglama bilan ifodalanadi.

$$M_i = M_i + RT \ln N_i + RT \ln J_i$$

Modda faollik koeffitsientining qiymati shu moddaning real eritmadagi kimyoviy potentsiali bilan ideal eritma deb faraz qilib hisoblangan kimyoviy potentsialining farqi orqali topiladi.

$$\ln J_i = \Delta M_i / (RT)$$

Eritmaning ideal bo'lmagan tuzatgichining ( $\Delta M_i$ ) ishorasi musbat yoki manfiy bo'lishi mumkin. Shuning uchun faollik koeffitsientining qiymati birdan katta yoki birdan kichik bo'ladi. Ideal eritma uchun  $\Delta M_i = 0$  va  $J_i = 1$

Demak,

$$M_i = M_i + RT \ln N_i + RT \ln J_i$$

Tenglamadan ko'rinib turibdiki, agar  $N_i$  o'rnida  $J_i N_i$  kiritilsa real eritma o'zini ideal eritma kabi tutadi.

Tenglamadagi  $JN$  qiymati moddaning eritmadagi faolligi deyiladi va **A harfi bilan belgilanadi.**

$$a_i = J_i N_i$$

Yuqoridagi tenglamada konsentratsiya o'rniga faollikni qo'llaganda kimyoviy potentsialni aniqlash tenglamasi quyidagi ko'rinishda yoziladi.

$$M_i = M_i + RT \ln a_i$$

Kimyoviy potentsiallarni aniqlash tenglamalarida konsentratsiya o'rniga faollik ko'rsatkichi qo'llanganda ideal eritmalar uchun qo'llaniladigan tenglamalar real eritmalar uchun qo'llanilishi mumkin.

## 1.7. Elektrolitlarning faolligi va faollik koeffitsiyenti

**Elektrolitlar haqida tushuncha.** 1887-yilda ilmiy jurnallardan birida Arreniusning "Suvda erigan moddalar dissotsiyatsiyasi" degan maqolasi bosilib chiqdi. Arrenius bu maqolasida eritmalarining elektr o'tkazuvchanligi ustida qilgan o'z tekshirishlarining natijalarini ko'rsatib, eritmalarining elektr o'tkazish xususiyati bilan o'sha eritmalarining Raul hamda Vant-Goff qonunlariga bo'ysunmasligi o'rtasida yaqin bog'lanish borligiga e'tibor berdi.

Arrenius eritma elektr o'tkazuvchanligini o'lchab, uning osmotik bosimi qiymatini, demak, ayni eritma uchun tuzatish koeffitsiyentini hisobladi.

Eritmalari yoki suyuqlanmalari elektr tokini o'tkazuvchi moddalar **elektrolitlar** deyiladi.

Eritmasi yoki suyuqlanmasi elektr tokini o'tkazmaydigan moddalar **noelektrolitlar** deyiladi.

Asos, kislota va tuzlarni elektrolitlarga misol bo'ladi. Elektrolitlarning elektr o'tkazuvchanligi ularning molekulalarini musbat va manfiy zaryadlangan ionlarga ajralishiga bog'liq.

Shved olimi S. Arrenius elektrolitlarning xossalarini o'rganib (1887 yil) quyidagi xulosalarga keldi:

Elektrolitlar suvdagi eritmalarida yoki suyuqlanmalarida musbat va manfiy ionlarga dissotsilanadi.

Bu jarayon suvda erigan moddaning kristall panjara tugunlaridagi ionlar yoki kuchli qutblangan kovalent bog'lanishli molekulalarning suvning qutbli molekulalari (dipollari) ta'sirida parchalanishi bilan tushuntiriladi. Qattiq moddalar suyuqlantirilganda esa bu jarayon fizik ta'sir – issiqlik energiya vositasida sodir bo'ladi. Musbat zaryadlangan ionlar kationlar, manfiy zaryadlangan ionlar anionlar deyiladi. Ionlarning uzluksiz harakati elektr tokini o'tkazishga sabab bo'ladi. Elektrolit ionlarga ajralganda bitta molekuladan ikki va undan ortiq ion hosil bo'lishi natijasida eritmada zarrachalarning umumiy soni ortadi.

Arrenius o'z nazariyasiga asoslanib kislota va asoslarni ta'riflaydi. Arrenius nazariyasiga muvofiq suvda eriganda vodorod ionlarini ajratadigan elektrolitlar kislotalar deb ataladi. Eritmada vodorod ionlarining konsentratsiyasi qanchalik yuqori bo'lsa, kislota shunchalik kuchli bo'ladi. Suvda eriganda gidroksil ionlarini ajratadigan elektritlar asoslar deb ataladi.

1891-yilda I.A. Kablukov dissotsilanish jarayoniga D.I. Mendeleevning gidratlar nazariyasi asosida qarab, erigan modda ionlari erituvchi molekulalari bilan kimyoviy birikib, ionlarning gidratlarini hosil qiladi degan xulosaga keldi. Shu bilan birga I.A. Kablukov Arrenius nazariyasining suvdagi eritmalar bilangina cheklanishini kuzatdi. Agar modda uchun muvofiq erituvchi tanlansa, suvda noelektrolit bo'lgan modda bunday erituvchida elektr tokini o'tkazuvchan bo'lishi mumkin.

Elektrolitlarning eritmalaridagi ionlar suv molekulalari bilan kimyoviy qo'shilishi, ya'ni gidratlanishi sababli ko'pchilik elektrolitlar suvdagi eritmalaridan kristallogidratlar holida ajralib chiqadi: gidratlanish tufayli ionlar o'zaro birikib, molekulalar hosil qilishi qiyinlashadi, ionni qurshab olgan suv molekulalari musbat va manfiy ionlarning bir-biri bilan birikishiga halal beradi, chunki suv elektrostatik tortishuv kuchini vakuumga nisbatan deyarli 80 marta zaiflashtiradi. Agar molekuladagi bog'lanish salmog'i ortsa, dissotsilanish jatoryoni ancha sust bo'lib o'ng



tomonga chuqur bormaydi, ya'ni teskari tomon boradigan assotsilanish jarayonlari dissotsilanishga nisbatan chuqurroq bo'ladi. Gidratlanish hodisasi eritmalarning elektr o'tkazuvchanligiga ham ta'sir etadi. Masalan, litiy ioni ( $\text{Li}^+$ ) kichik radiusli bo'lgani uchun u ko'proq suv molekulalari bilan gidratlanadi: gidratlangan ionning eritmadagi harakat tezligi susayib (massasi kattalashgani tufayli) ketadi. Shu sababli LiCl eritmasining elektr o'tkazuvchanligiga nisbatan kam bo'ladi. Gidratlanish jarayoni eritmalar rangiga ham ta'sir ko'rsatadi.

*Kuchli va kuchsiz elektrolitlar.* Molekulalari hatto suyultirilgan eritmalarda ham oz darajada dissotsilanadigan elektrolitlar kuchsiz elektrolitlar deb ataladi. Ularga ba'zi kislotalar (masalan, sirka, sianid, karbonat kislotalar va hokazo), ba'zi asoslar (masalan ammoniy gidroksid, organik asoslar va hokazo) va ba'zi tuzlar (masalan,  $\text{Hg}(\text{CN})_2$ ,  $\text{HgCl}$ ,  $\text{Fe}(\text{SCN})_3$   $\text{FeF}_3$  va hokazo) kiradi.

Kuchsiz elektrolit eritmalarining solishtirma elektr o'tkazuvchanligi eritmadagi ionlar soniga bog'liq; kuchsiz elektrolitlarning dissotsilanish jarayoni uchun massalar ta'siri qonunini qo'llash mumkin. Arrenius nazariyasi ham kuchsiz elektrolitlarning eritmalarigagina tatbiq etiladi.

Har xil konsentratsiyadagi eritmalarda ham sezilarli darajada yaxshi dissotsilanadigan birikmalar kuchli elektrolitlar deb ataladi. Ularning dissotsilanish darajalari 100 foizga yaqinlashishi mumkin. Kuchli elektrolitlarga deyarli barcha tuzlar, kuchli kislota va kuchli asoslar kiradi. Kuchli elektrolitlarning eritmalaridagi ionlar miqdori ko'p bo'lganligi sababli ular orasidagi ionlararo tortishuv kuchlari ham sezilarli bo'ladi.

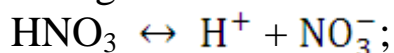
Arrenius nazariyasi kuchli elektrolitlarga tatbiq etilmaydi. Atom tuzilishi va kristall panjaralarining (turlari) aniqlangandan keyin 1920 yilda Arrenius nazariyasiga bir necha qo'shimcha kiritishga to'g'ri keldi. So'ngra kuchli elektrolitlar nazariyasi yaratildi. Bu nazariyaga muvofiq moddalar suvda eriganda ionlarga to'liq ajraladi. Masalan, osh tuzi eritmasida, faqat  $\text{Na}^+$  va  $\text{Cl}^-$  ionlari bo'lib, NaCl molekulalari bo'lmaydi. Binobarin osh tuzi eritmada 100 foiz dissotsilangan bo'lishi kerak. Kuchli elektrolitlar uchun dissotsilanish darjasi degan tushuncha o'z ma'nosini yo'qotadi, chunki kuchli elektrolitlarning eritmalarida dissotsilanmagan molekulalar bo'lmaydi. Lekin tajribada NaCl ning 0,1 n eritmasi uchun  $\alpha = 86\%$  ekanligi aniqlangan. Agar eritmaning konsentratsiyasi oshirilsa  $\alpha$  ning qiymati kamayadi.

Demak, kuchli elektrolitlarning tajribada topilgan dissotsilanish darajasi Arrenius nazariyasi asosida ham va to'la dissotsilanish

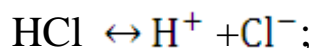
nazariyasi asosida ham hisoblab topilgan qiymatdan farq qiladi. Kuchli elektrolitlarning dissotsilanish darajasi deganda, tajribada topiladigan qiymat, boshqacha aytganda, effektiv dissotsilanish darajasini tushunishimiz kerak.

*Kislota, asos va tuzlarning dissotsilanishi.* Eritmada vodorod kationi ( $H^+$ ) va kislota qoldig'i anioniga dissotsilanuvchi birikmalar kislotalar deyiladi.

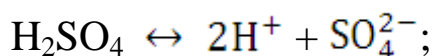
Masalan, nitrat kislotaning dissotsilanishi:



Xlorid kislotaning dissotsilanishi:

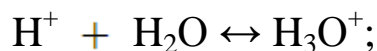


Sulfat kislotaning dissotsilanishi:

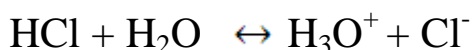


Dissotsilanish jarayoni qaytar, ya'ni ham to'g'ri va ham teskari yo'nalishda sodir bo'ladi. Shuning uchun dissotsilanish jarayoni tenglamasida tenglik belgisi  $\leftrightarrow$  qo'llaniladi. Dissotsiyatsiyaga teskari jarayon bu assotsilanish deyiladi.

Eritmada  $H^+$  ionining mavjudligi eritmalarining kislotali xususiyatiga sabab bo'ladi. Ta'kidlash joizki, suvli eritmada kislotaning dissotsilanishidan hosil bo'lgan vodorod ionini  $H^+$  erkin holatda bo'lmay donor-akseptor mexanizmi bo'yicha suv molekulasiga birikib olib gidroksoniy ionini hosil qiladi:



Demak, misol uchun, xlorid kislotaning dissotsilanish tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:



Erituvchi molekularining vodorod ionini (proton) ni o'ziga biriktirib olish qobiliyati (ya'ni proton-akseptorligi) qancha kuchli bo'lsa kislotaning dissotsilanishi shuncha osonlashadi. Masalan, sirka kislotaning  $CH_3COOH$  ning suvga nisbatan suyuq ammiakda dissotsilanishi kuchliroq sodir bo'ladi. Demak, sirka kislota  $CH_3COOH$  suvli eritmada oz dissotsilangani uchun kuchsiz ksilota hisoblansa, ammiakli eritmada esa u kuchli kislotaadir. Shunday qilib, dissotsilanish tenglamasining yuqoridagi oxirgi ko'rinishdagi yozuvi moddaning dissotsilanishiga erituvchi tabiatining ta'sirini yaqqolroq ifodalaydi. Biroq, dissotsilanish tenglamalarini soddalashtirish maqsadida, odatda tenglamada erituvchi molekulasini formulasi ko'rsatilmaydi.  $H_3O^+$  o'rniga esa  $H^+$  yoziladi. Misol uchun, perxlorat kislotaning dissotsilanishi:

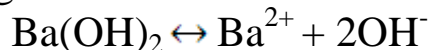


Asoslar eritmalarida metall ioni bilan birgalikda gidroksid ionlariga dissotsilanadi.

Masalan, natriy gidroksidining dissotsilanishi:



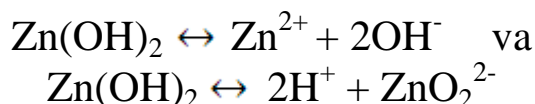
Bariy gidroksidining dissotsilanishi:



Asoslarning eritmalarida  $\text{OH}^-$  ionlarining mavjudligi ishqoriy muhit hosil qiladi.

Ba'zi metallarning gidroksidlari ham kislota, ham asos xossalarini namoyon qiladi. Bunday gidroksidlar amfoter gidroksidlar deyiladi.

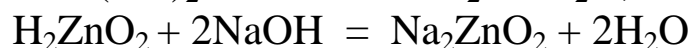
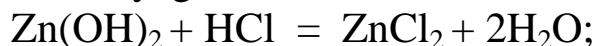
Masalan, rux gidroksidining dissotsilanishini ikki ko'rinishda yoziladi:



Umumiy holatda:



Demak, rux gidroksidining molekulyar formulasini ikki xil ko'rinishda yozish mumkin:  $\text{Zn(OH)}_2$  yoki  $\text{H}_2\text{ZnO}_2$ . Shuning uchun rux gidroksid bilan ham reaksiyaga kirishadi:



Tuzlar eritmalarida metall ionlari bilan kislota qodig'i ionlarga dissotsilanadi. Masalan:



Suvdagi eritmalarida ionlarga to'liq ajraladigan elektrolitlar kuchli elektrolitlar deyiladi.

Ular jumlasiga  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HCl}$ , va boshqa kuchli kislotalar,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{Ba(OH)}_2$ , kabi kuchli asoslar va suvda yaxshi eriydigan tuzlar kiradi.

Suvdagi eritmalarida qisman dissotsilanib juda oz miqdorda ionlar hosil qiluvchi elektrolitlar kuchsiz elektrolitlar deyiladi.

Kuchsiz elektrolitlarga kuchsiz kislotalar ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCN}$ ) qiyin eruvchi asoslar, shuningdek,  $\text{NH}_4\text{OH}$  va qiyin eriydigan tuzlar kiradi.

Moddalarning tuzilishiga qarab, ularning dissotsilanishi ham turlicha bo'ladi. Suvli muhitda gidratlangan ionlarining hosil bo'lishi quyidagi ikki mexanizm bo'yicha boradi:

1. *Ion tuzilishidagi kristallarining eritmadagi dissotsiyatsiyasi.* Natriy xlorid NaCl kristallari suvga tushirilganda kristallar yuzasidagi Cl<sup>-</sup> ionlariga suvning dipollari o‘zining musbat zaryadlangan tomoni bilan, Na<sup>+</sup> ionlariga esa manfiy tomoni bilan elektrostatik tortiladi (ion dipol ta’sir). Ionlarining suv dipollari bilan bunday o‘zaro ta’siri natijasida kristallarining ionlari o‘rtasidagi bog‘lanish bo‘shashadi va ular eritmaga gidratlangan ionlar holida o‘tadi.

2. *Qutbli kovalent bog‘lanishli moddalarning erishidagi dissotsiyatsiyasi.* Qutbli molekullarning (masalan, HCl) suv bilan o‘zaro ta’siri natijasida (dipol-dipol ta’siri) dipollararo bog‘lanish vujudga kelib, eruvchi modda molekulasi qutblanadi. Natijada eruvchi modda ionli holatga o‘tadi va ionlarga parchalanadi. Qutbli molekuladan hosil bo‘lgan ionlar ham gidratlanadi.

Bu nazariyani 1887-yilda shved olimi S. Arrenius kashf etdi. Uning mohiyati quyidagilardan iborat:

1) elektrolitlar suvda eriganda musbat va manfiy zaryadli ionlarga ajraladi. Bu jarayonni elektrolitik dissotsiyatsiya deb ataladi;

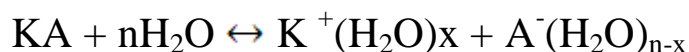
2) elektr toki ta’sirida musbat zaryadli ionlar katodga, manfiy zaryadli ionlar anodga tortiladi. Shu sababli ularni mos ravishda kationlar va anionlar deb ataladi;

3) dissotsiyatsiya qaytar jarayondir.

Eritmasi yoki suyuqlanmasi elektr tokini o‘tkazadigan moddalarni elektrolitlar deyiladi. Elektrolitlarga tuzlar, kislotalar va asoslarning suvdagi eritmalari kiradi.

Eritmasi elektr tokini o‘tkazmaydigan moddalarni noelektrolitlar deyiladi. Noelektrolitlarga kislorod, shakar, glukoza, mochevina kabi moddalarning suvdagi eritmalari kiradi.

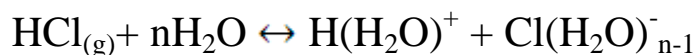
Arrenius nazariyasining kamchiligi shundaki, u erituvchi va erigan modda zarrachalarining o‘zaro ta’sirlashuvini hisobga olmaydi. Vaholanki, eritmada ionlar erkin holda emas, balki gidratlangan holda bo‘ladi:



Masalan, vodorod ioni eritmada gidroksoniy ioni holida bo‘lishi aniqlangan:



Qutbli kovalent bog‘lanishli moddalar molekullaridagi atomlar orasidagi bog‘ qutbli suv molekullari ta’sirida bo‘shashadi va dissotsiyatsiya ro‘y beradi:



Erituvchining ionlar orasidagi tortishuv kuchini susaytirish xossasiga dielektrik o'tkazuvchanlik deyiladi. Dielektrik o'tkazuvchanlik shu muhitda zaryadlar orasidagi tortishuv kuchi vakuumdagiga nisbatan necha marta kuchsiz ekanligini ko'rsatadi. Kulon qonuniga binoan  $e_1$  va  $e_2$  zaryadlar orasidagi masofa  $r$  bo'lsa, ular orasidagi tortishuv kuchi  $Q$  quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = \frac{e_1 \cdot e_2}{E \cdot r^2}$$

Bunda:  $E$  — erituvchining dielektrik o'tkazuvchanligi.

Formuladan ko'rinib turibdiki, ayni erituvchi uchun  $E$  qancha katta bo'lsa, tortishuv kuchi shuncha kichik bo'ladi. Suvning dielektrik doimiyligi eng katta ( $E=81$ ).

Kislota, tuz va asoslar suvda eritilganda elektr tokini o'tkazadigan eritmalar hosil qiladi. Bu hodisani tekshirish natijasida S. Arrenius 1887-yilda elektrolitik dissotsiyalanish nazariyasini yaratdi. Bu nazariyaga ko'ra, elektrolit moddalar suvda eritilganda ularning molekullari musbat va manfiy zaryadlardan zarrachalarga ajraladi ya'ni dissotsiyalanadi.

Bunda qanday modda eritilganiga qarab eritmada musbat ionlar – vodorod hamda metall ionlari va manfiy ionlar gidroksil hamda kislota qoldig'i ionlari hosil bo'ladi. Elektrolitlar eritilganda molekullarning hammasi emas, balki bir qismi ionlarga dissotsiyalanadi.

Molekullarning ionlarga ajralish darajasi dissotsiyalanish darajasi bilan belgilanadi. Ionlarga ajralgan molekullar sonining eritmada umumiy molekullar soniga nisbati dissotsiyalanish idarajasi ( $\alpha$ ) deyiladi.

Molekullarning ionlarga dissotsiyalanishi eritmada zarrachalar sonini ko'paytiriladi. Natijada eritmaning hajmi birligidagi zarrachalar bilan o'lgangan konsentratsiyasi ham ortadi. Masalan, dissotsiyalanishga qadar eritmada erigan moddaning  $N$  ta molekulasi bo'lgan bo'lsa, dissotsiyalanganda molekullar soni  $\alpha N$  dissotsiyalanmagan molekullar soni  $\alpha N$  dissotsiyalanmagan molekullar soni esa  $1-\alpha$  bo'ladi.

Dissotsiyalangan har qaysi molekula ion hosil qiladi deb faraz qilsak  $\alpha N$  molekula dissotsiyalanganda  $\alpha N$  ta molekulasi bo'lmagan bo'lsa, dissotsiyalangan molekullar ion hosil bo'lishi kerak. Dissotsiyalangan molekula va ionlarning umumiy soni:

$$(1 - \alpha)N + \alpha N_n = [1 + \alpha(n - 1)]N$$

S. Arronius nazariyasining ahamiyati kattaligi bilan birga bu nazariya faqat kuchsiz elektrolitlarga eritmada ionlar orasidagi o'zaro

ta'siri hisobiga olmasa ham bo'ladigan konsentratsiya elektrolitlargagina tadbiq ham etilishini unutmaslik kerak.

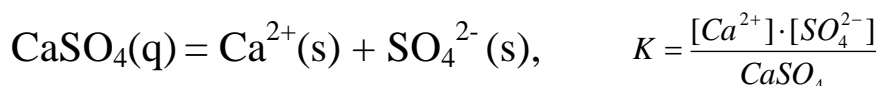
**Eritmalarning elektr o'tkazuvchanligi.** Fizikaviy kimyoning kimyoviy energiyani elektr energiyasiga va aksincha, elektr energiyasini kimyoviy energiyaga aylanishi bilan bog'liq bo'lgan qonuniyatlarini o'rganadigan bo'limi elektrokimyo deb ataladi. Elektrokimyo katta amaliy ahamiyatga ega bo'lib elektrolit, elektr o'tkazuvchanlik va elektr yutuvchi kuchlar haqidagi ta'limotni o'rganadi.

Barcha moddalar elektr o'tkazuvchanligi jihatidan o'tkazgich, yarimo'tkazgich va izolyatorlarga bo'linadi. O'tkazgichlarning o'zi 1-tur va 2-tur o'tkazgichlarga bo'linadi.

1-tur o'tkazgichlarga barcha metallar va ularning qotishmalarini, shuningdek, ko'mir va grafit kiradi. Elektr o'tkazuvchanlik erkin elektronlarning tartibli harakati hisoblanadi.

2-tur o'tkazgichlarga elektrolitlarning (tuzlar, kisotalar va asoslar) eritmaları va suyuqlamalari kiradi. Bunda elektr toki elektrolit ionlar orqali uzatiladi, natijada modda kimyoviy jihatdan o'zgaradi.

**Eruvchanlik ko'paytmasi.** Qiyin eriydigan moddalarning ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{AgCl}$ ,  $\text{BaSO}_4$  va boshqalar) to'yingan eritmasida cho'kma bilan erigan modda ionlari o'rtasida muvozanat qaror topadi. Masalan,  $25^\circ\text{C}$  da  $\text{CaSO}_4$  eritmasida:



Kasrning maxrajidagi  $K[\text{CaSO}_4] = K_1$  o'zgarmas qiymatga uning eruvchanlik ko'paytmasi ( $EK$ ) deyiladi.

Ayni haroratda qiyin eriydigan moddalarning to'yingan eritmasida ionlar konsentratsiyalari ko'paytmasi o'zgarmas son bo'lib shu moddaning eruvchanlik ko'paytmasi deyiladi.

**$EK$** — haroratga bog'liq bo'lgan kattalik:

$$EK = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = 2,25 \cdot 10^{-4}.$$

Juda ko'p moddalar uchun  **$EK$**  qiymati berilgan va u moddalarning eruvchanligini hisoblashlarda ishlatiladi. Quyidagi jadvalga ko'ra eng yomon eriydigan birikma  $\text{HgS}$  deyish mumkin.

**25°C da ba'zi qiyin eruvchan tuzlarning eruvchanlik ko'paytmasi**

Birikmalar	Eruvchanlik ko'paytmasi	Birikmalar	Eruvchanlik ko'paytmasi
CaSO <sub>4</sub>	2,25 · 10 <sup>-4</sup>	Zn(OH) <sub>2</sub>	1 · 10 <sup>-17</sup>
CaCO <sub>3</sub>	5 · 10 <sup>-9</sup>	FeS	5 · 10 <sup>-18</sup>
BaSO <sub>4</sub>	1,1 · 10 <sup>-10</sup>	Cu(OH) <sub>2</sub>	2,2 · 10 <sup>-20</sup>
AgCl	1,8 · 10 <sup>-10</sup>	ZnS	1 · 10 <sup>-23</sup>
MnS	2,5 · 10 <sup>-10</sup>	CuS	6 · 10 <sup>-36</sup>
AgBr	6 · 10 <sup>-13</sup>	Cu <sub>2</sub> S	1 · 10 <sup>-48</sup>
AgI	1 · 10 <sup>-16</sup>	HgS	1 · 10 <sup>-52</sup>

***Ionli reaksiyalar va ionlar muvozanatining siljishi.*** Barcha elektrolitlar ishtirokida amalga oshadigan reaksiyalar ionlar orasida sodir bo'ladi. Bunday reaksiyalar ionli reaksiyalardir. Ion almashinish reaksiyalariga quyidagilar kiradi:

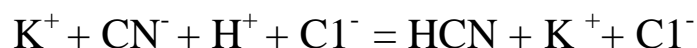
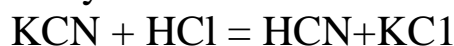
***Neytrallanish reaksiyalari.*** Kislota va asoslarning o'zaro ta'siri tufayli tuz va suv hosil bo'lish reaksiyasidir:

2NaOH + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 2H<sub>2</sub>O (reaksiyaning molekular tenglamasi)

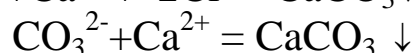
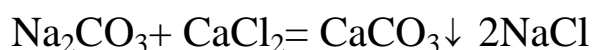
2Na<sup>+</sup> + 2OH<sup>-</sup> + 2H<sup>+</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 2Na<sup>+</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> + 2H<sub>2</sub>O (to'liq ionli tenglama)

OH<sup>-</sup> + H<sup>+</sup> = H<sub>2</sub>O (qisqartirilgan ionli tenglama)

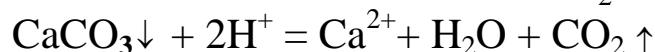
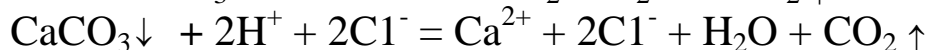
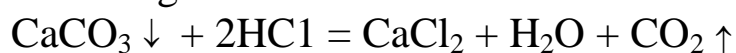
Reaksiya paytida kuchsiz elektrolitlarning hosil bo'lishi ham ion almashinuv reaksiyalari tufayli sodir bo'ladi:



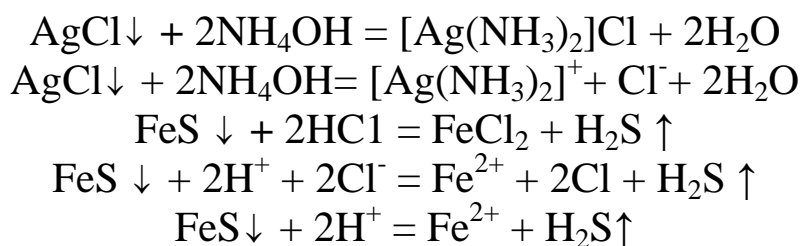
Reaksiya davomida yomon eriydigan moddalar hosil bo'lishi yuz bersa:



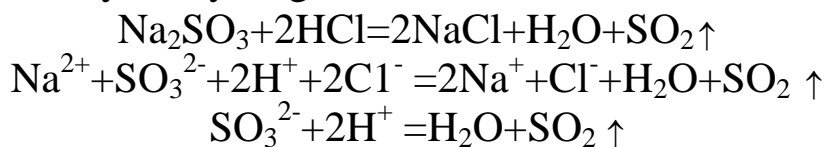
Ba'zi reaksiyalarda reaksiya boshida olingan cho'kma reaksiya davomida eritmaga o'tishi mumkin. Bu paytda eruvchanlik yaxshilanadi yoki reaksiya davomida gaz modda hosil bo'lishi kuzatiladi.



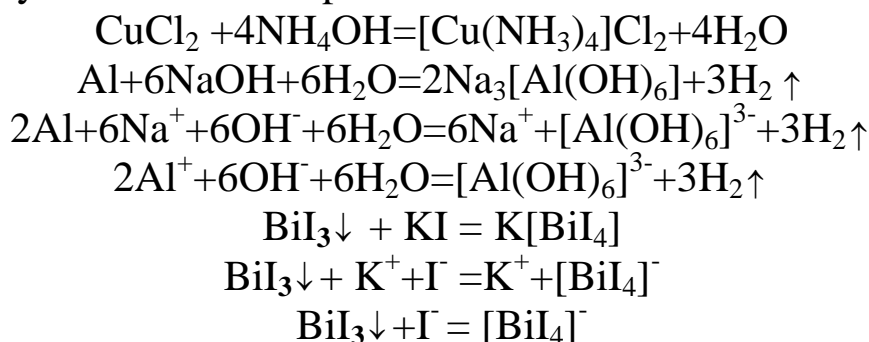




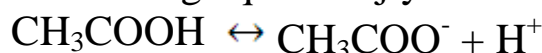
Reaksiya paytida gaz moddalarning hosil bo'lishi orqali ham ion almashinish reaksiyalari yuzaga keladi:



Reaksiya davomida kompleks birikmalar hosil bo'lsa:



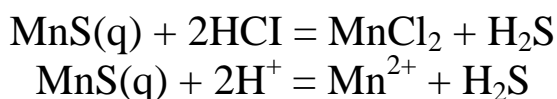
Ionlar orasidagi reaksiyalar doimo muvozanatda bo'ladi. Agar sirka kislota eritmasiga natriy atsetat qo'shilsa muvozanat chapga, ya'ni molekularlar hosil bo'lishi tarafiga qarab siljiydi:



Eritmaga kuchsiz elektroliti bilan bir xil ionga ega bo'lgan elektrolit qo'shilsa, muvozanat kuchsiz elektrolitning dissotsiyanlash darajasi kamayish tarafiga qarab suriladi. Agar sirka kislota eritmasiga biror kuchli kislota, masalan, HCl qo'shilsa, muvozanat ionlar konsentratsiyasini kamayishi (chapga) tarafiga qarab siljiydi.

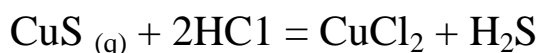
Ionlar konsentratsiyasi ortishi uchun bu eritmaga ishqor qo'shish kerak bo'ladi.

Kam eriydigan tuz MnS(q) xlorid kislota eritilgan, erish jarayoni oson sodir bo'ladi:



Eruvchanlik ko'paytmasiga ko'ra  $E_{\text{MnS}} = 2,5 \cdot 10^{-10}$  ga teng.  $E_{\text{H}_2\text{S}} = 6 \cdot 10^{-22}$ . Shuning uchun muvozanat o'ngga surilgan.

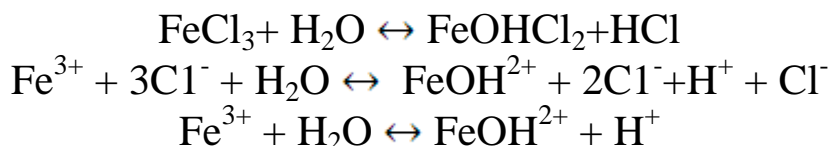
Shunday muvozanat mis sulfidi va xlorid kislota eritmasi orasida sodir bo'lishi kuzatilsa:





$E_{K_{CuS}} = 6 \cdot 10^{-36}$ ; bu qiymat  $H_2S$  ning dissotsiyalanish konstantasidan ancha kichik, shuning uchun muvozanat bu jarayonda chapga siljigan. Mis sulfidi xlorid kislotasida erimaydi.

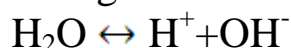
Ba'zan gidroliz reaksiyalaridagi muvozanatning siljishiga ham ionlarning qo'shilishi ta'sir etadi:



Muvozanatni o'ngga siljitish uchun suyultirish yoki temir ionlarini bog'lash, ya'ni ishqor qo'shish kerak. Muvozanatni chapga surilishi uchun esa eritmadagi  $H^+$  ionlarini ko'paytirish talab etiladi.

Neytrallanish reaksiyalari laboratoriyalarda oshqozon shirasi kislotaligini aniqlashda, xlorid, sulfat, borat kislota kabi anorganik kislotalarni, sirka, benzoy, limon, salitsilga o'xshash organik kislotalarining miqdoriy aniqlash uchun ishlatiladi.

**Suvning ion ko'paytmasi.** Suv ham kuchsiz elektrolitlarga kiradi. Suv molekulasida oz bo'lsada ionlarga dissotsilanadi:



Suv uchun dissotsiyalanish konstantasining qiymati yozilsa:

$$K_D \frac{[H^+] \cdot [OH^-]}{[H_2O]} = 1,8 \cdot 10^{-16} (20^\circ C)$$

Agar shu qiymat asosida  $[H^+] \cdot [OH^-]$  ko'paytma topilsa, u suvning ion ko'paytmasi deyiladi.

$$K_w = [H^+] \cdot [OH^-] = K_D [H_2O] = 1,8 \cdot 10^{-16} \frac{1000}{18} = 1 \cdot 10^{-14}$$

Suvning ion ko'paytmasi;  $K_d = 1,8 \cdot 10^{-16}$

Agar eritmada vodorod va gidroksil ionlari konsentratsiyasi teng  $[H^+] = [OH^-]$  bo'lsa, muhit neytral hisoblanadi. Bunda  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$  mol/l ga teng bo'ladi.

Agar muhit kislotali bo'lsa, vodorod ionlari konsentratsiyasi gidroksil ionlari konsentratsiyasidan katta bo'lib,  $[H^+] > 10^{-7}$  bo'ladi.

Agar muhit ishqoriy bo'lsa, vodorod ionlari konsentratsiyasi gidroksil ionlari konsentratsiyasidan kichik bo'lib,  $[H^+] < 10^{-7}$  bo'ladi.

Lekin vodorod ionlari konsentratsiyasi orqali hisoblashlarda juda kichik sonlar ishlatilgani uchun bunday hisoblar anchagina qiyinchiliklar yuzaga keltiradi. Hisoblashlarni osonlashtirish uchun vodorod ko'rsatkich yoki pH qabul qilingan.

Vodorod ko'rsatkich yoki pH deb, vodorod ionlari konsentratsiyasining teskari ishora bilan olingan o'nli logarifmi tushuniladi:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$$

Shunga o'xshash  $\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-]$ .

Toza suvning pH qiymati  $\text{pH} = -\lg[10^{-7}] = -(-7) \lg 10 = 7$  ga teng. Hisoblashlarga ko'ra, kislotali muhit uchun pH qiymati 0 dan 7 gacha o'zgaradi. Ishqoriy muhitda esa pH qiymati 7 dan 14 gacha bo'lgan soni qabul qiladi.  $[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = 10^{-14}$  qiymat logarifmlansa, unda  $\text{pH} + \text{pOH} = 14$  ga teng.

Oxirgi tenglama pH ma'lum bo'lsa, pOH ni yoki teskarisini topishga imkon beradi

**Kislota va asoslar to'g'risidagi zamonaviy tasavvurlar.** Arrenius nazariyasiga ko'ra kislotalar dissotsilanganda  $\text{H}^+$  kationi hosil qiladigan moddalardir. Asoslar dissotsilanganda  $\text{OH}^-$  anioni hosil bo'ladi. Sharoitga qarab ham  $\text{H}^+$  va ham  $\text{OH}^-$  anioni hosil qiladigan moddalar amfoter elektrolitlar deyiladi.

Lekin bunday qarashlar anchagina kamchiliklarga ega bo'lib, ulardan eng muhimlari:

- dissotsilanish sababini va bunda erituvchining o'rni hisobga olinmagan;

- kislota va asoslarning ta'rifi ham juda to'g'ri emas. Shunday organik moddalar borki (sulfadimezin) ular vodorod ioni ajratmaydi, lekin kislota xossalariga ega;

- ayni paytda trimetilamin, geksametilentetramin, amidopirin kabi birikmalar gidroksil guruhiga ega emas, lekin asos xossalarini namoyon etadi;

- bu nazariyani suvsiz elektrolitlar hamda kuchli elektrolitlarga qo'llab bo'lmaydi.

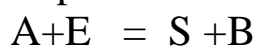
**Brensted-Louri ta'rifi.** 1923-yil daniyalik olim Brensted va ingliz olimi Louri tomonidan ishlab chiqilgan. Agar sistema o'zidan proton ajratsa (protonlar donori) kislota, agar o'zi proton bilan biriksa asos hisoblanadi. Demak, neytrallanish reaksiyasi protonning kislotadan asosga o'tishi bilan sodir bo'ladi. Protonni yo'qotib kislota asosga aylanadi, chunki hosil bo'lgan modda proton biriktirib kislotaga aylanadi:



kislota asos proton



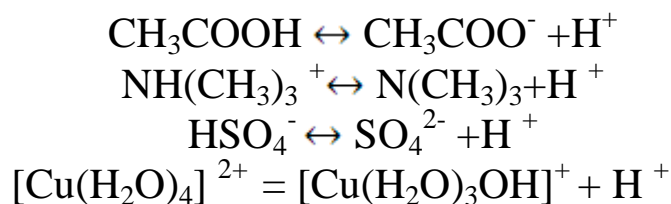
asos proton kislota



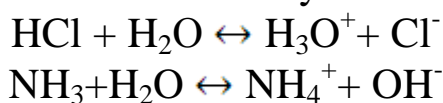
kislota+asos kislota+asos

Neytrallanish reaksiyasi protonga ega bo'lish uchun ketadigan konkurent reaksiyadir. A va V tutash sistema deyiladi. Kislota va asoslar neytral molekularlar, musbat yoki manfiy ionlar bo'lishi mumkin:

Kislota Asos



Brensted - Louri ta'rifiga ko'ra suv, ammiak amfoter elektrolit hisoblanadi. Chunki u kuchli asoslar ishtirokida o'zini kislota, kuchli kislotalar ishtirokida asos xossasini namoyon etadi:

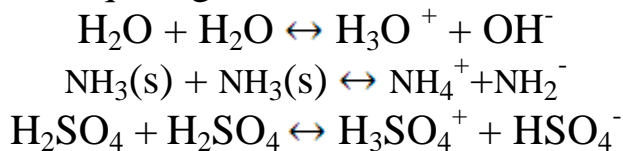


Barcha bu jarayonlar muvozanatda bo'lib, moddalarning proton berish qobiliyatiga bog'liq. HCl eritmasida muvozanat o'ngga surilgan, chunki HCl protonlarning donori hisoblanadi. Cl<sup>-</sup> ioni HCl nisbatan kuchsiz asosdir. NH<sub>3</sub> ishtirokida kuchsiz kislota H<sub>2</sub>O ga kuchli asos OH<sup>-</sup> to'g'ri keladi.

Kislotalarning kuchi ularning dissotsilanish konstantasi bilan tavsiflanadi. Odatda, kislotaning dissotsilanish konstantasi (K<sub>a</sub>) emas, balki uning logarifmi olinadi (pK<sub>a</sub>). Indeksdagi «a» asidum - kislota so'zining bosh harfidan olingan. Masalan, CH<sub>3</sub>COOH uchun pK<sub>a</sub> = 4,76. NH<sub>4</sub>OH uchun pK<sub>a</sub> = 4,75.

Shunga o'xshash asoslar uchun ham asoslik konstantasi mavjud, u ham deb belgilanadi, «b» indeksi base — asos so'zining bosh harfidan olingan. Asoslarda ham ko'pincha bu qiymat o'rniga uning logarifmi (pK<sub>b</sub>) olinadi. Masalan, rux gidroksidi uchun pK<sub>b</sub> = 4,36 va pK<sub>a</sub> = 8,83 ga teng.

**Erituvchilar sistemasi ta'rif.** Bu ta'rifga ko'ra kislota ayni erituvchida kation hosil qiladigan moddadir:



Eriganda o'z kationlarining konsentratsiyasini oshiradigan erituvchilar kislotalar, o'z anionlari konsentratsiyasini oshiradigan erituvchilar asoslar deyiladi. Ko'pgina reaksiyalar eritmada ketgani uchun bunda erituvchining xossalarini bilish juda muhimdir.

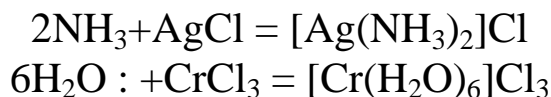
Tarkibida proton tutgan va ozmi yoki ko'pmi kislota xossasiga ega bo'lgan erituvchilar proton erituvchilar deyiladi. Proton erituvchilar o'z-

oʻzidan ionlasha oladi ( $H_2O$ ,  $H_2SO_4$  va boshqalar). Proton erituvchilarda erigan modda zarrachalari nafaqat erituvchi zarrachalari balki autodissotsilanish jarayonida yuzaga kelgan kation va anionlar bilan oʻralgan.

Aproton erituvchilar sifatida qutbliligi kam yoki kuchsiz qutblangan dissotsilanmaydigan lekin kuchsiz solvatatsiyaga uchraydigan suyuqliklar kiradi ( $CCl_4$ ,  $C_6H_6$  va boshqalar).

Dissotsiyalanmaydigan lekin kuchli solvatlanadigan qutbli erituvchilar (dimetilformamid, dimetilsulfoksid va boshqalar) hamda kuchli qutblangan autodissotsilanadigan erituvchilar kiradi ( $POCl_3$ ,  $BrF_3$  va boshqalar).

**Lyuis taʼrifi.** 1923-yil amerikalik kimyogar Lyuis taklifiga koʻra kislota elektron juft akseptorlaydigan modda, asos boʻlsa elektron juft beradigan moddadir. Kislota va asosning oʻzaro taʼsiri donor-akseptor mexanizm boʻyicha boradi:



Ammiak boʻlinmagan elektronlar juftiga ega boʻlgani uchun asos boʻladi, koordinatsion toʻyinmagan modda  $AgCl$  kislota hisoblanadi.

Lyuis fikricha barcha odatdagi ligandlar ( $NH_3$ ,  $CN^-$ ,  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $H_2O$  va boshqalar) asoslar hisoblanib, barcha metallarning ionlari kislotalardir. Metall ionining ligandga munosabati Lyuis kislotaligi deyiladi. Ayni holatda ligandning metall ion bilan bogʻ hosil qilish qobiliyati Lyuischa asoslik deyiladi. Lyuisning kislotaligi va asosligi juftining tabiatiga qarab oʻzgarishi mumkin.

Metall ionlarining ligandga munosabatiga qarab ikkiga boʻlish mumkin. Birinchi guruh metallar yengil ligandlar bilan donor akseptor mexanizm boʻyicha eng barqaror bogʻ hosil qilishi mumkin. Bu bogʻning mustahkamligi ligandning massasi origan sari kamayadi ( $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $I^-$ ,  $NR_3$ ,  $R_3P$ ,  $R_3As$ ,  $R_3Sb$ ).

I guruhga ishqoriy va ishqoriy-yer metallarining ionlari kiradi, shuningdek  $Ti^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Co^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ . Bu guruh metall ionlari (kislotalar) kam qutblanadi va yengil hamda kam qutblanadigan ligand (asos)lar bilan taʼsirlashadi. Bunday kislota va asoslar qattiq hisoblanadi.

II guruhga ogʻir metallar ionlari kiradi. Masalan,  $Hg^{2+}$ ,  $Hg_2^{2+}$ ,  $Pt^{2+}$ ,  $Pt^{4+}$ ,  $Ag^+$ ,  $Cu^+$  ionlari kiradi. Bu guruh metall ionlari va ligandlari katta hajmga ega, oson qutblanadi. Ana shunday kislota va asoslar yumshoq hisoblanadi.

**Faollik, faollik koeffitsiyenti. Eritmaning ion kuchi. Kuchli elektrolitlar.** Kuchli elektrolitlar eritmalarida ionlar konsentratsiyasi yuqoriligi sababli eritmadagi elektrostatik ta'sir ancha kuchli hisoblanadi. Kuchli elektrolitlar nazariyasi P. Debay va E. Xyukkel tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, ionlar orasidagi elektrostatik ta'sirning eritma xossalriga ta'sirini tushuntiradi.

Bu nazariya asosida har bir ion atrofida qarama-qarshi zaryadli ion atmosferasi borligi asos qilib olingan. Ion atmosferasining hosil bo'lishi, bir xil zaryadlangan ionlarning bir-biridan qochishi va har xil zaryadli ionlarning o'zaro tortilishiga asoslangan. Ana shu hodisa tufayli har bir ion qarama-qarshi zaryadli ionlar bilan o'ralgan. Ion atmosferasining zichligi markaziy ionda eng yuqori bo'lib undan uzoqlashgan sari kamayadi. Ion atmosferasining zichligi va o'lchami elektrolit eritmasining termodinamik xossalriga bog'liq.

Odatda, kuchsiz kislota va asoslarning dissotsilanish konstantasi o'zgarishsiz haroratda doimiy qiymatga ega. Lekin elektrolit konsentratsiyasi oshganda ( $C > 0,2 \text{ mol/l}$ ) eritmadagi ionlar soni ortib, ularning o'zaro va erituvchi molekulalari bilan ta'siri kuchyadi, bu esa elektrolit dissotsilanish konstantasini o'zgarishiga olib keladi.

Konsentratsiya va ion kuchi o'zgarishi bilan dissotsilanish konstantasidagi o'zgarishlarni tavsiflaydigan kattalik faollik deyiladi.

1907-yil amerikalik olim Lyuis konsentratsiyani to'laroq ifodalash uchun faollik tushunchasini kiritdi. Faollik shunday kattalik bo'lib, uni massalar ta'sir qonuni ifodasiga qo'yilsa bu tenglama har qanday konsentratsiyada o'rinli bo'lib qoladi. Demak, faollik haqiqiy konsentratsiyadir. Faollik quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$a = \gamma \cdot C.$$

Bunda:  $a$  - erigan moddaning faolligi, mol/l,  $C$  - erigan moddaning konsentratsiyasi,  $\gamma$  - faollikning molyar koeffitsiyenti ( $\gamma$  o'lchamsiz kattalik).

Agar molyal konsentratsiya olinsa, faollik koeffitsiyenti molyal faollik koeffitsiyenti deyiladi.

Agar konsentratsiya o'rniga faollik qo'yilsa dissotsilanish konstantasi konsentratsiyaga bog'liq bo'lmay qoladi. Masalan, HA kislota uchun dissotsilanish konstantasini faollik bilan bog'lash mumkin:

$$K_a \frac{a_{H^+} \cdot a_{A^-}}{a_{HA}} = \frac{[H^+] \cdot [A^-] \cdot \gamma_-}{[HA] \cdot \gamma_{HA}},$$

$K_a$  - termodinamik dissotsilanish konstantasi deyiladi. Bu qiymat eritmadagi ion kuchiga bog'liq emas.

Suyultirilgan eritmalarda faollik koeffitsiyenti birga teng, faollik va molyarlik o‘zaro teng bo‘ladi. Demak, faollik ideal eritmalarning real eritmalardan farqini baholashda qo‘llanilishi mumkin. Faollik koeffitsiyenti eritmaning ion kuchiga bog‘liq bo‘lib, elektrolit tabiatiga bog‘liq emas. Turli zaryadli ionlarning kuchi 1.2-jadvalda keltirilgan.

1.2-jadval

**Eritmalardagi turlicha zaryadlangan ionlarning faollik koeffitsiyentlarining qiymati**

Eritmaning ion kuchi	Ionlarning faollik koeffitsiyenti		
	Bir zaryadli	Ikki zaryadli	Uch zaryadli
0	1,0	1,00	1,00
0,001	0,97	0,87	0,73
0,002	0,95	0,82	0,64
0,005	0,93	0,74	0,51
0,01	0,90	0,66	0,39
0,05	0,81	0,44	0,15
0,10	0,76	0,33	0,08

Eritmaning ion kuchi - elektrolit eritmasidagi ionlarning elektrostatik ta‘sirini tavsiflab beradigan kattalikdir. Ion kuchi qiymati barcha ionlar konsentratsiyasi va zaryadi ko‘paytmasining yig‘indisini yarmiga teng:

$$I = \frac{(C_1Z_1^2 + C_2Z_2^2 + C_3Z_3^2 + \dots)}{2}$$

Bunda:  $C_1, C_2, C_3$  eritmadagi har xil ionlarning molyar konsentratsiyalari;  $Z_1, Z_2, Z_3$  — ionlarning zaryadlari.

Kuchsiz elektrolitlarning ion kuchini topish uchun uning konsentratsiyasi dissotsiyalanish darajasiga ko‘paytiriladi. Dissotsiyalanmagan molekullarning ion kuchi nolga teng.

Elektrolitlar suvda eriganda qarama-qarshi zaryadli ionlarga ajraladi. Bu ionlar o‘zaro elektrostatik ta‘sir ostida bo‘ladilar. Elektrolitlar o‘ta suyultirilganda ham ionlarning bir-biriga ko‘rsatayotgan elektrostatik ta‘sirini inkor qilib bo‘lmaydi. Shuning uchun elektrolitning eritmadagi kimyoviy potensialini aniqlashda eritmadagi ionlar potenciallarini hisobga olish kerak bo‘ladi.

Agar  $M_{ev+}A_{v-}$  eriganda  $V_+M_e^+$  kationlariga va  $V_-A^-$  anionlariga dissotsiyalanadi. Bu yerda “+” va “-” belgilari zaryad ishoralarini bildiradi va bu moddaning eritmadagi kimyoviy potentsiali ionlarning kimyoviy potentsiallar yig‘indisiga teng bo‘ladi.

$$MM_{ev_+A_{v-}} = V_+MM_e^+ + V_-MA^-$$

$$(MM_{ev_+A_{v-}} = V_+MM_e^+ + V_-MA^-)$$

Kimyoviy potentsiallarni faollik bilan ifodalasak.

$$MM_{ev_+A_{v-}} = v_+(M^oM_e^+ + RT\ln aM_e^+ + v_-(M_A^o-M_A^o-)) \text{ yoki}$$

$$MM_{ev_+A_{v-}} = (v_+M^oM_e^+ + v_-M_A^o-)RT\ln(a_{M_e^+}^{v_+} a_{A^-}^{v_-})$$

Shunday qilib elektrolitning eritmadagi kimyoviy potensialini quyidagi tenglama yordamida aniqlash mumkin:

$$MM_{ev_+A_{v-}} = M^oM_{ev_+A_{v-}} + RT\ln aM_{ev_+A_{v-}}$$

Tenlamada:

$$M^oM_{ev_+A_{v-}} = V_+M^oM_e^+ + V_-M_A^o-$$

$$aM_{ev_+A_{v-}} = a_{M_e^+}^{v_+} a_{A^-}^{v_-}$$

Ionlar faolligini faollik koeffitsiyenti va konsentratsiya (masalan, molyal konsentratsiya) orqali belgilasak quyidagi tenglamani hosil qilamiz.

$$aM_{ev_+A_{v-}} = j_{M_e^+}^{v_+} j_{A^-}^{v_-} m_{M_e^+}^{v_+} m_{A^-}^{v_-}$$

1 molekula  $M_{ev_+A_{v-}}$  dissotsiyalanganda  $v_+$  kation va  $v_-$  anionlar hosil bo'ladi, shuning uchun:

$$m_{M_e^+} = v_+m_{M_{ev_+A_{v-}}}$$

$$m_{A^-} = v_-m_{M_{ev_+A_{v-}}}$$

Ko'p hollarda hisobotlarda o'rtacha faollik koeffitsiyenti  $v_{\pm}$  ko'rsatkichi bilan foydalaniladi.

$$v_{\pm} = (v_+^{v_+} v_-^{v_-})^{\frac{1}{v_++v_-}}$$

Shunday qilib

$$aM_{ev_+A_{v-}} = v_+^{v_+} v_-^{v_-} (v_{\pm} m_{M_{ev_+A_{v-}}})^{v_++v_-}$$

Tenglamadan eritmadagi elektrolitlarning o'rtacha ion faolligini aniqlash uchun foydalansa bo'ladi. Shuningdek, bu tenglamadan o'rtacha faollik koeffitsiyentini hisoblash uchun foydalansa bo'ladi.

## 1.8. Eritmalarga doir namunaviy masala va mashqlar yechish

Quyida test shaklida berilgan masalalarni yechish usullari, to'g'ri javoblarni topishda e'tibor berish kerak bo'lgan holatlar tushuntirilib, shularga o'xshash masalalardan namunalar keltirilgan.

**1-misol.** 9,3 g ishqoriy metall oksidi 200 g suvda eritilganda hosil bo'lgan birikmaning massa ulushi 5,73% ni tashkil qilsa, oksid tarkibidagi metallni toping.

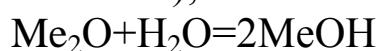
A) kaliy      B) litiy      C) seziy      D) natriy

**Yechish:** Bizga ma'lumki, ishqoriy metall oksidi suvda eritilganda, tegishli asoslar hosil bo'ladi. Bundan tashqari, ishqoriy metallar I-gruppaning asosiy gruppacha elementlari bo'lib, ular I-valentli aktiv metallardir. Shu ma'lumotlar asosida masalani quyidagicha ishlash mumkin bo'ladi:

1) Hosil bo'lgan eritmaning massasini topamiz;

$$m(\text{eritma}) = m(\text{ishqoriy metall oksidi}) + m(\text{suv}) = 9,3 \text{ g} + 200 \text{ g} = 209,3 \text{ g}$$

2) Umumiy reaksiya tenglamasini tuzamiz (bunda ishqoriy metall umumiy formulasidan foydalaniladi);

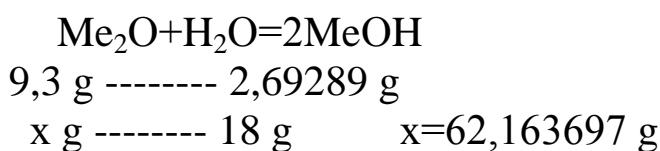


3) Reaksiya tenglamasiga muvofiq, jarayonda asos hosil bo'lib, masala shartida berilgan 5,73% shu moddaning ulushidir. Bundan foydalanib, uning massasini quyidagicha topish mumkin bo'ladi.

$$m(\text{MeOH}) = m(\text{eritma}) \cdot 0,0573 = 209,3 \cdot 0,0573 = 11,99289 \text{ g}$$

4) Reaksiyaning umumiy tenglamasidan foydalanib, jarayonda gaz modda yoki cho'kma moddalarning (eritma massasini kamaytirmaydigan holatlar) hosil bo'lmaganligi, hamda reaksiyada bizga ma'lum suvdan foydalanib, masalani quyidagicha ishlaymiz:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{MeOH}) - m(\text{Me}_2\text{O}) = 11,99289 - 9,3 = 2,69289 \text{ g}$$



5) Demak,  $\text{Me}_2\text{O}$  ning molyar massasi 62,163697 g bo'lsa, undan noma'lum elementni quyidagicha topish mumkin;

$$m(\text{Me}_2) = m(\text{Me}_2\text{O}) - m(\text{O}) = 62,163697 - 16 = 46,163697$$

$$\text{Me} = 46,163697 : 2 = 23,08 \text{ g}, \quad \text{Ar}(\text{Na}) = 23 \quad \textbf{Javob: D.}$$

**2-misol.** Ishqoriy metall gidridi 66,2 g suvda eritilganda 0,2 g gaz modda ajralib, 8% li eritma hosil bo'ldi. Metallni toping.

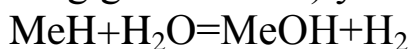
A) natriy      B) kaliy      C) litiy      D) seziy

**Yechish:** Ishqoriy metall gidridi suvda eritilganda, tegishli asos, hamda vodorod gazini hosil qilishini bilamiz. Ammo bu masalada, metall

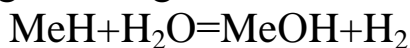


gidridining miqdori (g) berilmagan. Bunday masalalarni quyidagicha yechamiz:

1) Reaksiya tenglamasining umumiy tenglamasini (ishqoriy metallning bir valentli ekanligiga asoslanib) yozamiz;



2) Masalani quyidagicha tenglama tuzish orqali ishlaymiz;



$$x+1 \text{ ----- } x+17 \text{ ----- } 1 \text{ mol}$$

$$(x+1) \cdot 0,1 \text{ ----- } (x+17) \cdot 0,1 \text{ ----- } 0,1 \text{ mol (0,2 g vodorod miqdori)}$$

$$\text{ya'ni } \frac{(x+17)0,1}{66,2 + (x+1)0,1} \times 100\% = 8$$

$x=39$ , demak, bu metall – kaliy.

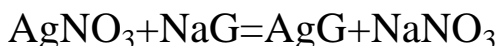
**Javob:** B

**3-misol.** 24,3% li 70 g kumush nitrat eritmasiga tarkibida ekvivalent miqdorda natriy galogenid bo‘lgan 80 g eritma qo‘shildi. Cho‘kma ajratilgandan so‘ng 6,48% li eritma hosil bo‘ldi. Reaksiyada qaysi tuzning eritmasi ishlatilgan?

A) NaBr B) NaCl C) NaF D) NaI

**Yechish:** Bu masalani ham, yuqoridagi singari tenglama tuzish orqali ishlaymiz.

1) Reaksiya tenglamasini tuzamiz;



2)  $m(\text{AgNO}_3) = 70 \cdot 0,243 = 17,01 \text{ g}$  (0,1 mol), reaksiya tenglamasiga muvofiq, 0,1 moldan AgG hamda NaNO<sub>3</sub> hosil bo‘lgan. Shu ma’lumotlar asosida, tenglama tuzish orqali masalani ishlaymiz.

$$170 \text{ (1 mol)} \text{ ---- } 108+x \text{ ---- } 85 \text{ (x-galogen massasi)}$$

$$17 \text{ (0,1 mol)} \text{ ---- } (108+x)0,1 \text{ ---- } 8,5$$

$$\text{bundan } \frac{8,5}{70 + 80 - (108 + x)0,1} \times 100\% = 6,48 \quad x=80, \text{ demak bu}$$

galogen brom. **Javob:** A

**4-misol.** 30 g texnik rux namunasi bromid kislota eritmasining mo‘l miqdori bilan ishlanganda 8,96 l (n.sh.) gaz ajralib chiqdi. Namunadagi ruxning massa ulushini toping.

Berilgan:

$$m_{\text{namuna}} = 30 \text{ g}$$

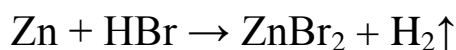
$$V_{\text{gaz}} = 8,96 \text{ l}$$

$$\omega(\text{Zn}) - ?$$

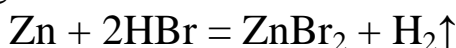
### Yechish:

1. Rux va bromid kislota orasidagi kimyoviy reaksiya tuz – rux bromid va vodorod hosil bo‘lishi bilan boradi.

Reaksiya sxemasi:



2. Reaksiyani tenglashtiramiz:



3. Vodorod miqdorini topish uchun quyidagi formuladan foydalanamiz:

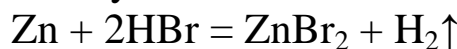
$$v(\text{X}) = \frac{V(\text{X})}{V_m}$$

4. Vodorodning miqdori uning molyar hajmiga nisbatan topiladi:

$$v(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m}$$

$$n(\text{H}_2) = 8,96 \text{ l} : 22,4 \text{ l/mol} = 0,4 \text{ mol}$$

5. Reaksiya tenglamasi bo‘yicha:



Sarflangan rux miqdori hosil bo‘lgan vodorod gazi miqdoriga teng. Ya’ni  $n(\text{H}_2) = 0,4 \text{ mol}$ , bo‘lgani uchun  $n(\text{Zn}) = 0,4 \text{ mol}$ .

6. Bundan rux massasini hisoblaymiz:

$$Mr(\text{Zn}) = Ar(\text{Zn})$$

$$Ar(\text{Zn}) = 65$$

$$Mr(\text{Zn}) = 65$$

$$M(\text{Zn}) = 65 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Zn}) = M(\text{Zn}) * n(\text{Zn})$$

$$m(\text{Zn}) = 65 \text{ g/mol} * 0,4 \text{ mol}$$

$$m(\text{Zn}) = 26 \text{ g}$$

7. Texnik rux namunasidagi ruxning miqdorini quyidagi formula bilan topamiz:

$$\omega(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{m(\text{H})} * 100\%$$

$$\omega(\text{Zn}) = m(\text{Zn}) * 100\% / m(n.)$$

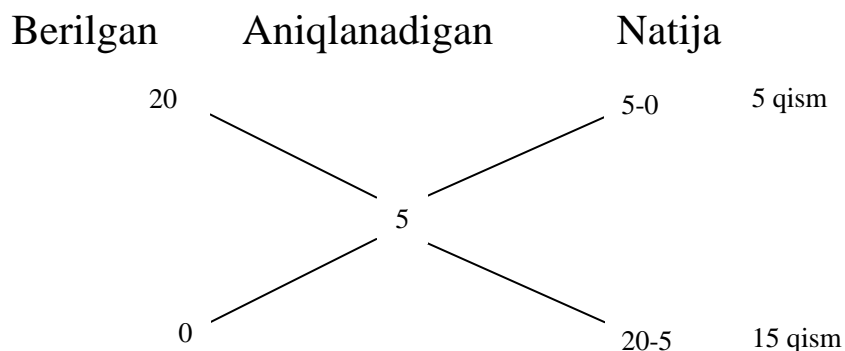
$$\omega(\text{Zn}) = 26 \text{ g} * 100\% / 30 \text{ g}$$

$$\omega(\text{Zn}) = 86,7\%$$

**Javob:**  $\omega(\text{Zn}) = 86,7\%$

**5-misol.** 20% eritmadan suyultirish orqali 5% li (massa bo'yicha) eritma olish uchun, qancha qism suv va qancha qism 20% li eritmalardan aralashtirilishi kerak?

**Yechish:** "Krest" usuli quyidagicha tuziladi:

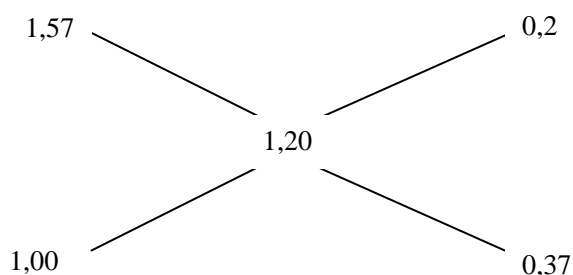


**Javob:** olingan natijalardan ko'rinib turibdiki, 5% li eritma olish uchun 5 qism 20% li eritma va 15 qism suv aralashtirilishi kerak.

Krest qoidasini aralashtiriladigan suvli eritmalarning zichliklari orqali ham ifodalash mumkin.

**6-misol.** Zichligi  $1,57 \text{ g/sm}^3$  bo'lgan eritmadan va suvdan foydalanib zichligi  $1,20 \text{ g/sm}^3$  bo'lgan suvli eritma tayyorlash kerak. Krest qoidasi bo'yicha quyidagi sxemani tuzamiz:

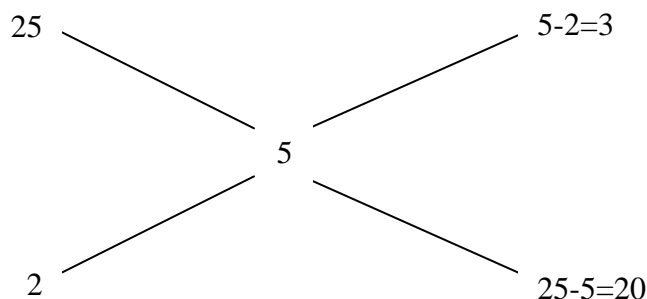
**Yechish:**



**Javob:** Olingan natijalardan ko'rinib turibdiki zichligi  $1,20 \text{ g/sm}^3$  eritma olish uchun, zichligi  $1,57 \text{ g/sm}^3$  bo'lgan eritmaning  $20 \text{ sm}^3$  hajmini  $37 \text{ sm}^3$  suv hajmi bilan aralashtirish kerak.

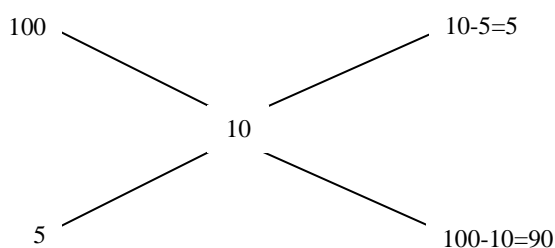
**7-misol.** Krest qoidasi bo'yicha 5% li NaCN eritmasi olish uchun qancha qism 25% va 2% li NaCN eritmalarini aralashtirish kerak?

**Yechish:**



**Javob:** 5% li NaCN eritmasini olish uchun 3 qism 25% li va 20 qism 2,0% NaCN eritmalarini aralashtirish kerak.

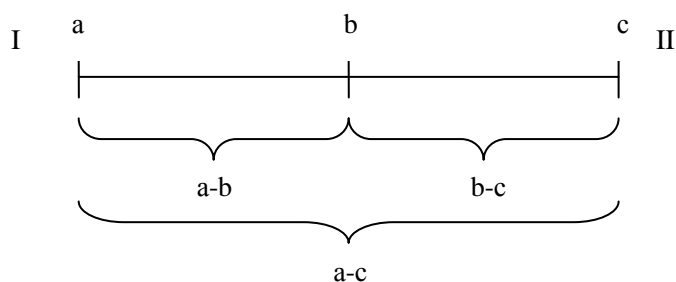
**8-misol.** Konsentratsiyasi 10% tiomochevina eritmasini tayyorlash uchun 5% li tiomochevina eritmasiga qancha tiomochevina moddasidan qo‘shish kerak?



**Javob:** 10% tiomochevina eritmasini tayyorlash uchun 90 kg 5% tiomochevina eritmasiga 5 kg toza tiomochevina moddasidan qo‘shish kerak.

**9-misol.** 95% li sulfat kislotaning 5 qismi (I) 62% li sulfat kislotaning 6 qismi (II) bilan aralashtirilgan. Hosil bo‘lgan aralashmada sulfat kislotaning konsentratsiyasini aniqlash kerak.

**Yechish:** To‘g‘ri chiziq qoidasini quyidagi sxema orqali ifodalash mumkin:



To‘g‘ri chiziq qoidasining quyidagi sharti mavjud:

$$(a - b) + (b - c) = a - c \quad (1)$$





$$x_2 \text{ g shakar} \text{ -----} 5 \% \quad x_2 = 250 * 5 : 100 = 12,5 \text{ g}$$

3. Aralashtirilgandan so‘ng eritmaning umumiy massasini topamiz:

$$150 + 250 = 400 \text{ g}$$

4. Shakarning umumiy massasini topamiz:  $15 + 12,5 = 27,5 \text{ g}$

5. Hosil bo‘lgan eritmadagi erigan moddaning massa ulushini topamiz:

$$400 \text{ -----} 100 \%$$

$$27,5 \text{ -----} x \% \quad x = 27,5 * 100 : 400 = 6,875 \% \quad \text{Javob: } 6,875 \%$$

### Kimyoviy usul (formula yordamida):

1. Birinchi eritmadagi shakarning massasini topamiz:

$$m_1 = w_1 * m_{\text{eritma1}} = 150 * 0,1 = 15 \text{ g}$$

2. Ikkinchi eritmadagi shakarning massasini topamiz;

$$m_2 = w_2 * m_{\text{eritma2}} = 250 * 0,05 = 12,5 \text{ g}$$

3. Aralashtirishdan so‘ng eritmaning massasini topamiz:

$$m_{\text{eritma3}} = m_{\text{eritma1}} + m_{\text{eritma2}} = 150 + 250 = 400 \text{ g}$$

4. Eritmadagi shakarning umumiy massasini aniqlaymiz:

$$m_{\text{shakar(umumiy)}} = m_1 + m_2 = 15 + 12,5 = 27,5 \text{ g}$$

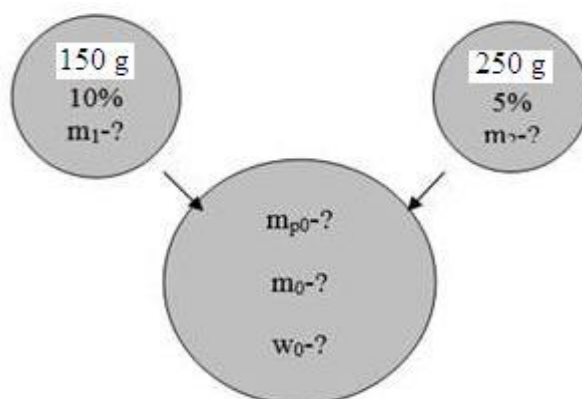
5. Erigan moddaning massa ulushini hisoblaymiz:

$$w_{\text{shakar}} = m_{\text{shakar(umumiy)}} / m_{\text{eritma3}} = 27,5 : 400 = 0,06875 \text{ yoki } 6,875 \%$$

Javob: 0,06875 massa ulush yoki 6,875 %.

Mazkur masalani “**Matematik model**” usulidan foydalanib ham yechish mumkin:

1. Birinchi navbatda masalani sxema ko‘rinishiga keltirib olamiz:



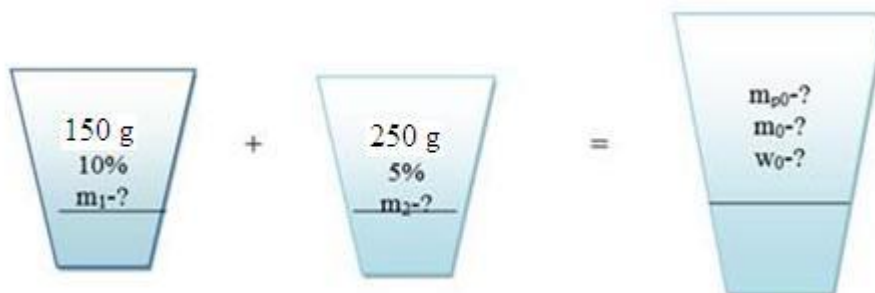
### 1.2-rasm. Masala mazmunini ifodalashning klaster usuli

2. Masalani yechishni osonlashtirish uchun jadvaldan foydalanamiz:

**Eritmalarni aralashtirishdagi berilgan sonlar**

Eritma massasi, g	Erigan modda massasi, g	Eritma konsentratsiyasi
$m_{\text{eritma1}}=150$	$m_1=15$	$w_1=0,10$
$m_{\text{eritma2}}=250$	$m_2=12,5$	$w_2=0,05$
$m_{\text{eritma3}}=?$	$m_3=?$	$w_3=?$

3. Aralashtirish jarayonini tasvirini chizamiz (maket):



1.3-rasm. Maket ko‘rinishidagi model

4. Bu rasmni Microsoft Office Power Point dasturi orqali chizish mumkin.

5. Bu masalani bir noma'lumli tenglama yordamida yechiladi:

$$w_3 = \frac{(m_1 + m_2) \cdot 100}{m_{\text{eritma1}} + m_{\text{eritma2}}} = \frac{(15 + 12,5) \cdot 100}{150 + 250} = 6,875 \%$$

Javob: 6,875 %.

“Matematik model” usulining afzal tomoni shundaki, xuddi shu turdagi misollarni bir xil ifodaga qo‘yib yechish mumkin.

### ***Mustaqil yechish uchun masala va mashqlar***

1. 2,82 g ishqoriy metall oksidi 45,18 g suvda eritilganda hosil bo‘lgan birikmaning massa ulushi 7% ni tashkil qilsa, reaksiyaga olingan metallni aniqlang.

2. 7,65 g ikki valentli metall oksidi 334,35 g suvda eritilganda hosil bo‘lgan moddalarning massa ulushi 2,5% ni tashkil qilsa, metallni toping.

3. 6,12 g ishqoriy-yer metall oksidi 221,88 g suvda eritilganda hosil bo‘lgan birikmaning massa ulushi 3% ni tashkil qilgan bo‘lsa, metallni toping.

4. 5,2 g ishqoriy-yer metall oksidi 757,3 g suvda eritilganda hosil bo‘lgan birikmaning massa ulushi 0,80% ni tashkil qildi. Metallni toping.



5. 2,4 g ishqoriy metall oksidi 93,6 g suvda eritilganda hosil bo'lgan birikmaning massa ulushi 4% ni tashkil qilsa, reaksiyaga olingan metallni aniqlang.

6. Ishqoriy-yer metall gidridi 300 g suvda eritilganda 784 ml (n.sh.) gaz modda ajralib, 0,71% li eritma hosil bo'ldi. Qaysi metall gidridi ishlatilgan?

7. Ikki valentli metall gidridi 420,75 g suvda eritilganda 2,24 l (n.sh.) gaz modda ajralib, 2,0% li eritma hosil bo'ldi. Qaysi metall gidridi ishlatilgan?

8. 255 g 20% li kumush nitrat eritmasiga tarkibida ekvivalent miqdorda natriy galogenid bo'lgan 45 g eritma qo'shib, so'ng cho'kma ajratilgandan so'ng 9,92% li eritma hosil bo'ldi. Reaksiyada qaysi tuzning eritmasi ishlatilgan?

9. 85 g 20% li kumush nitrat eritmasiga tarkibida ekvivalent miqdorda natriy galogenid bo'lgan 65 g eritma qo'shib, so'ng cho'kma ajratilgandan keyin 6,72% li eritma hosil bo'ldi. Reaksiyada qaysi tuzning eritmasi ishlatilgan?

10. Konsentratsiyasi 46 g/l (4,6%) bo'lgan suyultirilgan sulfat kislota eritmasini tayyorlash. Kislota va aralashtiriladigan suvning miqdorlarini krest usulida hisoblash.

11. Konsentratsiyasi 150 g/l bo'lgan mis ko'porosi eritmasini tayyorlash. Aralashtiriladigan miqdorlarni krest usulida hisoblash

12. Zichligi 1,35 g/sm<sup>3</sup> bo'lgan sulfat kislota eritmasini tayyorlash. Hisobotni krest usulida olib borish.

13. 25 % li eritmadan 200 g tayyorlash uchun 10 % li va 50 % li eritmalardan qanchadan miqdorda aralashtirish kerak?

14. 90% li nitrat kislotaning 6 qismi (I) 50% li nitrat kislotaning 8 qismi (II) bilan aralashtirilgan. Hosil bo'lgan aralashmada nitrat kislotaning konsentratsiyasini aniqlang.

15. 2 qism 60 % li osh tuzi eritmasiga 3 qism 40 % li osh tuzi eritmasi aralashtirildi. Hosil bo'lgan eritmaning foiz konsentratsiyasini toping.

16. 7 qism 80 % li KCl eritmasiga 20 % li KCl eritmasidan necha qism qo'shilsa, 40 % li eritma hosil bo'ladi? Masalani to'g'ri chiziq usuli bilan yeching.

17. 40 g 4 % li eritma hosil qilish uchun necha gramm modda va suv olish kerak?

18. 80 g 15 % li eritmaga 20 g suv qo'shildi. Hosil bo'lgan eritmadagi erigan moddaning massa ulushi (%) qanday bo'ladi?

19. 15 g moddani 135 g suvda eritib olingan eritmaning konsentratsiyasi (%) qanday bo‘ladi?
20. 25 % li 80 gramm eritmadagi moddaning massasini (g) toping.
21. 300 g 20 % li shakar eritmasini tayyorlash uchun qancha (g) shakar va suv kerak?
22. 250 g 20 % li shakar eritmasiga 50 g shakar qo‘shildi. Hosil bo‘lgan eritmadagi shakarning massa ulushini hisoblang.
23. 1,2 litr suvda necha litr (n.sh.) ammiak  $\text{NH}_3$  eritilsa, uning konsentratsiyasi 10 % ga teng bo‘ladi?
24. Osh tuzining 20% li eritmasidan 600 g tayyorlash uchun uning 10% li va 40%li eritmalaridan qanchadan (g) olish kerak?

### **Savol va topshiriqlar**

1. Hidrometallurgiya nima?
2. Hidrometallurgik jarayonlarga misol keltiring!
3. Hidrometallurgik usullarda qaysi metallar ishlab chiqariladi?
4. Hidrometallurgik jarayonlar qaysi sharoitlarda olib boriladi?
5. Eritish turlarini ayting!
6. Erituvchi moddalarga misol keltiring!
7. Eritish deb nimaga aytiladi?
8. Hidrometallurgiyada qanday erituvchi moddalar ishlatiladi?
9. Termodinamika deganda nimani tushunasiz?
10. Termodinamikaning qanday qonunlarini bilasiz?
11. Asosiy termodinamik tushunchalarga nimalar kiradi?
12. Termodinamika qonunlarini o‘rganishning gidrometallurgik jarayonlarga qanday ijobiy tomoni bor?
13. Eritma deganda nimani tushunasiz ?
14. Eritma turlari va ularga misollar keltiring!
15. Eritmaning xossalari haqida nimalarni bilasiz?
16. Eritmaning massa ulishi haqida nimalar bilasiz?
17. Elektrolit deganda nimani tushunasiz?
18. Elektrolit bo‘lgan moddalar qaysilar?
19. Elektrolitlarning faolligiga nimalar ta’sir qiladi?
20. Elektrolitlarga misollar keltiring!

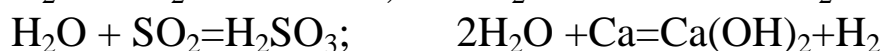
## 2-BOB. ODDIY TANLAB ERITISH TERMODINAMIKASI

### 2.1. Suv va uning xossalari

Suv – vodorodning oksidi, eng ko‘p tarqalgan va muhim moddalardan biridir. Yerning suv egallagan sathi qumqlik sathidan 2,5 marta katta. Tabiatda toza (sof) suv yo‘q, uning tarkibida doimo qo‘shimchalar bo‘ladi.

*Fizik xossalari.* Toza suv shaffof, hidsiz va ta‘msiz bo‘ladi. Uning zichligi 4 °C da eng katta ( $1 \text{ g/sm}^3$ ) bo‘ladi. Muzning zichligi suvning zichligidan kam, shu sababli muz suv yuziga qalqib chiqadi. Suv 0°C da muzlaydi va 101325 Pa bosimda 100 °C da qaynaydi. U issiqlikni yaxshi o‘tkazmaydi va elektr tokini juda yomon o‘tkazadi. Suv – yaxshi erituvchi.

*Kimyoviy xossalari.* Suv - reaksiyaga ancha yaxshi kirishuvchan modda. U odatdagi sharoitda ko‘pchilik asosli va kislotali oksidlar, shuningdek, ishqoriy metallar va ishqoriy-yer metallar bilan reaksiyaga kirishadi, masalan:



*Suvning qovushqoqligi.* Suyuqlik qatlamlari harakatlanganda katta ichki ishqalanish vujudga keladi. Bunday ichki ishqalanish molekular orasidagi o‘zaro tortishuv uchlariga bog‘liq bo‘ladi va suyuqlikning qovushqoqligi deyiladi. Suyuqliklarning qovushqoqligi haroratga qarab o‘zgaradi, harorat pasayganda qovushqoqlik juda ortib ketadi.

2.1-jadval

Suvning qovushqoqligi

T/r	Harorat, °C	Qovushqoqlik, sekund	Harorat, °C	Qovushqoqlik, sekund
1	0	0,00178	40	0,00066
2	15	0,00113	60	0,00048
3	20	0,00100	80	0,00035
4	25	0,00089	100	0,00029

Qovushqoqlik puazlarda yoki santipuaz va mikropuazlarda o‘lchanadi. Qovushqoqlik ( $\eta$ ) bilan suyuqlikning solishtirma hajmi orasidagi bog‘lanish A. I. Bachinskiy formulasi bilan ifodalaniladi:

$$1 \text{ puaz} = 1 \frac{\text{g}}{\text{sm} \cdot \text{sek}}$$

$$\eta = \frac{C}{V - \omega}$$

Bunda  $V$  - suyuqlikning solishtirma hajmi.  $C$  va  $w$  haroratga ham, bosimga ham bog'liq bo'lmagan o'zgarmas kattaliklar. Fizik ma'nosi jihatidan  $w$  Van-der-Vaals tenglamasidagi o'zgarmas kattalik  $w$  ga o'xsbaydi. Demak,  $V-w$  suyuqlikning «Erkin hajmi» ni bildiradi. Harorat ko'tarilganda molekulalar orasidagi masofa kattalashib, suyuqlikning hajmi ortadi. Bunda yuqoridagi formulaga ko'ra, qovushqoqlik kamayadi. Qovushqoqlik vizkozimetr yordamida o'ichanadi.

Qovushqoqlikga teskari kattalik ( $1/\eta$ ) oquvchanlik deyiladi. Qovushqoqlikni bilish tibbiyotda tirik organizmlarda sodir bo'ladigan ko'pgina muhim jarayonlarning qanday borishini aniqlashda, masalan. oqsil, uglevod, yog'lar hamda organizmning turli suyuqliklarini (qon, siydik, limfa, oshqozon shirasi) o'rganishda qovushqoqlikni aniqlash muhim ahamiyatga ega.

*Suv molekulasining tuzilishi.* Suv o'simlik va hayvonlar organizmi hamda uning normal hayot kechirishi uchun juda muhim modda hisoblandi. Inson organizmida kishining yoshiga qarab 50-70% miqdorda suv bo'ladi. Ba'zi jonivorlarning 98% suvdan iborat. Sabzavot va mevalar tarkibida 80% gacha suv bo'ladi. Suv oqsil kolloidlari tarkibiga kiradi va tirik hujayra hamda to'qimalarning tuzilishida bevosita ishtrok etadi. Shu sababli suvning xossalarini va ichki tuzilishi xususiyatlarini o'rganishning ahamiyati katta.

Ilgari suyuq holdagi suv oddiy  $H_2O$  molekulalar bilan bir qatorda qo'shaloq  $(H_2O)_2$  o'lchamli  $(H_2O)_3$  va undan murakkab zarrachalardan tarkib topgan assotsiatlardan iborat deb hisoblanar edi. Lekin, bu tajribada tasdiqlanmadi. Keyingi vaqtlarda rentgenostruktura analiz suyuq suvda molekulalar maksimum darajada tartib bilan joylashganligini ko'rsatdi. Odatdagi va yuqoridagi haroratlarda bunday tuzilish kvarsning strukturasi o'xshab ketadi,  $4^\circ C$  dan past haroratda suvning zichligi kamayib, odatdagi muzning strukturasi o'xshab qoladi.

Hozirgi paytda suyuq suvni o'zaro tetraedrik bog'langan molekulalar birlashmasi bilan qisman yoki batamom erkin bog'langan molekulalardan tarkib topgan deyish mumkin. Bunday birlashgan molekulalar (ular o'zaro vodorod bog'lanish orqali birikkan), ayniqsa, suvning muz holatida ko'proq bo'ladi.

Muzning harorati  $0^{\circ}\text{C}$  ga qadar ko'tarilganda ya'ni, u eriy boshlaganida issiqlik harakati tufayli suv molekulalari orasida vodorod bog'lanishlar uzila boshlaydi. Lekin  $0^{\circ}\text{C}$  va undan past haroratlarda issiqlik harakat energiyasi muz kristalli molekulalari orasidagi barcha vodorod bog'lanishlarni uzishga yetarli bo'lmaydi.

Suvda dinamik muvozanat qaror topadi, bunda erkin molekulalar bilan bir qatorda o'zaro vodorod bog'lanish orqali bog'langan molekulalar ham bo'ladi. Muz eriganda issiqlik yutiladi, ya'ni kristall panjaraning buzilishi endotermik jarayon hisoblanadi, sistemaning energiyasi ana shu vodorod bog'lanishlarni uzishga sarflanadi. Muz eriganda hajm kichrayadi, bu esa suv molekulalarining muzdagi zichligi suyuq suvdagi zichlikdan kichik ekanligini ko'rsatadi. Muz strukturasi har qanday molekula o'ziga eng yaqin boshqa 4 ta molekula bilan vodorod bog'lanish orqali bog'lanib tetraedrik struktura hosil qiladi. Bunday struktura g'ovak bo'ladi. Muz eriganda esa bunday struktura buziladi. Shu sababli muayyan miqdordagi suv muzlaganda uning hajmi kattalashadi. Suvning zichligi katta bo'ladi va  $4^{\circ}\text{C}$  maksimum qiymatga yetadi. Suvning tabiatdagi eng muhim xususiyati uning boshqa moddalarning o'zida eritishdir. O'simliklar ham oziq moddalarning ko'pchiligini, asosan, suvda erigan holda o'zlashtiradi.

*Moddalarning suvda erish issiqligi.* Moddalar eriganda issiqlik yutiladi yoki ajralib chiqadi. *Bir mol modda eriganda yutiladigan yoki ajralib chiqadigan issiqlik miqdori shu moddaning erish issiqligi deb ataladi*

Qattiq moddalarning erish jarayoni ketma-ket ikki bosqichdan iborat bo'lib, bularning har birida issiqlik effekti sodir bo'ladi:

1) Erish jarayonida qattiq moddalarning kristall panjarasi parchalanadi. Buning uchun ma'lum energiya sarf qilish kerak, demak bu jarayonda issiqlik yutiladi ( $-Q_1$ );

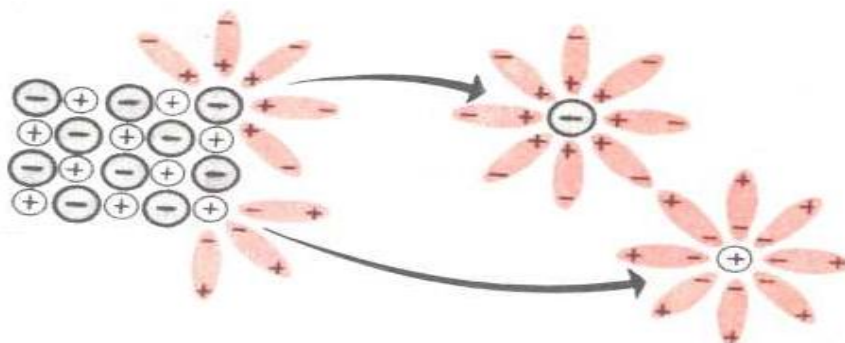
2) erigan modda zarrachalarining erituvchi molekulalari bilan o'zaro ta'siri (solvatlanish) natijasida issiqlik ajralib chiqadi ( $+Q_2$ ).

Demak, erish issiqligi  $Q$  yuqorida aytib o'tilgan issiqlik effektlarining yig'indisidan iborat bo'ladi.

$$Q = -Q_1 + Q_2$$

Erituvchi sifatida suv ishlatilsa gidratlanish deyiladi. Gidratlanish paytida kristall panjaraning buzishga sarflanganidan ko'ra ko'proq issiqlik chiqsa, qattiq moddaning erishi ekzotermik jarayon bo'ladi. Aksincha, agar gidratlanish natijasida chiqqan issiqlik kristall panjarani buzishga

sarflangan issiqlikdan kam bo'lsa, bunday jarayon endotermik jarayon deyiladi.



2.1-rasm. Kristallarning suvda erish jarayoni

Quyidagi jadvalda ba'zi moddalarning erish issiqligi keltirilgan:

2.2-jadval

**Ba'zi moddalarning erish issiqligi**

Modda formulasi	Erish issiqligi, $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
$\text{KNO}_3$	-35,65
$\text{NaNO}_3$	-26,44
$\text{H}_2\text{SO}_4$	74,67
$\text{KOH}$	55,61
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	25,10
$\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-66,94

Termodinamika nuqtai nazaridan biror modda boshqa ikkinchi moddada eriganda, shu jarayon ro'y berayotgan sistema uchun  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$  shart bajarilishi kerak. Suyuqlik yoki qattiq modda eriganda ularning zarrachalari "tartibli" holatdan, tartibsiz holatga o'tadi. Buning natijasida sistemaning entropiyasi ortadi  $\Delta S > 0$ , bu erish jarayonini o'z-o'zidan borishiga va  $\Delta G < 0$  bo'lishida entropiya omilining ijobiy hissa qo'shishiga sabab bo'ladi. Shu boisdan ko'p hollarda qattiq va suyuq moddalarning erishi harorat ortishi bilan ortadi.

Gazsimon moddalarning suyuqliklarda erishida zarrachalar tartibsiz holatdan tartibi yuqoriroq bo'lgan holatga o'tadi va  $\Delta S < 0$  bo'ladi. Shu sababdan gazsimon moddalarning harorat ortishi bilan kamayadi.

$\Delta H$  asosan moddaning tuzilishi, kristall panjarasi buzilishiga sarflangan energiya  $-\Delta H_{\text{tuzil}}$  bilan yangi hosil bo'lgan moddalarning solvatlar, gidratlar hosil bo'lish energiyasi  $\Delta H$  (solv.) lari farqi  $\Delta H_{\text{erish}} = \Delta H_{\text{tuzil}} - \Delta H_{\text{solv}}$  dan iborat.

Gazsimon moddalar uchun  $\Delta H_{\text{tuzil.}}=0$  bo'lgani uchun  $\Delta H_{\text{erish}}= -\Delta H_{\text{solv.}}$  bo'ladi. Shu sababli doimo gazlarning erishi ( $\Delta H_{\text{erish}}<0$ ) ekzotermik bo'ladi. NaOH, KOH, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> larning erishi ekzotermik jarayondir, ya'ni  $\Delta H_{\text{tuzil.}}< \Delta H_{\text{solv.}}$  bo'ladi. NaNO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>Cl tuzlar eriganda  $\Delta H_{\text{tuzil.}}> \Delta H_{\text{solv.}}$  entalpiya o'zgarishi  $\Delta H>0$ . Bu moddalarning erishi endotermik reaksiyalardir.

*Qattiq, suyuq va gaz moddalarning suvda yoki boshqa suyuqliklarda eruvchanligi. Genri qonuni*

Turli moddalarning bir erituvchida o'zida eruvchanligi turlicha bo'ladi. Qattiq jismning suyuqlikda eruvchanligi o'zgarmas bosimda harorat ortishi bilan ortadi. Masalan, suvda harorat ortishi bilan kaliyli selitra KNO<sub>3</sub>, qo'rg'oshin nitrat Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> va kumush nitrat AgNO<sub>3</sub> larning eruvchanligi ortadi. Harorat ortishi bilan osh tuzi NaCl ning eruvchanligi esa, deyarli o'zgarmaydi.

Lekin qattiq modda eriganda issiqlik ajralsa, bu moddaning eruvchanligi harorat ortishi bilan kamayadi. Masalan, Ca(OH)<sub>2</sub> ning eruvchanligi harorat ko'tarilishi bilan kamayadi.

Natriy sulfat Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10H<sub>2</sub>O ning eruvchanligi 32<sup>0</sup>C gacha ortib, keyin esa kamaya boshlaydi. Bunga sabab shuki, ayni haroratda (32<sup>0</sup>C da) tuzning tarkibi o'zgaradi. Bu haroratda natriy sulfat kristallizasiya suvini yo'qotadi va Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ga aylanadi.

Qattiq jismlarning suyuqlikda eruvchanligiga bosim nihoyatda kam ta'sir ko'rsatadi. Lekin nihoyatda katta bosim eruvchanlikni o'zgartirib yuboradi.

Suvda faqat qattiq moddalar va gazlarga emas, balki ko'pgina suyuqliklar ham eriydi. Suyuqliklarning suyuqliklarda erishi uch xil bo'lishi mumkin:

1) suyuqliklar o'zaro istalgan nisbatda aralashadi (masalan, suv bilan spirt, suv bilan gliserin, suv bilan vodorod peroksid, toluol va benzol);

2) suyuqliklar o'zaro ma'lum chegaradagina aralashadi (masalan, suv bilan anilin, suv bilan efir, suv bilan fenol); harorat ko'tarilishi bilan suyuqliklarning bir – birida eruvchanligi ortadi;

3) suyuqliklar o'zaro aralashmaydi (masalan, suv bilan yog', suv bilan simob, suv bilan benzol, suv bilan uglerod sulfid).

Suyuqlikning suyuqlikda erishi harorat ortishi bilan ortadi, lekin bosim o'zgarganda kam o'zgaradi.

Gazlarning suvda eruvchanligi har xildir. Ba'zi gazlar, masalan, vodorod va azot juda oz eriydi; vodorod xlorid va ammiak ancha yaxshi eriydi. Gazlarning suyuqliklarda erishi ekzotermik jarayon bo'lib, gazlarning eruvchanligi haroratning ko'tarilishi bilan, Le-Shatelye prinsipiga muvofiq, muvozanat chap tomonga siljiydi va eruvchanlik kamayadi. Agar suv isitilsa, eruvchanlikning kamayishi sababli, gaz pufakchalari ajralib chiqa boshlaydi. Suvni qaynatib, undagi gazni butunlay chiqarib yuborish mumkin.

Quyidagi jadvalda ba'zi eruvchanligi ( $0^{\circ}$  C haroratda va 760 mm simob ustuni bosimida 100 ml suvda erigan gazning hajmi, ml hisobida) keltirilgan:

2.3-jadval

### Ba'zi gazsimon moddalarning erish issiqligi

Gaz	Eruvchanlik, ml
H <sub>2</sub>	2,15
O <sub>2</sub>	4,89
N <sub>2</sub>	2,35
CO <sub>2</sub>	17,13
NH <sub>3</sub>	117600
HCl	52520
Havo	2,9

Harorat pasayganda esa, eruvchanlik ortadi. Gazning suyuqlikda eruvchanligi suyuqlik ustidagi gazning bosimiga bog'liq. Gazlarning eruvchanligi bosim o'zgarishi bilan keskin ravishda o'zgaradi. Bosimning ta'sir etish qonunini Genri (1803-yilda) kashf etdi.

Genri qonuniga muvofiq, *o'zgarmas haroratda ma'lum hajm suyuqlikda erigan gazning massasi shu gazning bosimiga to'g'ri proporsional bo'ladi.*

$$m=k \cdot P$$

Bu yerda: m-ma'lum hajm suyuqlikda erigan gazning massasi, R-gaz bosimi, k-proporsionallik koeffitsiyenti yoki Genri doimiysi.

Gazlar aralashmasi eritilganda har qaysi gaz mustaqil ravishda eriydi, ya'ni *bir gazning erishiga aralashmadagi boshqa gazlar hech qanday halal bermaydi, erigan gazning miqdori uning parsial bosimigagina proporsional bo'ladi (Genri-Dalton qonuni).* Genri va Dalton qonunlariga suyuqlik bilan kimyoviy reaksiyaga kirishmaydigan gazlarga (past bosimda) bo'ysunadi. 1 litr erituvchida  $t^{\circ}$  haroratda va R bosimda eriydigan gaz hajmi *gazning eruvchanlik koeffitsiyenti* deyiladi.



0° C da 1 litr suvda 0,048 l kislorod eriydi. Bosim 4 marta ko'tarilganda ham 1 l suvda shuncha kislorod eriveradi, lekin bu hajmdagi gazning massasi boshlang'ich bosimdagiga qaraganda 4 marta ortiq bo'ladi. Harorat ko'tarilishi bilan gazning suyuqlikdagi eruvchanligi kamaya boradi, chunki gazning suyuqlikda erishi ko'pincha issiqlik chiqishi bilan sodir bo'ladi.

### *Osmos hodisasi va osmotik bosim*

Agar shakar eritmasi solingan, devori yarim o'tkazgich xossasiga ega idishni suvli idishga tushirilsa, bir yoqlama diffuziya ro'y beradi. Bunday hodisani *osmos* deyiladi. O'simlik poyasida suvning yuqori ko'tarilishini, hujayralarning o'sishini va boshqa ko'pgina hodisalarni vujudga keltiradigan sabablarning biri ham osmosdir. Eritmalarning osmotik bosimi juda katta qiymatga ega bo'ladi. Masalan, dengiz suvining osmotik bosimi 2837 kPa ga yaqindir. P. Pfyfer osmotik bosim konsentratsiya va haroratga bog'liq ekanligini qand eritmalarining osmotik bosimlarini o'lchash orqali topdi.

De-Friz o'simliklarni tuzning quyuuq eritmasiga tushirdi. Bu vaqtda suvning hujayradan eritmaga o'tishi sababli, hujayra qisqarib o'simlik pardasi burishib qoldi. O'simlik hujayrasi toza suvga tushirilganda, hujayra shishib, o'z hajmini kattalashtirdi. O'simlik pardasining burishib qolishini *plazmoliz* deb atadi. Eritma konsentratsiyasi sekin asta kamaytirilib, plazmoliz hodisasi kuzatilmaydigan eritma olish mumkin bo'ldi. Bunday eritmaning osmotik bosimi hujayra ichidagi eritmaning bosimiga teng bo'ladi. Demak, ikki eritma o'zaro izotonik bo'ladi.

De-Friz ana shunday izotonik eritmalarini tayyorlash natijasida quyidagi qonunni topdi: *bir xil haroratda turli moddalarning bir xil molyar konsentratsiyada olingan eritmaları bir xil osmotik bosimga ega bo'ladi*. Boshqacha aytganda ekvimolekulyar eritmalar o'zaro izotonik bo'ladi.

Osmotik bosim qiymatini aniq o'lchash natijasida quyidagi ikki qoida kelib chiqadi:

- 1) eritmaning osmotik bosimi erigan modda konsentratsiyasiga to'g'ri proporsional;
- 2) osmotik bosim eritmaning absolyut haroratiga proporsional.

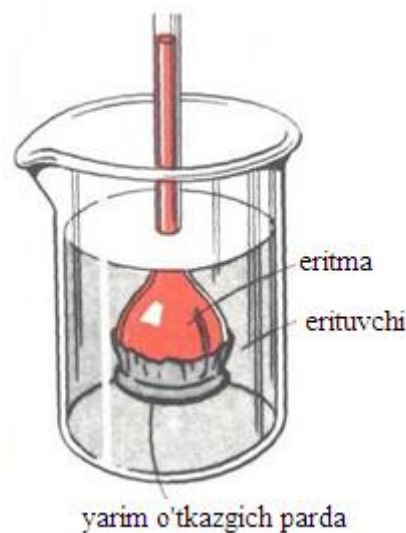
Osmotik bosimni o'lchash natijalaridan kelib chiqib, 1886-yilda golland olimi Vant – Goff o'z nazariyasini qonun tarzida ta'rifladi; *agar erigan modda eritma haroratida gaz holatida bo'lib, eritma hajmiga baravar hajmni egallasa, bu gazning bosimi eritmaning osmotik*

*bosimiga teng bo'ladi.* Eritmalardagi osmotik bosim Vant – Goff qonuniga muvofiq, eritmada erigan modda miqdori va haroratga to'g'ri proporsionaldir.

$$P = C \cdot R \cdot T$$

Bu yerda:  $P$  – eritmaning osmotik bosimi;  $C$  – molyar konsentratsiya;  $R$  – universal gaz doimiysi;  $T$  – harorat.

Bu qonun eritmalarning osmotik bosimi, konsentratsiya va absolyut haroratgagina bog'liq bo'lib, eruvchi modda tabiatiga bog'liq emasligini ko'rsatadi. Vant – Goff qonuni faqat elektrolit bo'lmagan moddalarning suyultirilgan eritmalarigagina tatbiq etilishi mumkin. Konsentrlangan eritmalar va elektrolit moddalarning eritmaları bu qonundan chetga birmuncha chiqadi.



2.2-rasm. Osmos hodisasi va osmotik bosim

Konsentratsiyasi yuqori bo'lgan eritmaning osmotik bosim katta bo'ladi ( $c_1 > c_2$  bo'lsa), bunday eritmalar *gipertonik eritmalar* deb ataladi.

Konsentratsiyasi o'zaro teng bo'lgan eritmalarning osmotik bosimlari ham teng bo'ladi ( $c_1 = c_2$  bo'lsa), bunday eritmalar *izotonik eritmalar* deyiladi.

Konsentratsiyasi kichik bo'lgan eritmalarning osmotik bosimi kam bo'ladi ( $c_1 < c_2$  bo'lsa) va *gipotonik eritmalar* deb ataladi.

Osmotik bosim odam organizmi va o'simliklar hayotida katta ahamiyatga ega. O'simliklar ildizi ham yarim o'tkazgich xossasiga ega va ular orqali tuproqdagi nam tortib olinib, o'simlik tanasida osmotik bosim hosil bo'ladi. Hujayra qobig'i suvni oson o'tkazib, hujayra suyuqligida erigan moddalarni deyarli butunlay o'tkazmaydigan pardadir.

Odam organizmidagi hujayra va to'qimalar ham yarim o'tkazgich parda xossasiga ega. Iste'mol qilinadigan suyuqliklar, oziq ovqatlarning odam tanasiga singishi, muskullarining rivojlanishi osmos hodisasi tufayli sodir bo'ladi.

### *Eritmalarning bug' bosimi. Raul qonuni*

Og'zi ochiq idishda turgan suyuqlik batamom bug'lanib ketadi. Berk idishda suyuqlik bilan hosil bo'layotgan bug' orasida siljuvchan muvozanat qaror topadi, bunda vaqt birligi ichida qancha molekula bug'lansa, shuncha molekula yana suyuqlikka aylanadi. Suyuqlik bilan muvozanatda bo'lgan bug' *to'yingan bug'* deyiladi. To'yingan bug'ning idish devorlariga bosimi ayni moddaning *to'yingan bug' bosimi* deyiladi. Har qaysi suyuqlikning o'ziga xos to'yingan bug' bosimi bo'ladi.

Bug'lanish endotermik jarayon,  $\text{Suyuqlik} \leftrightarrow \text{Bug'}$  – Q bo'lganligi uchun Le-Shatelye prinsipiga ko'ra, haroratning ko'tarilishi muvozanatni bug' hosil bo'lish tomoniga siljitadi. Demak harorat qancha yuqori bo'lsa, bug' bosimi shuncha katta bo'ladi. Suyuqlik bug'ining bosimi suyuqlikning sirtidan vaqt birligi ichida bug'lanuvchi molekulalar soniga bog'liq. Eritmaning sirtida erituvchi molekulalari ham, erigan modda molekulalari ham bo'ladi. Bu degan so'z, vaqt birligida eritma sirtidan toza erituvchi sirtidan bug'langandagiga qaraganda kam molekulalar bug'lanadi, demakdir. Erituvchi bug'ining eritma ustidagi bosimi ayni haroratda toza erituvchi ustidagi bug' bosimidan hamma vaqt past bo'ladi. Boshqacha aytganda, erigan modda erituvchi bug'ining bosimini pasaytiradi.

Fransuz fizigi Raul (1887-y.) eritma to'yingan bug' bosimini o'rganib, o'zining qonunini kashf etdi.

*Elektrolitmas moddalarning suyultirilgan eritmalarida o'zgarmas haroratda bug' bosimining nisbiy pasayishi ma'lum miqdordagi erituvchida erigan moddaning massasiga to'g'ri proporsional bo'lib, modda tabiatiga bog'liq emas.* (Raulning birinchi (tonometrik) qonuni).

Eritma to'yingan bug' bosimining nisbiy pasayishi eritmada erigan moddaning molyar qismiga to'g'ri proporsionaldir

$$\frac{\Delta P}{P_1} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} = N_1$$

$\Delta P$  – to'yingan bug' bosimining pasayishi deyiladi

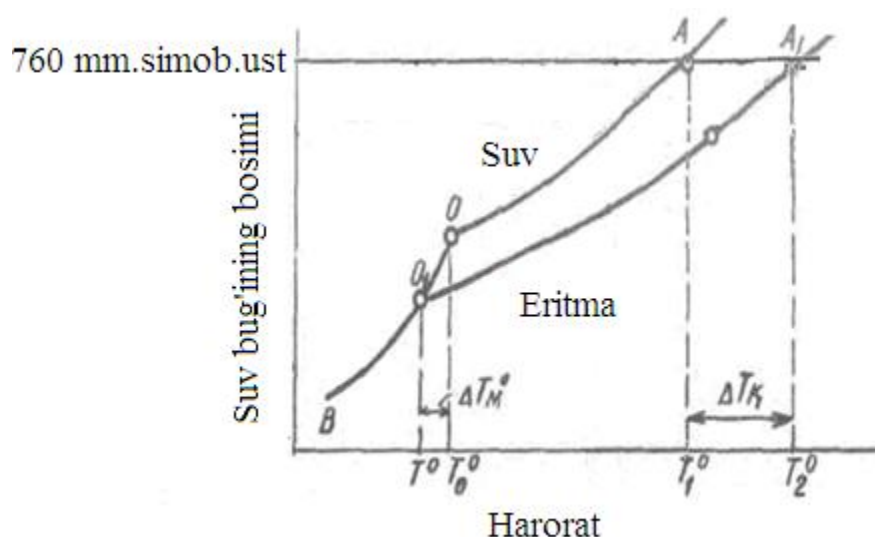
$\Delta P / P_1$  – eritma to'yingan bug' bosimining nisbiy pasayishi deyiladi

$N_1$  – erigan moddaning mol qismi.

## Eritmalarning muzlash va qaynash haroratlari

Suyuqlik to‘yingan bug‘ining bosimi tashqi bosim bosimga teng bo‘lgan haroratda qaynaydi. Barcha toza moddalarning o‘ziga xos aniq ma’lum qaynash va muzlash haroratlari bo‘ladi. Masalan, toza suv normal atmosfera bosimida  $0^{\circ}\text{C}$  muzlaydi va  $100^{\circ}\text{C}$  qaynaydi; benzol  $5,5^{\circ}\text{C}$  da muzlaydi va  $80,1^{\circ}\text{C}$  da qaynaydi va hokazo.

Eritmalarning qaynash harorati erituvchining qaynash haroratidan doimo yuqori bo‘ladi.



**2.3-rasm. Eritma bug‘ bosimining haroratga bog‘liqligi**

Raulning ikkinchi qonuniga muvofiq  $\Delta t$  ning qiymati erigan moddaning molyal konsentratsiyasiga to‘g‘ri proporsionaldir:

$$\Delta t_q = E \cdot C_m$$

Bu yerda:  $C_m$  – molyal konsentratsiya,  $E$  – erituvchining ebullioskopik doimiysi.

$$\Delta t_q = \frac{m \cdot 1000 \cdot E}{M \cdot \epsilon}$$

$\Delta t_q$  – eritma qaynash haroratining ko‘tarilishi,

$m$  – erigan modda massasi, g;

$\nu$  – erituvchining massasi, g;

$M$  – erigan moddaning molekulyar massasi g/mol;

$C_m$  – molyal konsentratsiya.

Eritmalarning muzlash harorati erituvchining muzlash haroratidan past bo‘ladi. Raulning ikkinchi qonuni *krioskopik qonun* nomi bilan ataladi va quyidagi formula bilan ifodalanadi,

$$\Delta t_m = K \cdot C_m$$

yoki

$$\Delta t_m = \frac{m \cdot 1000 \cdot K}{M \cdot \epsilon}$$

$\Delta t_m$  – ertima muzlash haroratining pasayishi;

$m$  – erigan modda massasi, g;

$\nu$  – erituvchining massasi, g;

$M$  – erigan moddaning molekulyar massasi g/mol;

$C_m$  – molyal konsentratsiya;

$K$  – erituvchining krioskopik doimiysi.

Erituvchi	E °C	K °C
Suv (H <sub>2</sub> O)	0,52	1,86
Benzol (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	2,64	5,12
Sirka kislota (CH <sub>3</sub> COOH)	3,10	3,90
Anilin C <sub>6</sub> N <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	3,69	5,87
Xloroform CHCl <sub>3</sub>	3,80	4,90

$K$  – erituvchining krioskopik doimiysi yoki muzlash harorati-ning *molekulyar pasayishi* deb ataladi, chunki 1000 g erituvchida 1 mol modda eriganda hosil bo‘lgan molyal eritma muzlash haroratining pasayishini ko‘rsatadi. Bu holda ham muzlash haroratining molekulyar pasayishi ma’lum bir erituvchi uchun o‘zgarmas qiymat bo‘lib, eruvchi modda tabiatiga bog‘liq emas.

Suvning krioskopik doimiysi:  $K=1,86$  °C ga teng. Suvning ebulioskopik doimiysi:  $E=0,52$  °C ga teng. Muzlash va qaynash haroratini aniq o‘lchash uchun E.Bekman kashf etgan maxsus aniqligi katta bo‘lgan termometrdan foydalaniladi.

## 2.2. Ionlarning gidratlanish energiyasi

Suvda erigan ionli kristallarning kation va anionlari suvda gidratlangan holatda bo‘ladilar. Gidratatsiya deganda, gazsimon holatdagi ionlarni suv bilan ta’sirlashish natijasida ma’lum tarkibdagi ion eritmasini hosil bo‘lishi bilan bog‘liq, o‘zgarishlar yig‘indisi tushuniladi. Shuni inobatga olgan holda, tuz gidratatsiyasining Gibbs energiyasi, entalpiyasi va entropiyasi bu tuzni hosil qilgan ionlarni gazsimon holatdan eritma hajmiga o‘tishdagi Gibbs energiyasining o‘zgarishi, entalpiyasi va entropiyasidir. Ionlarni gidratlanish energiyasi, ko‘p hollarda metallarni

suvli eritmalardan ajratib olish jarayonlarida ionlarning xosligini ifodalaydi.

Quyida ionlarning gidratlanish energiyasini hisoblash yo'li bilan aniqlash usulini ko'rib chiqamiz.

*Gidratlanish energiyasini hisoblash uchun empirik tenglamalar.* Ionlarni suv bilan o'zaro ta'sirlashuvi (ionlarning gidratatsiya) juda murakkab tavsifga ega. Ionlarni gidratlanishida ionlarni suv bilan ta'sirlashuvi fizikaviy va kimyoviy ko'rinishga ega.

Kimyoviy ko'rinishdagi ta'sirlashuvda ionlar va suv molekulari orasida kovalent bog'li koordinatsion birikmalar hosil bo'ladi. Bu turdagi bog'larning hosil bo'lishining asosiy sababi kislorod atomida taqsimlanmagan elektron juftliklarning mavjudligidir.

Ion va suv dipollari orasida elektrostatik kuchlar ta'sir etadi, buning natijasida ion maydonida suv molekularining qutblanishi yuz beradi. Ion erituvchi bilan dielektrik muhit kabi ta'sirlashadi natijada suv strukturasi o'zgarishlar paydo bo'ladi. Bundan tashqari konsentratsiyasi yuqori bo'lgan eritmalarda qarama-qarshi ishorali ionlar o'zaro birikib ionli birikmalar hosil qilishi mumkin.

Hozirgi vaqtda ionlar bilan suv molekulari o'rtasidagi hamma bog'lanishlarni hisobga oladigan termodinamik qiymatlarni hisoblash uslubi ishlab chiqilmagan.

Mavjud uslublar (M. Born, K.P. Mishenkova, A.M. Suxotin) faqat fizik ko'rinishdagi ta'sirlashuvlarni inobatga oladi. Agar eritmalarda komplekslar hosil bo'lishi mavjud. Bu holda gidratlanish energiyasiga asosiy ta'sirni kimyoviy tabiatga ega kuchlar ta'sir etadi. Kimyoviy kuchlar qolgan kuchlardan ustundir.

Shunga qaramay ba'zi bir empirik tenglamalar gidratlanish energiyasini aniq hisoblashga yordam beradi, shulardan biri Born tenglamasidir:

$$\Delta H_{\text{gidrat}} = -6,925Z^2/(r_i + \Delta)$$

Tenglamada:  $\Delta H_{\text{gidrat}}$  – ionlarning gidratlanish entalpiyasi. kJ/mol;

Z-ionlarning kattaligi (miqdori);

$r_i$ - ion radiusi, nm;

$\Delta$ - doimiy tuzatgich; anionlar uchun 0,04 kationlar uchun 0,08.

Tajribalarga yaqin natijalarni K.P. Mishenko tomonidan taklif etilgan tenglama beradi. Bu tenglama bo'yicha hisoblangan gidratlanishda ionlarni entalpiyasining o'zgarishiga ta'sir etuvchi bu ion-dipolli o'zaro ta'sirlashuvidir.

$$\Delta H_{\text{gidrat}} = (-N_A \cdot n \cdot z \cdot e \cdot \mu) / [4\pi E_0 (r_u + r_{\text{H}_2\text{O}} \pm \beta)^2]$$

Tenlamada:  $N_A$  - Avogadro soni;  $n$  - ionga yaqin qobig'dagi suv molekularining soni,  $z$  - ion zaryadining miqdori (ishorasi hisobga olinmagan holda),  $e$  - elektron zaryadi,  $\mu$  - suvning dipol momenti;  $E_0$  - elektron doimiy;  $r_u$  - ion radiusi;  $r_{H_2O}$  - suv molekulasining radiusi;  $r_{H_2O}=0,193$ ,  $\beta$  - tuzatkich,  $\beta=0,025$  barcha ko'rsatkichlarni tenglamaga qo'ysak quyidagi oxirgi tenglama hosil bo'ladi:

$$\Delta H_{gidrat} = -42,5z / (r_u + 0,193 \pm 0,025)^2 \text{ kDJ/mol}$$

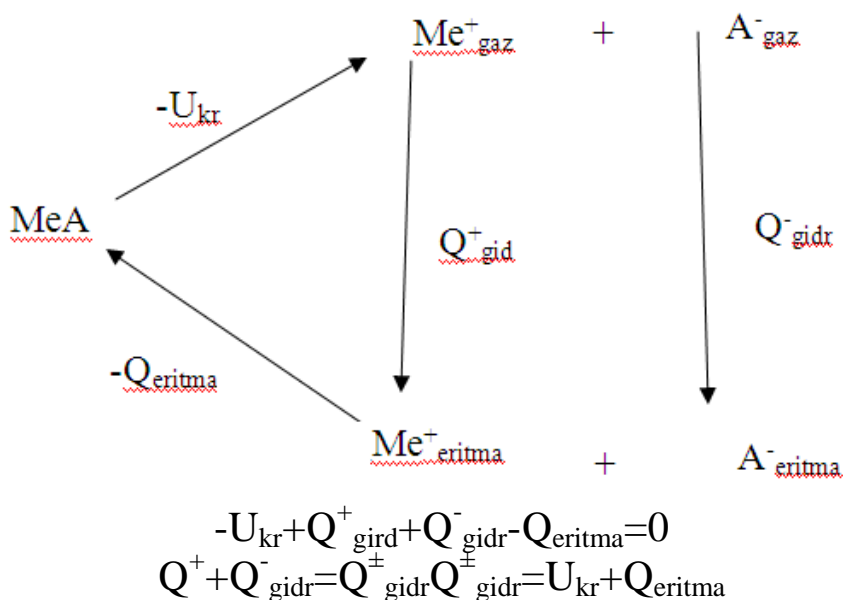
*Gidratlanish energiyasini tajriba yo'li bilan aniqlash.* Gidratlanish energiyasini quyidagi o'zgarish bosqichlarini hisobga olib hisoblash mumkin:

1 mol kristallik tuz gazsimon ionlarga aylanadi, buning natijasida durlik panjarasi energiyasiga teng energiya yutiladi.

Gazsimon ionlar eritmaga o'tadi bunda musbat va manfiy ishorali ionlarning ionlarning gidratlash energiyasiga teng energiya ajralib chiqadi.

Eritmadan dastlabki tuz kristallik ko'rinishida ajralib chiqadi, bunda jarayon tuz erishining sarflanishi bilan boradi.

O'zgarish bosqichlarini quyidagi sxema yordamida ifodalash mumkin:



Tenglamadan ko'rinib turibdiki gidratlanish energiyasini aniqlash uchun kristallik (durlik) panjara energiyasining va erish issiqligining qiymatlarini bilish kerak.

Tuzning erish issiqligining qiymatini kalorimetrik yo‘l bilan yoki “m” to‘zining eruvchanligini haroratga bog‘liqlik tenglamasi yordamida aniqlanadi.

$$l_{nm} = \frac{Q_{eritma}}{RT} + const$$

Erish issiqligini  $l_{nm} = Q_{eritma} - 1/T$  koordinatalardagi to‘g‘ri chiziq og‘ish burchagining tangensi orqali hisoblab topiladi.

Kristallik panjaraning energiyasini asosan ionlarni elektrostatik o‘zaro ta’sirlashuvi orqali topiladi va nazariy hisoblanishi mumkin.

Masalan, bir-birini qutblamaydigan ionlardan hosil bo‘lgan durlik panjarasining (ishqoriy va ishqoriy-yer metallar galogenlari va katta kompleks ionlardan tashkil topgan tuzlar) energiyasini topish uchun A.D. Kopustinskiyning yarim empirik tenglamasini qo‘llab, aniq natijalar olish mumkin.

$$U_{kr} = 120,2 Z_k Z_a V / r_k + r_a (1 - 0,0345 / r_k + r_a)$$

Tenglamada:  $Z_k$  va  $Z_a$  kation va anionning zaryadlari;  $r_k$  va  $r_a$  kation va anionning kristallokimyoviy radiuslar nm;  $V$  – tuz molekulasini hosil qiluvchi ionlar soni.

Kopustinskiy tenglamasining tahlili shuni ko‘rsatadiki kristallik panjaraning mustahkamligi kationi va anion zaryadining oshishi ularni radiusining kamayishi va tuzni hosil qiluvchi ionlar sonining oshishi bilan oshadi.

Kristallik panjaraning energiyasini tajriba o‘tqazish uchun Born-Gaber termokimyoviy siklidan bilvosita foydalaniladi.

$$U_{kr} = Q_{hosil bo‘l} + Q_{gaz kationi} + Q_{gaz anioni}$$

### 2.3. Tuzlarning eruvchanligi

Gidrometallurgiyada kam eruvchan birikmalarning turli sinflarini ajratib olinishi qo‘llaniladi, jumladan:

- Gidroksidlar (masalan ammoniy, temir, kobalt, berilliy, lantanoidlar va b gidroksidlar) yoki asosiy tuzlar;
- Sulfidlar ( $CuS$ ,  $CoS$ ,  $In_2S_3$ ,  $MoS_3$  va b.)
- Noorganik kislotalar tuzlari ( $AgCl$ ,  $TlCl$ ,  $Tl_2CrO_4$ ,  $CaWO_4$ ,  $CaMoO_4$ , toriy va uran ftoridlari, fosfatlari, arsenatlar, ayrim metallar karbonatlari):
- Organik kislotalar tuzlari (oksalatlar, ksantogenatlar, kuneronatlar 6 b).

*Eruvchanlik ko‘paytmasi.* Eruvchanlik ko‘paytmasi L-v im eruvchan birikma va eritma orasidagi asosiy miqdor termodinamik tavsifdir.



Muvozanat sharoitlarida qattik tuzning kimyoviy potentsiali eritmadagi ionlarning kimyoviy potentsiallar yig'indisiga teng:

$$M_{metAn}^{\circ} = m (M_{me}^{\circ} + RT \ln a_{me}) + (M_A^{\circ} + RT \ln a_A)$$

tenglamada  $M_{metAn}^{\circ}$ ,  $M_{me}^{\circ}$  va  $M_A^{\circ}$  – qattiq tuz  $Me_nA_n$  va eritmadagi ionlarning standart kimyoviy potentsiallari:  $a_{me}$  va  $a_A$  ionlarning faolligi.

Tenglamaning chap tomonidan logarifmik ko'satkich yo'q, chunki qattiq fazaning faolligi birga teng deb qabul qilinadi.

$$\text{Bu holda } M_{me_nA_n}^{\circ} = M_{mAn}^{\circ}$$

(1)-tenglamadan quyidagi kelib chiqadi

$$L = \exp [(M_{me_nA_n}^{\circ} - n M_A^{\circ}) / (RT)]$$

Ma'lum haroratda tenglamaning o'ng tomoni doimiy ko'satkich, shundan

$$[Me]^m [A]^n = L$$

Tenglamada  $[Me]$  va  $[A]$  – ionlarning muvozanatlashgan konsentratsiyasi:  $f_{me}$  va  $f_A$  – faollik koeffitsiyentlari.

Suyultirilgan eritmada tuz kam eruvchan bo'lganligi uchun

$$f_{me} \approx f_A \approx 1. \text{ bu holda}$$

$$[Me]^m [A]^n \approx L$$

Agar eritmada ionlar konsentratsiyasi  $C_{me}$  va  $S_A$  bo'lsa, unda holda qattiq tuzning erishi yuz beradi, agar bo'lsa muvozanat qaror topguncha tuzning cho'kishi ro'y beradi.

Kam eruvchan tuzlarning eruvchanlik ko'paytmasi juda kichik sonlar bilan belgilanganligi sababli, ularni ko'p hollarda quyidagi ko'rsatkichlari bilan belgilanadi;

$$pL = -\lg L. \text{ Demak, } pL \approx -\lg L = m \lg a_{me} + n \lg a_A.$$

Agar  $Me_mA_n$  to'zining eruvchanligini "S" bilan belgilansa, bu holda  $[Me]$  va  $[A]$  ionlarining muvozanatdagi konsentratsiyalari  $mS$  va  $nS$  larga teng bo'ladi. Demak,

$$L = [Me]^m [A]^n = (mS)^m (nS)^n$$

$$S^{m+n} = L / (m^m n^n)$$

Birikmalarning eruvchanligini to'g'ridan to'g'ri eruvchanlik ko'paytmalari yordamida tenglama orqali hisoblashi mumkin. Ammo bu tenglama cho'ktiriladigan modda kuchli elektrolit bo'lganida qo'llasa bo'ladi.

Ko'p hollarda eruvchanlik hisobga olish kerak bo'lgan ko'p omillarga bog'liq. Ulardan asosiylari "Eritmaning ion kuchi" "eritmaning rN" "aniongidrolizi" (kuchsiz kislotalar tuzlari uchun), "kation gidrolizi" (kuchsiz asoslar tuzlari uchun), "kompleks hosil qiluvchi lgandlarning" mavjudligi.

*Eritma ion kuchining ta'siri.* Ma'lumki, kam eruvchan tuzning ioni bilan bir xil ionga ega bo'lmagan neytral tuzning konsentratsiyasi, kam eruvchan tuzning eruvchanligiga ta'sir etadi. Chunki neytral tuzning mavjudligida, eritmaning ion kuchi oshadi va buning natijasida ionlarning faolligi ham o'zgaradi.

3-tenglamadan ko'rinib turibdiki, kam eruvchan tuzning faollik koeffitsiyenti kamayganda (pasayganda), tuzning eruvchanligi oshadi, faollik koeffitsiyenti oshganda esa eruvchanlik kamayadi.

Eruvchanlikka ko'p zaryadli ionlarni saqlovchi neytral tuzlar katta ta'sir ko'rsatadi, chunki eritma ion kuchining yuqori ko'rsatkichining hisobiga, faollik koeffitsiyentlarning ko'rsatkichlari pasayadi.

$Me_m A_n$  tuzi tarkibida har xil neytral tuzlar bo'lgan I va II ikkita eritmada erishini ko'rib chiqamiz (neytral tuzlar kam eruvchan tuz bilan bir xil ionlarga ega emas).

Bunda I- eritma uchun quyidagi tenglamani yozsa bo'ladi:

$$L = m^m n^n S^{(m+n)};$$

II – eritma uchun;

$$L = m^m n^n ;$$

Tenglamalarda  $S_I$  va  $S_{II}$  – tuzning I va II- ritmalardagi eruvchanligi:

Demak, umumiy ion yo'qligida tuzning turli eritmalaridagi eruvchanligi ionlarning faollik koeffitsiyentiga teskari proporsionaldir.

## 2.4. Oddiy tanlab eritishga doir namunaviy masala va mashqlar yechish

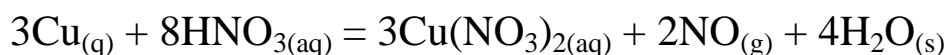
**1-masala.** Haroratlari 20 °C li 200 g suv va 60 °C li 300 g suv aralastirildi. Hosil bo'lgan suvning harorati qanchaga teng bo'ladi? Issiqlikni atrof-muhitga tarqalishi hisobga olinmasin!

**Yechish.** Hosil bo'lgan suv uchun o'rtacha haroratni topish tenglamasini tuzamiz:

$$\Delta t = \frac{m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2}{m_1 + m_2} = \frac{200 \cdot 20 + 300 \cdot 60}{200 + 300} = \frac{4000 + 18000}{500} = \frac{22000}{500} = 44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

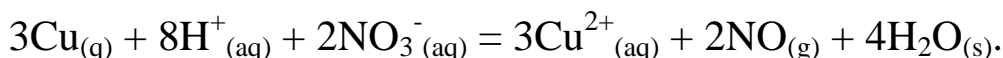
**Javob:** Hosil bo'lgan suvning harorati 44 °C ga teng.

**2-masala.** Ma'lumotnomalardagi o'zgarmas qiymatlardan foydalanib quyidagi reaksiyaning entalpiyasini toping:



Bunda harorat 298 K.

**Yechish.** Reaksiyaning qisqartirilgan ionli tenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega:



Gess qonuni bo‘yicha reaksiyaning entalpiyasi quyidagiga teng:

$$\Delta_r H^0 = 4\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}_{(s)}) + 2\Delta_f H^0(\text{NO}_{(g)}) + 3\Delta_f H^0(\text{Cu}^{2+}_{(aq)}) - 2\Delta_f H^0(\text{NO}_3^-_{(aq)})$$

(Mis va  $\text{H}^+$  ionlarining hosil bo‘lish issiqligi 0 ga teng bo‘ladi). Berilgan ifodaga tegishli moddalarning hosil bo‘lish issiqliklarini qo‘yib reaksiyaning umumiy issiqligini aniqlaymiz:

$$\Delta_r H^0 = 4 \times (-285,8) + 2 \times 90,25 + 3 \times 64,77 - 2 \times (-205,0) = -358,4 \text{ kJ}$$

(Hisoblangan qiymat 3 mol mis uchun).

**Javob:** -358,4 kJ.

**3-masala.** 30 g kalsiy sulfat kristallgidrati qizdirilganda 6,28 g suv ajralib chiqdi. Kristallgidrat formulasini toping.

**Yechish.**

1) Kristallgidratning umumiy formulasi:  $\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , undagi kalsiy sulfatning molekular massasi quyidagicha:

$$M_r(\text{CaSO}_4) = 40 + 32 + 4 \cdot 16 = 136 \text{ g/mol}$$

2) 30 g namunadagi  $\text{CaSO}_4$  ning massasini aniqlaymiz:

$$m(\text{CaSO}_4) = m(\text{namuna}) - m(\text{suv}) = 30 - 6,28 = 23,72 \text{ g}$$

3)  $\text{CaSO}_4$  va  $\text{H}_2\text{O}$  massalari orasidagi proporsionallikdan foydalanib quyidagicha proporsiya tuzamiz:

$$23,72 \text{ g CaSO}_4 \text{ ga } \text{-----} 6,28 \text{ g H}_2\text{O to‘g‘ri keladi}$$

$$136 \text{ g CaSO}_4 \text{ ga } \text{-----} x \text{ g H}_2\text{O to‘g‘ri keladi}$$

$$x = (136 \cdot 6,28) : 23,72 = 36 \text{ g}$$

4) Kristallgidrat tarkibida 36 g suv bo‘lsa uni 18 ga bo‘lib necha molekula suv borligi topiladi:

$$n \cdot 18 = 36 \text{ g}$$

$$n = 36 : 18$$

$$n = 2$$

**Javob:** Kristallgidrat formulasi:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

**4-masala.** – 5 °C da eritmani muzlatish uchun 200 g suvga qancha glitserin  $C_3H_5(OH)_3$  moddasini eritish kerak? Suvning krioskopik doimiyliigi 1,86 gradusga teng.

**Yechish.**

Glitserinning molyar massasi:  $M = (12 \times 3) + (16 \times 3) + (8 \times 1) = 92$   
g/mol

Raulning II qonunidan foydalanamiz:

$$\Delta T_{kristallanish} = K \cdot m,$$

Bu yerda: K — krioskopik doimiylik,

$m_{modda}$  — eritmadagi moddaning molyalligi.

Eritmaning molyalligi esa quyidagicha topiladi:

$$m = n/G = g/M \cdot G$$

$$\Delta T_{kristallanish} = 1000 \cdot K \cdot g/M \cdot G,$$

Bu yerda: g – erigan moddaning massasi,

G – erituvchining massasi.

Toza suvning kristallanish harorati  $T_{kris}(\text{suv}) = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Demak, - 5 °C da erituvchi (suv) molekulari muzlashi uchun haroratni necha birlikka tushishini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\Delta T_{kris} = 0 - (-5) = 5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$5 = 1000 \cdot 1,86 \cdot g/200 \cdot 0,92$$

$$g = 49,5 \text{ gramm}$$

**Javob:** shunday qilib, qo‘shilishi kerak bo‘lgan glitserinning massasi 49,5 g ga teng.

**5-masala.** Agar 6,35 g yodning 100 g etanoldagi eritmasi 78,59°C da qaynasa, u holda spirtli eritmadagi yod molekulasini nechta atomdan iborat ekanligini aniqlang.

**Yechish.**

Raulning qonuni bo‘yicha quyidagi formulani keltirib chiqaramiz:

$$\Delta T_{qaynash} = 1000 \cdot E \cdot g/M \cdot G,$$

Bu yerda: E – ebullioskopik doimiylik,

g – erigan moddaning massasi,

G – erituvchining massasi,

M – erigan moddaning molyar massasi.

Ma’lumotnoma qiymatlaridan foydalanib erigan moddaning molyar massasini aniqlaymiz:

$$E(\text{etanol}) = 1,2$$

$$T_{qaynash}(\text{etanol}) = 78,39 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{qaynash} = 78,59 - 78,39 = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$M = 1000 \cdot E \cdot g/G \cdot \Delta T_{qaynash}$$

$$M = 1000 \cdot 1,2 \cdot 6,35/100 \cdot 0,2 = 381 \text{ g/mol}$$

Yodning atom massasi 126,9 massa atom birligiga teng, miqdori esa

$$N = 381/126,9 = 3 \text{ ta}$$

**Javob:** Demak, spirtidagi yod molekulasi 3 ta atomning trimeridan hosil bo'lgan ekan.

**6-masala.** Yarim litr suvda necha gramm glyukoza  $\text{S}_6\text{N}_{12}\text{O}_6$  eritilsa hosil bo'lgan eritmaning qaynash harorati  $102 \text{ } ^\circ\text{C}$  ni tashkil etadi?

**Yechish.**

Raul qonunidan kelib chiqib quyidagicha matematik ifodani keltirib chiqaramiz:

$$\Delta T_{qaynash} = 1000 \cdot E \cdot g/M \cdot G,$$

Bu yerda: E – ebulioskopik doimiylik,

g – erigan moddaning massasi,

G – erituvchining massasi,

M – erigan moddaning molyar massasi.

Ma'lumotnoma qiymatlaridan foydalanib erigan moddaning molyar massasini topamiz:

$$E (\text{suv}) = 0,516$$

$$T_{qaynash} (\text{suv}) = 100^\circ \text{C}$$

$$M(\text{glyukoza}) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 12 + 16 \cdot 6 = 180 \text{ g/mol}$$

$$G (\text{suv}) = V \cdot \rho = 500 \cdot 1 = 500 \text{ g}$$

$$\Delta T_{qaynash} = 102 - 100 = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$g = G \cdot \Delta T_{qaynash} \cdot M/1000 \cdot E$$

$$g = 500 \cdot 2 \cdot 180/1000 \cdot 0,516 = 348,8 \text{ gramm.}$$

**Javob:** 348,8 g glyukoza qo'shish zarur.

**7-masala.** Diametri 6,6 sm bo'lgan dumaloq tubli kolbaning yarmi suv bilan to'ldirildi. Bu suvning harorati  $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$  ga teng. Kolbaga 1 g bariy (Ba) metali tashlandi. Reaksiya sodir bo'lgandan so'ng suv harorati  $28,7 \text{ } ^\circ\text{C}$  ni tashkil etsa reaksiyaning termokimyoviy tenglamasi qanday yoziladi? Suvning issiqlik sig'imi  $C_{\text{H}_2\text{O}} = 4,19 \text{ kJ/kg} \cdot \text{gradus}$ .

**Yechish.**

Birinchi navbatda suvning massasini aniqlaymiz:  $R = D/2 = 6,6/2 = 3,3$  sm, bundan foydalanib kolbaning hajmi aniqlanadi:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 3,3^3 = 150,4 \text{ sm}^3$$

Idishning yarmi suv bilan to'ldirilganini inobatga olsak, u holda  $150,4 : 2 = 75,2 \text{ sm}^3$  suv mavjud bo'lsa va uning zichligini 1 deb qabul qilsak uning massasi hajmiga teng bo'ladi:

$m_{\text{suv}} = V \cdot \rho = 75,2 \cdot 1 = 75,2 \text{ g}$  yoki  $75,2 \text{ g} : 1000 = 0,0752 \text{ kg}$  bo'ladi.

Endi idishdagi suvning harorati qancha birlikka oshganini aniqlaymiz:

$$28,7 - 20 = 8,7 \text{ gradus}$$

Ma'lum bir massaga ega bo'lgan moddaning issiqligi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = 0,0752 \cdot 4,19 \cdot 8,7 = 2,73 \text{ kJ.}$$

Demak, 1 g Ba suvda eritilganda uning issiqligi 2,73 kJ ga o'zgargan bo'lsa, u holda 1 mol Ba uchun quyidagicha aniqlanadi:

$$1 \text{ g} \text{ ----- } 2,73 \text{ kJ}$$

$$137,3 \text{ g} \text{ ----- } x$$

$$x = 137,3 \cdot 2,73 : 1 = 374,8 \text{ kJ}$$

Bu qiymatdan foydalanib 1 mol bariy uchun termokimyoviy tenglamani tuzamiz:



**Javob:** 374,8 kJ

### *Mustaqil yechish uchun masala va mashqlar*

1. Haroratlari  $30^\circ\text{C}$  li 300 g suv va  $80^\circ\text{C}$  li 200 g suv aralashtirildi. Hosil bo'lgan suvning harorati qanchaga teng bo'ladi? Issiqlikni atrof-muhitga tarqalishi hisobga olinmasin.

2. FeS ning massa ulushi 88% bo'lgan 1 kg temir sulfiddan normal sharoitda o'lchangan necha litr vodorod sulfid olish mumkin? (Reaksiyasi:  $\text{FeS} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{S}$ ) Javob: 224 l

3. Massasi 4 g bo'lgan ikki valentli element oksidini eritish uchun xlorid kislotadan 7,3 g sarf bo'ldi. Eritish uchun qaysi elementning oksidi olingan? (Reaksiyasi:  $\text{MeO} + 2\text{HCl} = \text{MeCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) Javob: Mg

4. Qalay va misning qotishmasida har bir atom qalayga 5 atom mis to'g'ri kelishi uchun shu qotishmada necha foiz qalay bo'lishi kerak? Javob: 27,1%

5. Agar  $\text{AlCl}_3$  ning dissotsiyalanish darajasi 60 % ga teng bo'lsa konsentratsiyasi 0,3 mol/l bo'lgan alyuminiy xlorid eritmasining muzlash haroratini toping.

6.  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  da eritmani muzlatish uchun 100 g suvga qancha glitserin  $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$  moddasini eritish kerak? Suvning krioskopik doimiyliigi 1,86 gradusga teng.

7. 2 litr suvda necha gramm glyukoza  $\text{S}_6\text{N}_{12}\text{O}_6$  eritilsa hosil bo'lgan eritmaning qaynash harorati  $114\text{ }^\circ\text{C}$  ni tashkil etadi?

8. Diametri 8 sm bo'lgan dumaloq tubli kolbaning uchdan bir qismi suv bilan to'ldirildi. Bu suvning harorati  $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$  ga teng. Kolbaga 3 g bariy (Ca) metali tashlandi. Reaksiya sodir bo'lgandan so'ng suv harorati  $28,7\text{ }^\circ\text{C}$  ni tashkil etsa reaksiyaning termokimyoviy tenglamasi qanday yoziladi? Suvning issiqlik sig'imi  $C_{\text{H}_2\text{O}} = 4,19\text{ kJ/kg}\cdot\text{gradus}$ .

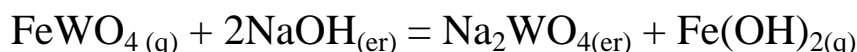
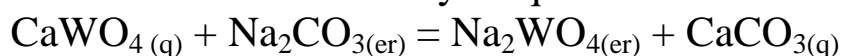
### Savol va topshiriqlar

1. Suvning qanday fizikaviy xususiyatlari mavjud?
2. Suvning yong'inni o'chira olish qobiliyatini qanday tushuntirish mumkin?
3. Suvda moddalarning erishi qanday mexanizmga asoslangan?
4. Erituvchi sifatida suvdan tashqari nimalardan foydalanamiz?
5. Ideal eritmalar tabiatda mavjudmi?
6. Suvni yondirish mumkinmi?
7. Oddiy tanlab eritish jarayoni qanday qonuniyatlarga asoslangan?
8. Oddiy tanlab eritishda qanday fizika-kimyoviy o'zgarishlar sodir bo'ladi?
9. Gidratlanish qanday jarayon?
10. Gidratlanish jarayonlariga misol keltiring!
11. Gidratlanish energiyasi deganda nimani tushunasiz?
12. Natriy metalining suvda erishi oddiy tanlab eritish jarayoniga kiradimi?
13. Suv dipolini tasvirlab bering!
14. Krioskopik doimiylikni bilishning nima ahamiyati bor?
15. Ebulioskopiyaga ta'rif bering!
16. Suvning issiqlik sig'imi nechaga teng?
17. Muzning suv sirtiga suzib chiqishiga sabab nima?
18. Muzlash harorati past bo'lgan eritmalar qanday ataladi?
19. Raulning qonunini tariflab bering!

### 3-BOB. KIMYOVIY REAKSIYA BILAN BORADIGAN TANLAB ERITISH JARAYONLARINING TERMODINAMIKASI

#### 3.1. Reagent sarfi bilan muvozanat doimiyligi orasidagi bog‘liqlik

Agar metall birikmasi eritmaga kimyoviy reaksiya natijasida o‘tadigan bo‘lsa, bunda, metallni birikmalardan eritmaga o‘tkazish uchun qancha erituvchi modda kerak bo‘lishi, undan qancha miqdorda ortiqcha olish kerakligini va erituvchining minimal sarfini, reaksiyaning muvozanat doimiyligi qiymati bilan aniqlanadi. Masalan, volframni sheyelit mineralidan soda eritmasi bilan tanlab eritish jarayoni va volframni ferberit mineralidan natriy ishqori bilan tanlab eritish:



1 va 2-reaksiyalarning konsentratsion muvozanat doimiyligi quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{[\text{Na}_2\text{WO}_4]_{\text{m}}}{[\text{Na}_2\text{CO}_3]_{\text{m}}} = K_{\text{c}(8.1)}$$

$$\frac{[\text{Na}_2\text{WO}_4]_{\text{m}}}{[\text{NaOH}]_{\text{m}}^2} = K_{\text{c}(8.2)}$$

Reaksiya muvozanatlashgandan keyin sarflanmay qolgan erituvchining miqdori 1-reaksiya uchun

$$[\text{Na}_2\text{CO}_3]_{\text{m}} = \frac{1}{K_{\text{c}}} [\text{Na}_2\text{WO}_4]_{\text{m}}$$

demak 1 mol sheyelit uchun sodaning ortiqcha sarfi

$$[\text{Na}_2\text{CO}_3]_{\text{opm}} = \frac{1}{K_{\text{c}}}$$

Shunday qilib sheyelitdagi 1 mol kalsiy volframat uchun sodaning umumiy sarfi  $1 + \frac{1}{K_{\text{c}}}$  g-molga teng bo‘ladi.

Tanlab eritish reaksiyasi muvozanatlashganda sarflanmay qolgan erituvchining miqdori quyidagi teglamadan aniqlanishi mumkin:

$$[\text{NaOH}]_{\text{m}} = \sqrt{[\text{Na}_2\text{WO}_4]_{\text{m}}} / \sqrt{K_{\text{c}}}$$

Natriy ishqorining ortiqcha sarfi:

$$[\text{NaOH}]_{\text{opm}} = 1 / \sqrt{K_{\text{c}} [\text{Na}_2\text{WO}_4]_{\text{m}}}$$

natriy ishqorining umumiy sarfi esa



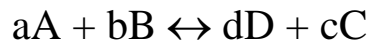
$2+1/\sqrt{K_c[Na_2WO_4]_m}$  ga teng bo‘ladi

*Muvozanat doimiyligini tajriba yo‘li bilan aniqlash*

Tanlab eritish reaksiyasining muvozanat doimiyligini tajriba yo‘li bilan aniqlash uchun ikki xil usul qo‘llaniladi.

1) Reaksiyaga kirishuvchi moddalar ma’lum sharoitda (bir xil haroratda) aralashtiriladi va vaqt o‘tishi bilan bu moddalarning va reaksiya natijasida hosil bo‘lgan mahsulotlarning eritmadagi konsentratsiyalarining o‘zgarishini tahlil qilib kuzatib boriladi. Ma’lum vaqtdan keyin, moddalar konsentratsiyasi o‘zgarmas qiymatni oladi.

Masalan, quyidagi ko‘rinishidagi reaksiya uchun muvozanat doimiyligi quyidagicha aniqlanadi:



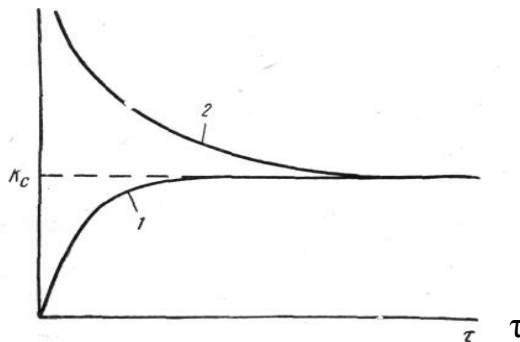
Termodinamik hisoblarda konsentratsion muvozanat doimiysi emas termodinamik muvozanat doimiysi  $K_m$  qo‘llanilayotganligi sababli, konsentratsion muvozanat doimiysini aniqlash teglamalarida konsentratsiya ko‘rsatkichlaridan tashqari reaksiyaga kirishuvchi moddalarning faollik koeffitsiyenti ko‘rsatkichini bilish zarur.

$$K_m = \frac{a_D^d \cdot a_C^c}{a_A^a \cdot a_B^b} = \frac{[D]^d [C]^c}{[A]^a [B]^b} \cdot \frac{\gamma_D^d \cdot \gamma_C^c}{\gamma_A^a \cdot \gamma_B^b} = K_c \frac{\gamma_D^d \cdot \gamma_C^c}{\gamma_A^a \cdot \gamma_B^b}$$

Bu yerda  $K_m$  – haqiqiy (chin) muvozanat doimiyligi,  $K_c$ - konsentratsion muvozanat doimiyligi, a- moddaning faolligi,  $\gamma$  – faollik koeffitsiyenti.

2) Muvozanat doimiyligining qiymatini reaksiya natijasida hosil bo‘lgan mahsulotlarni suvda eritib topiladi.

Ikkala usulda ham moddalar konsentratsiyalarining  $\frac{[D]^d [C]^c}{[A]^a [B]^b}$  nisbatida muvozanat qaror topadi (3.1- rasm):



**3.1. - rasm. Konsentratsion muvozanat doimiyligini aniqlash:  
1- to‘g‘ri reaksiya; 2- teskari reaksiya**

### 3.2. Muvozanat doimiyligini hisoblash usullari

Reagentlar sarfini hisoblashda  $K_c$  ning, termodinamik miqdorlarini hisoblashda esa  $K_m$  ning qiymatlari ishlatiladi. Amalda,  $K_c$  ning qiymati  $K_m$  ning qiymatidan katta farq qilmaydi. Shuning uchun reagent sarfini taxminiy hisoblashlarda chin muvozanat doimiyligining qiymatlarini ishlatsa bo'ladi.  $K_m$  ni esa termodinamik qiymatlari orqali hisoblasa bo'ladi. Ma'lumki,  $T$  haroratda Gibbs energiyasining o'zgarishi  $\Delta G^0$  va chin muvozanat doimiyligi  $K_m$  orasidagi bog'liqlikni quyidagi tglama orqali ifodalash mumkin:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_m$$

Shuningdek, Gibbs energiyasining o'zgarishini reaksiyaning entalpiyasi va entropiyasi bilan quyidagi nisbatga ega – Gibbs-Geymgools tenglamasi:

$$\Delta G^0 = \Delta H_t^0 - T\Delta S_t^0$$

Demak, Gibbs energiyasining qiymatini aniqlash uchun reaksiyaning  $\Delta H_{298}^0$  va  $C_{298}^0$  qiymatlarini, hamda bu qiymatlarning haroratning o'zgarishiga qarab o'zgarish darajasini bilish kerak.

Gidrometallurgiya jarayonlari nisbatan past haroratlarda olib borilgan sababli,  $\Delta H_t^0$  va  $\Delta S_t^0$  ning qiymatlari moddalarning standart holatdagi qiymatlariga juda yaqin bo'ladi, shuning uchun hisoblashlar quyidagicha olib boriladi:

$$\Delta G^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0$$

bunda

$$\begin{aligned}\Delta H_{298}^0 &= \sum \Delta H_{298}^0 (\text{maxs}) - \sum \Delta H_{298}^0 (\text{dast}) \\ \Delta S_{298}^0 &= \sum \Delta S_{298}^0 (\text{maxs}) - \sum \Delta S_{298}^0 (\text{dast})\end{aligned}$$

Yoki reaksiyaga kirishuvchi va reaksiya natijasida hosil bo'lgan moddalarning  $\Delta G_{298}^0$  qiymatlari ma'lum bo'lsa

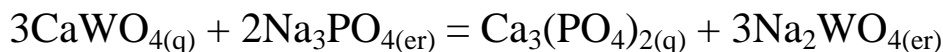
$$\Delta G_{298}^0 = \sum \Delta G_{298}^0 (\text{maxs}) - \sum \Delta G_{298}^0 (\text{dast})$$

tenglama bilan hisoblash mumkin.

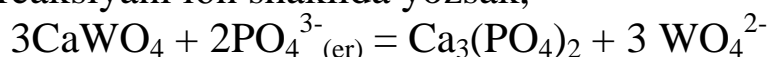
Hisoblashlar natijasida olingan reaksiyaning Gibbs energiyasi qiymati manfiy bo'lsa, bu reaksiya o'z- o'zidan ketadi, agar musbat bo'lsa, bu reaksiya teskari tomonga yo'nalgan bo'ladi.

*Kam eriydigan qattiq, modda hosil qilish bilan boradigan reaksiyalarning muvozanat doimiyligini hisoblash*

Kam eriydigan qattiq, modda hosil qilish bilan boradigan reaksiyalarning muvozanat doimiyligini ularning eruvchanlik ko'paytmasi yordamida hisoblash mumkin. Masalan:



bu yerda  $3\text{CaWO}_{4(\text{q})}$  va  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_{2(\text{q})}$  moddalari suvda juda kam eriydi. Ushbu reaksiyani ion shaklida yozsak,



Tuzlarning eruvchanlik ko'paytmasi  $L_{\text{CaWO}_4} = a_{\text{Ca}^{2+}} + a_{\text{WO}_4^{2-}}$ ;

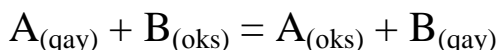
$L_{\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2} = a_{\text{Ca}^{2+}}^3 + a_{\text{PO}_4^{3-}}^2$  bo'lsa reaksiyaning muvozanat doimiyligini quyidagi tenglama orqali ifodalasak bo'ladi:

$$K_M = \frac{a_{\text{WO}_4^{2-}}^3}{a_{\text{PO}_4^{3-}}^2} = \frac{L_{\text{CaWO}_4}^3}{L_{\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2}}$$

*Reaksiyaning muvozanat doimiyligini elektrokimyoviy potentsiallar qiymati yordamida hisoblash*

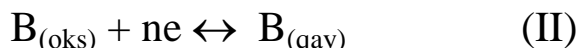
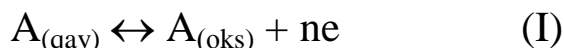
Agar, tanlab jarayoni oksidlanish va qaytarilish reaksiyasi bilan boradigan bo'lsa, u holda bu jarayonning muvozanat doimiyligini elektrokimyoviy potentsiallar qiymatlari orqali hisoblash mumkin.

Masalan:



A- modda qaytarilgan holdan oksidlangan holga, B- modda esa oksidlangan holdan qaytarilgan holga o'tayapti.

Bu jarayonni quyidagicha alohida – alohida yozish mumkin.



Har bir elektrodning potentsiali standart vodorod elektrodiga nisbatan quyidagicha aniqlanadi:

$$\varphi = \varphi^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{\text{oks}}}{a_{\text{kay}}}$$

bu yerda  $\varphi^0$  – elektrodning standart potentsiali,

n – reaksiyada qatnashayotgan elektronlar soni,

F – Faradey soni,  $F = 96500 \text{ J}(\text{V} \cdot \text{g} \cdot \text{ekv})$ .

Oksidlanish (I) va qaytarilish (II) reaksiyalari borayotgan elementning elektr yurituvchi kuchi quyidagicha aniqlanadi:

$$E = \varphi_{II} - \varphi_I = (\varphi_{II}^0 - \varphi_I^0) - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{A_{(okc)}} a_{B_{(kai)}}}{a_{A_{(kai)}} a_{B_{(okc)}}}$$

Muvozanat qaror topgandan keyin elektron almashish jarayoni to'xtaydi va  $\varphi_{II} = \varphi_I$  yoki  $\varphi_{II} - \varphi_I = 0$  bo'ladi, u holda tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$\varphi_{II}^0 - \varphi_I^0 = \frac{RT}{nF} \ln \left( \frac{a_{A_{(okc)}} a_{B_{(kai)}}}{a_{A_{(kai)}} a_{B_{(okc)}}} \right)_M$$

tenglamadagi  $\left( \frac{a_{A_{(okc)}} a_{B_{(kai)}}}{a_{A_{(kai)}} a_{B_{(okc)}}} \right)_M = K_M$  va  $\varphi_{II}^0 - \varphi_I^0 = E^0$  teng bo'lganligi

sababli, quyidagi tenglama hosil bo'ladi:

$$\begin{aligned} RT \ln K_M &= nFE^0 \\ \Delta G^0 &= -nFE^0 \end{aligned}$$

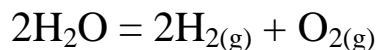
bu yerda  $E^0$  – elementning elektr yurituvchi kuchi, uning qiymatini potentsiallar jadvalidan topish mumkin.

### 3.3. Potensial – pH (Purbe) diagrammalari

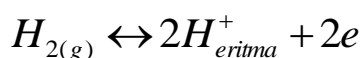
Eh-pH (Purbe) diagrammalari qattiq faza va suvli eritmalarini saqlovchi sistemalarda muvozanat holatlarni grafik tarzda ifodalash uchun ishlatiladi (qulaydir). Diagrammalar yordamida potensial (Eh) va pH ko'rsatkichlariga bog'langan holda sistemalarda termodinamik jihatdan turg'un holatlarni ko'rsatish imkoniyatlari bor.

#### *Suv uchun Eh-pH diagrammasi*

Suv faqat erituvchi emas, balki barcha gidrometallurgik jarayonlar boradigan muhitdir. Suv kuchli tiklovchi moddalar bilan vodorod ajratib, kuchli oksidlovchilar bilan kislorod ajratib parchalanishi mumkin.



Suvning tiklanish muvozanatini quyidagi yarim reaksiya orqali ifodalash mumkin:



Normal sharoitlarda (298 °C) reaksiyaning potentsiali quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$Eh = E_{H^+/H_2}^0 + \frac{0,059}{2} \lg \left( \frac{a_{H^+}^2}{P_{H_2}} \right)$$

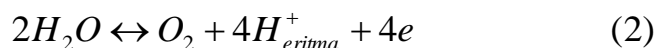
Tenglamada:  $E^0$  – vodorodning standart potentsiali,  $a$  – vodorod ionlarining faolligi,  $P_{H_2}$  – vodorodning parsial bosimi

$$Eh = E_{H^+/H_2}^0 + 0,059 \lg a_{H^+} - 0,0295 \lg P_{H_2}$$

Normal sharoitlarda  $E_{H^+/H_2} = 0$  va  $P_{H_2} = 1 \text{ atm}$ , va  $\lg a_{H^+} = \text{pH}$ , quyidagi tenglikni hosil qilamiz  $Eh = -0,059 \text{ pH}$ .

Shunday qilib (1) reaksiya uchun Eh-pH bog'liqligini grafik tarzda diagrammada **ab** to'g'ri chizig'i bilan ifodalash mumkin va bu to'g'ri chiziqning og'ish burchagining tangensi - 0,059 ga teng (3.2 - rasm). pH ko'rsatkich 0 dan 14 gacha o'zgaranda potensial ko'rsatkichi 0 dan - 0,826 gacha o'zgaradi.

Suv ham barcha kimyoviy birikmalar kabi oksidlanadi:



Reaksiyaning potentsiali quyidagi tenglama bilan ifodalani:

$$Eh = E_{H^+/H_2}^0 + \left( \frac{0,059}{4} \right) \lg a_{H^+}^4 \quad (P_{O_2} = 1 \text{ atm})$$

Tiklanish reaksiyasi (1) boradigan vodorod standart elektrodidan va oksidlanish reaksiyasi (2) boradigan elektrodan tashkil topgan elementning E.Yu.K. ning standart ko'rsatkichi quyidagiga teng bo'lganda  $E^0 = E_{H^+/H_2}^0 - E_{O_2/H_2O}^0$ ,  $E_{H^+/H_2}^0 = 0$ , bu holda  $E^0 = -E_{O_2/H_2O}^0$  va quyidagi tenglamaga binoan

$$\Delta G = -nFE^0 \Rightarrow E^0 = \frac{\Delta G}{(nF)}$$

$$\Delta G_{reak}^0 = \Delta G_{O_2}^0 + 4\Delta G_{H^+}^0 - 2\Delta G_{H_2O}^0 = 0 + 4 \cdot 0 - 2(-237,2)$$

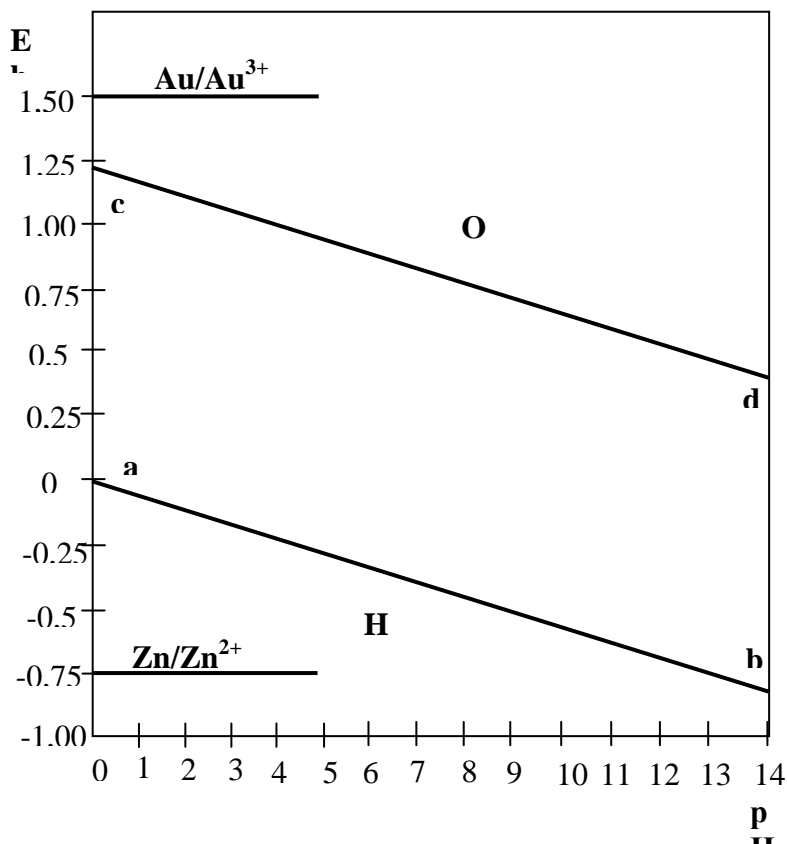
$$\Delta G_{reak}^0 = 474,4 \text{ kJ/mol} \quad \text{va} \quad E^0 = \frac{474,4}{(4 \cdot 96,49)} = 1,23 \text{ B,}$$

bu holda (2) reaksiyaning potentsiali quyidagicha ifodalanadi

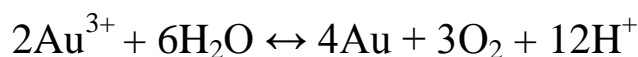
$$Eh = 1,23 + \left( \frac{0,059}{4} \right) \lg a_{H^+}^4 \quad \text{yoki}$$

$$Eh = 1,23 - 0,059 \text{ pH.}$$

Bu bog‘liqlik diagrammada **cd** to‘g‘ri chiziq bilan ko‘rsatilgan. pH ko‘rsatkichisi 0 dan 14 gacha o‘zgarganda potensial ko‘rsatkichisi 1,23 dan 0,404 gacha o‘zgaradi.



Potensial  $H_2/H^+$  (ab) chizig‘idan past bo‘lgan barcha tiklovchilar va potensial  $H_2O/O_2$  (cd) chizig‘ida yuqori bo‘lgan oksidlovchilar suvni parchalaydi. Masalan rux pH ko‘rsatkichining keng chegarasida suvni parchalaydi. Oltin ionlari esa suvdan kislorodni siqib chiqaradi, chunki quyidagi reaksiya uchun



standart potensial +1,5 V teng.

### *Alyuminiy – suv sistemasi uchun Purbe diagrammasi*

Alyuminiy – suv sistemasining qattiq fazasida elementar alyuminiy va alyuminiy gidroksid (oksid), suyuq fazasida  $Al^{3+}$  va  $AlO_2^-$  (aniqrog‘i  $Al(OH)_4^-$ ) komponentlari mavjud bo‘ladi. Shuning uchun eritmadagi ionlar orasidagi muvozanat shartlarini ko‘rib chiqish zarur.

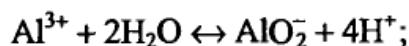
Hisoblashlar mobaynida birikma va ionlar Gibbs energiyalarining standart qiymatlari qabul qilingan:

Birikma yoki	$Al(OH)_3$	$Al^{3+}$	$AlO_2^-$	$H_2O$
--------------	------------	-----------	-----------	--------

ion	gidrargillit	(suvda)	(suvda)
$\Delta G^\circ$ , kJ/mol	- 1160,2	- 481,4	- 839,7 - 237,2

Eritmada  $Al^{3+}$  va  $AlO_2^-$  ionlari orasidagi muvozanat.

$Al^{3+}$  va  $AlO_2^-$  ionlarining faolliklari orasidagi bog‘liqligi quyidagi reaksiyaning muvozanati bilan aniqlanadi:



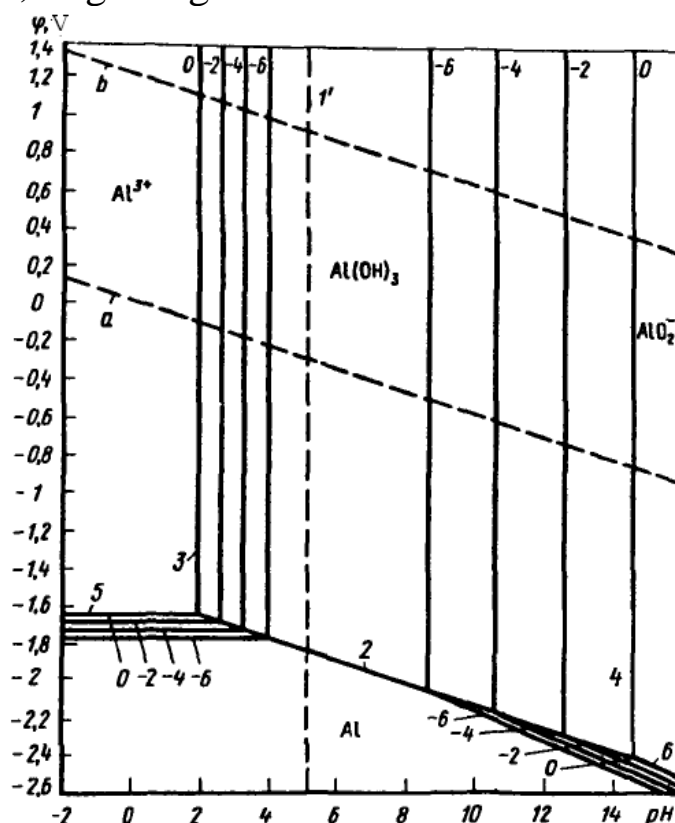
$$\Delta G^\circ = -839,7 - (-481,4) - 2(-237,2) = 116,1 \text{ kJ/mol};$$

$$\lg K_a = \lg \frac{a_{AlO_2^-} a_{H^+}^4}{a_{Al^{3+}}} = -\frac{116100}{2,303 \cdot 8,314 \cdot 298} = -20,3;$$

$$\lg(a_{AlO_2^-} / a_{Al^{3+}}) = -20,3 + 4pH.$$

Ko‘rib chiqilayotgan reaksiyada oksidlanish-qaytarilish jarayonlari yo‘q, ionlar orasidagi muvozanatga doir munosabat potensialga bog‘liq bo‘lmay, faqatgina pH funksiyasi bilan ifodalanadi. Suvli fazalarda turli xil ionlar saqlagan sistemalar uchun diagrammalar tuzish natijasida muvozanat vaqtidagi ionlarning faolliklari bir-biriga teng bo‘lgan tenglamalar asosida yechiladi:

Agar  $a(Al^{3+}) = a(AlO_2^-)$  bo‘lsa, u holda  $\lg(a(AlO_2^-)/a(Al^{3+})) = 0$  va  $pH = 20,4 / 4 = 5,07$  ga teng bo‘ladi.



3.3-rasm. Alyuminiy – suv uchun  $\phi - pH$  diagrammasi.

Diagrammada bu munosabat ordinata o‘qiga parallel chiziqlar bilan tasvirlangan. Bunda  $\text{pH} = 5,07$ . Diagrammada 1<sup>1</sup> chizig‘idan chap tomonda ( $\text{pH} < 5,07$ ) eritmada asosan  $\text{Al}^{3+}$  ionlari ishtirok etadi, o‘ng tomonda esa ( $\text{pH} > 5,07$  bo‘lganda)  $\text{AlO}_2^-$  anionlari qatnashadi.

***Al – Al(OH)<sub>3</sub> muvozanati.*** Al va H<sub>2</sub>O orasidagi o‘zaro ta’sirlashuv reaksiyasi gidrargillit hosil bo‘lishi bilan boradi:

$$\begin{aligned} \text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} &\leftrightarrow \text{Al(OH)}_3 + 3\text{H}^+ + 3e^-; \\ \Delta G^\circ &= -1160,2 + 3 \cdot 237,2 = -448,6 \text{ kJ/mol}; \\ \varphi^\circ &= \Delta G^\circ / (nF) = -448600 / (3 \cdot 96493) = -1,55 \text{ V}; \\ \varphi &= -1,55 + (0,059/3) \lg a_{\text{H}^+}^3 \text{ yoki} \\ \varphi &= -1,55 - 0,059 \text{ pH}. \end{aligned}$$

Yuqorida kelib chiqqan tenglamaga mos ravishda  $\varphi$ -pH diagrammada Al va Al(OH)<sub>3</sub> orasidagi muvozanat suvning barqaror mintaqasida chegaralangan egri chiziqlarga mos ravishdagi chiziqlar bilan tasvirlangan (3.3-rasm, 2-chiziq).

Al – Al(OH)<sub>3</sub> muvozanat chiziqlari suvning barqarorlik hududlari ostida joylashganligiga qaramay, alyuminiy pH ning suv mavjud bo‘lgan barcha intervallarida termodinamik nuqtayi nazardan beqaror moddadir. Lekin kimyoviy korroziya odatdagi haroratda asta-sekinlik bilan alyuminiyli oksid parda hosil bo‘lishi bilan oqib o‘tadi.

***Al<sup>3+</sup> va Al(OH)<sub>3</sub> orasidagi muvozanat.*** Jarayonning kimyoviy reaksiyasi va ushbu reaksiyaning muvozanat holati tenglamalari quyidagicha yoziladi:

$$\begin{aligned} \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} &= \text{Al(OH)}_3 + 3\text{H}^+; \\ \Delta G^\circ &= -1160,2 - 3(-237,2) - (-481,4) = 32,8 \text{ kJ/mol}; \\ \lg K_a &= \lg(a_{\text{H}^+}^3 / a_{\text{Al}^{3+}}) = -32800 / (2,303 \cdot 8,314 \cdot 298) = -5,75; \\ \lg a_{\text{Al}^{3+}} &= 5,75 - 3\text{pH}. \end{aligned}$$

Hosil bo‘lga tenglamadan shuni kuzatish mumkinki, gidrargillit bilan muvozanatda turgan Al<sup>3+</sup> ionlarining faollik logarifmi pH ning chiziqli funksiyasi hisoblanadi. Har bir  $\lg a(\text{Al}^{3+})$  qiymati potensialning barcha qiymatlarida gidroksid hosil bo‘lishining aniqlangan pH qiymatiga mos keladi. Masalan,  $\lg a(\text{Al}^{3+}) = 0$  bo‘lsa, u holda  $\text{pH} = 1,92$ ; yoki  $\lg a(\text{Al}^{3+}) = -4$  bo‘lsa, u holda  $\text{pH} = 3,25$  va hokazo. Shunday qilib, bu diagrammadan shuni ko‘rish mumkinki, Al<sup>3+</sup> ionining faolligi ortgani sari gidroksidning hosil bo‘lish pH ko‘rsatkichi kamayib boradi.



Al(OH)<sub>3</sub> va AlO<sub>2</sub><sup>-</sup> anioni orasidagi muvozanat. Jarayonning kimyoviy reaksiyasi va muvozanat holatining tenglamalari quyidagicha:



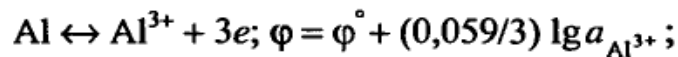
$$\Delta G^\circ = -237,2 - 839,7 - (-1160,2) = 83,3 \text{ kJ/mol};$$

$$\lg K_a = \lg(a_{\text{AlO}_2^-} a_{\text{H}^+}) = -83300 / (2,303 \cdot 8,314 \cdot 298) = -14,6;$$

$$\lg a_{\text{AlO}_2^-} = -14,6 + \text{pH}.$$

Al – Al(OH)<sub>3</sub> muvozanati kabi bu muvozanat sistemasida ham har bir  $\lg a(\text{AlO}_2^-)$  faollikning qiymati gidroksid hosil bo‘lishining pH kattaligiga mos keladi. Shunga binoan, diagrammada ordinata o‘qiga parallel chiziqlar keltirilgan bo‘lib, ular uchun  $\lg a(\text{AlO}_2^-)$  ning qiymalari mos ravishda 0; - 2; - 4; - 6 ga teng bo‘ladi (4-chiziq).

**Al – Al<sup>3+</sup> muvozanati.** Al<sup>3+</sup> ionlari alyuminiyning oksidlanish mahsulotlari hisoblanadi:



$$\varphi^\circ = -1,663 \text{ V} \quad \varphi = -1,663 + 0,0197 \lg a_{\text{Al}^{3+}}$$

Ko‘rilayotgan reaksiya uchun potensial – Al<sup>3+</sup> ionlarining faollik logarifmining chiziqli funksiyasi eritmaning pH qiymatiga bog‘liq emas. Shuning uchun har bir  $\lg a(\text{Al}^{3+})$  qiymatiga potensialning aniqlangan qiymati mos keladi. Alyuminiy va Al<sup>3+</sup> ionlari orasidagi muvozanat diagrammada absissa o‘qiga parallel chiziqlarda ifodalangan (8.1-rasm, 5-chiziq).

**Al va AlO<sub>2</sub><sup>-</sup> ioni orasidagi muvozanat.** AlO<sub>2</sub><sup>-</sup> ionlarining hosil bo‘lishini quyidagi reaksiyaning oqib o‘tishi bilan tushuntiriladi:



$$\Delta G^\circ = -839,7 - 2(-237,2) = -365,3 \text{ kJ/mol};$$

$$\varphi^\circ = -1,262 \text{ V}; \quad \varphi = -1,262 + (0,059/3) \lg(a_{\text{AlO}_2^-} a_{\text{H}^+}^4);$$

$$\varphi = -1,262 + 0,0197 \lg a_{\text{AlO}_2^-} - 0,0788 \text{ pH}.$$

Ko‘rilayotgan reaksiyaning muvozanat potentsiali AlO<sub>2</sub><sup>-</sup> ioni va pH ning faollik funksiyasi hisoblanadi. Har bir muvozanatda turgan ionlar uchun faollik qiymati 0,0788 burchak koeffitsiyenti bilan ifodalangan to‘g‘ri chiziqlar orqali tasvirlanadi (6-chiziq).

## Rux – suv sistemasi uchun Purbe diagrammasi

Ko‘pchilik elektrokimyoviy jarayonlar suv va havo ishtirokida boradi. Elektrodda muvozanat potensialini hosil qilish uchun barcha qo‘shimcha reaksiyalarning sodir bo‘lishini oldini olish kerak.

Har qanday elektrodning muvozanat potensialini aniqlash uchun shu elektrodning standart potentsiali va erituvchi ishtirokida boradigan elektrokimyoviy reaksiyalar potentsiallari nisbati olinadi.

Metall holdagi rux, uning ioniva suvning pH ning har xil qiymatidagi o‘razo ta’sirini ko‘rib chiqamiz.

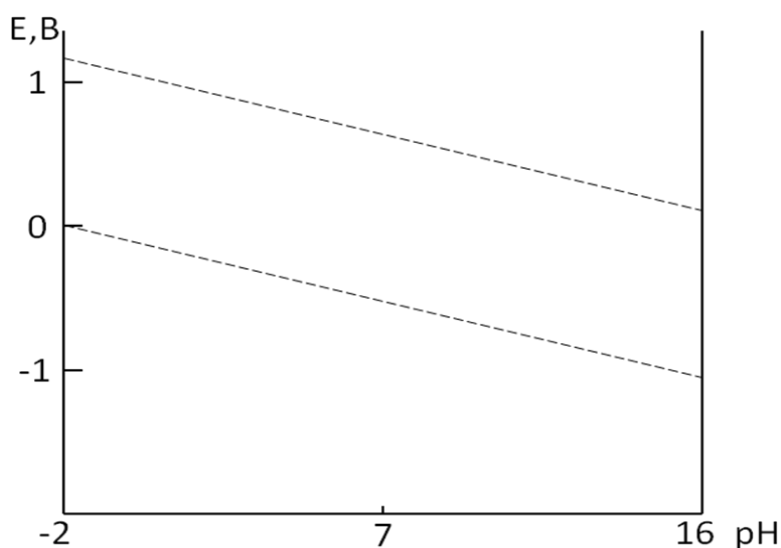
Diagrammani tuzish uchun quyidagilarni bilish zarur:

- oksidlanish, qaytarilish, kompleks hosil bo‘lishi va cho‘kish kabi reaksiyalarni bilish kerak;

- ularning miqdoriy tavsifini bilish kerak;

- E - pH koordinatalarida grafik tasvirlashni bilish kerak.

Purbe diagrammasi konsentratsiyaning ikki tartibga farqlanadigan to‘rtta qiymati uchun tuziladi:  $10^{-6}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^0$ .

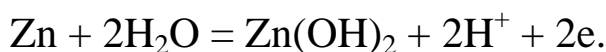


### 3.4-rasm. Oddiy rux metalining anodli qutblanish diagrammasi

1) Nordon eritmalarida rux elektrodining sirtida anodli qutblanish (polyarizatsiya) jarayoni oddiy gidratlangan rux ionlari hosil bo‘lishi bilan boradi:  $Zn = Zn^{2+} + 2e$ .

Bu reaksiyaning muvozanat potentsiali pH ga bog‘liq emas va Purbe diagrammasida pH o‘qiga parallel bo‘lgan to‘g‘ri chiziq ko‘rinishida tasvirlanadi:

2) pH qiymati oshishi bilan anod reaksiyasining tabiati o‘zgaradi:



Bu reaksiyaning muvozanat potentsiali rux ionlarining konsentratsiyasiga bog'liq bo'lmasdan, balki eritmaning pH qiymatiga bog'liq.

$$E = E^0 + \frac{RT}{2F} \ln a_{\text{H}^+}^2 = E^0 - 0,059 \text{ pH}$$

Bu reaksiyaning muvozanat potentsialining chizig'i diagrammada 59 mV/1pH mintaqada qiyalik burchagi hosil qiladi.

3) pH qiymatining oshishi bilan rux ionlaridan rux gidroksidi olinishi mumkin:  $\text{Zn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+$ . Bu reaksiyaning muvozanat doimiyligi:

$$K = \frac{a_{\text{Zn}(\text{OH})_2} \cdot a_{\text{H}^+}^2}{a_{\text{Zn}^{2+}} \cdot a_{\text{H}_2\text{O}}^2} \quad K = \frac{a_{\text{H}^+}^2}{a_{\text{Zn}^{2+}}} \quad \lg K = \frac{2 \lg a_{\text{H}^+}}{\lg a_{\text{Zn}^{2+}}} \quad \lg K = -11,26$$

$$\text{pH} = \frac{11,26 - \lg a_{\text{Zn}^{2+}}}{2}. \quad a_{\text{Zn}^{2+}} = 1 \quad \text{pH} = 5,63.$$

Purbe diagrammasida rux ionlari va rux gidroksidi orasidagi muvozanatni belgilovchi chiziq rux ionlarining faolligi 1 ga teng bo'lganda pH ning qiymati 5,63 ga teng bo'lganini ko'rish mumkin. Rux ionlarining faolligi kamayganda bu chiziq pH ning yuqori qiymatlaridagi mintaqalar bilan kesishadi.

4) kuchli ishqoriy eritmalarda rux gidroksidi  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  sinkatlar hosil qilib eriydi:  $\text{Zn}(\text{OH})_2 = \text{ZnO}_2^{2-} + 2\text{H}^+$ . Bu reaksiyaning muvozanat doimiyligi quyidagicha aniqlanadi:

$$K = \frac{a_{\text{ZnO}_2^{2-}} \cdot a_{\text{H}^+}^2}{a_{\text{Zn}(\text{OH})_2}} \quad \lg K = -29,48 \quad \text{pH} = \frac{29,48 + \lg a_{\text{ZnO}_2^{2-}}}{2}$$

$$a_{\text{ZnO}_2^{2-}} = 1, \quad \text{pH} = 14,74.$$

Bu chiziq Purbe diagrammasida rux gidroksidi va sinkat ionlari orasida muvozanat vujudga kelganda tasvirlangan. Bunda pH=14,74 bo'lganda vertikal chiziq ko'rinishiga ega. Sinkat ionlarining faolligi

kamayishi bilan bu chiziq pH ning kichik qiymatli sohalari bilan kesishadi.

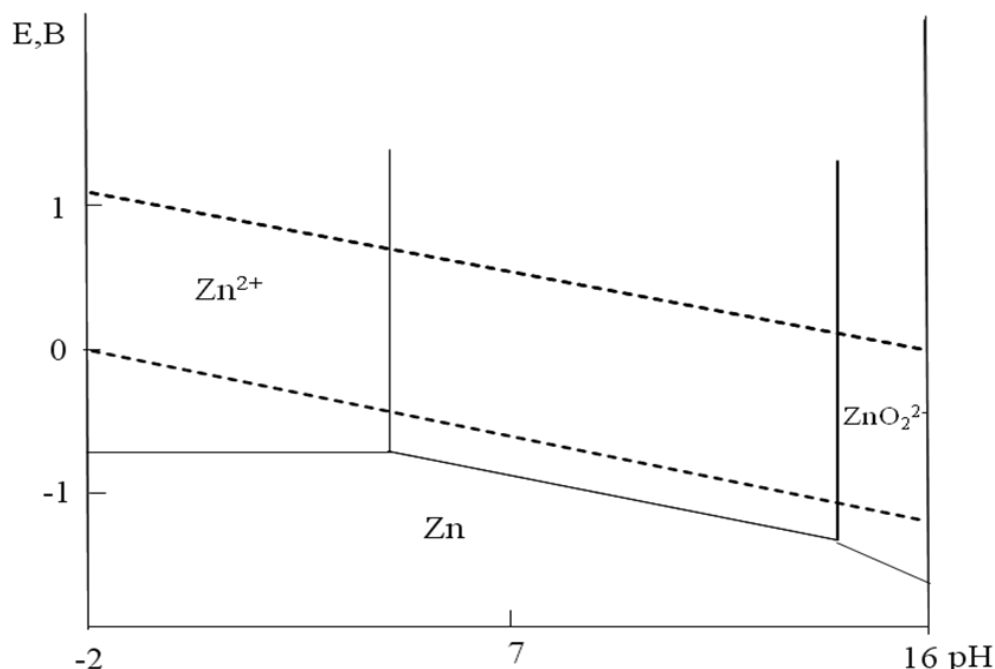
5) Sinkat ionlari kuchli ishqoriy eritmalarda ruxning anodli qutblanishi (polyarizatsiyasi) natijasida hosil bo‘ladi. Jarayonning kimyoviy reaksiyasi quyidagicha:  $Zn + 2H_2O = ZnO_2^{2-} + 4H^+ + 2e$ .

Bu reaksiyaning muvozanat potentsiali quyidagi formulalar orqali aniqlanadi:

$$E = E^0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{ZnO_2^{2-}} \cdot a_{H^+}^4}{a_{Zn} \cdot a_{H_2O}^2}$$

$$E = E^0 + \frac{RT}{2F} \ln a_{ZnO_2^{2-}} - 0,118pH$$

Bu reaksiyaning muvozanat potentsiali rux ionlarining konsentratsiyasiga va pH ning qiymatiga bog‘liq. Uning chizig‘i Purbe diagrammasida 118 mV/1 pH burchak koeffitsiyenti qiyaligida joylashgan.



**3.5-rasm. Zn – suv sistemasi uchun Purbe diagrammasi**

### 3.4. Murakkab tanlab eritish jarayonlariga doir namunaviy masala va mashqlar yechish

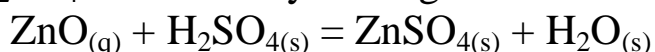
**1-misol. Masalaning mohiyati:** Ma'lumki, sulfidli rux boyitmalari kislota va ishqorlarda yaxshi erimaganligi tufayli uni gidrometallurgik qayta ishlashga tayyorlash maqsadida "Qaynar qatlamli" pechda oksidlovchi kuydiriladi va rux kuyindisi ya'ni oksidi olinadi. Mazkur oksidlar suyultirilgan sulfat kislota tanlab eritiladi.

**Vazifa:** Aynan shu rux kuyindilarini tanlab eritish jarayonini termodinamik tahlil qiling!

#### **Yechish.**

Bunda rux oksidining sulfat kislota bilan reaksiyasining standart entalpiyasini va Gibbs energiyasini aniqlaymiz.

ZnO ning H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bilan reaksiyasi tenglamasini tuzamiz:



Dastlab reaksiyaning entalpiyasini aniqlaymiz. Ma'lumotnomadan moddalarning standart entalpiyasi berilgan jadvaldan foydalanib ZnO, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub> va H<sub>2</sub>O uchun  $\Delta H_{298}^0$  qiymatini topamiz:

$$\text{ZnO}_{(q)} \Delta H_{298}^0 = - 350,6 \text{ kJ/mol};$$

$$\text{H}_2\text{SO}_{4(s)} \Delta H_{298}^0 = - 814,2 \text{ kJ/mol};$$

$$\text{ZnSO}_{4(s)} \Delta H_{298}^0 = - 981,4 \text{ kJ/mol};$$

$$\text{H}_2\text{O}_{(s)} \Delta H_{298}^0 = - 285,83 \text{ kJ/mol}.$$

Bulardan foydalanib, formula orqali reaksiyaning entalpiyasini topamiz.

$$\Delta H_{298(\text{reaksiya})} = \sum \Delta H_{\text{reak.mah.}} - \sum \Delta H_{\text{dast.modda.}} = (- 981,4 + (- 285,83)) - (- 350,6 + (- 814,2)) = - 1267,23 \text{ kJ} + 1164,8 \text{ kJ} = - 102,43 \text{ kJ}$$

*1-natija:* Reaksiyaning standart entalpiyasi  $\Delta H_{298}^0 = - 102,43 \text{ kJ}$  ibbsit. Entalpiyaning (-) ishorasi reaksiyaning ekzotermik ekanligini bildiradi.

Endi reaksiyaning Gibbs energiyasini topamiz. Buning uchun ham ma'lumotnomalardan tegishli moddalarning standart sharoit uchun erkin energiyalarini qidirib topib, ulardan reaksiyaning erkin energiyasini hisoblaymiz:

$$\text{ZnO}_{(q)} \Delta G_{298} = - 320,7 \text{ kJ/mol};$$

$$\text{H}_2\text{SO}_{4(s)} \Delta G_{298} = - 690,3 \text{ kJ/mol};$$

$$\text{ZnSO}_{4(s)} \Delta G_{298} = - 870,12 \text{ kJ/mol};$$

$$\text{H}_2\text{O}_{(s)} \Delta G_{298} = - 237,25 \text{ kJ/mol}.$$

Boʻlardan foydalanib, formula orqali reaksiyaning Gibbs energiyasini topamiz.

$$\Delta G_{298(\text{reaksiya})} = \sum \Delta G_{\text{reak.mah.}} - \sum \Delta G_{\text{dast.modda.}} = (- 870,12 + (- 237,25)) - (- 320,7 + (- 690,3)) = - 1107,37 \text{ kJ} + 1011 \text{ kJ} = - 96,37 \text{ kJ}$$

*2-natija:* Reaksiyaning standart Gibbs energiyasi  $\Delta G_{298(\text{reaksiya})} = - 96,37 \text{ kJ}$ . Gibbs energiyasining (-) ishorasi reaksiyaning standart sharoitda mustaqil ravishda borish ehtimolligi yuqoriligini koʻrsatadi.

**2-misol. Masalaning mohiyati:** Oltinning ikkilamchi metallurgiyasida oltin saqlagan ikkilamchi xomashyolardan oltinni “shoh arogʻi” yoki “zar suvi” deb ataladigan erituvchi kislotalar aralashmasi yordamida eritmaga oʻtkazib, soʻng bu eritmalaridan oltinni turli xil tiklovchi moddalar bilan yoki elektroliz yordamida ajratib olinadi.

**Vazifa:** Quyida berilgan maʼlumotlardan foydalanib, oltinni “zar suvi” bilan reaksiyasining entalpiyasini va Gibbs energiyasini aniqlang!

Modda	$\Delta H_{298}$ , kJ/mol	$\Delta G_{298}$ , kJ/mol
Au	0	0
HCl	- 167,1	- 131,26
HNO <sub>3</sub>	- 173	- 79,9
H[AuCl <sub>4</sub> ]	- 322	- 235,6
NO	90,2	86,6
H <sub>2</sub> O	- 285,83	- 237,25

**Yechish.** Dastlab oltinning “zar suvi” bilan kimyoviy reaksiyasining tenglamasini tuzamiz:



Reaksiyaning entalpiyasi quyidagiga teng:

$$\Delta H_{298(\text{reaksiya})} = \sum \Delta H_{\text{reak.mah.}} - \sum \Delta H_{\text{dast.modda.}} = (- 322 + 90,2 + 2 \cdot (- 285,83)) - (0 + 4 \cdot (- 167,1) + (- 173)) = - 803,46 \text{ kJ} + 841,4 \text{ kJ} = 37,94 \text{ kJ}$$

Demak, reaksiya endotermik.

Endi reaksiyaning Gibbs energiyasini aniqlaymiz:

$$\Delta G_{298(\text{reaksiya})} = \sum \Delta G_{\text{reak.mah.}} - \sum \Delta G_{\text{dast.modda.}} = (- 235,6 + 86,6 + 2 \cdot (- 237,25)) - (0 + 4 \cdot (- 131,26) + (- 79,9)) = - 623,5 \text{ kJ} + 604,94 \text{ kJ} = - 18,56 \text{ kJ}$$

Bu koʻrsatkich kimyoviy reaksiya 25 °C da mustaqil oqib oʻtish ehtimolligi borligini bildiradi.

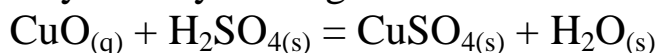
**Javob:** Reaksiyaning standart entalpiyasi  $\Delta H_{298(\text{reaksiya})} = 37,94 \text{ kJ}$  va Gibbs energiyasi  $\Delta G_{298(\text{reaksiya})} = - 18,56 \text{ kJ}$ .

**3-misol. Masalaning mohiyati:** Mis metali dunyo miqyosida asosan pirometallurgik usulda ishlab chiqariladi. Chunki u rudasida sulfidli birikmalar ko‘rinishida uchraydi. Sulfidli birikmalar esa anorganik kislotalarda erimaydi. Lekin mis konining yuqori qismida misning oksidlangan birikmalari tenorit – CuO, kuprit – Cu<sub>2</sub>O va malaxit – Cu(OH)<sub>2</sub> · CuCO<sub>3</sub> uchraydi. Ular gidrometallurgik qayta ishlash uchun yaroqli birikmalardir. Hozirgi kunda endi ochilayotgan yangi konlar ustki qatlamida misning oksidlangan birikmalari mavjudligi ularni turli kislotalar yordamida ajratib olishning yangi ilmiy usullarini ishlab chiqishni talab qiladi. Buning uchun mazkur birikmalarning turli kislotalarda eritish jarayonining termodinamikasini o‘rganish zarur.

**Vazifa:** Quyida berilgan ma’lumotlardan foydalanib, mis (II)-oksidi (tenorit)ning sulfat kislotalarda tanlab eritilish reaksiyasining entalpiyasini va Gibbs energiyasini aniqlang!

Modda	$\Delta H_{298}$ , kJ/mol	$\Delta G_{298}$ , kJ/mol
CuO	- 162	- 134,3
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	- 814,2	- 690,3
CuSO <sub>4</sub>	- 844,1	- 680,1
H <sub>2</sub> O	- 285,83	- 237,25

**Yechish.** Birinchi navbatda mis (II)-oksidi (tenorit)ning sulfat kislota bilan kimyoviy reaksiyasi tenglamasini tuzamiz:



Dastlab reaksiyaning entalpiyasini aniqlaymiz:

$\Delta H_{298(\text{reaksiya})} = \sum \Delta H_{\text{reak.mah.}} - \sum \Delta H_{\text{dast.modda.}} = (- 844,3 + (- 285,83)) - (- 162 + (- 814,2)) = - 1130,13 \text{ kJ} + 976,2 \text{ kJ} = - 153,93 \text{ kJ}$ . Demak, mazkur reaksiya endotermik, ya’ni issiqlik ajralib chiqishi bilan boradi.

Reaksiyaning Gibbs energiyasi esa quyidagiga teng:

$\Delta G_{298(\text{reaksiya})} = \sum \Delta G_{\text{reak.mah.}} - \sum \Delta G_{\text{dast.modda.}} = (- 680,1 + (- 237,25)) - (- 134,3 + (- 690,3)) = - 917,35 \text{ kJ} + 824,6 \text{ kJ} = - 92,75 \text{ kJ}$ .

Gibbs energiyasining qiymati reaksiya standart sharoitda sodir bo‘lishi mumkinligini bildiradi.

**Javob:** Reaksiyaning standart entalpiyasi  $\Delta H_{298(\text{reaksiya})} = - 153,93 \text{ kJ}$  va Gibbs energiyasi  $\Delta G_{298(\text{reaksiya})} = - 92,75 \text{ kJ}$ .

**4-misol. Masalaning mohiyati:** Ma’lumki, alyuminiy metali barcha metallar ichida litosferada tarqalishi jihatidan asosiy o‘rinni egallaydi.

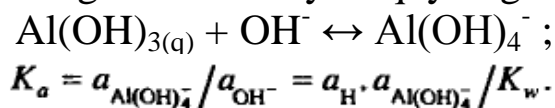
Klark ko'rsatkichi bo'yicha alyuminiyning yerning tosh qobig'idagi o'rtacha miqdori 8,8 % ni tashkil etadi. Ehtiyoji bo'yicha ham alyuminiy metalli oldingi o'rinlarni egallaydi. Alyuminiy metalli ko'p tarqalgan metal bo'lishiga qaramay, uni tayyor metall holigacha ajratib olish uchun juda ko'p elektr energiyasi talab etadi. Hozirgi vaqtda elektr energiyasining narxi dunyo bozorida ortib borayotganligi sababli unga bog'liq bo'lgan barcha mahsulotlarning ham tan-narxiga sezilarli darajada ta'sir etyapti. Alyuminiy ham bundan mustasno emas. Bundan kelib chiqadiki, alyuminiyning ishlab chiqarilishida elektr energiyasini ko'p talab etmaydigan boshqa bir gidrometallurgik usulni tadqiqi qilish hozirgi zamon alyuminiy metallurgiyasining dolzarb muammosiga aylandi.

Alyuminiy tabiatda oksidli minerallar ko'rinishida uchraydi. Ular: korund, glinozem va boksitli rudalardir. Mazkur minerallardan dastlab sof alyuminiy oksidini ajratib olish maqsadida gidrometallurgik ishlov beriladi. Masalan, boksitli rudalarning asosiy minerali bo'lmish – Gibbsit minerali ( $\text{Al(OH)}_3$  – gidrargillit) natriy gidroksid eritmasi bilan qayta ishlanganda uni qattiq faza dab eritma fazasiga o'tkazish imkoniyati vujudga keladi.

**Vazifa:** Gibbsit mineralining sanoatda tanlab eritilish jarayonining termodinamika nuqtai nazari bo'yicha tahlil qiling!

### **Yechish.**

Gibbsit mineralining erish reaksiyasi quyidagicha:



Muvozanatda turgan eritmada tajriba yo'li bilan NaOH,  $\text{Al(OH)}_4^-$ , shuningdek  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  larning miqdorlari aniqlandi (bu yerda  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  havo tarkibidagi  $\text{CO}_2$  ning yutilishidan oz miqdorda hosil bo'lgan). Tajribalardan olingan ma'lumotlardan faollikni emas, balki konsentratsiyalar nisbatini hisoblashda foydalanildi:

$$K^{\sim} = m(\text{Al(OH)}_4^-) / m(\text{OH}^-)$$

Bu yerda:  $m(\text{Al(OH)}_4^-)$  va  $m(\text{OH}^-)$  – molyal konsentratsiyalar, mol/1000 g  $\text{H}_2\text{O}$ .

$K^{\sim}$  kattaligi NaOH va  $\text{Al(OH)}_4^-$  konsentratsiyalari ortishi bilan oshib boradi.  $K_a$  ning haqiqiy doimiyligiga o'tish uchun faollik koeffitsiyentini topish kerak:

$$K_a = K^{\sim} (\gamma(\text{Al(OH)}_4^-) / \gamma(\text{OH}^-))$$

Biroq  $\gamma(\text{Al(OH)}_4^-)$  ning qiymatlari haqida ma'lumotlar yo'q, shuning uchun hisoblash ishlarida  $K^{\sim}$  ni eritmaning ion kuchiga bog'liqlik

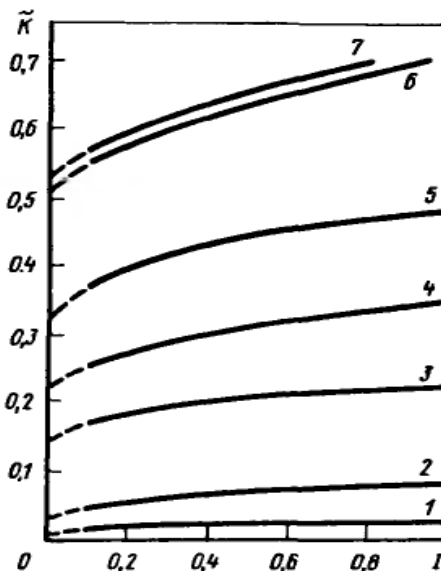
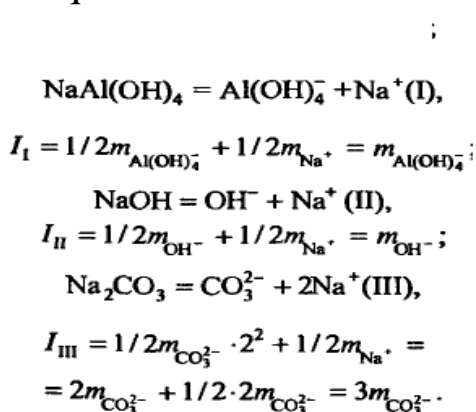


qiymatlaridan foydalanildi. Ion kuchi kattaligi eritma konsentratsiyasiga proporsional ravishda o'zgaradi:

$$I = 1/2 \sum m_i z_i^2$$

Shuning uchun  $m_1 = m_2 = \dots m_n = 0$  bo'lganda  $I = 0$  bo'ladi.

Eritmadagi turli xil ionlar konsentratsiyalari orasidagi munosabat va ularning ion kuchi bilan bog'liqligi quyidagi reaksiya stexiometriyasi orqali aniqlanadi:



**3.6-rasm. Gibbsit mineralining natriy gidroksid eritmasi bilan tanlab eritishning konsentratsion muvozanat doimiysi –  $\tilde{K}$  ni eritmaning ion kuchi –  $I$  ga bog'liqligi (turli haroratlarda, °C: 1 – 25; 2 – 30; 3 – 45; 4 – 60; 5 – 80; 6 – 100; 7 – 120).**

Eritmaning ion kuchi  $I = I_{\text{I}} + I_{\text{II}} + I_{\text{III}}$  ibbsit bo'ladi, shuning uchun bu tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$I = m_{\text{Al(OH)}_4^-} + m_{\text{OH}^-} + 3m_{\text{CO}_3^{2-}}.$$

$K_a = f(1/T)$  ning haroratga bog'liqligini reaksiyaning  $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$  va  $\Delta S^\circ$  qiymatlari hamda ularning bir nechta bog'liqlik formulalari bilan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} \lg K_a &= - \Delta G^\circ / (2,303RT); \\ \lg K_a &= - \Delta H^\circ / (2,303RT) + \Delta S^\circ / (2,303R). \end{aligned}$$

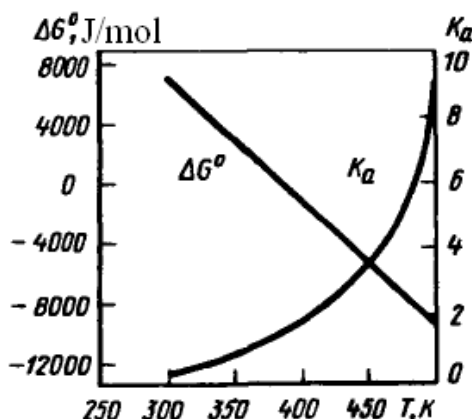
Tajiba natijalariga ishlov berilgandan so'ng:

$$\lg K_a = - 30700 / (2,303 \cdot 8,314T) + 4,11;$$

Shunday qilib, gibbsitning erish reaksiyasi endotermik,  $\Delta H^\circ = 30700$  J/mol,  $\Delta S^\circ = 78,7$  J/(mol · K) va  $\Delta G^\circ = 30700 - 78,7T$  J/mol.

3.7-rasmdan shuni ko'rish mumkinki, gibbsitning erish sharoiti ( $\Delta G^\circ < 0$ ,  $K_a > 1$ ) 380 – 500 K da amalga oshadi. Eritish uchun ishqorning minimal miqdorini  $\tilde{K}$  ning qiymati orqali hisoblab topish mumkin. Bu

amallarning amaliy ahamiyati doim yuqori. Shuning uchun reaksiya tezligini oshirish maqsadida ishqorning ortiqcha miqdori bilan taminlash zarur.



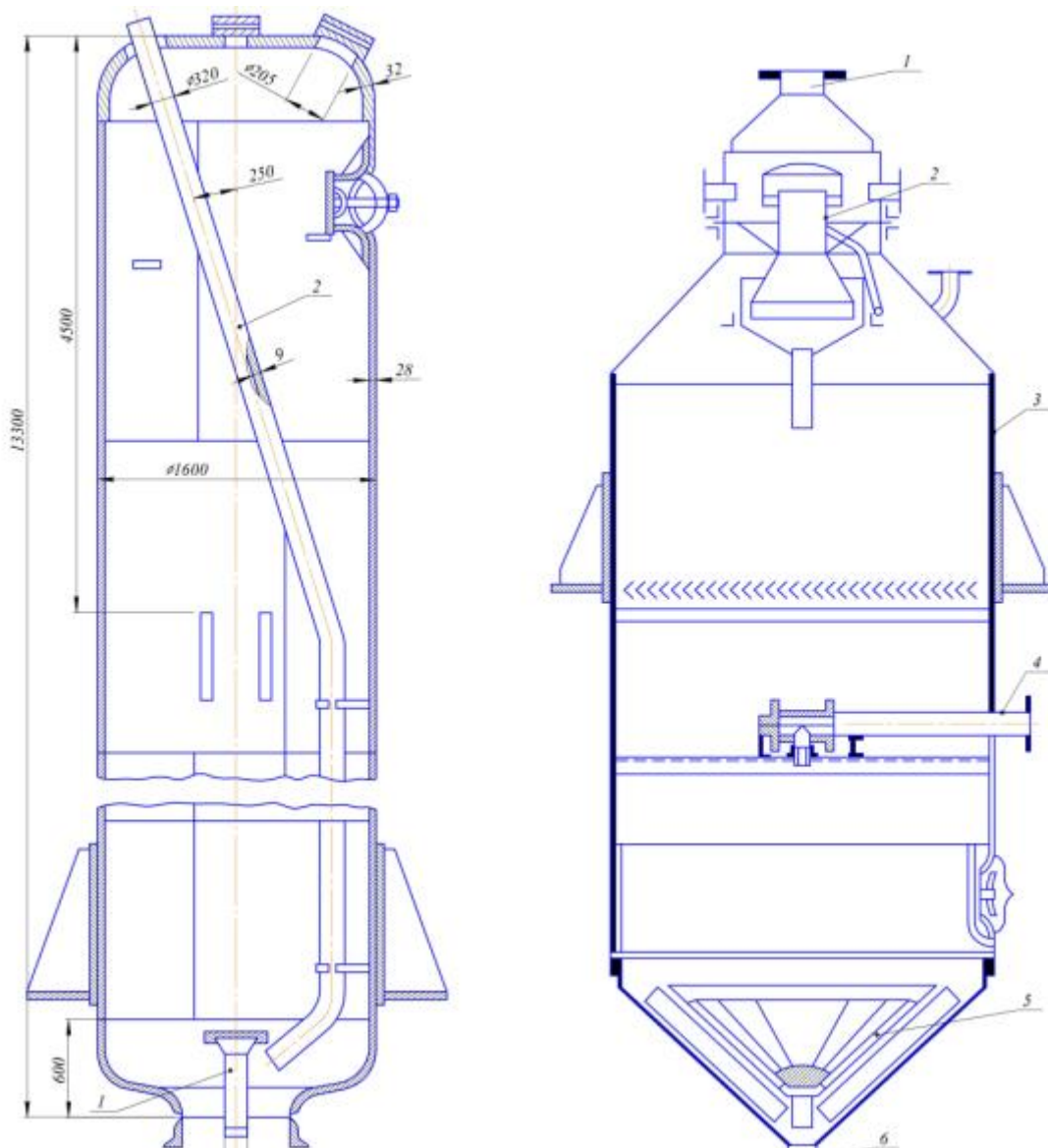
3.7-rasm. Gibbsitni natriy gidroksid eritmasi bilan tanlab eritishdagi haroratning  $\Delta G^\circ$  va  $K_a$  ga bog‘liqligi.

120° C haroratda va eritmada  $\text{NaAl}(\text{OH})_4$  ning konsentratsiyasi 2 mol/l bo‘lganda muvozanat doimiysi taxminan quyidagiga teng bo‘ladi:

$$K^\sim = 1,2 \text{ (tajribaviy ma'lumot);}$$

NaOH ning zarur bo‘lgan ortiqcha miqdori  $1/K^\sim$  ibbsit, ya’ni 1 mol ibbsite uchun 0,83 mol, yoki miqdoriy jihatdan 83 % ni tashkil etadi.

**5-misol. Masalaning mohiyati:** Volfram metalini birinchi bo‘lib shved kimyogari Karl Sheyele kalsiy volframat birikmasida mavjudligini bilib uni ajratib olishga muvaffaq bo‘ldi va bu mineralga olimning nomi bilan “Sheyelit” nomi berildi. Hozirgi kunda sheyelit minerali volframning asosiy minerali bo‘lganligi sababli uni bir necha xil usullar bilan ajratib olinadi. Shulardan eng iqtisodiy samaraliroq usuli – avtoklavlarda tanlab eritish usulidir. Avtoklav shunday gidrometallurgik dastgohki, uning yordamida yuqori bosimda va yuqori haroratlarda ham tanlab eritish jarayonini amalga oshirish mumkin. Masalan, sheyelit mineralini soda eritmasi bilan tanlab eritish jarayonida 2,5 Mpa (mega Paskal) bosim hosil qilinadi va harorat 200 – 225 °C gacha oshiriladi. Oddiy sharoitda bu haroratda suv bug‘ga aylanib uchib ketishini inobatga olib avtoklav dastgohini germetik zich qilib va yuqori bosimga hamda kislota, ishqorlarning ta’siriga chidamli bo‘lgan maxsus legirlangan po‘latlardan tayyorlanadi (3.8-rasm).

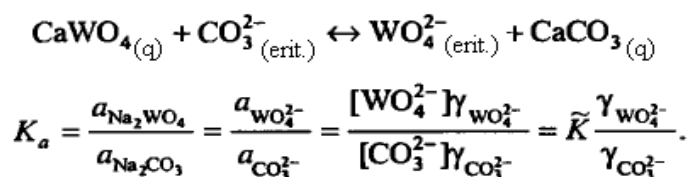


3.8-rasm. Avtoklav dastgohining sxematik ko‘rinishi.

**Vazifa:** Avtoklavda sheyelit mineralining soda eritmasi bilan parchalanish jarayonining termodinamik tahlilini keltiring!

**Yechish.**

Avtoklavda sheyelitning soda eritmasi bilan parchalanish jarayoni tanlab eritish mobaynida almashinish reaksiyasi natijasida qattiq faza hosil bo‘lishi bilan boradi. Reaksiya tenglamasi va muvozanat doimiyligi quyidagicha:



Reaksiyaga kirishuvchi va hosil bo‘luvchi moddalarning entalpiya va entropiya ma’lumotlaridan foydalanib reaksiyaning muvozanat doimiysini aniqlaymiz:

Moddalar	CaWO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	WO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CaCO <sub>3</sub>
		(eritma)	(eritma)	
- ΔH <sup>o</sup> <sub>298</sub> , kJ/mol	1683,6	677,1	1115,4	1206,9
ΔS <sup>o</sup> <sub>298</sub> , kJ/(mol · K)	151,04	- 56,9	62,76	92,46

Buning uchun reaksiyaning barcha termodinamik ko'rsatkichlarini aniqlaymiz:

$$\Delta H^{\circ}_{298} = - 1206,9 - 1115,4 + 677,1 + 1683,6 = + 38,4 \text{ kJ/mol};$$

$$\Delta S^{\circ}_{298} = 92,46 + 62,76 + 56,9 - 151,04 = 61,08 \text{ kJ/(mol} \cdot \text{K)};$$

$$\Delta G^{\circ}_{298} = 38400 - 61,08T \text{ J/mol}; \Delta G^{\circ}_{298} = 20198 \text{ J/mol};$$

$$\lg K_{a298} = 20198 / (2,303 \cdot 8,314 \cdot 298) = - 3,54; K_{a298} = 2,9 \cdot 10^{-4}.$$

Mazkur K<sub>a</sub> kattalik tajriba orqali aniqlangan qiymat bilan solishtirilganda juda ham kichikligini ko'rish mumkin. Agar hisoblashda CaWO<sub>4</sub> ning entalpiya kattaligini - 1641,4 kJ/mol deb ishlatilsa, u holda quyidagi qiymatga ega bo'lamiz:

$$\Delta H^{\circ}_{298} = - 1206,9 - 1115,4 + 677,1 + 1641,4 = - 3,8 \text{ kJ/mol};$$

$$\Delta G^{\circ}_{298} = - 3800 - 61,08T \text{ J/mol};$$

$$\Delta G^{\circ}_{298} = - 22002 \text{ J/mol};$$

$$K_{a298} = 7,4 \cdot 10^3.$$

Shunday qilib, sheyelit bilan soda eritmasining o'zaro ta'sirlashuv reaksiyasining muvozanat doimiyligini baholashda ΔH<sup>o</sup><sub>298</sub> va ΔG<sup>o</sup><sub>298</sub> ko'rsatkichlarining qiymatlarini bilish yetarli darajada qoniqarli natija olishga unchalik yordam bermaydi. Bunday holatda nisbatan yaxshiroq natija olish uchun K<sub>a</sub> qiymatini CaWO<sub>4</sub> va CaCO<sub>3</sub> ning eruvchanlik ko'paytmalaridan foydalanish mumkin:

$$K_a = a_{\text{WO}_4^{2-}} / a_{\text{CO}_3^{2-}} = L_{\text{CaWO}_4} / L_{\text{CaCO}_3}$$

Hisoblashdan olingan ma'lumotlar tajribaviy ma'lumotlarga to'g'ri keladi va shu sababli suyultirilgan eritmalar uchun K<sup>~</sup> ≈ K<sub>a</sub>. Buning natijasida yetarli darajada yaqin natijalar olindi:

3.1-jadval

### Har xil haroratlarda K<sub>a</sub> ning qiymatlari

Harorat, t, °C	K <sub>a</sub> ning qiymatlari:	
	Hisoblangani	Tajribaviy
175	1,75	1,6
200	6,0	3,5
218	7,1	-
225	-	7,5

Sodaning suyultirilgan eritmalarida quyidagicha gidroliz jarayoni boradi:  $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ , shuning uchun eritmada  $\text{HCO}_3^-$  ionini borligini ham nazardan chetda qoldirmaslik kerak.

Konsentrlangan eritmalar uchun  $K^{\sim}$  ni tajribaviy natijalari  $K_a$  ga qaraganda kichikroq, sababi sodaning konsentratsiyasi oshgani sari  $K^{\sim}$  ning qiymati keskin kamayib ketadi. Misol uchun,  $200^\circ \text{C}$  da  $K^{\sim}$  ning quyidagi qiymatlarini olamiz:

Soda ekvivalenti (mol $\text{Na}_2\text{CO}_3$ /mol $\text{CaWO}_4$ )	1,0	1,5	2,0	2,5
$K^{\sim} = [\text{WO}_4^{2-}]/[\text{CO}_3^{2-}]$	1,45	1,12	0,96	0,67

$K^{\sim}$  ning soda konsentratsiyasiga bog‘liqligi  $\gamma(\text{CO}_3^{2-})$  va  $\gamma(\text{WO}_4^{2-})$  larning qiymatlariga asoslangan.

Ko‘rib chiqilayotgan geterogen reaksiyalarni o‘rganish mobaynida shuni kuzatish mumkinki, qattiq fazadan iborat qobiq hosil qiluvchi reaksiyalarning to‘xtab qolishi tufayli haqiqiy muvozanatga erishilmaydi (bu qobiqning tuzilishiga bog‘liq).

**6-misol. 2 litr suvda 1 mol  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  va 2 mol  $\text{FeCl}_3$  eritildi. Hosil bo‘lgan eritmaning ion kuchini va faollik koeffitsiyentini aniqlang!**

**Yechish:** Dastlab eritmadagi har bir erigan moddaning molyar konsentratsiyasini aniqlaymiz. Buning uchun proporsiya tuzamiz:

1.  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  uchun:

2 litr suvda ----- 1 mol  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

1 litr suvda -----  $C_M$

$$C_M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 1 \cdot 1 : 2 = 0,5 \text{ mol/l}$$

2.  $\text{FeCl}_3$  uchun:

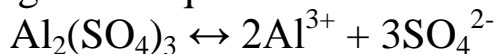
2 litr suvda ----- 2 mol  $\text{FeCl}_3$

1 litr suvda -----  $C_M$

$$C_M(\text{FeCl}_3) = 2 \cdot 1 : 2 = 1 \text{ mol/l}$$

Endi har bir moddaning molyar konsentratsiyasidan foydalanib eritmaning umumiy ion kuchi aniqlanadi. Buning uchun erigan moddalardan hosil bo‘lgan ionlarning konsentratsiyasini bilish zarur.

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  ning dissotsilanishi natijasida hosil bo‘lgan ionlarning konsentratsiyasi quyidagicha aniqlanadi:



1 mol  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  dan 2 mol  $\text{Al}^{3+}$  kationi va 3 mol  $\text{SO}_4^{2-}$  anioni hosil bo‘ladi, 0,5 mol  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  dan  $x_1$  mol  $\text{Al}^{3+}$  kationi va  $x_2$  mol  $\text{SO}_4^{2-}$  anioni

$x_1 = 0,5 \cdot 2 : 1 = 1$  mol  $Al^{3+}$  kationi va  $x_2 = 0,5 \cdot 3 : 1 = 1,5$  mol  $SO_4^{2-}$  anioni ekanligini topish mumkin.

$FeCl_3$  ning dissotsilanishi natijasida hosil bo'lgan ionlarning konsentratsiyasi quyidagicha aniqlanadi:



1 mol  $FeCl_3$  dan ----- 1 mol  $Fe^{3+}$  kationi ----- 3 mol  $Cl^-$  anioni

1 mol  $FeCl_3$  dan -----  $x_1$  mol  $Fe^{3+}$  kationi -----  $x_2$  mol  $Cl^-$

anioni

$x_1 = 1 \cdot 1 : 1 = 1$  mol  $Fe^{3+}$  kationi va  $x_2 = 1 \cdot 3 : 1 = 3$  mol  $Cl^-$  anioni

Olingan natijalarni eritmaning ion kuchini topish formulasiga qo'yamiz:

$$\mu = \frac{1}{2}([Al^{3+}] \cdot 3^2 + [SO_4^{2-}] \cdot 2^2 + [Fe^{3+}] \cdot 3^2 + [Cl^-] \cdot 1^2)$$

$$\mu = \frac{1}{2}(1 \cdot 3^2 + 1,5 \cdot 2^2 + 1 \cdot 3^2 + 3 \cdot 1^2) = 0,5 \cdot (9 + 6 + 9 + 3) = 0,5 \cdot 27 = 13,5$$

Endi Debay va Xyukkel formulasidan foydalanib eritmaning faollik koeffitsiyentini aniqlaymiz:

$$\lg f = -0,5Z^2\sqrt{\mu}$$

### ***Mustaqil yechish uchun masala va mashqlar***

1.  $ZnS_{(q)} + H_2SO_{4(s)} = ZnSO_{4(s)} + H_2S_{(g)}$  reaksiyasining  $\Delta G_{298}$  qiymatini aniqlang.

Modda	$\Delta H_{298}$ , kJ/mol	$\Delta G_{298}$ , kJ/mol
ZnS	- 205,4	- 200,7
$H_2SO_4$	- 814,2	- 690,3
$ZnSO_4$	- 981,4	- 870,12
$H_2S$	- 20,9	- 33,8

2. Quyidagi oksidlar NiO, CuO, CaO, SnO<sub>2</sub> ning qaysi biri a) Al bilan; b) H<sub>2</sub> bilan tiklanishi mumkin?

Modda	$\Delta G_{298}$ , kJ/mol
NiO <sub>(q)</sub>	-211,6
CuO <sub>(q)</sub>	-129,6
CaO <sub>(q)</sub>	-604,2
SnO <sub>2(q)</sub>	-519,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3(q)</sub>	-1582,0
H <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub>	-228,6

3.  $\text{CuS}_{(q)} + \text{H}_2\text{SO}_{4(s)} = \text{CuSO}_{4(s)} + \text{H}_2\text{S}_{(g)}$  reaksiyasining  $\Delta G_{298}$  qiymatini aniqlang.

Modda	$\Delta H_{298}$ , kJ/mol	$\Delta G_{298}$ , kJ/mol
CuS	-53,14	-53,58
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	- 814,2	- 690,3
CuSO <sub>4</sub>	- 844,1	- 680,1
H <sub>2</sub> S	-20,9	-33,8

4. 1000 g suvda 0,01 mol CaCl<sub>2</sub> va 0,1 mol Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> saqlovchi eritmaning ion kuchini hisoblang! (molyar konsentratsiya molyal konsentratsiyaga teng deb qabul qilinadi).

5. 1 litrda 0,001 mol  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  saqlovchi eritmanig ion kuchini hisoblang!

6. 1 litrda 0,8 mol CuSO<sub>4</sub> saqlovchi eritmaning ion kuchini hisoblang!

7. 1 litrda suvda 0,6 mol ZnSO<sub>4</sub> eritilganda eritmaning ion kuchi qanday qiymatga ega bo‘ladi? Bunda hajm o‘zgarishi hisobga olinmasin.

8. 2000 g suvda 0,02 mol BaCl<sub>2</sub> va 0,3 mol NaNO<sub>3</sub> eritilishidan hosil bo‘lgan eritmaning ion kuchi qanday qiymatga ega bo‘ladi?

9. 2 litrda suvda 1 mol AgNO<sub>3</sub> eritilganda ( $\rho = 1,2 \text{ g/sm}^3$ ) eritmaning ion kuchi qanday qiymatga ega bo‘ladi?

### ***Savol va topshiriqlar***

1. Kimyoviy reaksiya bilan boradigan tanlab eritish jarayonlarini oddiy tanlab eritishdan nima farqi bor?

2. Reagent sarfi va muvozanat doimiyliги orasidagi bog‘liqlik tenglamalarini keltiring!

3. Purbe diagrammalarini o‘rganishning nima ahamiyati bor?

4. Oltinni sianli eritmalarda erish jarayonining Purbe diagrammasini chizing!

5. Rux metali dunyo miqyosida qanday usullar bilan ishlab chiqariladi?

6. Rux kuyindisini tanlab eritishda yana qanday kislotalar qo‘llash mumkin?

7. Rux oksidini nitrat kislotada tanlab eritish reaksiyasining entalpiyasi va Gibbs energiyasi qiymati qanday qiymatga ega bo‘ladi?

8. Rux oksidini xlorid kislota da tanlab eritish reaksiyasining entalpiyasi va Gibbs energiyasi nechaga teng?

9. Rux kuyindisini tanlab eritishda nega aynan sulfat kislota si qo'llaniladi deb o'ylaysiz?

10. Oltin mamlakatimizning asosan qaysi mintaqasida ishlab chiqariladi?

11. Oltinni ishlab chiqarish texnologiyasi nimaga asoslangan bo'ladi?

12. Oltinni sianid kislota tuzlarida kislorod ishtirokida tanlab eritish reaksiyasining entalpiya va Gibbs energiyalari qanday qiymatga bo'ladi?

13. Oltinni selenat kislota da eritish reaksiyasining erkin energiyasi qiymati nechaga teng?

14. Mis mamlakatimizning asosan qaysi mintaqasida ishlab chiqariladi?

15. Mis ishlab chiqarish texnologiyasi nimaga asoslangan bo'ladi?

16. Kuprit va xalkozin minerallarining nitrat kislota da eritilish jarayonining entalpiya va Gibbs energiyalari qanday qiymatlarga ega bo'ladi?



## 4 BOB. TANLAB ERITISH KINETIKASI VA MEXANIZMI

### 4.1. Tanlab eritish tezligi va unga ta'sir qiluvchi omillar

Tanlab eritish jarayoni murakkab, ko'p jinsli jarayondir. Ko'p jinsli sistemalarda qattiq modda bilan eritmada erigan reagentlar orasida kimyoviy reaksiyalar asosan fazalar chegarasidagi sirtlarda boradi.

Tanlab eritish tezligi (vaqt birligi ichida eritmaga o'tgan modda miqdori yoki vaqt birligida sarflangan reagent miqdori) juda ko'p omillarga bog'liq, jumladan: reagentlar konsentratsiyasi, harorat, aralashirish tezligi, qattiq fazaning yuzasiga (chegara sirtiga) va boshqalar.

Tanlab eritishning tezligini quyidagi umumiy tenglama ko'rinishida yozish mumkin

$$dG/dt = - dS$$

Bu yerda:  $G$  – qattiq fazadagi tanlab eritiladigan moddaning miqdori;  $t$  – tanlab eritish oqimi, yoki solishtirma tezligi (vaqt birligida qattiq fazaning yuzasi birligidan eritmaga o'tgan modda miqdori);  $S$  – qattiq fazaning reaksiyaga qatnashayotgan yuzasi.

Tanlab eritish jarayoni asosan uch bosqichdan iborat:

- 1) reagentlarni eritma hajmida ta'sirlashuv yuzasiga (qattiq) kelishi (diffuziya yo'li bilan);
- 2) kimyoviy reaksiya;
- 3) reaksiya natijasida hosil bo'lgan mahsulotlarni qattiq yuzadan eritma hajmiga o'tishi (diffuziya yo'li bilan).

Eritma bilan ta'sirlashadigan qattiq jism, harakatsiz suyuqlik pardasi (plyonka) bilan qoplanadi. Qattiq jism yuzasi bilan ta'sirlashadigan eritmada reagentlar, suyuqlik pardasidan diffuziya yo'li bilan o'tishi kerak. Qattiq jismni qoplagan suyuqlik pardasi Nernstning **diffuzion qatlami** deb nomlanadi.

Diffuzion qatlamning hosil bo'lishi qattiq jism yuzasining suyuqlik bilan ho'llanishi (suyuqlikni qattiq jism yuzasiga "yopishishi") va suyuqlikning qovushqoqligi mavjudligiga bog'liq.

Suyuqlikda erigan moddani qattiq jism yuzasiga borishi, bir paytning o'zida boradigan ikkita jarayon bilan bog'liq:

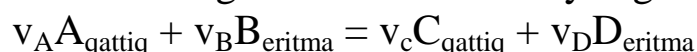
- 1) eritmada va qattiq jism yuzasida erigan moddaning konsentratsiya farqiga (gradiyentiga) bog'liq bo'lgan molekulyar diffuziya;

2) suyuqlik oqimi bilan erigan moddani, eritma hajmidan qattiq jism yuzasiga etib borishiga bog'liq konveksion diffuziya.

Ikkita jarayonning yig'indisi **konvektiv diffuziya** deb nomlanadi.

Yuqorida aytilganlarni inobatga olgan holda, tanlab eritishning 1- va 3-bosqichlarida, eritmadagi reagentlar ta'sirlashuv yuzasiga diffuziya yo'li bilan tashqi (qattiq yuzani qoplagan suv qatlamidan) va ichki diffuzion (reaksiyaning qattiq mahsulotlari yoki tanlab eritilmagan qattiq mahsulot qatlamidan) qatlamlar orqali o'tadi.

**Qattiq - suyuq** geterogen jarayonining to'liq modeli, yangi qattiq faza hosil bo'lishi bilan boradigan almashuv reaksiyasiga mos keladi:



Jarayon quyidagi bosqichlardan tashkil topgan:

1) qattiq yuzadagi suyuqlik qatlami orqali, qattiq faza yuzasiga reagentni diffuziya yo'li bilan o'tishi (tashqi diffuzion qatlamdan o'tishi);

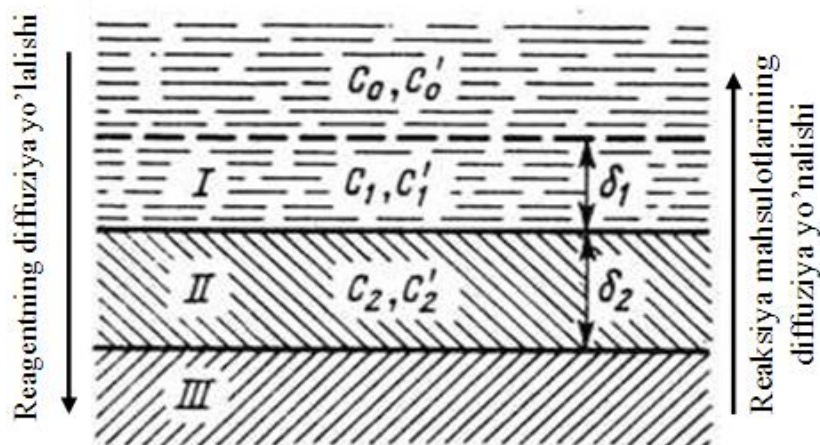
2) reaksiyaning qattiq mahsuloti yoki tanlab eritilmagan qattiq mahsulot qatlamidan reagentni diffuziya yo'li bilan o'tishi (ichki difuzion qatlamdan o'tish);

3) tanlab eritiladigan moddaning yuzasidagi kimyoviy reaksiya;

4) erigan moddani reaksiya yuzasidan, reaksiyaning qattiq mahsuloti qatlamidan diffuziya yo'li bilan o'tishi;

5) erigan moddani qattiq faza yuzasidagi suyuqlik qatlamidan diffuziya yo'li bilan o'tishi.

Jarayon modelining sxemasi 4.1 rasmda keltirilgan.



4.1-rasm. Tanlab eritishning sxematik tasviri

I – qattiq faza yuzasidagi qalinligi  $\delta_1$  bo'lgan eritma qatlami; II – qalinligi  $\delta_2$  bo'lgan reaksiya natijasida hosil bo'lgan qattiq mahsulotining qatlami; III – reaksiyaga kirshmagan tanlab eritiladigan moddaning qatlami “yadro”;  $C_0$  va  $C'_0$  – reagent va reaksiya mahsulotining eritmadagi konsentratsiyasi;  $C_1$  va  $C'_1$  – qattiq va eritma orasidagi chegarada reagent va

**reaksiya mahsulotining konsentratsiyasi;  $C_2$  va  $C_2'$  – “yadro” yuzasida reagent va reaksiya mahsulotining konsentratsiyasi.**

Qattiq faza yuzasidagi eritma qatlamida (tashqi diffuzion qatlam) reagentning diffuziya oqimi, Fikning birinchi qonuni bilan aniqlanadi:

$$J = -D_1 (dC/dx)$$

bu yerda  $D_1$  – reagentning eritmadagi diffuziya koeffitsiyenti;  $dC/dx$  – diffuziya yo‘nalishidagi konsentratsiya gradiyenti.

Tashqi diffuzion qatlam chegarasida reagent konsentratsiyasi  $C_0$  dan  $C_1$  ga o‘zgarsa, quyidagi tenglamani yozsak bo‘ladi:

$$J_1 = D_1 (C_0 - C_1)/\delta_1$$

Ichki diffuzion qatlamdan reagentning oqimi quyidagicha aniqlanadi:

$$J_2 = D_2 (C_2 - C_2')/\delta_2$$

bu yerda  $D_2$  – reaksiyaning qattiq mahsuloti qatlamidan ajralgan reagentning diffuziya koeffitsiyenti.

Yuqoridagi reaksiya uchun vaqt birligida sarflanadigan reagent miqdori quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$J = K_{to'g'ri} C_B^n - K_{teskari} C_D^n$$

bu yerda  $K_{to'g'ri}$  va  $K_{teskari}$  – to‘g‘ri va teskari reaksiyalarning muvozanat konstantalari;  $C_B$  va  $C_D$  – reaksiya yuzasida B reagentning, D esa erigan mahsulotning konsentratsiyasi;  $n_B$  va  $n_D$  – B reagent bo‘yicha to‘g‘ri reaksiyaning tartibi va D mahsulot qaytar reaksiyaning tartibi. Agar  $n_B = n_D = 1$  deb qabul qilsak, bu holda:

$$J_3 = K_{to'g'ri} C_2 - K_{teskari} C_2' = K_{to'g'ri} [C_2 - (K_{to'g'ri} / K_{teskari}) C_2']$$

To‘g‘ri va qaytar reaksiyalar konstantalarining nisbati muvozanat konstantasiga teng bo‘lganligi uchun, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$J_3 = K [C_2 - C_2' / K_p]$$

Reaksiya mahsulotini tashqi va ichki diffuzion qatlami orasidan diffuziyalanishi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$J_4 = D_2 (C_2 - C_1)/\delta_2$$

$$J_5 = D_1 (C_1 - C_0)/\delta_1$$

bu yerda  $D_2$  va  $D_1$  – reaksiyadagi erigan va qattiq mahsulotlarining eritma qatlamidagi diffuziya koeffitsiyenti.

Tanlab eritish reaksiyasi bo‘yicha hosil bo‘lgan reaksiya mahsuloti va sarf bo‘lgan reagentlar bir-biri bilan stexiometrik bog‘liqlikda bo‘lganligi uchun, reaksiya mahsulotining diffuzion oqimlari  $J_4$  va  $J_5$  reagent oqimiga  $j_4$  va  $j_5$  proporsionaldir:

$$J_4 = (v_B/v_D) J_4^I = (v_B/v_D) D_2^I (C_2^I - C_1^I) / \delta_2$$

$$J_5 = (v_B/v_D) J_5^I = (v_B/v_D) D_1^I (C_1^I - C_0^I) / \delta_1$$

Ma'lum vaqtda  $j_1 - j_5$  oqimlari bir-biriga teng bo'lganda  $C_1, C_2, C_2', C_1'$  konsentratsiyalari o'zgaradi va bu o'zgarish oqimlarni bir-biriga tenglashishiga olib keladi:  $j_1 = j_2 = j_3 = j_4 = j_5 = j$ .

Hamma bosqichlarda oqimlar tezliklari bir-biriga teng bo'lsa, jarayon barqarorlashgan maromda borayotgan bo'ladi.

Reaksiya davomida, eritmada reagent konsentratsiyasi  $C_0$  va reaksiya mahsulotining konsentratsiyasi  $C_0'$  o'zgaradi, shuningdek, reaksiya natijasida hosil bo'lgan qattiq mahsulotning qalinligi  $\delta_2$  va boshqa ko'satkichlar ham o'zgaradi.

Yuqorida ko'rsatib o'tilgan tenglamalarni quyidagicha o'zgartiramiz:

$$j(\delta_1/D_1) = C_0 - C_1;$$

$$j(\delta_2/D_2) = C_1 - C_2;$$

$$j(1/K) = C_2 - C_2'/K_p;$$

$$j(1/K_p)(v_D/v_B)(\delta_2/D_2') = C_2'/K_p - C_1'/K_p;$$

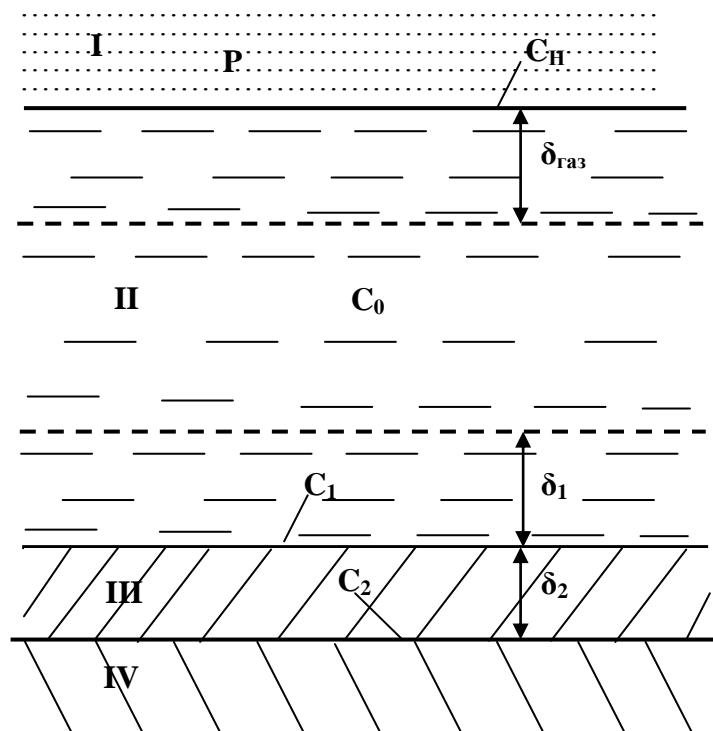
$$j(1/K_p)(v_D/v_B)(\delta_1/D_1') = C_1'/K_p - C_0'/K_p.$$

Tenglamalarning o'ng va chap tomonlarini qo'shib va hosil bo'lgan tenglamani  $j$  ga nisbatan yechganda, tanlab eritish oqimining umumiy tenglamasini hosil qilamiz:

$$j = \frac{C_0 - (1/K_p)C_0'}{\frac{\delta_1}{D_1} + \frac{\delta_2}{D_2} + \frac{1}{K} + \frac{1}{K_p} \frac{v_D}{v_B} \left( \frac{\delta_1'}{D_1'} + \frac{\delta_2'}{D_2'} \right)}$$

Agar kimyoviy reaksiya deyarli qaytmas bo'lsa, bunda muvozanat konstantasining qiymati katta bo'ladi  $1/K_r \approx 0$  va erigan mahsulotning konsentratsiyasi tanlab eritish tezligiga ta'sir etamaydi. Bu holda tanlab eritish oqimining umumiy tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$j = \frac{C_0}{\delta_1/D_1 + \delta_2/D_2 + 1/K}$$



**4.2-rasm. Gaz ishtirokida boradigan tanlab eritish jarayonining sxemasi.**

**I- gaz; II – eritma; III – qattiq mahsulot qatlami; IV – tanlab eritilajdigan modda;  $\delta_{\text{gaz}}$  - gaz-suyuqlik chegarasida eritmaning diffuzion qatlamining qalinligi;  $\delta_1$  - suyuqlik-qattiq chegarasidagi eritmaning diffuzion qatlamining qalinligi;  $\delta_2$  – qattiq mahsulot qatlamining qalinligi; P – gaz bosimi;  $C_H$  – gaz-suyuqlik chegarasida gaz bilan to‘yingan eritmadagi gazning konsentratsiyasi;  $C_0$  – gazning eritmadagi konsentratsiyasi;  $C_1$  – suyuqlik-reaksiyaning qattiq mahsulot chegarasidagi erigan gazning konsentratsiyasi;  $C_2$  – reaksiya mahsuloti – tanlab eritiladigan modda chegarasida erigan gazning konsentratsiyasi.**

Kimyoviy jarayonlarning mexanizmini va tezligi haqida ma’lumotlarni – kimyoviy kinetika o‘rganadi.

Mexanizm jarayonlarning bosqichlarini, kinetika esa bosqichlarning tezligini o‘rganuvchi ta’limotdir.

Tanlab eritish jarayoni murakkab, ko‘p jinsli jarayondir, kimyoviy reaksiyalar asosan fazalar chegarasidagi sirtlarda boradi.

Tanlab eritish tezligi (vaqt birligi ichida eritmaga o‘tgan moda miqdori yoki vaqt birligida sarflangan reageknt miqdori) juda ko‘p omillarga bog‘liq:

- reagentlar konsentratsiyasiga;
- haroratga;
- aralashtirish tezligiga;
- qattiq fazaning yuzasiga (chegara sirtiga) va boshqalarga.

Tanlab eritish tezligini quyidagi umumiy tenglama ko‘rinishida yozish mumkin:

$$\frac{dm}{d\tau} = -vs$$

tenglamada:  $m$  – eritmaga o‘tishi kerak bo‘lgan qattiq fazadagi moda miqdori;  $s$  – qattiq fazaning reaksiyaga qatnashayotgan yuzasi;  $v$  – tanlab eritish oqimi yoki solishtirma tezligi (vaqt birligida qattiq fazaning yuz birligidan eritmaga o‘tgan moda miqdori).

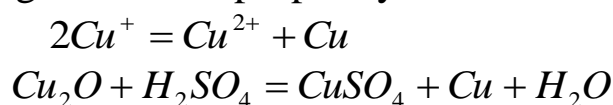
Tanlab eritish jarayoni asosan uch bosqichdan iborat:

- 1) reagentlarning eritmada qattiq faza yuzasiga kelishi (diffuziya yo‘li bilan);
- 2) kimyoviy reaksiya;
- 3) reaksiya natijasida hosil bo‘lgan mahsulotning eritmaga o‘tishi (diffuziya yo‘li bilan).

Har qanday bosqich yana bir nechta pog‘onalardan iborat bo‘lishi mumkin.

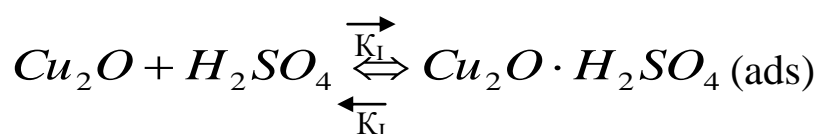
Buni kuprit mineralini  $\text{Cu}_2\text{O}$  sulfat kislota eritmasida tanlab eritishida ko‘rib chiqamiz.

Reaksiyaning asosida disproporsiyalanish reaksiyasi yotadi:



Jarayon uch bosqichda boradi:

- 1) Oksid yuzasining faol markazlarida sulfat kislotaning sorbsiyasi:

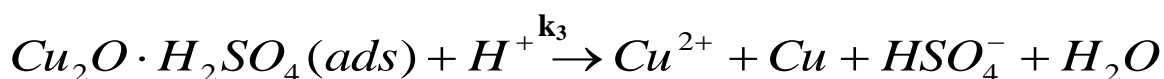


bu reaksiya natijasida sorbsion kompleks hosil bo‘ladi.

- 2) Hosil bo‘lgan kompleksning parchalanishi:



- 3) Vodorod ioni ishtirokida kompleksning parchalanishi



Oxirgi ikkita reaksiya parallel boradi. Erishning umumiy tezligi har bir bosqichdagi reaksiya tezligining yig‘indisidan tashkil topadi. Agar  $\theta$

orqali sulfat kislota bilan bogʻlangan faol markazlarning qismini,  $(1 - \theta)$  orqali esa boʻsh qolgan markazlar qismini belgilasak, muvozanat holatda adsorbsiya tezligi  $\bar{K}_I(1-\theta)[H_2SO_4]$  va desorbsiya tezligi  $\bar{K}_I\theta$  bir biriga barovar boʻladi:

$$\bar{K}_I(1-\theta)[H_2SO_4] = \bar{K}_I\theta$$

bu tenglamadan adsorbsiya jarayonining muvozanat konstantasi aniqlanadi

$$K_M = \frac{\bar{K}_I}{\bar{K}_I} = \frac{\theta}{(1-\theta)[H_2SO_4]},$$

kislota bilan qoplangan markazlar qismi quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$K_M(1-\theta)[H_2SO_4] = K_M[H_2SO_4] - K_M\theta[H_2SO_4]$$

$$\theta = \frac{K_M[H_2SO_4]}{1 + K_M[H_2SO_4]}$$

2- va 3- bosqichlar boʻyicha sorbsion kompleksining parchalanish tezligi quyidagi tenglamalar orqali aniqlanadi:

$$V_2 = K_2\theta$$

$$V_3 = K_3\theta[H^+]$$

parchalanishning yigʻindi tezligi

$$V = V_2 + V_3 = K_2\theta + K_3\theta[H^+] = \theta(K_2 + K_3[H^+])$$

Hosil boʻlgan tenglamaga  $\theta$  koʻrsatkichini qoʻyamiz va kuprit minerali erishining umumiy tezligini aniqlash uchun tenglamani hosil qilamiz:

$$V = \frac{K_M[H_2SO_4]}{1 + K_M[H_2SO_4]} [K_2 + K_3[H^+]]$$

Tenglamalardagi  $K_M$ ,  $K_2$  va  $K_3$  eksperimental yoʻl bilan aniqlanadi. Agar tajribaviy va nazariy (hisoblangan) usullar bilan aniqlangan erish jarayonining egri chiziqlari bir-birini isbotlasa, bu holda jarayonning tuzilgan mexanizmi va kinetikasi toʻgʻridir.

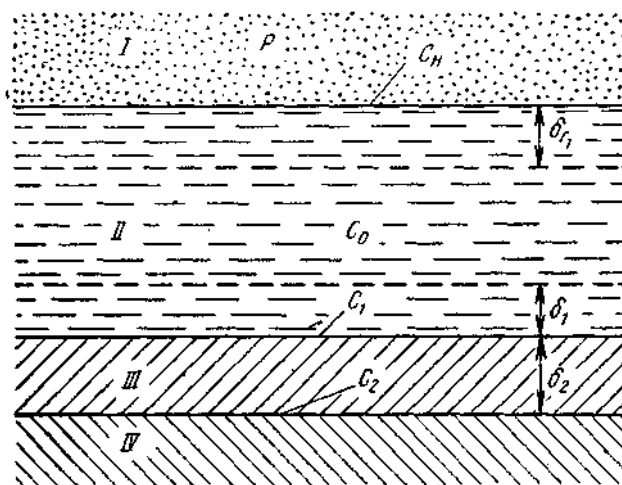
## 4.2. Gazlar ishtirokida boradigan tanlab eritish jarayonining kinetikasi

Gidrometallurgiya jarayonlarida gazlar ishtirokida boradigan reaksiyalar keng qo'llaniladi. Masalan, bu jarayonlarga metallarni (Au, Ag, Cu) kislorod yordamida oksidlab, kislota yoki sian eritmasida tanlab eritish, sulfidlarni (CuS, ZnS, PbS va boshqalar) oksidlab, kislota va ishqor eritmalari yordamida tanlab eritish va boshqalar.

Gazlar ishtirokida boradigan jarayon ko'p jinsli (gaz-eritma - qattiq modda) bo'lib, quyidagi bosqichlardan iborat bo'ladi:

- 1) eritmada gazning absorbsiyalanishi (gazning erishi);
- 2) erigan gazning qattiq modda yuzasiga kelishi (tashqi diffuziya yo'li bilan);
- 3) erigan gazni qattiq modda qatlami orqali reaksiyon yuzaga borishi (ichki diffuziya yo'li bilan);
- 4) qattiq faza yuzasida kimyoviy reaksiyaning borishi;
- 5) reaksiya natijasida hosil bo'lgan mahsulotlarni eritma hajmiga borishi.

Agarda reaksiya qaytmas bo'lsa jarayonning tezligi to'rtta birinchi bosqichlar bilan belgilanadi.



4.3-rasm. Konsentratsiyalar farqini qatlamlararo ifodalanishi

Gaz ishtiroqida boradigan tanlab eritish jarayon tezligining umumiy teglamlasini aniqlash uchun jarayonning sxematik modelini ko'rib chiqamiz.

Gaz-eritma chegarasida, eritma gaz bilan to'yingan: gaz bilan to'yingan eritmaning qalinligi  $\delta_1$  bo'lsin. U holda vaqt birligida gaz



– suyuq chegarasidan o‘tadigan gazning miqdorini  $G_{\text{gaz}}$  quyidagi tenglama orqali aniqlasak bo‘ladi:

$$\frac{dG_{\text{gaz}}}{d\tau} = D_1 \frac{C_H - C_0}{\delta_{r_1}} S_{\text{gaz}}$$

bu yerda -  $D_1$  - gazning eritmadagi diffuziya koeffitsiyenti;

$C_H$  - gaz bilan to‘yingan eritmadagi gazning konsentratsiyasi;

$C_0$  – gazning eritmadagi konsentratsiyasi;

$\delta_{r_1}$  - gaz-suyuqlik chegarasidagi, eritma diffuzion qatlaminin qalinligi ;

$S_{\text{gaz}}$  - eritmaning yuzasi (gaz tegib turgan yuza).

Genri qonuniga binoan, to‘yingan eritmadagi gazning konsentratsiyasi  $C_H$ , gazning bosimiga bog‘liq bo‘lib  $p = K_g C_H$  nisbatga ega bu erda  $K_g$  - Genri doimiyligi. U holda:

$$\frac{dG_{\text{gaz}}}{d\tau} = D_1 \frac{\frac{1}{K_g} p - C_0}{\delta_{r_1}} S_{\text{gaz}}$$

Qattiq moddaning yuzasini hisobga olib, gazning eritmada erish tezligini quyidagicha yozishimiz mumkin.

$$j_1 = D_1 \frac{\frac{1}{K_g} p - C_0}{\delta_{g_1}} \cdot \frac{S_{\text{gaz}}}{S_q}$$

bunda  $j_1$  - gazning solishtirma erish tezligi (oqimi);

$S_q$  - qattiq moddaning yuzasi.

Erigan gazning eritma va qattiq modda qatlamidagi diffuziya oqimlari quyidagi tenglamar bilan aniqlanadi:

$$j_2 = D_1 \frac{C_0 - C_1}{\delta_1}; \quad j_3 = D_2 \frac{C_1 - C_2}{\delta_2}.$$

Bunda  $D_2$  – qattiq modda qatlamidagi erigan gazning diffuziya koeffitsiyenti.

Qaytmas reaksiyaning tezligi:

$$j_4 = K C_2$$

Bunda  $K$  - reaksiya tezligi doimiyligi.

$j_1 = j_2 = j_3 = j_4 = j$  desak, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$j = \frac{\frac{1}{K_g} p}{\frac{\delta_{r_1}}{D_1} \cdot \frac{S_k}{S_r} + \frac{\delta_1}{D_1} + \frac{\delta_2}{D_2} + \frac{1}{K}}$$

Tenglamadan ko‘rinib turibdiki, jarayonning tezligi asosan, gazning bosimiga bog‘liq ekan.

Agarda, eng sekin boradigan bosqich gazning suyuqlikda erishi bo‘lsa, tanlab eritishning tezligi quyidagicha bo‘ladi:

$$j = \frac{D_1}{\delta_{r_1}} \cdot \frac{1}{K_r} p \frac{S_{\text{zas}}}{S_k}$$

Gaz ishtirokida boradigan tanlab eritish jarayoni borayotgan apparatlarga gaz maxsus moslamalar (purkagichlar) yordamida pufakchalar holida suyuqlik qatlamidan o‘tkaziladi. Gaz suyuqlikdan yengil bo‘lganligi sababli pastdan yuqoriga qarab harakat qiladi. Suyuqlikdagi gaz harakatining tezligi pufakchalarning katta-kichikligiga bog‘liq. Kichik pufakchalar sekin harakat qiladi. Bundan tashqari, gaz pufakchalari qancha kichik bo‘lsa, eritma bilan muloqotda bo‘ladigan gazning yuzasi shuncha katta bo‘ladi va gazning eritmadagi erishi tez o‘tadi.

Agar vaqt birligida suyuqlikdan  $Q$  hajm gaz o‘tkazilsa va (pufakchalar kattaligi bir xil bo‘lganda pufakchalarning ko‘tarilish tezligi  $\tau$  bo‘lsa,  $H$  balandlikka ko‘tarilishga ketgan vaqt  $\tau = \frac{H}{u}$  bo‘ladi va ko‘tarilayotgan pufakchalarning umumiy hajmi  $Q$  quyidagicha bo‘ladi:

$$Q = q\tau = q \frac{H}{u}$$

Pufakchalarning umumiy sirti, ularning soniga va har birining sirtiga bog‘liq. Bitta pufakchanning hajmi  $\frac{4}{3}\pi r^3$  va uning sirti  $4\pi r^2$  bo‘lsa,  $u$  holda pufakchalarning umumiy sirti quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$S_{\text{zas}} = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi r^3} 4\pi r^2 = \frac{3qH}{ur}$$

Radiusi  $r > 1\text{mm}$  bo‘lgan pufakchalar bir xil tezlik bilan ko‘tariladi (havo pufakchalarning suvda ko‘tarilish tezligi 30 sm/sek). Undan mayda pufakchalarning tezligi ularning radiusi kvadratiga proporsionaldir. Massa uzatish va massa almashish koeffitsiyenti qiymatlari pufakchalarning ko‘tarilish tezligiga bog‘liq. Binobarin, pufakchalarning o‘lchamlariga ham bog‘liq bo‘ladi. Shularni hisobga olib, (9) va (10) tenglamalardan quyidagi ifodalarni olishimiz mumkin:

$$\text{mayda pufakchal uchun: } j = pqH \frac{1}{r^{2.5}}$$

$$\text{yirik pufakchalar uchun: } j = pqH \frac{1}{r}$$

Shundan ko‘rinib turibdiki, tanlab eritish tezligi (agarda gazning eritish tezligi eng sekin boradigan bo‘lsa) gaz bosimini, apparatning balandligini va gaz yuborilishi tezligini ortishi hamda pufakchalar radiusining kamayishi bilan ortib boradi.

### 4.3. Tashqi va ichki diffuziya qonuniyatlari

Eritmadan reaksiyon sirtga yoki reaksiyon sirtidan eritmaga erigan moddalarning o‘tishi shu modda konsentratsiyasining gradiyenti borligi natijasidir. O‘tgan modda miqdori molekulyar diffuziya qonunlari bilan aniqlanadi – Fikning birinchi va ikkinchi qonunlari.

Fikning birinchi qonuni bo‘yicha diffuziya yo‘li bilan tekis sirtidan o‘tgan modda miqdori yuza sathiga, diffuziya vaqtiga va yuza sathiga preperdikulyar yo‘nalishdagi konsentratsiya gradiyentiga proporsionaldir.

$$dm = -DS \frac{dc}{dx} d\tau$$

bu yerda D - diffuziya koeffitsiyenti;

S - yuza sathi;

$\frac{dc}{dx}$  - konsentratsiya gradiyenti (X – oqi yuza sathiga preperdikulyar).

Manfiy ishora diffuzion oqimning konsentratsiyasi oz bo‘lgan tomonga yo‘nalganligini ko‘rsatadi. 1- tenglamadan quyidagi tenglama kelib chiqadi:

$$j_x = \frac{dm}{Sd\tau} = -DS \frac{dc}{dx}$$

Fikning ikkinchi qonuni bo‘yicha diffuziya yo‘li bilan modda konsentratsiyasining o‘zgarish tezligi quyidagi ifodaga bo‘ysunadi:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right)$$

Agar konsentratsiya gradiyenti faqat bir o‘q bo‘yicha bo‘lsa, Fikning ikkinchi qonuni quyidagicha ifodalanadi

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

#### ***Tashqi massa uzatish***

Tanlab eritish jarayonida eritma qattiq jism sirtiga nisbatan harakat qiladi. Harakatlanayotgan eritmadan qattiq jism sirtiga yoki qattiq jism

sirtidan eritmaga o'tayotgan moddaning miqdori qattiq jismning erish qonuniyatlari asosida aniqlanadi:

$$G = k(C_H - C_0)s$$

bu yerda  $G$  - vaqt birligida erigan modda miqdori;

$K$  - mutanosiblik koeffitsiyenti;

$C_H$  - qattiq jism sirtidagi to'yingan eritma konsentratsiyasi;

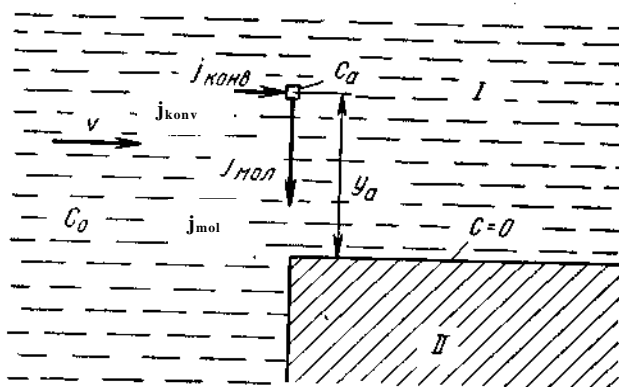
$s$  - qattiq jism sirti.

Suyuqlikda erigan zarrachaning qattiq modda sirtiga kelishi bir vaqtda boradigan 2 ta jarayondan iborat:

1) Molekulyar diffuziya yo'li bilan (bu, joylarda konsentratsiyaning farqi bo'lganligi uchun);

2) Zarrachalarni sirtga suyuqlik oqimi bilan kelishi (konveksiya).

Ikkala jarayon birgalikda konvektiv diffuziya deyiladi. Konvektiv diffuziyani quyidagicha tasavvur qilish mumkin (4.4- rasm):



**4.5-rasm. Konvektiv diffuziyaning sxemasi:**

**I-eritma; II – tanlab eritilayotgan qattiq modda;  $C_0$  va  $C_a$  – reagentning eritma hajmida va  $a$  – nuqtasidagi konsentratsiyasi;  $v$  – eritmaning tezligi;  $j_{mol}$  va  $j_{konv}$  – molekulyar diffuziya oqimi va konvektiv oqim**

Qattiq modda sirtida kimyoviy reaksiyaning juda tez o'tganligi sababli reagentning konsentratsiyasi nolga teng  $C = 0$ , sirtidan uzoqroq eritmada esa reagentning konsentratsiyasi  $C = C_0$  ga teng. Eritmaning sirtidan  $y_a$  masofadagi biror  $a$  nuqtasida reagent  $C_a$  konsentratsiyasi bir vaqtning o'zida boradigan ikkita jarayon bilan aniqlanadi:

1) reagentning suyuqlik oqimi bilan kelishi (konveksiya)

$$j_{konv} = v(C_0 - C_a)$$

$v$  - suyuqlik oqimining tezligi;

2) molekulyar diffuziya yo'li bilan reagentning  $a$  nuqtasidan qattiq modda sirtiga uzatilishi:

$$j_{mol} = D \frac{C_a - 0}{y_a},$$

bu erda  $D$  – diffuziya koeffitsiyenti.

Barqarorlashgan rejimda ( $C_a = \text{const}$ )

$$j_{mol} = j_{konv},$$

$$v(C_0 - C_a) = \frac{D}{y_a} C_a,$$

bundan quyidagi tenglamani yozishimiz mumkin:

$$C_a = \frac{vC_0}{v + \frac{D}{y_a}} = \frac{C_0}{1 + \frac{D}{vy_a}},$$

Suyuqliklarda diffuziya koeffitsiyentining qiymati juda kichik  $D \approx 10^{-5} - 10^{-6} \text{ sm}^2/\text{s}$  atrofida bo‘ladi. Suyuqliq harakat tezligining eng kichik qiymati  $v - 1 \text{ sm/s}$  va  $y_a = 10^{-4} \text{ sm}$  deb olsak

$$\frac{D}{vy_a} = \frac{10^{-5}}{1 \cdot 10^{-4}} = 0,1 \text{ bo‘ladi. Bu qiymatni tenglamaga qo‘ysak:}$$

$$C_a = \frac{C_0}{1 + 0,1} \approx C_0$$

bundan ko‘rinib turibdiki, qattiq jism sirtidan juda kichik masofada ( $10^{-4} \text{ sm}$ ) reagentning konsentratsiyasi  $C_0$  dan nolgacha kamayadi. Reagent konsentratsiyasining  $C_0$  dan nolgacha kamayib boradigan qatlam qalinligi diffuzion qatlamning ( $\delta_D$ ) samarali qalinligi deb ataladi.

$$j = D \frac{C_0 - C_{sirt}}{\delta_D}$$

bu yerda  $C_{sirt}$  – reagentning sirdagi konsentratsiyasi.

$C_{sirt}$  - reagentning sirdagi konsentratsiyasi.

Qattiq jism sirtidan uzoqlashgan sari eritmadagi reagent konsentratsiyasi oshib boradi va  $C_0$  tenglashadi. Reagentning sirdan "y" masofadagi konsentratsiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$C_y = C_{sirt} + \frac{C_0 - C_{sirt}}{\delta_D} y, \text{ agar } y < \delta_D$$

$$C_y = C_0, \text{ agar } y \geq \delta_D$$

Ko‘rib chiqilgan nazariya bo‘yicha shu narsa ma’lum bo‘ladiki, har bir diffiziyalanuvchi reagent uchun o‘zining diffuziya qatlamining samarali qalinligi bo‘ladi.

## *Ichki diffuziya qonuniyatlari*

Agar tanlab eritish jaryonida qattiq mahsulot hosil bo'lsa yoki eritilayotgan modda eritmaga nisbatan inert material ichida (g'ovaklarida) bo'lsa, u holda eritmadagi reagent shu qattiq material qatlamidan diffuziya yo'li bilan o'tishi kerak (ichki diffuziya) va bu xodisa jarayonning umumiy tezligini aniqlashi mumkin (diffuziya – limitlovchi bosqich bolib qoladi).

Ichki diffuziyaning tezligi qattiq modda qatlamining zichligiga bog'liq. Zichligi katta bo'lgan qatlamning g'ovakligi oz bo'ladi va buning natijasida diffuziya qiyinlashadi. Shu sababli ichki massa uzatish tezligi kichik bo'ladi.

Qatlamning taxminiy zichligi to'g'risida reaksiya natijasida hosil bo'lgan mahsulotning hajmini dastlabki ashyo hajmiga nisbati orqali tushuntirish mumkin (Pilling- Bedvords mezon).

$$K_{P.B.} = v \frac{\frac{M_{\max}}{d_{\max}}}{\frac{M_{\text{das}}}{d_{\text{das}}}} = v \frac{V_{\max}}{V_{\text{das}}}$$

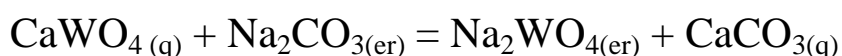
bu yerda  $v$  - 1 mol olingan materialdan hosil bo'lgan qattiq mahsulotning mollar soni;

$V_{\max}$  va  $V_{\text{das}}$  - mahsulotning va dastlabki ashyoning molyar hajmi;

$M_{\max}$  va  $M_{\text{das}}$  -mahsulotning va dastlabki ashyoning molekulyar massalari;

$d_{\max}$  va  $d_{\text{das}}$  - mahsulotning va dastlabki ashyoning zichliklari.

Masalan quyidagi reaksiya uchun:



$$\text{CaCO}_3(\text{q}) \text{ ning molyar hajmi} = \frac{M_{\text{CaCO}_3}}{d_{\text{CaCO}_3}} = \frac{100}{2,71} = 37$$

$$\text{CaWO}_4(\text{q}) \text{ ning molyar hajmi} = \frac{M_{\text{CaWO}_4}}{d_{\text{CaWO}_4}} = \frac{288}{6} = 48$$

$$\text{Molyar hajmlarning nisbatligi } K_{P.B.} = \frac{37}{48} = 0,8$$

Demak, reaksiya natijasida hosil bo'lgan mahsulotning ( $\text{CaCO}_3$ ) hajmi dastlabki ashyo ( $\text{CaWO}_4$ ) hajmidan kichik bu degani, mahsulot yuzasi govak bo'ladi va diffuziyaga unchalik xalaqit bermaydi.

Agar  $K_{P.B.}$  birdan oshsa, zich qobiq hosil bolishi mumkin. Bu bilan birga, agar hosil bo'lgan mahsulotning molyar hajmi, dastlabki ashyoning

molyar hajmida ancha katta bo'lsa, hosil bo'lgan qobiqning ko'chib ketish imkoniyati tug'iladi va bu narsa diffuziya jarayoniga hech qanday qarshilik ko'rsata olmaydi.

Tanlab eritish jarayonida mahsulot qatlamining qalinligi ( $\delta_{\max}$ ) oshadi. Qalinlikning oshishi mahsulotning massasining oshishiga proporsionaldir:

$$\frac{d\delta_{\max}}{d\tau} = \frac{dG_{\max}}{d\tau} \cdot \frac{1}{d_{\max}S} \quad \text{yoki} \quad \frac{d\delta_{\max}}{d\tau} = \frac{1}{d_{\max}} j$$

Agar jarayon ichki diffuzion mintaqada borsa

$$j = \frac{D}{\delta_{\max}} C_0 \quad \text{va} \quad \frac{d\delta_{\max}}{d\tau} = \frac{1}{d_{\max}} \cdot \frac{D}{\delta_{\max}} C_0$$

Tenglamani integrallashdan so'ng quyidagi tenglama hosil boladi:

$$\delta_{\max}^2 = \frac{2DC_0}{d_{\max}} \tau$$

Agarda reagentning konsentratsiyasi va yuzasi kam miqdorda o'zgarsa, bu holda  $\delta_{\max} \approx \sqrt{\tau}$  va

$$G_{\max} = \delta_{\max} S d_{\max} = S \sqrt{2DC_0 d_{\max} \tau}$$

$$G_{\max} \approx \sqrt{\tau}$$

Demak, tanlab eritilgan moddaning miqdori, tanlab eritish vaqtining ildiziga proporsionaldir.

Diffuzion qarshilik ortishi bilan, tanlab eritishning solishtirma tezligi vaqt davomida pasayadi.

$$j = \frac{D}{\delta_{\max}} C_0 \approx \frac{1}{\sqrt{\tau}}$$

Ichki diffuziya sohasida borayotgan jarayonlarning asosiy belgilari quyidagilardir:

- 1) tanlab eritish solishtirma tezligining (tenglama bo'yicha) vaqt o'tishi bilan sekinlashib borishi;
- 2) jarayonning tezligi reagent konsentratsiyasiga to'g'ri proporsionaldir;
- 3) jarayonning tezligi haroratga unchalik bog'liq bo'lmaydi.

Ichki va tashqi diffuzion sohada borayotgan tanlab eritish tezligiga harorat va reagent konsentratsiyasi bir xil ta'sir qiladi. Qaysi bir diffuzion sohada jarayon ketayotganligini bilish uchun jarayonning tezligiga aralashtirish tezligi va vaqtning ta'sirini o'rganish kerak.

#### 4.4. Jarayonning kinetik sohada borish qonuniyatlari

Tanlab eritishda diffuzion qarshilik bo'lmaganda (eritma harakatlanishining yuqori tezligi, qattiq mahsulot qatlamining yo'qligi yoki uning yuqori g'ovakligi) jarayonning tezligini kimyoviy reaksiya bosqichi limitlaydi (sekinlashtiradi).

Kimyoviy kinetikaning asosiy qonuniyatlarini, to'qnashishlar nazariyasi yordamida tushuntirish mumkin. Bu nazariyaga asosan kimyoviy reaksiyaning tezligi ya'ni vaqt birligida hosil bo'lgan mahsulot molekulalarining soni, ta'sirlashadigan molekulalarning faol to'qnashish soni bilan aniqlanadi.

Agar reaksiyada ishtirok etadigan moddalardan bittasi (masalan "A") qattiq holda bo'lsa, bunda erigan va qattiq reagenlarning to'qnashish ehtimolligi qattiq moddaning yuzasiga proporsionaldir.

Shunday qilib gemogen reaksiyadan farqli ravishda vaqt birligida hosil bo'ladigan mahsulotning miqdori, eritma hajmiga emas qattiq moddaning yuzasiga proporsionaldir.

Geterogen reaksiyalar, to'g'ri to'qnashish natijasida borishdan ko'proq, adsorbsiyalangan holatdagi reagentlar ishtirokida boradi. Bu holda, yakuniy mahsulotni hosil qilish reaksiyasidan avval, erigan reagent adsorbsiyasi reaksiyasi kechadi.

Erigan reagent adsorbsiyasining ikkita ko'rinishi mavjud: fizikaviy va kimyoviy.

Fizikaviy adsorbsiya Van – der – Vaals (yoki dipol) ta'sirlashuv bilan tavsiflanadi, faollantirish energiyasini talab etmaydi va juda tez boradi. Van – der – Vaals ta'sirlashuvida yuzada adsorbsiyalangan moddaning miqdori, adsorbsion muvozanat bilan aniqlanadi.

Kimyoviy adsorbsiyada, adsorbsiyalangan molekulalar yuza bilan, valent bog'ni shakl qiluvchi kuchlar kabi kuchlar bilan bog'liq. Bu kuchlar ta'sir etishi uchun molekulalar deformatsiyasi (erigan moddalarni adsorbsiyasida esa – degidratatsiya) talab etiladi, shuning uchun kimyoviy adsorbsiya faollantirish (faol) energiyasini talab etiladi ("faollantirilgan" adsorbsiya). Qancha molekulalar deformatsiyasi kuchli bo'lsa, shuncha faollantirilgan adsorbsiya jarayoni sekin boradi. Shu bilan bir qatorda, qancha molekula kuchliroq deformatsiyalangan bo'lsa, shuncha bu molekula kimyoviy reaksiyaga oson kirishadi, ya'ni faollantirish energiyasi karoq va kimyoviy reaksiyaning tezligiga yuqoriroq.

Reaksiya tezligiga reagentlarni adsorbsiyalash issiqligi ( $I_{\text{dast}}$ ) qo'shimcha ta'mir etadi.



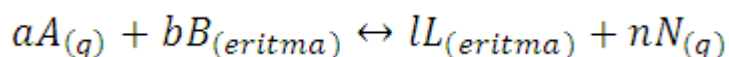
Agar adsorbsiyalangan holatdagi molekullarning energiyasi, erkin holatdagi molekullarning energiyasida kim bo'lsa bu holda dastlabki holandagi energiyaga nisbatan faollantirilgan komilekening ortiqcha energiyasi faollantirish energiyasi va adsorbsiya issiqligining farqicha tengdir.

Natijada kimyoviy adsorbsiya tezligi, keyingi reaksiyaning tezligidan sekinroq bo'lib qolishi mumkin va natijada geterogen reaksiyaning kinetik tenglamasi adsorbsiyaning kinetik tenglamasi bilan bir xil bo'ladi.

Adsorbsiya tezligi, kimyoviy ta'sirlashuv tezligidan ancha yuqori bo'lganligi uchun ularni adsorbsiyaning kinetik tenglamalari yordamida aniqlash mumkin.

Tanlab eritishda diffuzion qarshilik bo'lmaganda (eritma harakatlanishining yuqori tezligi, qattiq mahsulot qatlamining yo'qligi yoki uning yuqori g'ovakligi) jarayonning tezligini kimyoviy reaksiya bosqichi limitlaydi (sekinlashtiradi).

Kimyoviy kinetikaning asosiy qonuniyatlarini, to'qnashishlar nazariyasi yordamida tushuntirish mumkin. Bu nazariyaga asosan kimyoviy reaksiyaning tezligi ya'ni vaqt birligida hosil bo'lgan mahsulot molekullarining soni, ta'sirlashadigan molekullarning faol to'qnashish soni bilan aniqlanadi.



Agar reaksiyada ishtirok etadigan moddalardan bittasi (masalan, "A") qattiq holda bo'lsa, bunda erigan va qattiq reagentlarning to'qnashish ehtimolligi qattiq moddaning yuzasiga proporsionaldir shu sababdan

$$dC_L/d\tau = KCX_B^{nB} S_A$$

Shunday qilib gemogen reaksiyadan farqli ravishda vaqt birligida hosil bo'ladigan mahsulotning miqdori, eritma hajmiga emas qattiq moddaning yuzasiga proporsionaldir.

Geterogen reaksiyalar, to'g'ri to'qnashish natijasida borishdan ko'proq, adsorbsiyalangan holatdagi reagentlar ishtirokida boradi. Bu holda, yakuniy mahsulotni hosil qilish reaksiyasidan avval, erigan reagent adsorbsiyasi reaksiyasi kechadi.

Erigan reagent adsorbsiyasining ikkita ko'rinishi mavjud: fizikaviy va kimyoviy.

Agar reaksiya "A" va "V" moddaning adsorbsiyalangan molekullar ishtirokida yuzada borsa va limitlovchi bosqich kimyoviy ta'sirlashuv bo'lsa quyidagi tenglamani yozsa bo'ladi.

$$dG_L/(Sd\tau) = K\theta_A^{nA}\theta_B^{nB}$$

Tenglamada:  $G_L$  – mahsulot massasi,  $S$  – ta'sirlashadigan qattiq moddaning yuzasi,  $\theta_A$   $\theta_B$  - “A” va “B” reagentlarning adsorbsiyalangan molekular egallagan yuza.

Adsorbsiya tezligi, kimyoviy ta'sirlashuv tezligidan ancha yuqori bo'lganligi uchun  $\theta_A$  va  $\theta_B$  - larni adsorbsiyaning kinetik tenglamalari yordamida aniqlash mumkin.

$$\begin{aligned}d\theta_A/d\tau &= K_A C_A (1 - \theta_A - \theta_B) - K'_A \theta_A \\d\theta_B/d\tau &= K_B C_B (1 - \theta_A - \theta_B) - K'_B \theta_B\end{aligned}$$

Tenglamada  $K_A$  va  $K_B$  - “A” va “B” moddalarning adsorbsiyalash tezligini ng konstantasi:  $K'_A$  va  $K'_B$  - “A” va “B” moddalarning desorbsiya tezligi konstantasi:  $C_A$  va  $C_B$  - “A” va “B” moddalarning eritmadagi konsentratsiyasi.

$$aA_{(eritma)} + bB_{(eritma)} + qQ_{(qot)} = lL_{(eritma)}$$

Muvozanat holatda  $d\theta_i/d\tau = 0$ , demak,

$$\begin{aligned}K_A C_A (1 - \theta_A - \theta_B) - K'_A \theta_A \\K_B C_B (1 - \theta_A - \theta_B) - K'_B \theta_B\end{aligned}$$

Tenglamalardagi  $K_A$  va  $K_B$  qiymatlar chap tomonga o'tkazilsa va  $K_A/K'_A$  va  $K_B/K'_B$  nisbatliklarni (“A” va “B” moddalarning adsorbsion muvozanat konstantasi)  $b_A$  va  $b_B$  bilan belgilasak quyidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned}\theta_A &= b_A C_A (1 - \theta_A - \theta_B): \\ \theta_B &= b_B C_B (1 - \theta_A - \theta_B): \\ 1 - \theta_A - \theta_B &= \frac{1 - b_A C_A (1 - \theta_A - \theta_B) - b_B C_B (1 - \theta_A - \theta_B)}{1} \\ 1 - \theta_A - \theta_B &= \frac{1}{(1 + b_A C_A + b_B C_B)}\end{aligned}$$

Demak,

$$\begin{aligned}\theta_A &= b_A C_A / (1 + b_A C_A + b_B C_B) \\ \theta_B &= b_B C_B / (1 + b_A C_A + b_B C_B)\end{aligned}$$

Yuqoridagi tenglamalardan ko'rinib turibdiki  $b_A C_A$  yoki  $b_B C_B$  ko'rsatkichlarning yuqori qiymatlarida yuza to'liq “A” ( $\theta_A = 1$ ) va “B” ( $\theta_B = 1$ ) molekulari bilan egallangan.

Reaksiyaning tezligini oxirgi ikki tenglamasi umumlashtirilishi mumkin:

$$dG_L / (S d\tau) = K [b_A C_A / (1 + b_A C_A + b_B C_B)]^{n_A} [b_B C_B / (1 + b_A C_A + b_B C_B)]^{n_B}$$

#### **4.5. Limitlovchi bosqichga tanlab eritish sharoitlarininig ta'siri**

Gidrometallurgik sxemalarda, metall tarkibi ruda xomashyosini tanlab eritish jarayoni ko'p mablag' va jarayoni talab etadigan jarayonidir. Aynan tanlab eritish jarayoni metall tarkibi xomashyoni gidrometallurgik usulda qayta ishlashning samaradorligini va iqtisodini belgilab beradi. Shu sababdan tanlab eritish jarayonini jadallashtirish, to'liq ishlab chiqarishning samaradorligini oshirish.

Tanlab eritish jarayonini jadallashtirish yo'nalishi limitlovchi bosqich bilan belgilanadi.

Limitlovchi bosqich – tashqi diffuziya. Belgilovchi xossasi – tanlab eritish tezligi, tanlab eritiladigan material yuzasiga nisbatan suyuqlikning harakat tezligiga bog'liqligi. Suyuqlikning solishtirma tezligining oshirilishi, tashqi diffuzion qatlamning qalinligining kamayishiga va buning natijasida tanlab eritish tezligining oshishiga olib keladi.

Shu sababdan, tashqi diffuziya bilan limitlangan tanlab eritish tezligini oshirishning eng keng tarqalgan usuli, bu aralashtirish tezligini oshirishdir.

Limitlovchi bosqich – ichki diffuziya. Tanlab eritish tezligi ichki diffuziya tezligi bilan belgilanadi va tanlab eritiladigan zarralarni qoplab olgan qattiq qobiqning qalinligi va strukturasi bog'liq.

Agar tanlab eritish jarayoni ichki diffuzion mintaqada (sohada) borsa, tanlab eritish tezli aralashtirish tezligiga va haroratga unchalik bog'liq emas. Ko'p hollarda ichki diffuzion qarshiliklar minerallarni eritishga qarshilik ko'rsatadi va rudalarning qaysarligini belgilab beradi.

Ruda xomashyosini tanlab eritishda ichki diffuzion qarshilikning uchta ko'rinishi mavjud.

a) tanlab eritish natijasida tanlab eritiladigan mineral yuzasida hosil bo'lgan qattiq mahsulot qatlamidan diffuziya;

b) o'z ichida qimmatbaho modani saqlovchi mineral qatlamida eritmalarini diffuziyasi;

v) tanlab eritiladigan mineral yuzasidagi erimaydigan moddadan tashkil topgan tabiiy qatlamdan diffuziya;

Barcha holatlarda ichki diffuzion qarshilikning salbiy ta'siri xomashyoni mayin va o'ta mayin yanchish yo'li bilan yo'qotilishi mumkin.

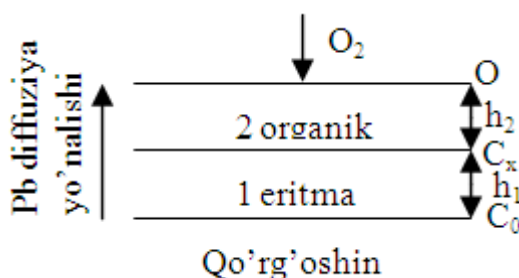
Ayrim holatlarda ichki diffuzion qarshilikni yanchish va tanlab eritish jarayonlarni birlashtirish natijasida yo'qotish mumkin.

Limitlovchi bosqich – tanlab eritiladigan material yuzasidagi kimyoviy ta'sirlashuv. Bu holda tanlab eritish tezligi haroratga bog'liq va aralashtirish tezligiga bog'liq emas. Shu sababdan kinetik sohada boradigan jarayonlarni tezlashtirish uchun, jarayonini yuqori haroratlarda olib borish kerak.

Ko'pincha gidrometallurgik reaksiyalar geterogendir, ya'ni har xil fazalarda joylashgan moddalar orasida oqib o'tadi. Geterogen jarayon kamida uchta bosqichdan iboratdir: 1) reaksiyaga kiradigan moddalarning fazalararo chegarasiga diffuziyasi, 2) kimyoviy reaksiyaning oqib o'tishi, 3) jarayon mahsulotlarining reaksiyaga o'tadigan joydan siljishi. Har bir bosqich o'z qatorida bir qancha pog'onalardan tuzilishi mumkin.

Geterogen jarayoning umumiy qonuniyatlarini ko'rib chiqamiz. Murakkab jarayon bir qator parallel yoki birin-ketin o'tadigan bosqichlardan tuzilishi mumkin. Birin ketin o'tadigan jarayon misol tariqasida metallni (masalan qo'rg'oshinni) kislorod bilan oksidlanish reaksiyasini ko'rib chiqamiz. Metall ikkita bir-biri bilan aralashmaydigan suyuqliklarning (organik faza 1, eritma 2) ostida joylashgan (4.6-rasm).

Jarayonni statsionar deb qabul qilamiz. Statsionar jarayonda reaksiyaga kirishayotgan moddaning miqdori vaqtga bog'langan emas, ya'ni har xil fazalardagi miqdori jarayon davomiyligida o'z qiymatini saqlaydi.



**4.6-rasm. Birin-ketin o'tadigan geterogen jarayonning tasviri.**

Fikning birinchi qonuniga binoan, moddaning oqimi miqdorlikning gradiyentiga bevosita bog'liqdir:

$$P = -D(dc/dx)$$

Bunda: P-modda oqimi, kg/m<sup>2</sup> sek;

D - diffuziya koeffitsiyenti, m<sup>2</sup> sek;

dc/dx - diffuziya yo'nalishdagi miqdorlik gradiyenti, kg/m<sup>3</sup> m.

Miqdorlik gradiyenti yo'qolsa, modda oqimi ham to'xtaydi. Bizning misolimizda qo'rg'oshin zarrachalarining shteyn orqali oqimi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$P_1 = D_1 (C_0 - C_h / h_1) = \beta_1 (C_0 - C_h)$$

Bunda:  $D_1$  - qo'rg'oshinni eritmadagi diffuziya koeffitsiyenti;  $C_o$  metallni eritma bilan chegarasidagi miqdori;  $Ch$  qo'rg'oshinni eritma-shlak fazalararo chegarasidagi miqdori.

$\beta_1 = D_1/h_1$  - massa o'tkazgich koeffitsiyenti.

Organik faza hajmidan qo'rg'oshinning diffuzion oqimi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$P_{11} = (D_2/h_2)(Ch - 0) = \beta_2 Ch$$

Organik faza-gaz chegarasida qo'rg'oshinni miqdori 0 ga teng deb qabul qilamiz

Umumiy oqimning qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$P = \beta C_o.$$

Statsionar sharoitlarda har xil fazalardagi oqimlar tengdir  $P = P_1 = P_{11}$

Unda quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\beta_1(C_o - Ch) = \beta_2 Ch$$

Bu yerdan qo'rg'oshinni shteyn-shlak chegarasidagi miqdorini aniqlasak bo'ladi

$$Ch = \beta_1 C_o / (\beta_1 + \beta_2)$$

$Ch$  ni qiymatini  $P_{11}$  ga qo'yamiz.

$$P_{11} = \beta_2 Ch = \beta_1 * \beta_2 * C_o / (\beta_1 + \beta_2)$$

$P = \beta C_o$  va  $P = P_{11}$  hisobga olgan holatda olamiz:

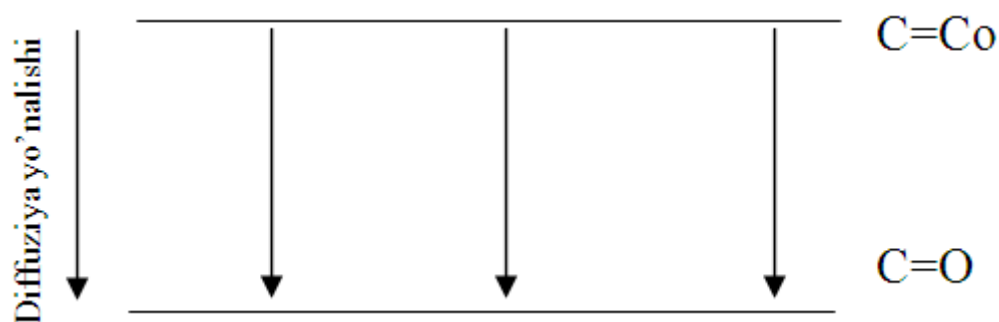
$$\beta = \beta_1 \beta_2 / (\beta_1 + \beta_2) \text{ yoki } 1/\beta = 1/(\beta_1 + 1/\beta_2)$$

Massa o'tkazish koeffitsiyentining aksariyati qarshilik koeffitsiyenti deb nomlanadi. Birin-ketin o'tadigan jarayonlarda umumiy qarshilik  $1/\beta_1$  bosqichlardagi qarshiliklarning yig'indisiga tengdir.

Agarda qarshilik koeffitsiyentlardan bittasi boshqalarga nisbatan o'ta katta bo'lsa, shu bosqich umumiy jarayonning tezligini aniqlaydi. Xulosa: agar geterogen jarayon bir necha birin-ketin o'tadigan bosqichlardan ibort bo'lsa, jarayonning umumiy tezligi eng sekin o'tadigan bosqichning tezligi bilan aniqlanadi.

Bir qator parallel o'tadigan geterogen jarayonini ko'rib chiqamiz (masalan metall sulfidlarini oksidlanishi, yoki oksidlarni sulfidlanishi va boshqalar). Reaksion chegaraga gazlarning diffuziyasi g'ovak yoki kapillyar orqali o'tadi. O'rta me'yordagi haroratlarda (700-1000°C) jarayonning tezligi asosan gaz moddasining miqdoriga bog'liqdir. Metall

oksidini sulfidlanishi bir qator parallel o'tadigan jarayonlar orqali amalga oshiriladi (4.7-rasm).



4.7-rasm. Parallel o'tadigan geterogen jarayonning tasviri.

Parallel o'tadigan jarayonda yig'indi va umumiy sistemaning qarshiligi quyidagi tenglama bilan aniqlasa bo'ladi:

$$P = P_1 + P_{11} + P_{111}$$

Demak, umumiy oqimning qiymatini aniqlasa bo'ladi:

$$P = \beta_1 C_0 + \beta_2 C_0 + \beta_3 C_0$$

Parallel o'tadigan jarayonlarda umumiy massa o'tkazish koeffitsiyenti alohidagi bosqichlarning massa o'tkazish koeffitsiyentining yig'indisiga tengdir.

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3$$

Parallel bosqichlardan iborat bo'lgan geterogen reaksiyaning tezligi eng tez o'tadigan pog'onaning tezligi bilan aniqlanadi.

Geterogen kinetikasini muhim vazifasi-metallurgik jarayonni tartibini va boshqaruvchi pog'onasini aniqlashdir. Ko'pincha tartibni aniqlashda tajribadan olingan natijalardan foydalaniladi. Kinetik tartibda o'tadigan pirometallurgik jarayonning ajralib turgan xususiyatlarini ko'rib chiqamiz. Masalan, sulfidni havo kislorodi bilan oksidlanish jarayonini qabul qilamiz. Havo-oqim tezligi katta, jarayonning haroratini esa past deb. Kislorod sulfid bilan kimyoviy reaksiyaga kirishi uchun unda yetarli darajada quvvat bo'lishi kerak. Past haroratlarda gaz molekularning ozgina qismi aktivlangan holatda bo'ladi. Bunday vaziyatda jarayonning umumiy tezligi eng sust o'tadigan kimyoviy reaksiya bilan ta'riflanadi.

Shunday qilib oksidlanish jarayoni kinetik tartibda oqib o'tadi. Harorat oshishi bilan aktivlangan molekularning soni ko'payadi va umumiy tezlik oshib boradi. Bu jarayonni quyidagi tenglama bilan ta'riflansa bo'ladi

$$V = V_{kin} = A \exp(-E/RT)$$

Kinetik tartibda oʻtadigan metallurgik jarayonlarning ajralib turadigan xususiyatlari: 1) reaksiyaning tezligi gaz oqimiga bogʻliqlik emasligi; 2) harorat oʻsishida reaksiya tezligining zudlik bilan oshishi; 3) koʻp uchraydigan jarayonning avtokatalitik xarakteri.

Metallurgik jarayonlarning koʻp qismi tashqi yoki ichki diffuziyalar bilan bogʻlangandir. Sulfidlarni oksidlanishi yuqori haroratda oʻtadi, bunday sharoitlarda kimyoviy reaksiyalarning tezliklari yuqori boʻladi, kislorodni boʻlim sirtiga diffuziyasi esa past tezliklar bilan oʻtadi. Tashqari massa oʻtkazish bilan bogʻlangan geterogen jarayonlarning ajralib turadigan xususiyatlari: 1) massa oʻtkazish koeffitsiyenti  $\beta$  oqimni tezligiga bogʻliqdir; 2) diffuzion qarshilik  $1/\beta$  jarayonning vaqtiga bogʻliq emas; 3) jarayonni toʻxtatib qaytadan yangilasa, reaksiya oʻsha koʻrsatkichlar bilan oqib oʻtaveradi; 4) jarayonning tezligi deyarli haroratga bogʻliq emas.

Agarda kimyoviy reaksiyani aktivlik energiyasi diffuzion energiyasidan koʻproq boʻlsa, reaksiyaning umumiy tezligi moddalarni siljishiga bogʻliq boʻladi va quyidagi tenglama bilan taʼriflanadi:

$$V - V_{\text{diff.}} = DS((C_1 - C_0) / x)$$

Bunda  $C_0$  kimyoviy reagentni qattiq moddani sirtidagi miqdori.  $C_1$  shu reagentni qattiq moddadan  $x$  masofasidagi miqdori;  $S$ -chegaraviy sirt. Ichki diffuziya bilan aniqlanadigan geterogen jarayonning ajralib turadigan xususiyatlari: 1) jarayonning tezligi gazning harakatiga bogʻliq emas. 2) jarayonning tezligi qattiq moddaning gʻovakligiga bogʻliqdir. 3) diffuzion qarshilik vaqt bilan oʻsib boradi.

Agarda kimyoviy reaksiya va diffuziyalarni tezliklari yaqin boʻlsa, u sharoitlarda jarayon oʻzgaruvchan tartibda oqib oʻtadi deyiladi. Amaliyotda hamma geterogen jarayonlar oʻzgaruvchan tartibda oʻtadi, bunda kinetik tartibda boshlanib diffuzion mintaqasiga aylanib oʻtadi.

Geterogen jarayonning mexanizmi va tartibini baholashda analitik usuldan foydalanadi. Bu usulda yarim empirik kinetik tenglamalar keng qoʻllanadi:

$$d\alpha/dt = k\alpha^a(1-\alpha)^b$$

Bunda  $\alpha$  dastlabki moddaning parchalanish yoki oʻzgarish darajasi;  $T$  –vaqt;  $k$  - reaksiyaning tezlik konstantasi;  $a$  va  $b$  gomogenlik faktorini taʼriflaydigan doimiy raqamlar.

Bu kinetik tenglamani har xil variantlari bor. Masalan  $a$  va  $b$  birga teng yoki undan kam boʻlsa:

$$\alpha = 1 - \exp(-Kt^n)$$

Bunda:  $n$  va  $a$  bir-biri bilan quyidagicha bogʻlangandir

$$(n - 1)/n=a$$

Qabul qilingan, agar  $n$  birga teng, yoki ziyodroq bo'lsa jarayon kinetik tartibda o'tadi.  $n$  ni qiymatini kamayishi jarayonni diffuznoy mintaqaga o'tishini ta'riflaydi. Agarda  $n$  taxminan 0,5 teng bo'lsa, jarayon to'liq diffuzion mintaqada o'tadi.

Moddaning parchalanish yoki o'zgarish darajasini belgilaydigan tenglamani ikki marta logarifmlashtirsak quyidagini olamiz:

$$\lg[-\lg(1-\alpha)] = \lg K_1 + n \lg t, \quad \text{bunda} \quad \lg K_1 = \lg K + lge$$

Bu tenglamadan foydalanib grafikli tajribadan olingan raqamlar yordamida  $n$  ni qiymatini topsak bo'ladi. Buning uchun abtissa o'qida  $\lg t$  ni, ordinata o'qida  $\lg[-\lg(1-\alpha)]$  qo'yilsa, to'g'ri chiziq kelib chiqadi. Shu to'g'ri chiziqni burchak qiymati  $P$  ni ta'riflaydi.

#### 4.6. Tanlab eritish tezligiga durlik panjarasi nuqsonlarining ta'siri

Metallurgiya jarayoniga tushayotgan real qattiq dur moddalarda har xil durlik nuqsonlari bo'ladi. Bu nuqsonlar moddaning fizikaviy va kimyoviy xossalarini o'zgarishiga olib keladi.

Bundan tashqari dur maydalanganda yoki boshqa sabablarga ko'ra, uning durlik panjarasi deformatsiyalanadi va ideal holatdan boshqa holatga o'tadi.

Nuqsonli durlarning erkin energiyasi ideal durlarning erkin energiyasiga nisbatan  $\Delta G^0$  nuq miqdorda ko'p bo'ladi. Shuning uchun real durlarda reaksiyaga kirishish qobiliyati yuqori bo'ladi.

Aytaylik, biror ideal durlik panjarasiga ega bo'lgan mineralni tanlab eritdik va bu reaksiyaning Gibbs energiyasi  $\Delta G^0$  ideal bo'lsin. Aynan shu mineralning durlik panjarasida nuqsoni bo'lsa, u holda tanlab eritish reaksiyasining Gibbs energiyasi  $\Delta G_{\text{nuq}}^0$  kichik bo'ladi yoki:

$$\Delta G^0 = \Delta G_{\text{ideal}}^0 - \Delta G_{\text{nuq}}^0 \text{ bo'ladi}$$

$$\Delta G = -RT \ln K_m \text{ yoki } K_m = \exp[-\Delta G/RT] \text{ bo'lganligi uchun}$$

$$K_{m(\text{nuq})} = K_{m(\text{ideal})} \exp[[-\Delta G/RT]]$$

Shunday qilib, durlik panjarasida nuqsoni bo'lgan mineralni tanlab eritganda muvozanat konstantasi katta erish darajasi yuqori hamda ortiqcha reagent kamroq kerak bo'ladi.

Durlik panjarasidagi nuqsonlar qattiq moddalarning reaksiyaga kirishish faolligini oshirganlik uchun, bu hodisani tanlab eritish jarayonini



tezlashtirish uchun qattiq materiallarni faollashtirish maqsadga muvofiq boʻladi.

Tanlab eritish jarayoniga tushayotgan ashyolar har xil kattalikdagi zarrachalardan iborat. Jarayon davomida sistemadagi reagent konsentratsiyasi kamayib, mahsulot konsentratsiyasi esa oshib boradi. Qattiq ashyoning yuzasi kichiklashadi. Shuning uchun tanlab eritish tezligi sekinlashib boradi.

Agar tanlab eritish reaksiyasi qaytmas boʻlsa va qattiq mahsulot hosil qilmasa, jarayon tezligini quyidagi tenglama bilan ifodalash mumkin.

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = KC^n S$$

tenglamada:  $S$  – reagent konsentratsiyasi.

$n$  – reaksiya tartibi (reagent boʻyicha).

$S$  – qattiq fazaning yuzasi.

Qattiq modda erib, vaqt oʻtishi bilan uning yuzasi. Hajmi hamda massasi kamayib boradi, u holda erimay qolgan qattiq moddaning yuzasi

$$S = S_0(1 - x)^\beta$$

tenglamada:  $x$  – eritmaga oʻtgan moddaning miqdori.

$S_0$  – dastlabki yuza.

Bu holda tanlab eritish tezligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi.

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = KS_0 C^n (1 - x)^\beta (1)$$

Bu yerda  $\beta$  – qattiq modda boʻyicha reaksiyaning tartibi.

Masalan: tanlab eritishga kelayotgan ashyo zarrachalarining kattaliklari va shakli bir xil boʻlsin deb faraz qilaylik, qattiq moddaning erib ulgurmagan qismi, dastlabki zarracha shaklida boʻlsin.

Agar zarrachalar sferik (shar) shaklida boʻlsa, uning hajmi  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ , yuzasi  $S = 4\pi r^2$  yoki  $S = 4\pi [3V/(4\pi)]^{2/3}$  va

$\frac{S}{S_0} = (V/V_0)^{2/3}$  bunda  $V = V_0(1 - x)$ ,  $S = S_0(1 - x)^{2/3}$  boʻlganligi uchun

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = KS_0 C^n (1 - x)^{2/3}$$

Ushbu tenglamani kub shaklidagi zarrachalarga ham qoʻllash mumkin.

Agar tanlab eritiladigan zarrachalarning bir tamoni uzun boʻlsa (ninasimon) u holda zarrachaning uzun tamoni eniga nisbatan oz

qisqaradi, shuning uchun uni o'zgarmas deb qabul qilinsa bo'ladi. Ninasimon zarracha uchun

$$V = \pi\tau^2 l; S = 2\pi\tau l; S = 2\pi l \left[ \frac{V}{\pi l} \right]^{1/2}; S/S_0 \approx \left( \frac{V}{V_0} \right)^{1/2} = (1-x)^{1/2}$$

U holda

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = KS_0 C^n (1-\alpha)^{1/2}$$

Plastinkasimon zarrachalarning yuzasi jarayoni davomida kam o'zgarganligi sababi

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = KS_0 C^n$$

Agar g'ovakli zarrachalar eritayotgan bo'lsa  $\beta$  ning qiymati birdan katta ham bo'lishi mumkin.

Yuqoridagi tenglamani integrallasak, tanlab eritish darajasining vaqtiga bog'liqligini ( $\beta$  ning har xil qiymatlarida) aniqlash mumkin.

$$d(1-\alpha)^\beta = -KS_0 C^n d\tau$$

Bunda  $\beta \neq 1$  bo'lganda

$$1 - (1-\alpha)^{1-\beta} = (1-\beta)KS_0 C^n \tau$$

tenglamaning turli ko'rinishdagi zarrachalar uchun echimi quydagicha bo'ladi:

- sferik (shar) shakldagi zarrachalar uchun ( $\beta = 2/3$ )

$$1 - (1-\alpha)^{1/3} = 1/3 KS_0 C^n \tau$$

- ninasimon zarrachalar uchun ( $\beta = 1/2$ )

$$1 - (1-\alpha)^{1/2} = 1/2 KS_0 C^n \tau$$

- plastinkasimon zarrachalar uchun ( $\beta = 0$ )

$$\alpha = KS_0 C^n \tau$$

Agar  $\beta=1$  bo'lsa, birinchi tartibdagi gomogen reaksiya uchun reagen konsentratsiyasini vaqtiga bog'liqlik tenglamasini hosil qilamiz.

$$L_n(1-\alpha) = -KS_0 C^n d\tau$$

$$1-\alpha = \exp(-KS_0 C^n d\tau)$$

Yuqorida ko'rsatib o'tilgan barcha tenglamalar reagentning ortiqcha miqdorida kinetik yoki tashqi diffuzion mintaqada boradigan tanlab eritish jarayonining kinetikasini o'rganish uchun qo'llanilishi mumkin. (K va S vaqtga bog'liq emas).

Ichki diffuzion mintaqada boradigan reaksiyalarning kinetikasini o'rganish uchun, tanlab eritish natijasida qattiq mahsulotni hosil bo'lishida, tezlikni tanlab eritish darajasiga bog'liqligini inobatga olish kerak.

Ichki diffuzion mintaqada, ta'sirlashish darajasini, jarayonning davomiligiga bog'liqligini quyidagi tenglama bilan ifodalash mumkin.

$$\frac{[1 + (Z - 1)\alpha]^{2/3} + (Z - 1)(1 - \alpha)^{2/3} - Z}{1 - Z} = K\tau$$

tenglamada Z – hosil bo'lgan qattiq mahsulot hajmining dastlabki modda hansiga nisbati.

#### **4.7. Tanlab eritish usullari. Tanlab eritish rejimlari (maromi)**

Kon mahsulotlaridan kerakli metalni tanlab eritmaga o'tkazish uchun ikki xil usuldan foydalaniladi:

1. Metallik ashyolar qatlamidan erituvchi modda eritmasi ma'lum tezlik bilan sizdirib o'tkaziladi (bu usulni oddiy qilib sizdirib o'tkazish deb ataladi);

2. Juda mayda yanchilgan ashyolar eritma bilan ma'lum vaqt davomida majburiy aralashtiriladi. Bu usul aralashtirish usuli deb ataladi.

Birinchi usulga: chanda; uyumda; yer ostida tanlab eritish usullari kiradi.

Ikkinchi usul aralashtirish uslubiga qarab quyidagicha tasniflanadi: mexanik aralashtirish; murakkab aralashtirish.

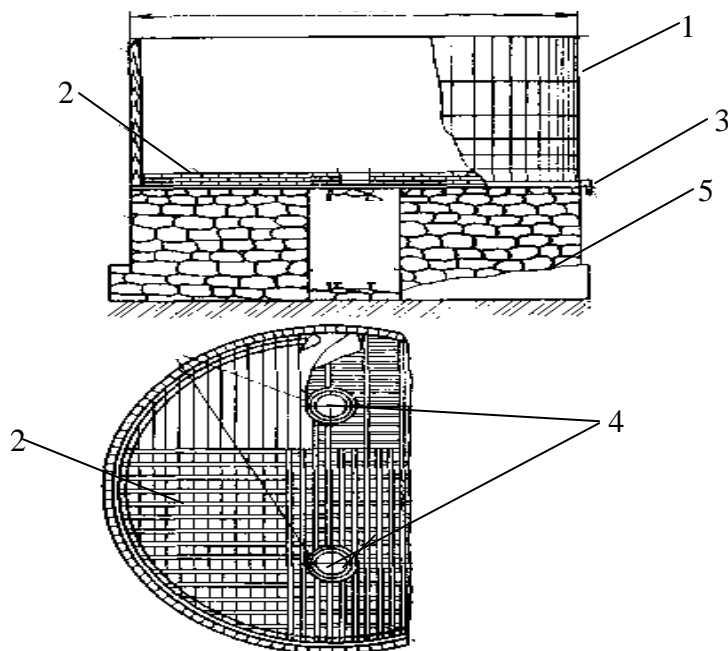
#### **Sizdirib o'tkazish usuli**

Sizdirib o'tkazish usuli asosan zichligi kamroq, bo'lgan rudalardan metalni ajratib olish uchun qo'llaniladi. Bunda eritma ruda g'ovaklariga oson kirishi va uning qatlamidan tezroq sizib o'tishi kerak. Bu usulning asosiy ko'satkichlaridan biri eritmani ruda qatlamidan sizib o'tish tezligidir

Agar  $v < 2$  sm/soat bo'lsa, yomon  $v > 3,0$  sm/soat bo'lsa, qoniqarli,  $v > 5$  sm/soat bo'lsa yaxshi o'tkazuvchi qatlam deb ataladi. Sizib o'tish tezligini oshirish uchun rudalar o'lchamlari bo'yicha tasniflanib, so'ngra tanlab eritish dastgohlariga bo'shroq qilib joylashtiriladi.

**Chanda tanlab eritish.** Sizdirib o'tkazish usuli bilan tanlab eritish uchun doirasimon yoki to'g'ri to'rtburchakli idishlar – chandan foydalaniladi (4.8-rasm).

Channing tubidan yuqoriroqda temirdan yasalgan panjara oʻrnatiladi. Panjaraning usti mato bilan qoplanadi.



**4.8-rasm. Tanlab eritish chani: 1-CHAN; 2 – chan tubining ustidagi panjara; 3 – metall tarkibli eritmalarni chiqaradigan joʻmrak ; 4 –qoldiqlarni chiqarib tashlash uchun moʻljallangan tuynuk; 5 - fundament.**

Chanda tanlab eritish juda sodda, kamharj va aylanuvchi qismlar yoʻqligi sababli dastgohlarni taʼmirlashga hojat yoʻq jarayondir. Ammo dastgohlar qoʻpol va jarayon uzoq vaqt davom etadi.

### **Uyumda tanlab eritish**

Uyumda tanlab eritish asosan tarkibida metall kam boʻlgan tashlandiq rudalardan metallni ajratib olish uchun qoʻllaniladi.

Jarayon quyidagicha olib boriladi:

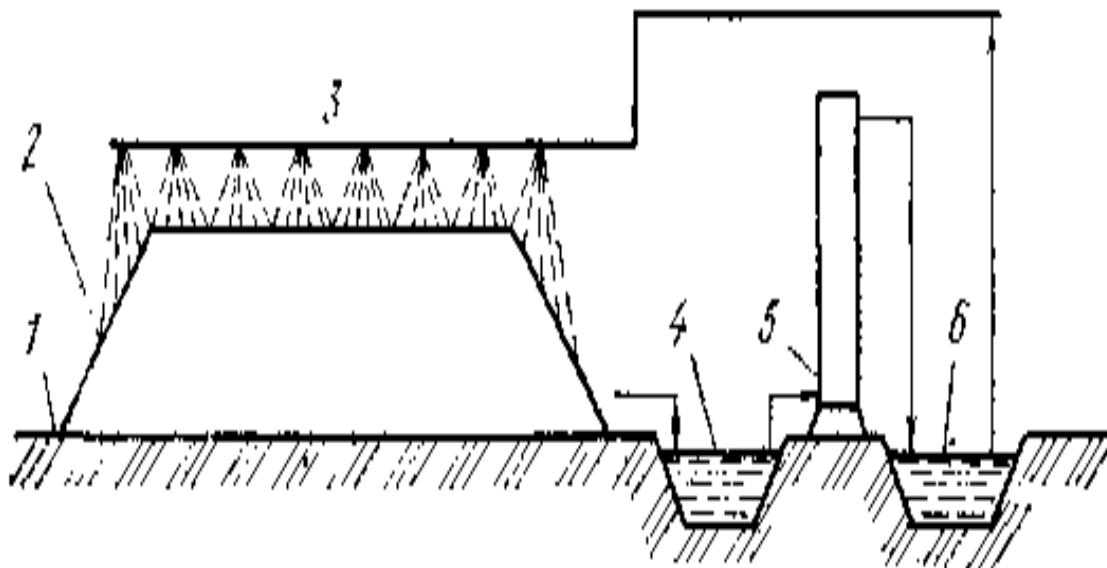
-tayyorlangan maydonga ruda uyuladi;

- uyum ustidan maʼlum muddat davomida eritma sepilib turiladi.

Uyum qatlamidan sizib oʻtgan eritmani bir joyga yigʻilishini taʼminlash maqsadida maydon bir tomonga qarab yotiqroq (1 - 2°) qilib rejalashtiriladi.

Tayyorlangan maydonga ruda uyuladi. Bu jarayon uyumda tanlab eritish usulining eng asosiy qismi hisoblanadi. Uyum hosil qilish shunday oʻtkazilishi kerakki, unda ruda tekis, boʻshroq va eritma qatlamdan oson sizib oʻtadigan boʻlsin.

Uyumni eng keng tarqalgan shakli - to'rt burchakli kesik piramidadir 4.9 - rasm. Uning balandligi 3 metrdan 15 metrgacha, og'irligi 100-200 ming tonnagacha bo'ladi.



**4.9- rasm. Uyumda tanlab eritish sxemasi;**

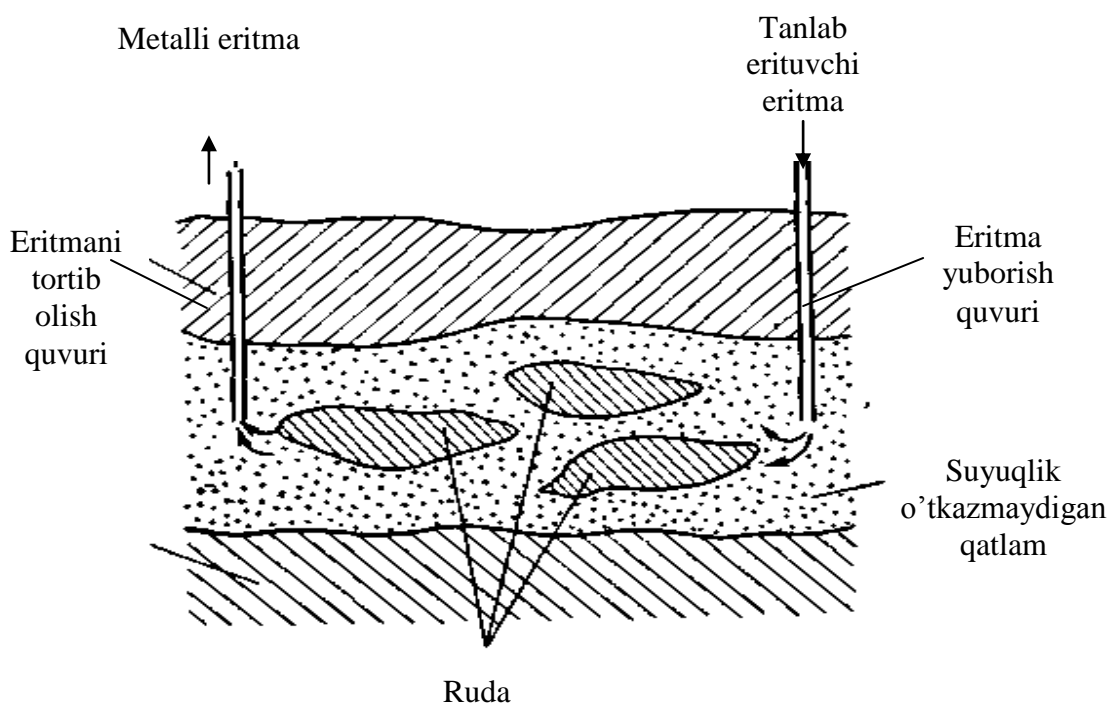
- 1- maxsus maydon; 2- uyum; 3- eritmalarni sachratib beruvchi qurilmasi; 4,6- yig'uvchi xovuzlar; 5- eritimadan metallni ajratib olish qurilmasi.**  
**2- Eritma uyumga sachratib beruvchi forsunkalar yordamida sepiladi.**

### *Yer ostida tanlab eritish*

Yer ostida tanlab eritish usuli eski shaxtalarda qolib ketgan rudalardan, yangi, hali ishga tushirilmagan, oddiy qazib olish usullari iqtisodiy samara bermaydigan (zahirasi kam yoki metalga kambag'al bo'lgan) konlardan metallarni ajratib olish uchun qo'llaniladi. Bu usulning afzalligi - ma'lum chuqurlikda yotgan foydali qazilma qazib olinmaydi, maydalanib yanchilmaydi va boyitish ishlari bajarilmasdan to'g'ridan-to'g'ri yer ostida tanlab eritiladi. Metal eritmaga o'tgandan so'ng, uni yer yuzasiga chiqarib olinadi. Konning joylashishiga, rudaning tarkibiga, fizik xossalariga, suyuqlik o'tkazuvchanligiga qarab tanlab eritish jarayonlari har xil usullar bilan olib boriladi. Agar, eski shaxtada qolib ketgan (ko'pincha shaxtada 34-40 foiz metall shaxta devorlarida, ustun vazifasini bajarish uchun qoldirilgan rudalarda qolib ketadi) metallarni tanlab eritish uchun shaxtaning ma'lum bir qismi ikki tomonidan suyuqlik o'tmaydigan qilib berkitiladi va u eritma bilan to'ldiriladi. Ma'lum muddatdan so'ng eritma er yuzasiga tortib chiqarilib undan metall ajratib olinadi. Yangi, hali ishga tushirilmagan konlardan er ostida tanlab eritish jarayonini o'tkazish uchun ruda qatlamgacha

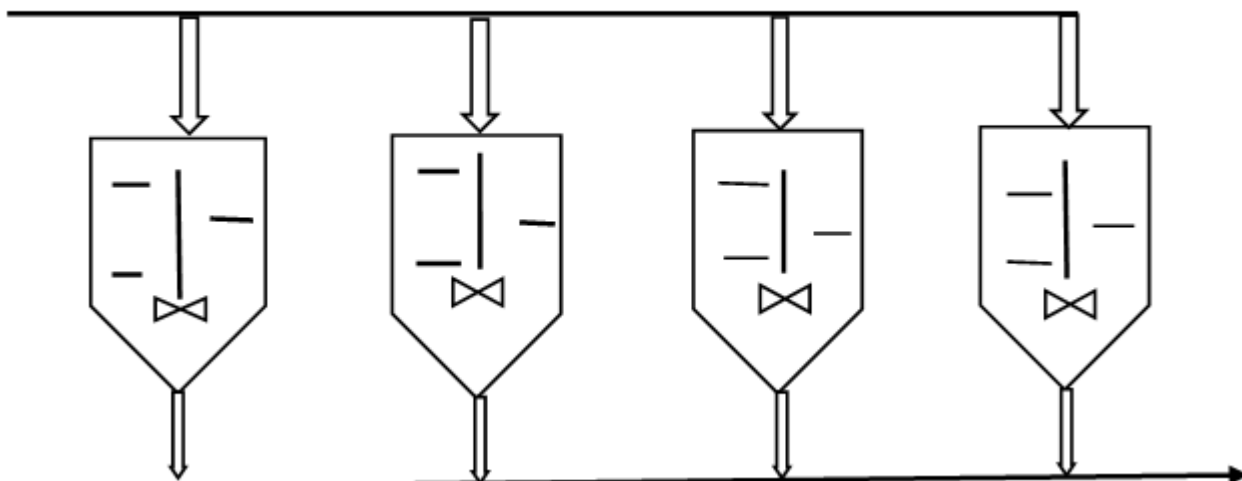
burg'ilab quduqlar qaziladi. Bir guruh qudqlar orqali ruda qatlamiga eritma yuborilib, boshqa guruh quduqlar orqali eritma tortib olinadi (4.9- rasm).

Tanlab eritish jarayonlari davriy va uzluksiz maromda olib borilishi mumkin. Davriy maromda olib boriladigan jarayonlari quyidagicha amalga oshiriladi. Reaksiyaga kirishuvchi moddalar ruda (boyitma) va eritma dastgohlarga bir vaqtda yuklanadi va ma'lum vaqt davomida ishlov berilgandan so'ng dastgoh mahsulotdan bo'shatiladi va dastgohga yangi turkum ashyolar to'ldiriladi.



**4.10-rasm. Yer osti tanlab eritish sxemasi;**

Boʻtana

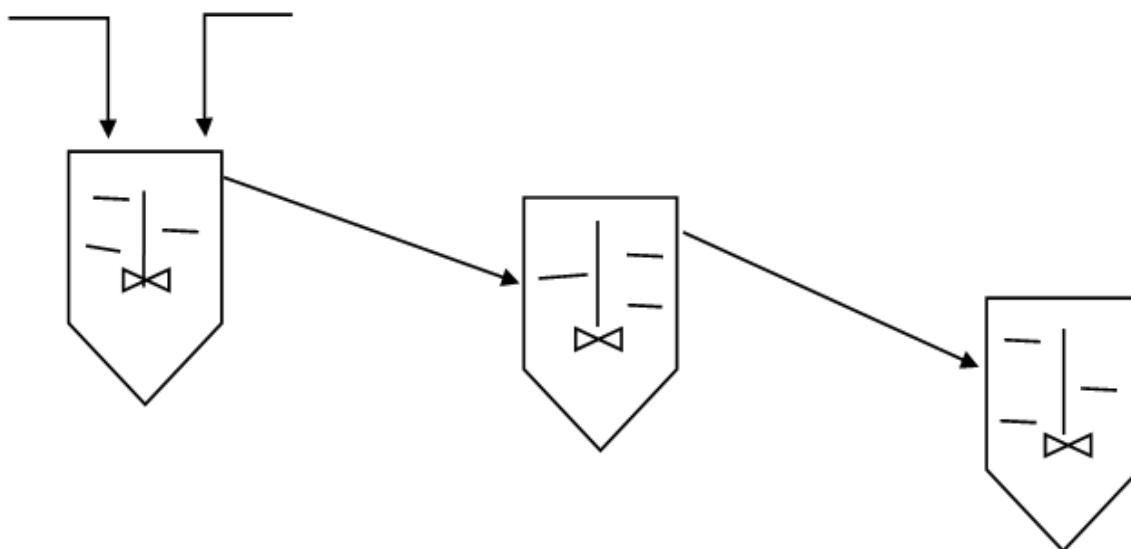


4.11-rasm. Uzluksiz maromda tanlab eritish sxemasi;

Bu usul ishlab chiqarish hajmi kichik boʻlgan korxonalarda qoʻllaniladi. Uzluksiz maromda olib boriladigan jarayonlarda qattiq ashyo bilan suyuqlik boʻtana holda tanlab eritish dastgohiga uzluksiz beriladi va mahsulotlar undan uzluksiz chiqarib turiladi. Buning uchun dastgohlar ketma-ket bir-biriga ulanadi:

Boʻtana

Reagent



4.12-rasm. Uzluksiz tanlab eritish sxemasi

Uzluksiz maromda qattiq ashyo bilan suyuqlikning harakatlanishiga qarab toʻgʻri oqimli yoki qarama-qarshi oqimli uzluksiz jarayonlarga boʻlinadi.

Toʻgʻri oqimli uzluksiz jarayonda ikkala faza ham birinchi dastgohga berilib oxirgisidan chiqarilib turiladi yaʼni qattiq modda bilan suyuqlik bir tomonga qarab harakatlanadi. Qarama-qarshi oqimli

jarayonlarda qattiq ashyolar birinchi dastgohga yuklanadi suyuqlik esa oxirgi dastgohga beriladi. Qattiq ashyolar birinchi dastgohdan oxirgisiga, eritma esa oxirgisidan birinchisiga qarab harakatlanadi. Bu usulda tanlab eritish samaraliroq o'tadi, chunki yangi eritma eruvchi modda konsentratsiyasi oz qolgan qattiq faza bilan uchrashadi va metalni eritmaga to'liq o'tishiga imkon beradi. Ammo qarama-qarshi oqimli jarayon murakkab bo'ladi, chunki har bir dastgohdan chiqqan mahsulotni fazalarga ajratishni taqazo qiladi.

#### **4.8. Tanlab eritishda qo'llaniladigan dastgohlar**

Aralashtirish usuli bilan asosan metalga boy bo'lgan ashyolar (boyitmalar) va tarkibida nodir metallar bo'lgan rudalar tanlab eritiladi. Buning uchun ashyolar- 1,0 mm dan - 0,074 mm ( hatto - 0,043mm) kattaligacha yanchiladi. Yanchilgan ashyo erituvchi suyuqlik bilan ma'lum nisbatlarda bo'tana tayyorlanishga beriladi. Bo'tana deb suyuq va qattiq moddalarning aralashmasi nomlanadi. Bo'tana holga keltirilgan xom ashyo tanlab eritish dastgohiga uzatiladi. Bo'tana dastgohda ma'lum muddat davomida (0,5 - (2-3) soat, hatto 24 soatgacha ) aralashtirilib turiladi.

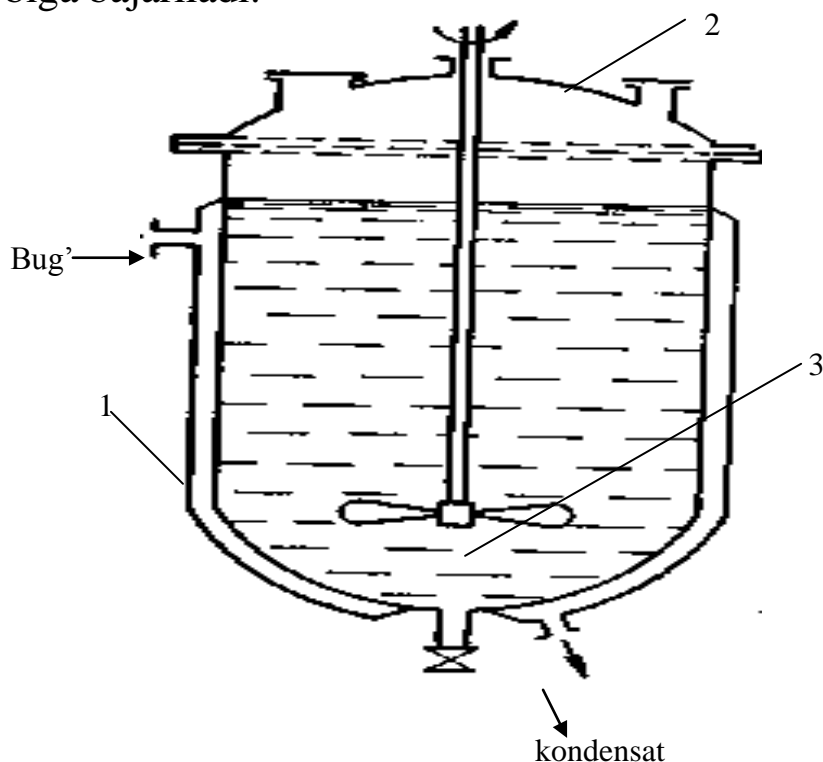
Metall to'liq eritmaga o'tgandan so'ng, erimay qolgan qoldiq eritimadan ajratiladi. Aralashtirish usuli bilan tanlab eritish sizdirib o'tkazish (chanda, uyumda, yer ostida) usuliga nisbatan bir qancha afzalliklarga ega. Jumladan, jarayon qisqa muddatda o'tadi; metall to'liq ajratib olinadi; tanlab eritish jarayonini boshqarish va shart- sharoitlar (harorat, bosim, muhit va hokazo) yaratishi osonlashadi. Ammo, maydalash, yanchish, jarayonlariga ko'p mexnat va mablag' sarflanadi.

Aralashtirish usuli bilan tanlab eritish uchun turli dastgohlardan foydalaniladi. Ulariing vazifasi eritilayotgan modda bilan erituvchining ma'lum vaqt davomida va maxsus sharoitda o'zaro muloqotda bo'lishini ta'minlashdan iborat. Tanlab eritish dastgohlari har xil shakldagi idishlar bo'lib, isitish, aralashtirish, yuklash va mahsulotlarni chiqarib yuborish moslamalarga ega.

Ular muhitga chidamli ashyolardan yasaladi. Tanlab eritish dastgohlarining eng ko'p tarqalgan turlaridan biri mexanik aralashtirgichli va bug' bilan isitishga mo'ljallangan reaktorlardir (4.13-rasm). U yumaloq tubli silindrsimon idish bo'lib, devorlari ikki qavat bo'ladi. Devorlar orasidagi bo'shliqqa bug' yuborilib, idish ichidagi ashyolar

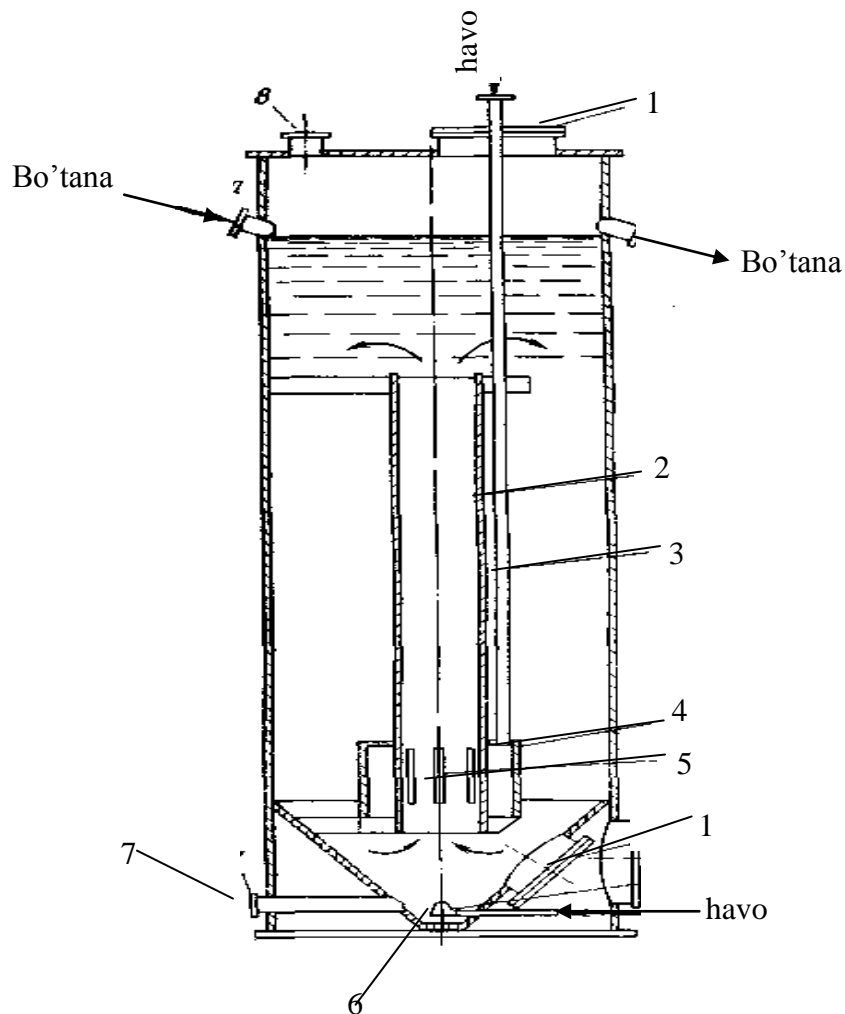


isitiladi. Aralashtirish idishning markaziga oʻrnatilgan parrakli oʻqning aylanishi hisobiga bajariladi.



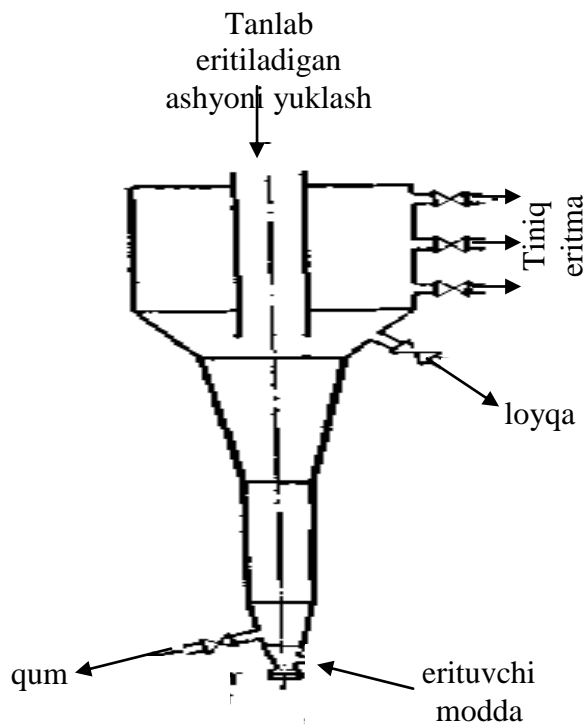
**4.13-rasm. Mexanik aralashtirgichli tanlab eritish reaktorining sxemasi;  
1- reaktorning tanasi; 2- reaktorning qopqoqi; 3- aralashtirgich.**

Qovushqoqligi uncha katta boʻlmagan suyuqliklarni aralashtirish uchun pnevmatik aralashtirish usulidan foydalaniladi. Buning uchun siqilgan havo ishlatiladi. Koʻpincha siqilgan havo yordamida aralashtirish uchun yerlift prinsiplaridan foydalaniladi (4.14-rasm). Havo kompressor yordamida markaziy quvurga beriladi. Markaziy quvurda havo, suyuqlik va qattiq zarrachalarning aralashmasi hosil boʻladi. Markaziy quvurdagi aralashmaning zichligi apparatning boshqa qismida joylashgan boʻtana zichligidan kam boʻladi. Zichliklar oʻrtasidagi farq natijasida butun massa harakatga keladi.



**4.14-rasm. Pnevmatik tanlab eritish dastgohi (pachuk);  
 1-ta'mirlash uchun tuynuk; 2- yerlift; 3- siqilgan havo berish quvuri; 4 – havo g'ilofi; 5 – teshikchalar; 6 – havo purkagich; 7 – dastgohni bo'shatish shtuseri; 8 – havo chiqarish quvuri.**

Keyingi vaqtda tanlab ertish samaradorligi yuqori bo'lgan «qaynovchi qatlam» deb ataluvchi dastgohlarda o'tkazilayapti (4.15-rasm). Bu dastgohda eritma bilan qattiq zarra bir-biriga nisbatan qarama-qarshi tomonga harakat qiladi. Dastgoh balandligi bo'yicha o'zgaruvchan o'lchamga ega bo'lganligi sabali, eritma pastki qismida katta tezlik bilan yuqoriga qarab harakatlanadi va dastgohning yuqori qismi keng bo'lganligi sababli eritmaning harakat tezligi kamayadi.



**4.15-rasm. “Qaynovchi qatlam” dastgohining sxemasi**

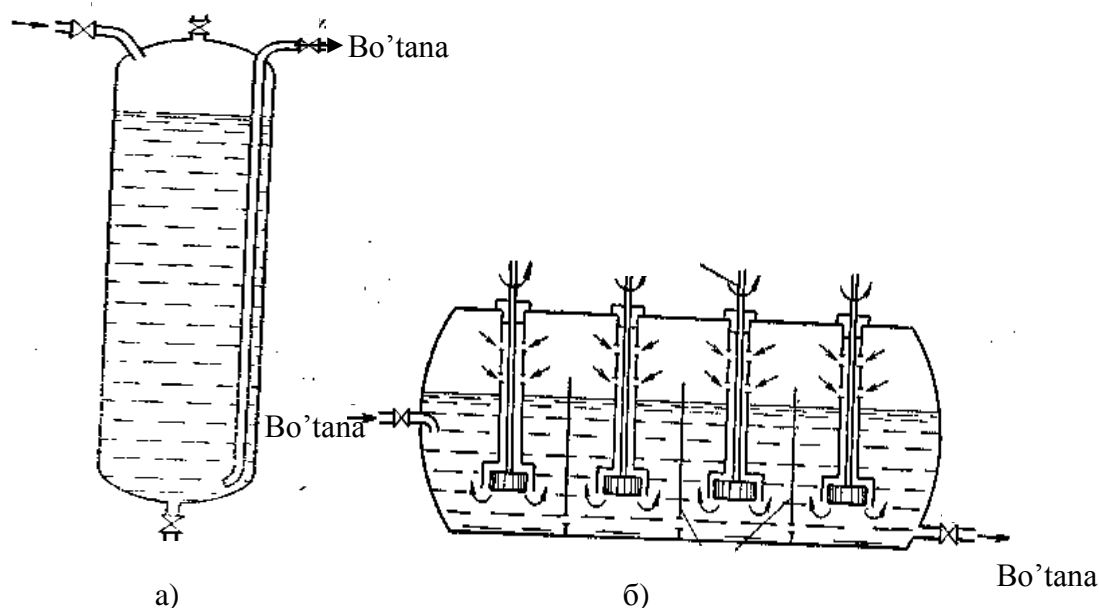
Yuqori haroratda va bosimda bajariladigan jarayonlar uchun zich yopiladigan idishlar - avtoklavlar ishlatiladi (4.16-rasm).

Avtoklavlarda o‘tkaziladigan jarayonlar ikki sinfga bo‘linadi:

- 1) gazsimon reagentlarsiz boradigan jarayonlar;
- 2) gazsimon reagentlar ishtirokida o‘tadigan jarayonlar.

Birinchi sinf jarayonlarini amalga oshirishda avtoklavning vazifasi jarayonni 100° C dan yuqori haroratda olib borishni ta’minlashdan iborat. Sistemani isitish va aralashtirish uchun esa avtoklavga bevosita bug‘ yuboriladi.

Ikkinchi tur jarayonlarni amalga oshirishda avtoklavning vazifasi gazsimon reagentlarning eritmadagi kerakli konsentratsiyasini ta’minlashdan va yuqori haroratni ushlab turishdap iborat. Sistemani isitish uchun bug‘dan, aralashtirish uchun esa bug‘ va gazsimon reagentdan foydalaniladi.

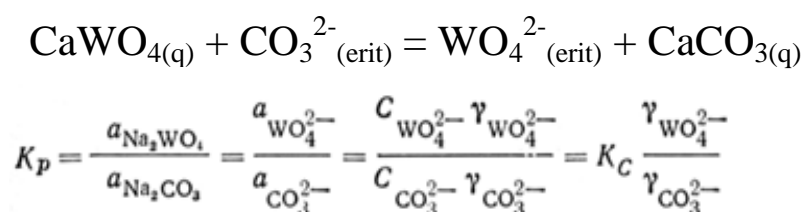


4.16-rasm. Avtoklavlar turi: a- vertikal avtoklav; b- gorizontali ko'p kamerali avtoklav:

#### 4.9. Tanlab eritish kinetikasi va mexanizmiga doir namunaviy masala va mashqlar yechish

**1-misol.** Avtoklavlarda soda eritmalari yordamida sheyelitni parchalanishi. Jarayon yangi qattiq faza hosil bo'lishi bilan boradigan almashuvchi reaksiyali tanlab eritish jarayonidir.

**Yechish.** Reaksiyaning tenglamasini va muvozanat konstantasini aniqlash tenglamasini quyidagicha ifodalash mumkin:



Reaksiyaga kirishuvchi moddalarning va reaksiya mahsulotlarining entalpiya va entropiya ko'rsatkichlaridan foydalanib, reaksiyaning muvozanat konstantasini aniqlaymiz:

**Birikmalarning termodinamik qiymatlari**

Birikma yoki ionlar	CaWO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	WO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CaCO <sub>3</sub>
-ΔH <sub>298</sub> kJ/mol	1683,6	677,1	1115,4	1206,9
S <sub>298</sub> kJ/(mol·K)	151,04	-56,9	62,76	92,46

Bu ma'lumotlardan foydalanib quyidagini olamiz:

$$\Delta H_{298}^{\circ} (I) = -1206,9 - 1115,4 + 677,1 + 1683,6 = 38,4 \text{ kJ/mol};$$

$$\Delta S_{298}^{\circ} (II) = 92,46 + 62,76 + 56,9 - 151,04 = 61,08 \text{ kJ}/(\text{mol}\cdot\text{K});$$

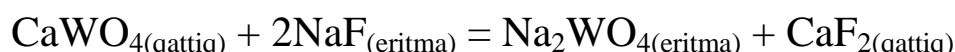
$$\Delta G^{\circ} = 38400 - 61,08T \text{ J/mol}; \Delta G_{298}^{\circ} = 20198 \text{ J/mol};$$

$$\lg K_{p298} = -20198 / (2,303 \cdot 8,314 \cdot 298) = -3,54;$$

$$K_{p298} = 2,9 \cdot 10^{-4}.$$

**2-misol.** Sheyelit mineralini natriy ftorid eritmasi bilan tanlab eritishda termodinamik zarur bo'lgan ortiqcha miqdorini hisoblang.

**Yechish.**



$$\tilde{K} = [\text{Na}_2\text{WO}_4 / [\text{NaF}]^2].$$

1 mol CaWO<sub>4</sub> to'liq parchalashni hisoblash uchun quyidagicha tenglama tuzamiz:

$$\tilde{K} = \frac{1/V}{[(r_{\text{NaF}} - 2)/V]^2} = \frac{V}{(r_{\text{NaF}} - 2)^2}; K_{\Sigma} = \tilde{K} / V$$

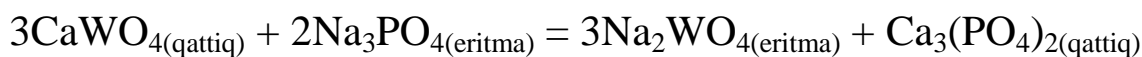
Natriy ftoridining 1 mol sheyelit uchun sarflanadigan termodinamik zaruriy miqdori quyidagiga teng bo'ladi:

$$r_{\text{NaF}}^{\circ} = 2 + (1/K_{\Sigma})^{1/2} = 2 + (V/\tilde{K})^{1/2}$$

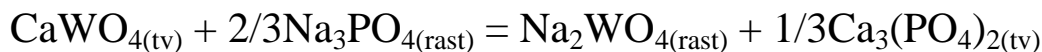
Bu yerda  $(V/\tilde{K})^{1/2}$  mol miqdor bo'yicha natriy ftoridining minimal darajada ortiqcha sarfi hisoblanadi.

**3-misol.** Sheyelit mineralini parchalash uchun kerak bo'ladigan natriy fosfatining termodinamik ortiqcha miqdorini aniqlash.

**Yechish.**



1 mol sheyelit uchun reaksiyaning koeffitsiyentlari qisqartirilsa quyidagi kelib chiqadi:



$$K^{\sim} = \frac{[\text{Na}_2\text{WO}_4]_2}{[\text{Na}_3\text{PO}_4]_3^2}$$

1 mol sheyelitni parchalangan bo'lsa va uning hajmi V litrga teng bo'lsa u holda muvozanat doimiyligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$K^{\sim} = \frac{1/V}{[(r_{\text{Na}_3\text{PO}_4} - \frac{2}{3})/V]^2} = \frac{V^{-\frac{1}{3}}}{(r_{\text{Na}_3\text{PO}_4} - \frac{2}{3})^{\frac{2}{3}}}; \text{ va } K_{\Sigma} = K^{\sim}/V^{-1/3}; K_{\Sigma} = K^{\sim} \cdot V^{1/3};$$

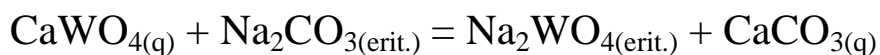
Bundan kelib chiqadiki, 1 mol sheyelitni parchalash uchun natriy fosfatning termodinamik zaruriy miqdorini quyidagi tenglik orqali ifodalaymiz:

$$r_{\text{Na}_3\text{PO}_4}^o = \frac{2}{3} + \left(\frac{1}{K_{\Sigma}}\right)^{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3} + \left[\frac{1}{K^{\sim} \cdot V^{\frac{1}{3}}}\right]^{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3} + \frac{1}{K^{\sim \frac{3}{2}} \cdot V^{\frac{1}{2}}} = \frac{2}{3} + \frac{1}{\sqrt{K^{\sim 3} \cdot V}}$$

Bu yerda  $\frac{1}{\sqrt{K^{\sim 3} \cdot V}}$  ifodasi 1 mol sheyelitni parchalash uchun sarflanadigan natriy ftoridining termodinamik ortiqcha miqdoridir.

**4-misol.** Volframni sheyelit mineralidan soda eritmasi ishtirokida tanlab eritish jarayonini termodinamika jihatidan tahlil qiling!

**Yechish.**



$$K^{\sim} = [\text{Na}_2\text{WO}_4]/[\text{Na}_2\text{CO}_3]$$

1 mol miqdorda parchalangan sheyelit va V litr eritma hajmidan quyidagini aniqlaymiz:

$$K^{\sim} = (1/V)/((r_{\text{soda}} - 1)/V) = 1/(r_{\text{soda}} - 1)$$

$$K_{\Sigma} = K^{\sim}$$

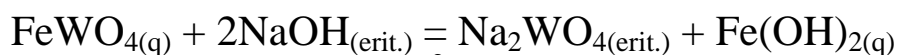
Termodinamik jihatdan 1 mol sheyelit uchun sarflanadigan soda miqdori quyidagicha:

$$r_{\text{soda}}^{\circ} = 1 + (1/K_{\Sigma}) = 1 + (1/K^{\sim})$$

Bundan kelib chiqadiki,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ning zaruriy miqdori 1 mol va minimal darajada (termodinamik jihatdan) ortiqcha sarflanish miqdori  $(1/K^{\sim})$  molni tashkil etadi.

**5-misol.** Ferberit mineralini NaOH eritmasi bilan tanlab eritish jarayonini termodinamika jihatidan tahlil qiling!

**Yechish.**



$$K^{\sim} = [\text{Na}_2\text{WO}_4]/[\text{NaOH}]^2$$

1 mol miqdordagi  $\text{FeWO}_4$  ni to'liq parchalanishini hisoblashda quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$K^{\sim} = (1/V)/[(\text{pH}_{\text{aOH}} - 2)/V]^2 = V/(\text{pH}_{\text{aOH}} - 2)^2 ;$$

$$K_{\Sigma} = K^{\sim}/V$$

Termodinamik jihatdan 1 mol ferberit uchun sarflanadigan NaOH miqdori quyidagicha:

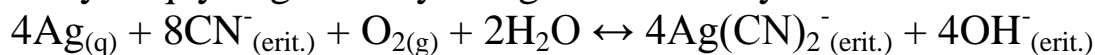
$$r_{\text{NaOH}}^{\circ} = 2 + (1/K_{\Sigma})^{1/2} = 2 + (V/K^{\sim})^{1/2}$$

Bundan ko'rinadiki, NaOH ning zaruriy miqdori 2 mol va minimal darajada (termodinamik) ortiqcha sarflanish miqdori  $(V/K^{\sim})^{1/2}$  molni tashkil etadi.

**6-misol.** Tug'ma (sof) kumushni sianid tuzlari eritmasi bilan havo kislorodi ishtirokida tanlab eritish. Bunda eritmaga  $\text{CN}^-$  ionlari gidrolizlanib uchuvchan HCN kislotasi hosil bo'lmasligi uchun eritmaga himoyalovchi ishqorlar (ohak suti –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) eritmaning vodorod ko'rsatkichi  $\text{pH} = 12$  ga yetgunga qadar qo'shiladi.

**Yechish.**

Jarayon quyidagi reaksiya tenglamasi bilan yoziladi:



Reaksiyaning konsentratsiyaga bog'liq bo'lgan muvozanat doimiysi:

$$K^{\sim} = [\text{Ag}(\text{CN})_2^-]^4 \cdot [\text{OH}^-]^4 / ([\text{CN}^-]^8 \cdot P_{\text{O}_2}) ;$$

Berilgan tenglamada qo'llanilgan  $\text{OH}^-$  ionlarining konsentratsiyasi va kislorodning bosimi eritilgan kumushning miqdoriga bog'liq emas. 1 mol  $\text{Ag}^+$  V litrda eritilganda reaksiyaning muvozanat doimiysi quyidagiga teng bo'ladi:

$$K^{\sim} = ((1/V)^4 \cdot [\text{OH}^-]^4) / ((r_{\text{CN}} - 2)/V)^8 \cdot P_{\text{O}_2} = (V^4 \cdot [\text{OH}^-]^4) / ((r_{\text{CN}} - 2)^8 \cdot P_{\text{O}_2});$$

$$K_{\Sigma} = K^{\sim} \cdot P_{\text{O}_2} / (V^4 \cdot [\text{OH}^-]^4)$$

Termodinamik jihatdan sianidning zaruriy miqdori:

$$r_{\text{CN}}^{\circ} = 2 + (1/K_{\Sigma})^{1/8} = 2 + (V \cdot [\text{OH}^-])^{1/2} / (K^{\sim} \cdot \text{Po}_2)^{1/8}$$

Reaksiya uchun minimal termodinamik ortiqcha miqdori 1 mol kumush uchun  $(V \cdot [\text{OH}^-])^{1/2} / (K^{\sim} \cdot \text{Po}_2)^{1/8}$  molni tashkil etadi.

**7-masala.** Kimyoviy reaksiya eritmada  $A+B \rightarrow C$  tenglamaga muvofiq boradi. Agar A moddaning boshlang'ich konsentratsiyasi 1,2 mol/l bo'lib, reaksiya boshlanganidan 40 sek o'tgandan so'ng uning konsentratsiyasi 0,65 mol/l bo'lgan bo'lsa, shu reaksiyaning o'rtacha tezligini toping.

**Yechish:** O'rtacha tezlikni topish formulasiga qo'yib yechiladi.

$$\bar{v} = \frac{c_1 - c_2}{\Delta\tau} = \frac{1,2 - 0,65}{40} = 0,01375 \text{ mol/l}\cdot\text{s}.$$

**Javob:** reaksiyaning o'rtacha tezligi 0,01375 mol/l·s ga teng.

**8-masala.** Kimyoviy reaksiya eritmada  $A+B \rightarrow C$  tenglama bo'yicha sodir bo'ladi. Agar A moddaning boshlang'ich konsentratsiyasi 1,0 mol/l bo'lib, reaksiya boshlanganidan 15 min o'tgandan so'ng A moddaning konsentratsiyasi 0,85 mol/l ga kamaygan bo'lsa, shu vaqtda B moddaning konsentratsiyasi va ushbu reaksiyaning o'rtacha tezligi qanday bo'ladi?

**Yechish:** Reaksiya  $A+B \rightarrow C$  tenglamaga muvofiq bo'lganligi uchun A modda konsentratsiyasi qancha kamaysa, B modda konsentratsiyasi ham shunchaga, ya'ni 0,85 mol/l ga kamayadi va eritmada B modda qolmaydi.

$$\bar{v} = \frac{c_1 - c_2}{\Delta\tau} = \frac{0,85}{15} = 0,0567 \text{ mol/l}\cdot\text{min}.$$

**Javob:** reaksiyaning o'rtacha tezligi 0,0567 mol/l·s ga teng.

**9-masala.** Hajmi 8 l bo'lgan yopiq idishda 1 mol  $\text{SO}_2$  va yetarlicha kislorod bo'lgan. Reaksiya boshlanganidan 6 sek vaqt o'tgandan keyin  $\text{SO}_2$  0,5 mol miqdorga kamaygan. Reaksiyaning o'rtacha tezligi topilsin.

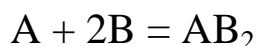
**Yechish:** 6 sek da modda 0,5 mol miqdorga kamaygan bo'lsa:  $[\text{SO}_2] = 0,5/8 = 0,0625$  bo'ladi va  $0,0625/6 = 0,0104$  mol/l·s.

**Javob:** reaksiyaning o'rtacha tezligi 0,0104 mol/l·s ga teng.

**10-masala.** A va B moddalar ta'sirlashganda  $\text{AB}_2$  tarkibli modda hosil bo'ladi. Agar moddalar konsentratsiyalari ikki marta oshirilsa, reaksiya tezligi necha marta ortadi?

**Yechish:** Jarayonning kimyoviy reaksiyasi quyidagicha:





Reaksiyaning dastlabki tezligi quyidagicha aniqlanadi:

$$v_1 = k_1[A][B]^2$$

Konsentratsiya 2 marta oshirilganda esa:

$$v_2 = k_1[2A][2B]^2$$

Shular asosida reaksiya tezligi

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{k_1[2A][2B]^2}{k_1[A][B]^2} = 8$$

marta ortishini topamiz.

**Javob:** reaksiyaning tezligi 8 marta ortadi.

**11-masala. Moddaning 10°C dagi parchalanish reaksiyasining tezlik konstantasi  $k_{10}=1,08 \cdot 10^{-4}$ , 60 °C dagi parchalanish reaksiyasining tezlik konstantasi  $5,484 \cdot 10^{-2}$  bo'lsa, shu reaksiyaning 30 °C da parchalanish tezlik konstantasi va aktivlanish energiyasini toping?**

**Yechish:** Arrenius tenglamasi asosida quyidagi tenglamalar sistemasini hosil qilamiz:

$$\begin{cases} 2,303 \lg k_{T_1} = \frac{A}{T_1} + B \\ 2,303 \lg k_{T_2} = \frac{A}{T_2} + B. \end{cases}$$

Birinchi tenglamani ikkinchisidan ayirsak:

$$2,303 \lg \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} = A \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

tenglama paydo bo'ladi. Berilgan qiymatlar asosida ushbu tenglamadan A ni topish mumkin ( $T=T_0+t$ ):

$$\lg \frac{5,484 \cdot 10^{-2}}{1,08 \cdot 10^{-4}} = \left( \frac{A}{2,303} \right) \left( \frac{1}{333} - \frac{1}{283} \right),$$

bundan  $A=11744$ . Olingan A qiymatni sistemadagi tenglamalardan biriga qo'yib, B ni topamiz:

$$2,303 \lg(1,08 \cdot 10^{-2}) = -\frac{11744}{283} + B; \quad B=32,349.$$

Reaksiya tezligining 30 °C dagi konstantasini topish uchun tenglamalardan biriga  $T=273+30=303$  ni qo'yamiz:

$$2,303 \lg k_{30} = -\frac{11744}{303} + 32,349 = -38,759 + 32,349 = -6,41$$

yoki  $k_{30} = 1,647 \cdot 10^{-3}$

Aktivlanish energiyasini formula yordamida topiladi:

$$\lg \frac{5,484 \cdot 10^{-2}}{1,08 \cdot 10^{-4}} = \frac{E_a}{8,314 \cdot 2,303} \left( \frac{1}{283} - \frac{1}{333} \right); E_a = 97,6 \text{ kJ/mol.}$$

**Javob:** aktivlanish energiyasi 97,6 kJ/mol ga teng.

**12-masala.** Oltinni sianid tuzlari ishtirokida tanlab eritish reaksiyasi quyidagicha:  $4\text{Au} + 8\text{NaCN} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Na}[\text{Au}(\text{CN})_2] + 4\text{NaOH}$ . Agar oltinni qattiq holatda deb faraz qilib,  $\text{Na}[\text{Au}(\text{CN})_2]$  ning muvozanat holatdagi konsentratsiyasi 0,4 mol/l, NaOH ning muvozanat konsentratsiyasi 0,4 mol/l hamda NaCN ning muvozanat konsentratsiyasi 0,3 mol/l bo'lsa, sistemaning muvozanat konstantasi 1,02 ga teng bo'ldi. Shu sistemada kislorodning parsial bosimi qanchaga teng bo'lgan?

**Yechish.** Berilgan:  $[\text{Na}[\text{Au}(\text{CN})_2]] = 0,4 \text{ mol/l}$ ;  $[\text{NaOH}] = 0,4 \text{ mol/l}$ ;  $[\text{NaCN}] = 0,3 \text{ mol/l}$ ;  $K_M = 1,02$ ;  $P(\text{O}_2) = ?$

$$K_{\text{muv}} = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} = \frac{[0,4]^4 \cdot [0,4]^4}{[0,3]^8 \cdot [P_{\text{O}_2}]^1} = \frac{0,0256 \cdot 0,0256}{0,00006561 \cdot [P_{\text{O}_2}]} = 1,02$$

$$P_{\text{O}_2} = \frac{0,0256 \cdot 0,0256}{0,00006561 \cdot 1,02} = 9,79 \text{ kPa}$$

**Javob:** Sistemada kislorodning parsial bosimi  $P_{\text{O}_2} = 9,79 \text{ kPa}$  ga teng.

**13-masala.** Oltinni “zar suvi” ishtirokida tanlab eritish reaksiyasi quyidagicha:  $\text{Au} + 3\text{HCl} + \text{HNO}_3 = \text{AuCl}_3 + \text{NO} \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ . Agar oltinni qattiq holatda deb faraz qilib,  $\text{AuCl}_3$  ning muvozanat holatdagi konsentratsiyasi 0,5 mol/l, HCl ning muvozanat konsentratsiyasi 0,6 mol/l hamda  $\text{HNO}_3$  ning muvozanat konsentratsiyasi 0,2 mol/l bo'lsa, sistemaning muvozanat konstantasi 2,5 ga teng bo'ldi. Shu sistemada NO (azot (II)-oksidi)ning parsial bosimi qanchaga teng bo'lgan?

**Yechish.** Berilgan:  $[\text{AuCl}_3] = 0,5 \text{ mol/l}$ ;  $[\text{HCl}] = 0,6 \text{ mol/l}$ ;  $[\text{HNO}_3] = 0,2 \text{ mol/l}$ ;  $K_M = 2,5$ ;  $P(\text{NO}) = ?$

$$K_{\text{muv}} = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} = \frac{[0,5]^1 \cdot P_{\text{NO}}}{[0,6]^3 \cdot [0,2]^1} = \frac{0,5 \cdot P_{\text{NO}}}{0,216 \cdot 0,2} = 2,5$$

$$P_{NO} = \frac{0,216 \cdot 0,2 \cdot 2,5}{0,5} = 0,216 \text{ KPa}$$

**Javob:** Sistemada NO ning parsial bosimi  $P_{NO} = 0,216 \text{ kPa}$  ga teng.

**14-masala.**  $aA + bB = cC + dD$  reaksiya uchun umumiy ravishda har bir reagentning miqdoriga bog'liq bo'lgan tezlik tenglamalarini tuzing!

**Yechish:** Bunda har bir dastlabki reagentlarning vaqt birligi ichidagi sarfi manfiy ishora bilan, hosil bo'lgan moddalarning tezligi esa musbat ishora bilan beriladi.



reaksiya uchun umumiy tenglama

$$\text{Tezlik} = - \frac{1}{a} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = - \frac{1}{b} \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = + \frac{1}{c} \frac{\Delta[C]}{\Delta t} = + \frac{1}{d} \frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

**2-masala.**  $aA + bB = cC + dD$  reaksiya uchun nolinci, birinchi va ikkinchi tartibda oqib o'tish qonuniyatlarining tenglamalarini tuzing.

**Yechish:** Nolinci tartibli tezlik tenglamasi quyidagicha topiladi:

$$\text{rate} = - \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = k [A]^0$$

$$[A]_t - [A]_0 = - kt$$

Birinchi tartibli tezlik tenglamasi quyidagicha topiladi:

$$\text{rate} = - \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = k [A]$$

$$\ln \frac{[A]_0}{[A]_t} = kt \quad \ln [A]_0 - \ln [A]_t = kt$$

Ikkinchi tartibli tezlik tenglamasi quyidagicha topiladi:

$$\text{rate} = - \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = k [A]^2$$

$$\frac{1}{[A]_t} - \frac{1}{[A]_0} = kt \quad \frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0}$$

### ***Mustaqil yechish uchun masala va mashqlar***

1. Kimyoviy reaksiya eritmada  $A+B \rightarrow C$  tenglamaga muvofiq borsa va A moddaning dastlabki konsentratsiyasi 0,98 mol/l, B moddaniki 0,82 mol/l bo'lib, 20 min dan so'ng B moddaning konsentratsiyasi 0,12 mol/l bo'lgan, A moddaning konsentratsiyasi qanchaga kamayadi va ushbu reaksiyaning o'rtacha tezligi qanday bo'ladi?

2. Reaksiyaga kirishayotgan moddalardan birining boshlang'ich konsentratsiyasi 1,6 mol/l bo'lib, 5 sek o'tgandan so'ng uning konsentratsiyasi 0,6 mol/l bo'lsa, reaksiyaning o'rtacha tezligi qanday bo'ladi?

3. Reaksiyaning harorat koeffitsiyenti 2 bo'lsa, harorat 50 °C ga ortganda reaksiya tezligi necha marta ortadi?

4. Muvozanat holatda turgan  $A+B=C+D$  sistemadagi moddalarning muvozanat holatdagi konsentratsiyalari mos ravishda 5; 6; 5; 3 mol/l ni tashkil etadi. Shu sistemaning muvozanat doimiysini toping.

5.  $2SO_2 + O_2 = 2SO_3$  sistemada moddalarning parsial bosimlari mos ravishda 1,5:2:3 kabi nisbatda bo'lsa, reaksiyaning muvozanat konstantasini toping.

6.  $HNO_3 + KOH = KNO_3 + H_2O$  reaksiyada, reaksiyaga kirishuvchi moddalarning dastlabki konsentratsiyalari mos ravishda 4; 5 mol/l ga teng. Agar reaksiya natijasida KOH ning 75 % qismi sarflangan bo'lsa, sistemada muvozanat qaror topgandan so'ng, muvozanat doimiysi qanchaga teng bo'ladi?

7.  $CS_2 + 3O_2 = CO_2 + 2SO_2$  reaksiyada moddalarning muvozanat holatdagi konsentratsiyalari mos ravishda  $[CS_2] = 0,6$  mol;  $[O_2] = 0,7$  mol;  $[CO_2] = 0,4$  mol ga teng bo'lsa, muvozanat holatdagi  $SO_2$  ning konsentratsiyasini hamda  $CS_2$  va  $O_2$  larning dastlabki konsentratsiyalarini aniqlang.

### ***Savol va topshiriqlar***

1. Tanlab eritish tezligiga qanday omillar ta'sir etadi?
2. Gazlar ishtirokida boradigan tanlab eritish jarayonlariga misollar keltiring!
3. Tashqi va ichki diffuziya qonuniyatlarini tushuntirib bering!
4. Limitlovchi bosqich deganda nimani tushunasiz?

5. Durlik panjarasidagi nuqsonlarni ko'paytirish uchun gidrometallurgiyada qanday tadbirlar amalga oshiriladi?

6. Tanlab eritish usullariga misollar keltiring!

7. Tanlab eritish dastgohlariga misollar keltiring!

8. Tanlab eritish tezligini oshirish uchun qanday chora-tadbirlarni amalga oshirish kerak?

9. Moddalarni tanlab eritishdagi zarur bo'ladigan termodinamik ortiqcha miqdor deganda nimani tushunasiz?

10. Sheyelitni avtoklavlarda parchalash jarayoni qanday afzalliklarga ega?

11. Sheyelitli minerallarni tanlab eritishda sarflanadigan reagentlarning ortiqcha miqdori qanday sabablarga ko'ra ko'payib ketishi mumkin?

12. Reagentning minimal darajada ortiqcha sarfi deganda nimani tushunasiz?

13. Kimyoviy reaksiyaning mexanizmi deganda nimani tushunasiz?

14. Metallurgik jarayonlari qanday tartiblarga bog'liq?

15. Diffuzion va kinetik tartibda oqib o'tadigan jarayonlar bir-birdan nimasi bilan farq qiladi?

16. Aralash tartibda oqib o'tadigan reaksiyalarning tezligini oshirish maqsadida qanday chora-tadbirlarni amalga oshiriladi?

## 5-BOB. TANLAB ERITISH TEZLIGINI OSHIRISH CHORALARI

### 5.1. Tanlab eritish jarayonlarini jadallashtirish

Ruda xomashyosini gidrometallurgik usuli bilan qayta ishlashda tanlab eritish jarayonlari katta energetik va mehnat sarfini talab etadi. Aynan tanlab eritish jarayonlari gidrometallurgik qayta ishlash sxemasining umumiy iqtisodini belgilab beradi. Shu sababdan tanlab eritish jarayonining samaradorligi oshirish juda muximdir.

Tanlab eritish jarayonini qaysi tomonga jadallashtirish limitlovchi bosqich bilan aniqlanadi. Limitlovchi bosqich tashqi diffuziya ham bo'lishi mumkin. Bu bosqichda tanlab eritish tezligi suyuqlikni tanlab eritiladigan yuzaga nisbatan harakat tezligi bilan belgilanadi. Bu bosqichning qonuniyati quyidagicha belgilanadi:

$$J = (D/S_d)S_0$$

Jarayonni tezlashtirish suyuqlikning tezligini oshirish bilan amalga oshiriladi. Aralashtirishda diffuzion qatlamning qalinligi  $S$  ga kamayadi. Tashqi diffuziya bilan limitlangan tanlab eritish bosqichini tezlashtirishning eng keng tarqalgan usuli – bu mexanik yoki pnevmatik aralashtirgichli dastgohlarda tanlab eritish.

Limitlovchi bosqich - ichki diffuziya bo'lishi ham mumkin. Tanlab eritish tezligi qattiq mahsulotning qalinligiga, tuzilishiga va zichligiga bog'liqdir. Ichki diffuzion sohada boradigan tanlab eritish jarayonining tezligi aralashtirish tezligiga va haroratiga bog'liq bo'lmaydi.

Ichki diffuzion qarshilikning quyidagi uchta ko'rinishi mavjud:

- 1) tanlab eritish natijasida tanlab eritiladigan mineral yuzasida hosil bo'lgan;
- 2) tanlab eritiladigan zarrachalarni qurshab olgan;
- 3) tanlab eritish.

Metall tarkibli xomashyolarni gidrometallurgik sxemalar bo'yicha qayta ishlashda, eng qiyin va ko'p sarf harajatlarni talab etadigan jarayonlarga, xomashyo tarkibidagi metallni eruvchan ko'rinishga o'tkazish va uni tanlab eritmaga o'tkazish jarayonlar, qimmatbaho moddalarni yakuniy mahsulotga ajratib olish va natijada gidrometallurgik qayta ishlashning iqtisodini belgilaydi.

Shu sababdan birinchi navbatda yuqorida keltirilgan jarayonlarning samaradorligini oshirish kerak.

Tanlab eritiladigan materialning solishtirma yuzasini oshirish.

Dispers materialning solishtirma yuzasi, materialning massa birligida "II" zarralar soni va har bir zarrachaning yuzasi bilan aniqlanadi  $S_0 = nS$  o'z navbatida, zarrachalar soni bitta zarrachaning massasiga "g" bilan bog'liq, massa va yuza esa o'z navbatida zarrachalar o'lchamining "a" kub kvadratiga proporsionaldir:

$$n = 1/g, gNa^3, S \sim a^2, \text{ ya'ni } S_0 \sim n^1/a.$$

Shunday qilib, solishtirma yuzaning oshishi tanlab eritiladigan materialning yanchilishi olib keladi. Yangi tanlab eritishni tezlashtirishga olib keladigan yaxshi usul bo'lgani bilan bir qatorda, ko'p energiya sarfini talab etadi. Shu bilan bir qatorda juda mayin zarrachalar mavjudligida metall tarkibli eritmalarni qattiq erimagan zarrachalardan ajratib olish qiyinlashadi.

Yuqorida aytib o'tilganidek, ko'p jinsli jarayonning tezligi uning eng sekin ketadigan bosqichining tezligi bilan o'lchanadi. Shuning uchun tanlab eritish jarayonini tezlashtirish uchun, uning qaysi bosqichi eng sekin ketayotganligini aniqlash zarur va shunga qarab, chora-tadbirlar belgilash kerak. Masalan, tanlab eritish jarayonida eng sekin boradigan bosqich tashqi diffuziya bo'lsin.

Tashqi diffuziya sohasida boradigan jarayonning belgisi - jarayon tezligi aralashtirish tezligiga bog'liqligidir va jarayonning qonuniyati  $V = (D/\delta)C_0$  ifoda bilan aniqlanadi. Bundan ko'rinib turibdiki, qattiq jismga nisbatan suyuqlikning tezligi qancha yuqori bo'lsa, diffuzion qatlam qalinligi  $\delta$  shuncha yupqa bo'ladi va tanlab eritish tezligi shuncha yuqori bo'ladi.

Tashqi diffuziya sohasida borayotgan tanlab eritishning tezligini oshirishning eng keng tarqalgan usullaridan biri jarayonni aralashtirgichli (mexanik yoki siqilgan havo yordamida) reaktorlarda olib borishdir. Ammo bu apparatlarning samarasi chegaralangan. Chunki aralashtirish tezligi ma'lum darajadan oshgandan keyin qattiq zarrachalar suyuqlik oqimi bilan birga harakatlana boshlaydi. Diffuzion qatlam qalinligi ozgarmaydi.

Tanlab eritish «qaynovchi qatlam» usuli bilan olib borilsa jarayon tezligini ancha oshirish mumkin.

Bu usulda tanlab eritish balandligi bo'yicha o'zgaruvchan o'lchamga ega bo'lgan kollonalarda olib boriladi. Yuqori tezlik bilan aralashtirish va qattiq zarracha bilan suyuqlik harakatining yo'nalishi qarama-qarshi bo'lganligi sababli diffuzion qatlam qalinligi kamayadi va jarayon tezligi oshadi.

Tanlab eritishning tezligini oshirish yo‘llaridan biri jarayonni ilgari qaytma (pulsatsiya) harakat hosil qiluvchi apparatlarda olib borilishidir. Sizib o‘tish (perkolyatsiya) usuli bilan olib borilayotgan tanlab eritish jarayonining tezligini oshirish uchun, qattiq modda ustidagi eritmani tomchilatib turuvchi moslama o‘rnatish ancha samara beradi. Agar chegaralovchi bosqich ichki diffuziya bo‘lsa, tanlab eritish tezligi asosan reaksiya natijasida zarrachalar sirtida hosil bo‘lgan mahsulotning zichligiga va qalinligiga bog‘liq bo‘ladi. Vaqt o‘tishi bilan mahsulotning qalinligi oshib borishi sababli jarayonning tezligi sekinlashib boradi.

Bu jarayon quyidagi ifodaga bo‘ysunadi

$$V = (D_k / \delta_k) C_o = K / \sqrt{\tau}$$

Ichki diffuziya sohasida borayotgan jarayon tezligi aralashtirish tezligiga va haroratga bog‘liq bo‘lmaydi.

Ichki diffuziya tezligini sekinlashtiruvchi uchta to‘siq bo‘lishi mumkin:

1) kimyoviy reaksiya natijasida hosil bo‘lgan qattiq modda qarshiligi;

2) aynan shu sharoitda erimaydigan, ammo erishi kerak bo‘lgan modda zarrachalarini qurshab turgan jins qatlami qarshiligi;

3) erishi kerak bo‘lgan zarracha sirtidagi tabiiy erimaydigan parda qarshiligi.

Har qanday sharoitda ham ichki diffuziya tezligini oshirish uchun tanlab eritilayotgan materialni o‘ta maydalash (kukunlash) samara beradi. Zarracha qancha kichik bo‘lsa, hosil bo‘lgan qattiq mahsulotning qalinligi shuncha kichik bo‘ladi. Zarracha maydalanganda uni o‘rab turgan jinslar ham maydalanib erishi kerak bo‘lgan modda yuzasi ochiladi. Bundan tashqari, ichki diffuziya sohasida borayotgan tanlab eritish jarayonining tezligini oshirish uchun maydalash jarayoni bilan tanlab eritish bir apparatda va bir vaqtda olib borilsa samarali bo‘ladi. Materialga akustik ishlov berish ham ancha ijobiy natijalar berishi mumkin.

Jarayonning tezligini chegaralovchi bosqich kimyoviy reaksiya tezligi bo‘lsa, tanlab eritish tezligi asosan haroratga bog‘liq bo‘lib (faollashtirish energiyasi 40 - 300 kJ/mol), aralashtirishning usuliga va tezligiga bog‘liq bo‘lmaydi. Bunday hollarda tanlab eritish yuqori haroratlarda olib borilish kerak. Ba’zi hollarda qonikarli tezlikka erishish uchun, tanlab eritish eritmaning qaynash haroratidan yuqori haroratda-avtoklav sharoitda olib boriladi.



Kimyoviy reaksiyaning tezligini oshirish uchun qattiq jismni mexanik va termik usullar bilan faollantirish yo‘llaridan foydalaniladi. Bundan tashqari, reaksiya tezligini katalizatorlar yordamida yoki eritmaga har xil kimyoviy moddalar qo‘shish yo‘li bilan oshirish mumkin.

Agar jarayon muvozanat sharoitida borayotgan bo‘lsa, eritmadagi metall konsentratsiyasining ortishi tanlab eritish tezligini ancha sekinlashtiradi. Bunday hollarda jarayon sorbentlar ishtirokida olib boriladi. Metall ionlari sorbentlarga yutilishi natijasida, uning eritmadagi konsentratsiyasi muvozanat sharoitidagiga nisbatan ancha kamayadi va tanlab eritish tezligini oshiradi.

Kon mahsulotlaridan kerakli metalni tanlab eritmaga o‘tkazish uchun ikki xil usuldan foydalaniladi:

1. metalli ashyolar qatlamidan erituvchi modda eritmasi ma’lum tezlik bilan sizdirib o‘tkaziladi (bu usulni oddiy qilib sizdirib o‘tkazish deb ataladi);

2. juda mayda yanchilgan ashyolar eritma bilan ma’lum vaqt davomida majburiy aralashtiriladi. Bu usul aralashtirish usuli deb ataladi.

Birinchi usulga: chanda, uyumda, yer ostida tanlab eritish usullari kiradi.

Ikkinchi usul aralashtirish uslubiga qarab quyidagicha tasniflanadi: mexanik aralashtirish, murakkab aralashtirish.

## **5.2. Qattiq jismni mexanik va harorat (termik) ta’sirida faollashtirish usullari**

### *Qattiq jismni mexanik faollashtirish*

Qattiq jism yangilanganda uning solishtirma yuzasi oshadi, deformatsiyalanadi va durlik panjarasi qisman buziladi.

Bu esa dislokasiya konsentratsiyasini va panjara nuqsonlarining oshib borishiga olib keladi.

Qattiq jismlarni yanchish kinetikasini o‘rganish shuni ko‘rsatadiki, maoddaning solishtirma yuzasi va zarrachalar o‘lchamining o‘zgarishi vaqtga bog‘liq bo‘lib, uch bosqichda borar ekan:

1) Yanchish jarayonining dastlabki daqiqalarida moddaning zarrachalari kichiklasha boradi va buning natijasida solishtirma yuza oshib boradi;

2) Qattiq jism ma'lum darajada kukunlashib borgandan so'ng Van-der-Vaals kuchlari ta'sirida zarrachalar bir-biri bilan yopishib ularning o'lchalari kattalashadi, solishtirma yuza esa kamayib boradi;

3) Ma'lum vaqtdan so'ng, yanchish qancha davom ettirilmasin, zarrachaning o'lchalish va solishtirma yuzasi o'zgarmaydi, bunday holat "yanchish muvozanati" deb ataladi;

Yanchish jarayonida solishtirma yuza ma'lum chegaraviy ko'satkichga ( $\Delta G_{\text{yuza}} = \text{const}$ ) ega bo'lsa ham, yanchish davom etadi. Shu sababli, moddaning umumiy ortiqcha energiyasi oshib boradi. Bu jarayon modda to'liq amorf holatga o'tgunga qadar davom etadi.

Mexanik usulda faollantirilgan ashyolarni tanlab eritish uchun ikkita yo'li bor:

- 1) qattiq material oldin o'ta yanchiladi, so'ngra tanlab eritiladi;
- 2) yanchilish va tanlab eritish bir apparatda amalga oshiriladi.

Ikkinchi usul mexanokimyoviy reaksiya deb ataladi. Mexanokimyoviy usul ancha samarali hisoblanadi, chunki yangi yanchilgan modda yuzasi eskirib ulgurmasdan reaksiyaga kirishadi. Reaksion yuza doimo yangilanib turadi, bundan tashqari, sistemaga doimo mexanik energiya berilib turilganligi (taxminlarga ko'ra, parchalovchi jism parchalanuvchi modda bilan to'qnashgan joyda harorat 1000 °C gacha ko'tariladi) hamda zarrachalar doimo zo'riqish holatda bo'lganligi sababli ularning reaksiyaga kirishish qobiliyati yuqori bo'ladi.

Mexanokimyoviy usul yuqori samarali bo'lishiga qaramay, metallurgiyada kam qo'llaniladi. Chunki mexanokimyoviy reaksiyani amalga oshirish murakab, ayniqsa, tanlab eritish jarayoni yuqori haroratda va bosimda (avtoklavda) olib borilishi kerak bo'lsa maxanokimyoviy usulni qo'llab bo'lmaydi.

### *Qattiq jismni ultratovush yordamida faollashtirish*

Tebranishlar chastotasi 20 kGs yuqori bo'lgan to'lqinlar ultratovush ta'sir etsa, tanlab eritish jarayoni samarali o'tadi.

Suyuqlik bilan qattiq jism zarrachalari aralashmasiga (bo'tana) ultratovush yo'naltirilsa, u quyidagicha ta'sir etadi: to'lqin zarracha yuzasiga borib urilganda zarrachani o'rab turgan suyuqlik "yoriladi" va zarrachaning juda kichik yuzasida bir necha ming atmosfera bosim hosil bo'ladi. Katta bosim ostidagi suyuqlik shunday katta tezlik bilan kengayadiki, kuchli zarbali to'lqin hosil qiladi.

Keyingi yarim davriy to‘lqin kelganda “yorilgan” suyuqlik qatlami yopilayotgan bo‘lib, to‘lqin yo‘nalishi yopilish yo‘nalishiga to‘g‘ri bo‘lganligi sababli yana ham kuchli bosim hosil qiladi va hokazo. Kuchli bosim va zarbali to‘lqin ta‘sirida zarracha maydalanishi durlik panjarasini buzilishi hamda zarracha yuzasi har-xil pardalardan tozalanishi mumkin. Bularning hammasi qattiq moddani faollanishiga olib keladi.

### *Harorat yordamida faollantirish*

Qattiq jismga issiqlik ta‘sir ettirilganda jismda, zo‘riqish paydo bo‘lib, kristallik panjarasi bir turdan ikkinchi turga o‘tadi va durlik panjarasida nuqsonlar paydo bo‘ladi. Masalan, sulfat kislotasida erimaydigan  $\alpha$ -modifikasiya spodumen durini ( $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ), qizdirganda (1100 °C), dur parchalanib kukun holdagi  $\beta$ -modifikasiyaga o‘tadi.  $\alpha$ - modifikasiyadan  $\beta$ -modifikasiyaga o‘tgan durning hajmi taxminan 24 % kuyadi va sulfatkislotaning eritmasida yaxshi eriydi.

### **5.3. Reaksiyaning tezlik konstantasini oshirish**

Tanlab eritishda kimyoviy reaksiyaning tezlik konstantasini oshirish ikkita usul bilan amalga oshirilishi mumkin:

- haroratni oshirish yo‘li bilan:
- faollanish energiyasini pasaytirish yo‘li bilan.

Birinchi usul “avtoklavli gidrometalurgiyada” amalga oshiriladi. Normal bosimda eritmaning haroratini qaynash haroratida yuqori haroratga ko‘tarish mumkin emas. Qaynash haroratidan yuqori haroratga erishish uchun, talab etiladigan haroratda eritma ustidagi to‘yingan suv bug‘i bosimiga bardosh beradigan germetik idishlardan foydalanish zarur, agarda suv bug‘idan tashqari jarayonda gazzimon moddalar ishtirok etsa bu holda idish bug‘ va gazlarning umumiy bosimiga bardosh beradigan idishlar – “avtoklav” deb nomlanadi. Nazariy jihatdan avtoklavlarda tanlab eritishning maksimal harorati suvning kritik nutasiga (harorat 547,3 K, bosim 22,1 MPa) mosdir. Real holatda avtoklavlarda tanlab eritishni olib borish harorati 200 – 250 °C gacha bo‘ladi (to‘yingan bug‘ning bosimi 3 MPa gacha).

Oxirgi yillarda 275- 300 °C va 6,0 – 7,5 MPa da olib boriladigan jarayonlar ishlab chiqilgan.

Haroratni oshirish jarayonning tezligi keskin oshirishga olib keladi. Masalan, sheyelitni soda eritmasi bilan parchalashda haroratni 225°C

dan 300°C gacha ko‘targanda, tanlab eritish davomiyligi 2 soatdan 5-10 minutgacha qisqaradi. Endotermik reaksiyalar sharoitida haroratning oshishi reaksiyaning muvozzantini ijobiy tamonga siljishiga olib keladi va buning natijasida reagentning ortiqcha sarfi kamayadi.

Gazsimon reagentlar ishtirokida boradigan tanlab eritish jarayonlari avtoklav jarayonlarida alohida o‘rin tutadi. Bu turdagi tanlab eritishda, jarayonni avtoklavlarda olib borish, eritmada gazning yuqori konsentratsiyasini ta‘minlashga imkon beradi.

Gazlar eruvchanligining haroratga bog‘liqligi murakkab tavsifga ega.

Harorat 100-120 °C ga ko‘tarilganda gaz eruvchanligining pasayishi kuzatiladi, keyinchalik haroratning oshishi gazning eruvchanligi oshib bormoqda. Shu sababdan avtoklavlarda gazlar ishtirokidagi tanlab eritishni 200 °C va undan yuqori haroratlarda olib borish maqsadga muvofiq. Bu haroratlarda bir paytning o‘zida gazlarning yuqori eruvchanligi, reaksiyalarning va diffuziyaning yuqori tezligi ta‘minlanadi.

Hozirgi vaqtda avtoklavlarda tanlab eritish glinozyomni Bayer usulida ishlab chiqarish, volfram boyitmalarini qayta ishlashda, tarkibida SeO<sub>2</sub> yoki Se<sub>3</sub>O<sub>8</sub> larni saqlovchi uran rudalarini, sulfidli mis-nikelli xomashyolarni qayta ishlashda keng qo‘llaniladi.

Reaksiyaning faollanish energiyasini pasaytirish ikkita usul bilan amalga oshiriladi:

- dastlabki moddalarning energetik darajasini E<sub>0</sub> ko‘tarish – moddalarni faollantirish.

- katalizatorlar yordamida reaksiyani tezlashtirish.

Agar dastlabki moddalarga qo‘shimcha energiya W\* berilsa, faollanish energiyasi ush qiymatga pasayadi: E\*=E-W\*, buning natijasida tezlik konstantasi o‘zgaradi.

$$K^*=A \exp[-E^*/(RT)] = A \exp [-E/(RT)] + W^*/(RT)] = A \exp[-$$

$$E/(RT)] \exp[W^*/(RT)], \text{ bundan } K^*=K \exp[W^*/(RT)]$$

#### **5.4. Tanlab eritish tezligini oshirishga doir namunaviy masala va mashqlar yechish**

**1-misol. Kimyoviy reaksiya tezligiga reaksiyaga kirishayotgan moddalar konsentratsiyalarining ta‘sirini izohlang!**

**Izoh:** Kimyoviy reaksiyalarning tezligi reaksiyaga kirishayotgan moddalar konsentratsiyalari ko‘paytmasiga proporsionaldir.

$$V = kC_A C_B$$

Bunda  $C_A$  va  $C_B$ —A va B moddalarning konsentratsiyalari, mol/l;  $k$ —proporsionallik koeffitsiyenti, u reaksiyaning tezlik konstantasi deyiladi. Kimyoviy kinetikaning asosiy qonuni ko‘pincha ta‘sir etuvchi massalar qonuni yoki reaksiyaning kinetik tenglamasi deyiladi.

**2-misol. Kimyoviy reaksiya tezligiga haroratning ta‘sirini izohlang!**

**Izoh:** Reaksiya tezligining haroratga bog‘liqligi Vant–Goff qoidasi bilan aniqlanadi: harorat har  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ga ko‘tarilganda ko‘pchilik kimyoviy reaksiyalarning tezligi 2–4 marta ortadi.

$$V_{t_2} = V_{t_1} \cdot \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

Bunda:  $V_{t_1}$ ,  $V_{t_2}$ —tegishli boshlang‘ich ( $t_1$ ) va oxirgi ( $t_2$ ) haroratlardagi reaksiya tezligi,  $\gamma$ —reaksiya tezligining harorat koeffitsiyenti, u reaksiyaga kirishuvchi moddalarning harorati  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ko‘tarilganda reaksiyaning tezligi necha marta ortishini ko‘rsatadi.

Harorat o‘zgarganda reaksiya tezligining tez o‘zgarishini aktivlanish nazariyasi tushuntirib beradi. Bu nazariyaga ko‘ra ushbu reaksiyani amalga oshirishga yetarli energiya bor aktiv molekulalar (zarrachalar) gina kimyoviy reaksiyaga kirishadi. Noaktiv zarrachalarga zaruriy qo‘shimcha energiya berish yo‘li bilan ularni aktiv zarrachalarga aylantirish mumkin—bu jarayon **aktivlanish** deyiladi. Aktivlanish usullaridan biri haroratni oshirish; harorat ko‘tarilganda aktiv zarrachalar soni ko‘payadi, shuning uchun reaksiya tezligi ham keskin ortadi.

Reaksiyaga kirishayotgan moddalar molekulalarini (zarrachalarini) aktiv zarrachalarga aylantirish ushun ularga berilishi lozim bo‘lgan energiya **aktivlanish energiyasi** deyiladi. U  $E_a$  bilan belgilanadi va tajriba yo‘li bilan aniqlanadi hamda kJ/mol da ifodalanadi.

Reaksiyaning tezligi aktivlanish energiyasining qiymatiga bevosita bog‘liq: agar u kichik bo‘lsa, u holda ma‘lum vaqt ichidagi reaksiyada ko‘p sondagi zarrachalar energetik to‘siqni yengib o‘tadi va reaksiyaning tezligi yuqori bo‘ladi, lekin agar aktivlanish energiyasi katta bo‘lsa, u holda reaksiya sekin boradi.

Ionlar o‘zaro ta’sirlashganda aktivlanish energiyasi juda kichik bo‘ladi va ionli reaksiyalar juda katta tezlik bilan (amalda bir onda) boradi.

**3-misol. Kimyoviy reaksiya tezligiga katalizatorlarning ta’sirini izohlang!**

**Izoh:** Kimyoviy reaksiyaning tezligini katalizatorlar yordamida oshirish mumkin, chunki haroratni oshirgandan ko‘ra katalizator ishlatgan afzalroq, bundan tashqari haroratni hamma vaqt ham oshirish mumkin emas.

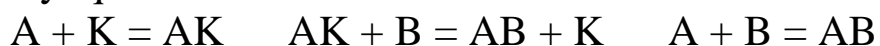
Kimyoviy reaksiyalarning tezligini o‘zgartiradigan moddalar **katalizatorlar** deyiladi. Ba’zi katalizatorlar reaksiyani tezlashtiradi—**musbat kataliz** yoki **kataliz**, boshqalari sekinlashtiradi—**manfiy kataliz** deyiladi.

Manfiy kataliz ko‘pincha ingibitorlash, reaksiya tezligini kamaytiruvchi manfiy katalizatorlar esa **ingibitorlar** deyiladi.

Katalizatorlar ishtirokidagi kimyoviy reaksiyalar **katalitik reaksiyalar** deyiladi. Katalizatorning o‘zi reaksiyalarda sarflanmaydi va oxirgi mahsulotlar tarkibiga kirmaydi. Katalizning ikki turi—gomogen (bir jinsli) va geterogen (bir jinsli emas) katalizlar bor.

**Gomogen katalizda** reaksiyaga kirishuvchi moddalar va katalizator bir fazali sistemani—gaz yoki suyuqlik sistemani hosil qiladi, katalizator bilan reaksiyaga kirishuvchi moddalar orasida chegara sirti bo‘lmaydi. Masalan:  $H_2O_2$  ning tuzlar eritmasi ishtirokida parchalanishi.

**Geterogen katalizda** reaksiyaga kirishuvchi moddalar bilan katalizator turli fazalardan iborat sistemani hosil qiladi. Bunda reaksiyaga kirishuvchi moddalar bilan katalizator orasida chegara sirti bo‘ladi. Odatda katalizator—qattiq modda, reaksiyaga kirishuvchi moddalar—gazlar yoki suyuqliklar bo‘ladi.



Ba’zi moddalar qattiq katalizatorlarning aktivligini kamaytiradi yoki butunlay yo‘qotadi. Bunday moddalar katalitik zaharlar deyiladi. Masalan: As, Hg, Pb birikmalari, ionli birikmalar. Lekin o‘zi katalizator bo‘lmay turib, shu reaksiya katalizatorlarning ta’sirini ko‘paytiradigan moddalar ham bor. Bu moddalar **promotorlar** deyiladi.

**4-misol. Hidrometallurgik jarayonlarda fizika-kimyoviy o‘zgarishlar sodir bo‘lishining asosiy talablari nimalardan iborat?**

**Javob:** Umuman olganda metallurgik jarayonlarda sodir bo‘ladigan kimyoviy reaksiyalarning sodir bo‘lishi uchun umumiy ko‘rinishda 3 ta asosiy talab qo‘yish mumkin. Bular:

- 1) reaksiyaga kirishuvchi ikki modda atom yoki molekulalarining bir-biri bilan to‘qnashishi;
- 2) kimyoviy reaksiyaning borishi;
- 3) hosil bo‘lgan mahsulotlarning reaksiyon sirtidan ajralishi.

**5-misol.** Agar tanlab eritish jarayoni juda sekin borayotgan bo‘lsa, u holda buning sababini qanday tushuntirish mumkin va jarayonni jadallashtirish uchun qanday chora-tadbirlar ko‘rilishi kerak?

**Javob:** Kimyoviy reaksiyalarning borish tezligi shu reaksiyalarning tartibi yoki maromiga bog‘liq ravishda o‘rganiladi. Jarayonni jadallashtirish uchun dastavval shu jarayonni sekinlashtirib turgan bosqichni yoki uning tartibini bilish kerak. Ular quyidagi uch xil ko‘rinishda bo‘lishi mumkin:

1) diffuzion tartib, ya’ni ikki modda reaksiyaga kirishishi uchun ular birinchi navbatda bir-biri bilan to‘qnashishi zarur va bu holat kimyoviy reaksiyani sodir bo‘lishining eng asosiy shartidir. Diffuzion tarqalishni amalga oshirish maqsadida metallurgik jarayonlarda gazsimon moddalar uchun bosim oshiriladi; suyuq moddalar uchun intensiv ravishda pnevmatik, mexanik yoki pnevmomexanik usulda aralashiriladi; qattiq moddalarda esa ularni maxsus maydalagich va tegirmonlarda maydalanib yanchiladi hamda birikmalarni bir-biriga aralashishini ta’minlash uchun shixtalar tayyorlanadi;

2) kinetik tartib, ya’ni jarayonning sodir bo‘lishi bir-biriga tegib turgan molekula va atomlarning kimyoviy ta’sirlashishiga bog‘liq, chunki molekulalar diffuziyasi to‘liq ta’minlangan sharoitda ikki modda bir-biri bilan ta’sirlashmasa kimyoviy mahsulotlarning unumi nolga teng bo‘ladi. Kinetik tartibga bog‘liq bo‘lgan jarayonlarning kimyoviy ta’sirlashish qobiliyatini oshirish maqsadida ularning faollanish energiyalari kamaytiriladi ya’ni kamroq energiya berilganda ham reaksiyaga kirisha olish qobiliyati oshiriladi. Buning uchun reaksiyon muhitning harorati oshiriladi yoki faollanish energiyasini kamaytirish maqsadida har xil katalizatorlar qo‘shiladi;

3) aralash tartib, ya’ni metallurgik jarayonning sodir bo‘lishi ham diffuzion tartibga va ham kinetik tartibga bog‘liq bo‘lishi mumkin. Metallurgiyada uchraydigan ko‘pchilik jarayonlar aynan aralash tartibda

oqib o'tishi tajriba yo'llari bilan aniqlangan. Bunday jarayonlarga to'g'ri yondashuv maqsadida har ikki tartibga bog'liq bo'lgan jarayonlarning tezligini ta'minlash usullaridan to'liq foydalaniladi.

Barcha kimyoviy reaksiyalarning aynan qaysi tartibda oqib o'tayotganligini bilish uchun dastlab ularning mexanizmi ko'rib chiqiladi. Masalan,  $aA + bB = cC + dD$  reaksiya uchun to'g'ri reaksiyaning tezligi  $v = k[A]^m[B]^n$  formula orqali aniqlanadi. Bu yerda:  $k$  – tezlik konstantasi,  $m$  va  $n$  lar reaksiyaning tartiblari hisoblanadi. Tezlik konstantasi va reaksiyaning tartiblari tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Reaksiyaning tartibi reaksiyani tenglashtirgandagi koeffitsiyentlar bilan har doim ham bir xil bo'lavermaydi.

### *Mustaqil yechish uchun masala va mashqlar*

1. Kimyoviy reaksiya eritmada  $2A + 3B \rightarrow 2C$  tenglamaga muvofiq borsu va A moddaning dastlabki konsentratsiyasi 1,5 mol/l, B moddaniki 1,2 mol/l bo'lib, 30 min dan so'ng B moddaning konsentratsiyasi 0,5 mol/l bo'lgan, A moddaning konsentratsiyasi qanchaga kamayadi va ushbu reaksiyaning o'rtacha tezligi qanday bo'ladi?

2. Agar kimyoviy reaksiyaning dastlabki tezligi  $30\text{ }^\circ\text{C}$  da 5 mol/(l·s) ga teng bo'lsa haroratni  $60\text{ }^\circ\text{C}$  ga qadar oshirilganda reaksiya tezligi nechaga teng bo'ladi? Reaksiyaning harorat koeffitsiyenti  $\gamma=3$  ga teng.

3. Neytrallanish reaksiyasi harorat  $40\text{ }^\circ\text{C}$  ga yetganda 8 soniyada tugaydi. Agar eritma harorati  $70\text{ }^\circ\text{C}$  ga qadar ko'tarilsa, u holda reaksiya qancha vaqtda nihoyasiga yetadi? ( $\gamma=2$ )

4. Oltinni sianlash jarayonining kimyoviy mexanizmi quyidagicha:

$4\text{Au} + \text{O}_2 + 8\text{NaCN} + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Na}[\text{Au}(\text{CN})_2] + 4\text{NaOH}$  (umumiy holda)

1-bosqich:  $4\text{Au} + \text{O}_2 = 2\text{Au}_2\text{O}$  (sekin boradi, ya'ni limitlovchi bosqich)

2-bosqich:  $\text{Au}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{AuOH}$  (tez boradi)

3-bosqich:  $\text{AuOH} + 2\text{NaCN} = \text{Na}[\text{Au}(\text{CN})_2] + \text{NaOH}$  (tez boradi)

Shu jarayon uchun limitlovchi bosqichni hisobga olib reaksiya tezligining kinetik tenglamasini tuzing!

5. Oltinni "zar suvi" da tanlab eritish jarayonining kimyoviy mexanizmi quyidagicha:

$\text{Au} + 3\text{HCl} + \text{HNO}_3 = \text{AuCl}_3 + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$  (umumiy holda)

1-bosqich:  $2\text{Au} + 2\text{HNO}_3 = \text{Au}_2\text{O}_3 + 2\text{NO} + \text{H}_2\text{O}$  (sekin boradi, ya'ni limitlovchi bosqich)

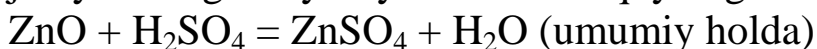
2-bosqich:  $\text{Au}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Au}(\text{OH})_3$  (tez boradi)

3-bosqich:  $\text{Au}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl} = \text{AuCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  (tez boradi)



Shu jarayon uchun limitlovchi bosqichni hisobga olib reaksiya tezligining kinetik tenglamasini tuzing!

6. Rux oksidini suyultirilgan sulfat kislotada tanlab eritish jarayonining kimyoviy mexanizmi quyidagicha:



1-bosqich:  $\text{ZnO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Zn(OH)}_2$  (sekin boradi, ya'ni limitlovchi bosqich)

2-bosqich:  $\text{Zn(OH)}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{ZnSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  (tez boradi)

Shu jarayon uchun limitlovchi bosqichni hisobga olib reaksiya tezligining kinetik tenglamasini tuzing!

### *Savol va topshiriqlar*

1. Tanlab eritish jarayonini jadallashtirishning qanday chora-tadbirlari mavjud?

2. Tanlab eritish jarayonida limitlovchi bosqich jarayonga qanday ta'sir ko'rsatadi?

3. Qattiq jismni mexanik faollashtirish jarayonini tushuntirib bering!

4. Qattiq jismni termik faollashtirishga misollar ayting!

5. Qattiq jismni ultratovush ta'sirida faollashtirish jarayoni nimaga asoslangan?

6. Reaksiyaning tezlik konstantasi deganda nimani tushunasiz?

7. Reaksiyaning tezlik konstantasi qanday oshirish mumkin?

8. Oltin saqlovchi rudalarni sianli tanlab eritishda jarayonning kinetikasi nimaga bog'liq?

9. Rux kuyindilarini sulfat kislotali tanlab eritish jarayoni tezligiga qanday omillar ta'sir etadi?

10. Sheyelitni avtoklavlarda soda eritmasi bilan parchalash jarayoni nega aynan avtoklavlarda olib borilishini tushuntiring!

11. Molibden kuyindilarini ammiakli suvda tanlab eritish jarayonida ammiak konsentratsiyasining ortishi jarayonga qanday ta'sir etadi?

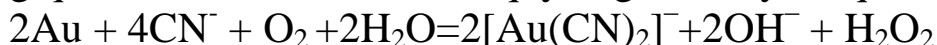
12. Tanlab eritish mobaynida reagentning ortiqcha sarfi nimaga bog'liq?

13. Kimyoviy reaksiyalar mexanizmini bilishning nima ahamiyati bor?

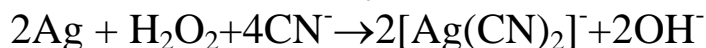
## 6-BOB. SOF METALL, METALL OKSIDI VA METALL SULFIDLARINI TANLAB ERITISH KINETIKASI VA MEXANIZMI

### 6.1. Oltin va kumush gidrometallurgiyasi misolida sof metallarni oksidlantirish yo‘li bilan tanlab eritish

Oltin gidrometalurgiyada sianli eritmalarda kislorod bilan oksidlanish jarayoni keng qo‘llaniladi. Oltinni erishi quyidagi reaksiya orqali boradi:



Kumush va misning sianid eritmalarida erishi vodorod pereoksidi hosil bo‘lishi bilan kechadi, ammo hosil bo‘lgan vodorod peroksidi metali bilan tez reaksiyaga kirishib uni oksidlaydi:



Sianli eritmalarda eritish jarayoni ishqoriy muhitda ( $\text{pH} = 11 \div 12$ ) olib boriladi, buning asosiy sababi sianidni gidrolizlanib uchuvchan sianvodorod kislotasini hosil bo‘lishining oldini olishidir:



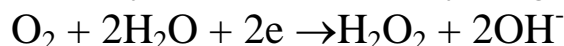
Tashqi diffuziya bilan limitlangan va ikkita erigan reagent ishtirokida boradigan geterogen reaksiyalar uchun tadqiqotlar yordamida quyidagilar aniqlangan:

Kislorodning har bir bosimiga o‘ziga tegishli sianidning kritik konsentratsiyasi mavjud. Bu konsentratsiyadan past konsentratsiyada, oltin yoki kumushning erish tezligi konsentratsiya bilan chiziqli bog‘liqlikka ega (6.1-rasm).

Agar sianidning konsentratsiyasi, kritik konsentratsiyadan yuqori bo‘lsa, bunda erish tezligi deyarli konsentratsiyaga bog‘liq emas va kislorod bosimining chiziqli funksiyasidir. Agar sianid konsentratsiyasi kritik konsentratsiyadan past bo‘lsa, erish tezligi  $\text{CN}^-$  ionlarni ta’sirlashadigan yuzaga etib kelish tezligi bilan aniqlanadi, konsentratsiya, kritik konsentratsiyadan yuqori bo‘lsa erish tezligi kislorodni ta’sirlashadigan yuzaga etib borish tezligi bilan aniqlanadi.



Oltinning katod maydonida (musbat elektrod) vodorod peroksidi va gidroksid ionlari hosil bo'lishi bilan erigan kislorodning tiklanishi yuz beradi. Elektronlar anod maydondan katod maydonga harakatlanadi.

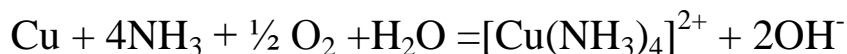


Oltinni erishida elektrokimyoviy jarayonlarning tezligi juda yuqori va shu sababdan erish jarayoni reagent ( $\text{CN}^-$  ionlari) yoki erigan kislorodni yuzaga yetib kelishi bilan limitlanadi (chegaralanadi).

*Metallni kislorod bilan oksidlanish orqali misni ammiak eritmalarini bilan tanlab eritish*

Misni ruda xomashyosidan ajratib olish uchun misni karbonat – ammiak eritmalarida erish qo'llaniladi.

Misni quyida keltirilgan umumiy reaksiya bo'yicha erish yaxshi o'rganilgan:



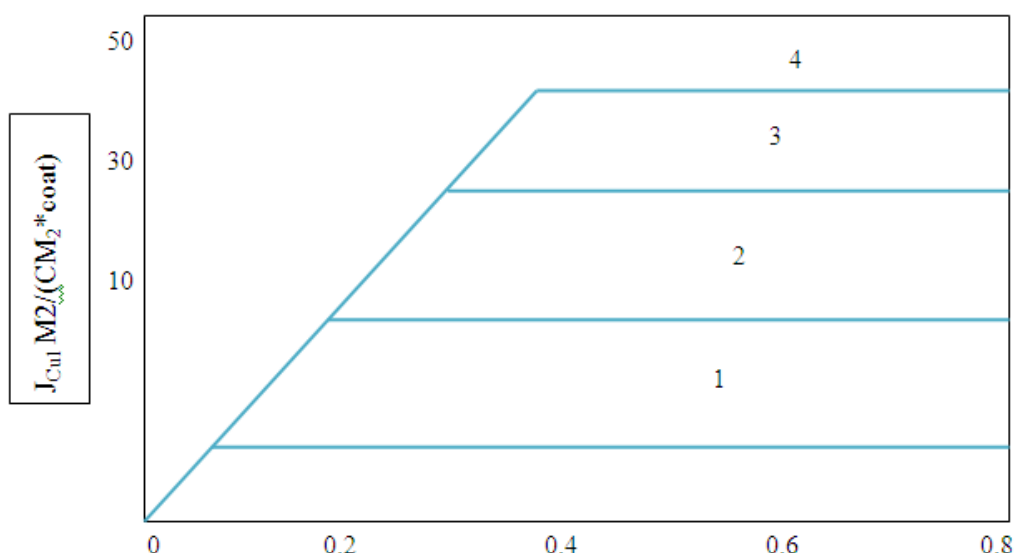
Ammiakning suvli eritmalariga ma'naviy tuzlarining qo'shilishi misning erish tezligini oshiradi.

Buni yuqoridagi reaksiya natijasida hosil bo'ladigan  $\text{OH}^-$  ionlarning konsentratsiyasini oshirishni oldini olish bilan tushuntirish mumkin. Ammoniy karbonatning qo'shilishi  $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$  reaksiyaning muvozanatini o'ng tomonga siljitadi va buning natijasida  $\text{OH}^-$  ionlarning konsentratsiyasi pasayadi. Ammiak – karbonatli eritmalar bilan eritishning yig'indi reaksiyasi quyidagicha yoziladi:



Misni erish tezligini ammiak va kislorod konsentratsiyasiga bog'liqligi, metallarni kislorod ishtirokida sianli eritmalarda erishi bilan bir xil (6.3-rasm).

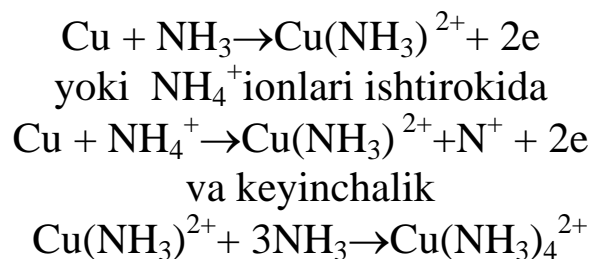
Yuqorida qayd etilganday bunday qonuniyatlar ikkita reagent ishtirokidagi tashqi diffuziya bilan limitlanadigan jarayonlar uchun tegishlidir.



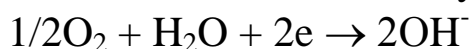
**6.3-rasm. Misni ammiak eritmasida erish tezligini  $J_{Cu}$ , kislorod bosimiga bog‘liqligi;  $NH_3$ -miqdori, mol/l; 1-0,26; 2-0,52; 3-0,74; 4-1,0.**

Misni ammiak eritmalarida, kislorod ishtirokida erishining bir nechta mexanizmi taklif etilgan: elektrokimyoviy, avtokatalitik va oksiadsorbsion.

Eng imkoniyati yuqori mexanizm bu ektrkimyoviy mexanizmdir. Bu mexanizm bo‘yicha mis anod maydonida ionlanadi va ammiakli ionlarni hosil qiladi:



Katod maydonida kislorodni tiklanish reaksiyasi kechadi:



## **6.2. Metall oksidlarini kislotali muhitda tanlab eritish kinetikasi va mexanizmi**

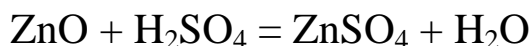
Ko‘pincha gidrometallurgik jarayonlarda agar metall sulfide ko‘rinishida bo‘lsa kislotalarda erimaganligi uchun uni dastlab kuydiriladi, ya’ni sulfid ko‘rinishidan oksid ko‘rinishiga o‘tkaziladi. Hosil bo‘lgan oksidli mahsulotni kuyindi deb ham ataladi. Bunday terminlar ko‘pincha rux metallurgiyasida qo‘llaniladi. Quyida shu kuyindilarni tanlab eritishni rux gidrometallurgiyasi bo‘yicha tushuntiriladi.

Kuyindini tanlab eritishning asosiy maqsadi kuyindi tarkibidagi rux birikmalarini iloji boricha eritmaga o‘tkazish va elektrolizga toza eritma

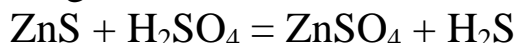
olishdir. Eritishni sulfat kislotasi yordamida olib boriladi. Sulfat kislotasini tanlashda quyidagilar hisobga olingan:

- 1) rux oksidi – ZnO yaxshi erishi;
- 2) bo‘lajak elektrolitik tiklanishda qulaylik;
- 3) Rux zavodlarida sulfat kislotasining mavjudligi.

Rux oksidi sulfat sulfat kislotasini kuchsiz eritmasida yaxshi eriydi, rux sulfati esa – suvda:



Rux sulfidi qizitilgan kuchli sulfat kislotasida erishi mumkin:



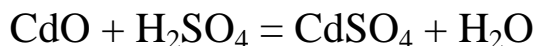
Bunda zaharli vodorod sulfid gazi ajralib chiqadi.

Kuydirish davomida bir qancha rux silikati, ( $n \text{ZnO} \cdot m \text{SiO}_2$ ), ferrit ( $x \text{ZnO} \cdot u \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) va alyuminatlari ( $\text{ZnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) paydo bo‘ladi. Bu birikmalar sulfat kislota eritmasida qiyin eriydi. Ularni erish qobiliyati harorat va sulfat kislotasini konsentratsiyasi olib borishi bilan ko‘payadi.

Masalan, ferritdan ruxni eritmaga o‘tkazish uchun sulfat kislotasini konsentratsiyasi 200-300 g/l va 80-90 °C harorat talab qilinadi.

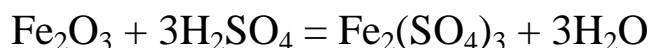
Ruxdan tashqari, kuyindida temir, mis, kadmiy, qo‘rg‘oshin, kumush, oltin, nikel, kobalt, marganes, bariy, kalsiy, alyuminiy va boshqa metallar ham bor.

Kadmiy xususiyatlari bo‘yicha ruxga yaqin, uni oksidi CdO sulfat kislotasida yaxshi eriydi:

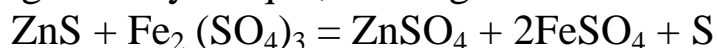


Kuyindidan eritmaga 85-90 % kadmiy o‘tadi. Temir kuyindida, asosan rux va mis ferritlar shaklida uchraydi. Bir qancha temir oksidlari  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , va  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ham bor. Sulfat eritmasida  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  esa qisman eriydi.

Kuydirish pechining siklon changida bir oz  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  uchraydi. Uch valentli temir sulfati eritmada hosil bo‘ladi:



Eritmada  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  mis birikmalari,  $\text{SO}_2$  va metal sulfidlari bilan ikki valentli temir sulfati  $\text{FeSO}_4$  ga tiklanadi. Bu jarayon ruxni kuyindidan eritmaga, quyidagi reaksiya orqali, o‘tishiga ko‘maklashadi:



Eritmaga kuyindidan faqat 3-4 % temir o‘tadi, uni miqdori 1-2 g/l tashkil qiladi. Bunday miqdorlik bo‘lajak mishyak, surma, germaniy va boshqa moddalardan gidrolitik tozalashda yordam beradi.

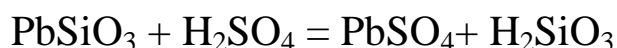
Mis kuyindida oksid ( $\text{CuO}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ ), ferrit ( $n \text{CuO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), silikat ( $x \text{Cu}_2\text{O} \cdot u \text{SiO}_2$ ) shakllarda uchraydi. Eng oson  $\text{CuO}$  eriydi va  $\text{CuSO}_4$  ni

hosil qiladi. Mis ferriti, pux ferritiga o'xshab, qiyin eriydi. Tanlab eritishda taxminan misni yarmi eriydi, yarmi esa kekda qoladi.

Surma (III) va mishyak (III) oksidlangan birikmalari kuyindini tanlab eritishda  $As_2(SO_4)_3$  va  $Sb(SO_4)_3$  shakllarda eritmaga o'tishadi. Surma (V) va mishyak (V) oksidlari qiyin eriydigan birikmalardir.

Nikel, kobalt va marganeslar eriydi va  $NiSO_4$ ,  $CoSO_4$  va  $MnSO_4$  sulfatlarini hosil qiladi.

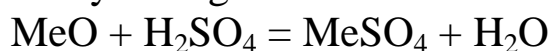
Tanlab eritishda qo'rg'oshin, deyarli to'liq quyidagi reaksiyaga asosan, kekka o'tadi:



Qo'rg'oshin, mis va rux silikatlarini erishi eritmani kremniy birikmalari bilan ifloslantirishga olib keladi. Bu jarayon tanlab eritishdan bo'lajak cho'ktirish va filtrlashlarni qiyinlashtiradi.

Kumush kuyindida  $Ag_2S$  va  $Ag_2SO_4$  shaklida uchraydi. Kumush sulfati yaxshi eriydi, keyin esa eritmada mavjud bo'lgan xlor ionlari bilan qiyin eriydigan  $AgCl$  birikmasi shaklda cho'ktiriladi. Kumush sulfidi erimaydi va kekda qoladi. Oltin to'liq qattiq qoldiqlarda qoladi.

Kalsiy va bariy oksidlari sulfat kislotada eritmalarida qiyin eriydigan eritmalar hosil qiladi. Jarayonning kislotasi:



Qo'rg'oshin, kalsiy va bariy sulfat kislotasini qismini qiyin eriydigan sulfatlarga bog'laydi. Buni hisobga olganda, kuydirish davrda sulfatli oltingugurt miqdorini bir oz ko'paytirish kerak bo'ladi.

Xlor, fluor, natriy va magniy birikmalari oson eriydi va eritmada to'planadilar. Noyob metallar-talliy, galliy, indiy va germaniyalar qisman eritmaga o'tadilar.

### *Kuydirilgan konsentratni tanlab eritish sxemalari*

Dunyo amaliyotida turli xil tanlab eritish sxemalari qo'llaniladi: bir, ikki va uch bosqichli, davriy va uzluksiz va boshqalardir. Eng keng tarqalgan sxema-bu uzluksiz qarama-qarshi oqimli ikki bosqichli tanlab eritishdir.

Kuyindidan ruxni erishi  $H_2SO_4$  konsentratsiyasi va harorat oshishi bilan tobora ko'tariladi. Ammo bunda zarra moddalar ham erishi mumkin. Bu esa bo'lajak elektrolitik jarayonlarda to'sqinlik qiladi.

Eritmada ko'p zarra moddalarni miqdori pH ni qiymatini 5,2-5,4 gacha ko'tarish mumkin. Keyin esa rux gidrolizga uchrab gidroksid shaklda cho'kmaga tushib qolishi mumkin.

Qarama-qarshi oqim prinsipida tanlab eritish ikkinchi bosqichni kuchli eritma bilan olib borishga imkon beradi (130-150 g/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Birinchi bosqichda esa tanlab eritish kuchsiz eritma bilan olib boriladi (50-60 g/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Buning natijasida birinchi bosqichda olinadigan eritmada sulfat kislotasi yo‘q (pH=5,2-5,4). Bunday tanlab eritishda neytral eritmada zarra moddalar deyarli yo‘q. Bu esa bo‘lajak eritmani tozalashni osonlashtiradi va sarf-xarajatlarni kamaytiradi.

Tanlab eritishni birinchi bosqichida (neytral sikl) quyidagi texnologik masalalar echiladi:

- 1) kuyindidan rux sulfatini va rux oksidini qisman erishishi;
- 2) eritmada ortiqcha sulfat kislotasini neytralizatsiyalash;
- 3) eritmani zarra moddalardan gidrolitik tozalash;
- 4) eritmani qattiq moddalardan ajratib olish;
- 5) kuyindini issiqligidan oqilona foydalanish.

Neytral tanlab eritishning yakuniy maqsadi gidrolitik usul bilan tozalanadigan moddalardan toza ruxli eritma olishdir.

Tanlab eritishning ikkinchi bosqichi (nordon sikl) vazifalari:

- 1) kuyindidan ruxni to‘liq eritish;
- 2) zarra moddalarini erishini cheklash;
- 3) mishyak va germaniyni oksidlantirish;
- 4) eritmani zarra moddalardan tozalash;
- 5) qattiq va suyuq fazalarni bir-biridan ajratib olish.

Nordon tanlab eritishning yakuniy maqsadi eriydigan rux birikmalaridan ozod kek olishdir.

Erishish sxemalarini tanlash xom ashyoni sifatiga bog‘liqdir. Ishlab chiqarishning katta hajmida, xom ashyo tarkibi o‘zgarmasligida uzluksiz tanlab eritish maqsadga muvofiqdir.

Davriy tanlab eritish, tez moslashuvchi bo‘lganligi sababli, zarra moddalari yuqori miqdorli bo‘lgan xom ashyoni qayta ishlashda afzalrokdir.

Davriy tanlab eritish, uzluksizga nisbatdan, kamroq ishlab chiqarish qayta ishlashda ko‘proq sarf-xarajatlarni talab qiladi. Bir bosqichli tanlab eritish, odatda, davriy sxemasi bo‘yicha olib boriladi.

Past sifatli konentratni qayta ishlashda, qaysilarda mishyakni miqdori 0,5 % bo‘lgan, yoki kremniy dioksidi miqdori 8 % gacha bo‘lgan, bir bosqichli sxemani qo‘llash maqsadga muvofiqdir.



## *Tanlab eritishning amaliyoti*

Tanlab eritish davriy sxema bo'yicha o'tishning shartli talabi – kuyindi sovutilgan va sinflarga bo'lingan bo'lishi kerak. Pechdan chiqqan kuyindi va changlarni aralashmasini harorati 700-750°C bo'lgani uchun, ularni aerosovitkich yoki konveyerlarda sovutiladi.

Sovutilgan aralashmani aeroseparatorada kattaligi bo'yicha sinflarga bo'linadi. Yirik fraksiya (<0,3 mm) zoldirli tegirmonda yanchiladi va yangidan klassifikatsiya qilinadi. Sinflangan kuydirilgan konsentrat tanlab eritishga yuboriladi.

Odatda klassifikatsiyani ikki bosqichda olib boriladi: neytral va nordon. Dastlabki (neytral) klassifikatsiya hamma bo'tanani ikki fraksiyaga bo'ladi: qum (+0,30 mm) va il (-0,3 mm), har bir fraksiya alohida tanlab eritishni talab qiladi. Neytral klassifikatsiyadan chiqqan eritmani neytral tanlab eritishga yuboriladi. Qum fraksiyasini esa ishlatilgan elektrolit bilan tanlab eritiladi (bo'tanani qoldiq nordonligi 20-60 g/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Qum fraksiyasini mexanik, yoki pnevmatik agitatorada tanlab eritiladi. Bunda, ikki valentli temirni uch valentlikka oksidlantirish uchun, marganes rudasi, yoki pirolizit MnO<sub>2</sub> qo'shiladi. Tanlab eritishdan so'ng, qum yana klassifikatsiya qilinadi. Nordon klassifikatsiyadan chikkan qumlik mahsulot nordon tanlab eritishdagi Rux kekidan deyarli farq qilmaydi. Shuning uchun bu fraksiya vels pechiga yuboriladi.

Neytral klassifikatsiyasidan ajralib chiqqan eritmani, siklon va elektrofiltr changlari bilan, neytral tanlab eritishga yuboriladi. Bu tanlab eritish pnevmatik tipidagi birin-ketin o'rnatilgan agitatorlar qatorida o'tkaziladi. Birinchi agitatorada sulfat kislotasini konsentratsiyasi 50-60 g/l tashkil etadi. Tanlab eritish davrida kislota neytrallanadi. Bunda aralashmalar gidrolizga uchrab cho'kmaga o'tishadi. Gidroliz jarayoni birinchi agitatorga marganes rudasini qo'shib eritmani pH ni o'zgartirib boshqariladi. Oxirgi agitatorada suyuq faza pH ni 5,2-5,4 gacha ko'tariladi. Gidorolizni to'liq o'tilgani oxirgi agitatoradan chiqayotgan bo'tanadagi temir (II) miqdori orqali baholanadi. Odatda bu miqdorlik 30-50 mg/l tashkil qilishi kerak.

Neytral sikldagi oxirgi agitatoradan bo'tanani quyuqlashtirgichga yuboriladi. Neytral quyuqlashtirgichdan chiqqan eritma, odatda, yaxshi tindirilgan qattiq moddani miqdori 1 g/l dan oshmaydi. Eritma o'zi bilan tanlab eritishni mahsuloti hisoblanadi. Uni zarralardan tozalab, ruxni elektrolitik tiklanishga yuboriladi.

Neytral quyuqlashtirgichlarni suyuq quyuqlik nisbati S:Q=3-4 ga ega bo'lib, nordon siklni pnevmatik agitatorlarga yuboriladi. Nordon tanlab eritishning birinchi agitatoriga miqdori 40 g/l rux va 120-160 g/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bo'lgan ishlatilgan elektrolit beriladi.

Oxirgi agitatorida sulfat kislota miqdori 0,5-1,0 g/l gacha pasayadi, S:Q ni nisbatligi esa 10-12 gacha ko'tariladi.

Nordon siklda oxirgi agitatorida bo'tana quyuqlashtiriladi. Quyuqlashtirgichda bo'tana oxirgi agitatorida. ZnO qo'shimcha eriydi, kislota neytrallashib pH 4,0-4,5 ga ko'tariladi, aralashmalar gidroliz bo'lib cho'kmaga o'tadi.

### *Tanlab eritish dastgohlari*

Uzluksiz tanlab eritishga, odatda, pnevmatik agitator pachuk qo'llaniladi. Pachuk o'zi bilan zanglamaydigan po'lat yoki temirbetondan tayyorlangan silindr shaklidagi chandir. Chan ichki yuzasi qo'rg'oshin yoki kislota ta'sir qilmaydigan keramika bilan futerlangan (himoya qilingan). Channing balandligi 6-10 m, diametri 3-4 m, ishchi hajmi 40 – 100 m.

Channing markazidagi vertikal truba - aerolift o'rnatilgan. Bu truba orqali 0,2 – 0,25 mPa bosimda havo beriladi. Havo bo'tana bilan aralashib engil aralashma hosil qiladi va tepaga og'ir bo'tana bilan siqib chiqariladi. Aeroliftni tashqari tomondan og'ir, havo bilan to'yinmagan, bo'tana pastga va tanlab eritish reaksiyalarini o'tishiga ko'maklashadi.

Tanlab eritishning kerakli davomiyligini mavjud qilish maqsadida birin-ketin o'rnatilgan bir necha pachuklar o'rnatiladi. Dastlabki bo'tanani birinchi pachukga yuklanadi, oxirgi pachukdan esa bo'tanani quyuqlashtirgichga yuboriladi.

Davriy tanlab eritishda jarayon mexanik aralashtirgichli agitatorida olib boriladi. Uning hajmi 150 m<sup>3</sup> yetadi. Aralashtirgich moslamada kislotaga bardoshli po'latdan tayyorlangan propelfli dastgohi o'rnatilgan.

Kerakli bo'lsa, agitatorlarga isitish moslamasi o'rnatiladi va tanlab eritish yuqori haroratlarda olib borilishi mumkin bo'ladi.

Kuydirilgan rux konsentratini tanlab eritishda olingan bo'tanani qattiq va suyuq fazalarga ajratiladi. Fazalarni ajratish uchun quyuqlashtirish va filtrlash qo'llaniladi.

Quyultirgich o'zi bilan diametri 10-18 m va balandligi 4-5 m bo'lgan channi hosil qiladi.

50 – 100 qattiq moddali bo‘tanani changa yuklanadi. Quyultirgichda qattiq moddalar cho‘kadi va moslamadan chiqariladi. Bo‘tanani suyuq fazasi channi yuqori qismdan chiqarilib bo‘lajak texnologik jarayonlarga yuboriladi.

Quyushtirish jarayonini jadallashtirish maqsadida bo‘tanaga poliakrilamid (PAA) qo‘shiladi. Poliakrilamid mayda zarrachalarni kattalashtirib og‘ir flokulalarga o‘tkazadi. qattiq modda deyarli mavjud bo‘lmagan tindirilgan eritmani tozalashga yuboriladi. S:Q nisbati 2 – 3 ga teng bo‘ladi. Quyultirilgan bo‘tanani filtrlashga yuboriladi.

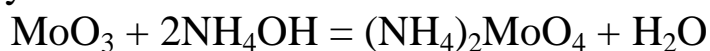
Diskli filtrning unumdorligi 1 m<sup>2</sup> filtrlash yuzasiga bir sutkada 1– 2 m<sup>3</sup> tashkil qiladi. Kekning namligi 30-35%. Umumiy filtrlash yuzasi 80-100 m<sup>2</sup> tashkil qiladi.

### **6.3. Metall oksidlarini ishqoriy muhitda tanlab eritish kinetikasi va mexanizmi**

**Toza MoO<sub>3</sub> ishlab chiqarish texnologiyasi.** Bu texnologik usulni amalga oshirishda jarayon yuqori bosimda olib boriladi, chunki bosim oshgan sari yuqori haroratda MoO<sub>3</sub> bug‘lari hosil bo‘lib, ular chang zarrachalari holida uchib chiqa boshlaydi. Bu usulni bug‘latish (vozgonka) bilan haydash deyiladi. MoO<sub>3</sub> ning jarayoni 900 – 1100°C harorat oralig‘ida yaxshi boradi. Bu haroratda mineral tarkibidagi temir oksidi, kremniy oksidlari bug‘lanmaydi. Bu jarayonni amalga oshirish uchun aylanuvchi elektr o‘choqlarda kvardsdan tayyorlangan qozonchalarga (tigel) qizdirilgan molibdenit minerali quyiladi. Bu o‘choqlar 35°C da egilgan bo‘lishi kerak. Qozonchalar 900 – 1100°C qizdirilganda, minerallar suyuqlanadi va bu qozonchalaming ustidan to‘xtovsiz ravishda havo yuborib turiladi. Bu havo hosil bo‘lgan MoO<sub>3</sub> bug‘larini o‘zi bilan olib ketib turadi va ular o‘z yo‘lida qopli elaklardan o‘tkazilib turiladi va ushlab qolinadi.

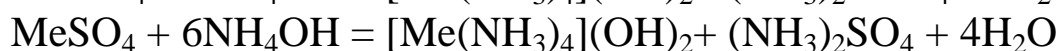
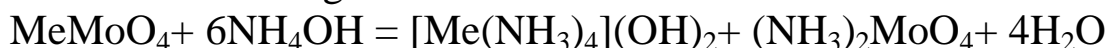
Bu usulda olingan MoO<sub>3</sub> 99,95% miqdorida ajralib chiqadi hamda nihoyatda boshqa moddalardan sof holatda bo‘ladi.

Bundan tashqari, boshqa kimyoviy usullar bo‘lib, bunda molibdenit konsentrati yuqori haroratda qizdiriladi. Hosil bo‘lgan kuyindi ammiak bilan ishqorlanadi, ya’ni:



Konsentrat tarkibidagi CaMoO<sub>4</sub>, MoO<sub>2</sub> hamda molibdenit ammiakda erimaydi va chiqindi tarkibida qoladi.

Qizdirish natijasida hosil bo'lgan molibden tuzlari, mis va rux sulfidlari (xuddi shunday nikel ham) ammiakli suvda yaxshi eriydi va ular komplekslar holida eritmaga o'tadi:



Ferromolibdat ammiakli suvda parchalanadi, lekin bu reaksiya juda sust boradi. Shuning uchun ular molibdenit zarrachalari yuzasida gidroksid va gidrooqsillar holida yupqa pardalar hosil bo'lishiga olib keladi hamda ular molibdenitlarning erishini kamaytiradi.

Eritmada hosil bo'lgan  $\text{Fe}^{+2}$  valentli birikmalari esa yaxshi eriydi hamda temirning ammiakli komplekslarini hosil qiladi:



Bu usulda olingan molibdenning miqdori 80–95% ni tashkil qiladi. Chiqindilarning miqdori 10% dan 30% gacha bo'lib, unda qoladigan molibden miqdori 5% dan 25% gacha bo'lishi mumkin. Shuning uchun bu chiqindilar yana texnologik qayta ishlashga yuboriladi.

Texnologik jarayon davomida quyidagilar suv bilan yuvilib turadi. Natijada uning tarkibidagi  $\text{MoO}_3$  qisman suvda eruvchan bo'lgani uchun, uning miqdori suvli eritmada 3–5 g/l ni tashkil qiladi va bu eritma texnologik tizimga qaytariladi.

Ishlab chiqarish korxonalarida kuyindilar (molibdenit kuyindilari) 8–10 % ammiak bilan ishqorlanadi va bu jarayon 3–4 marta amalga oshiriladi. Bundan maqsad molibdenni to'liq olishdir.

Birinchi va ikkinchi ishqorlangan eritmalarini bir-biriga qo'shib, temir va mis ionlaridan tozalash uchun yuboriladi.

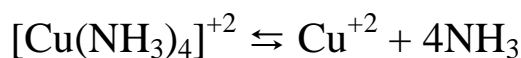
Qolgan ishqorlash natijasida hosil bo'lgan eritmalar esa texnologik qismning boshlang'ich qismiga yuboriladi. Har qaysi ishqorlash bosqichidan so'ng eritma filtrdan o'tkaziladi va cho'kma suv bilan yuviladi. Suv bilan yuvilgan eritma tizimga qaytariladi, ya'ni, yana qayta ishlashga yuboriladi.

### *Eritmani mis va temir ionlaridan tozalash*

Ammiak bilan ishqorlash natijasida kuydirilgan molibden konsentrati tarkibidagi molibden bilan birga mis, temir, rux, nikel, ishqoriy yer metallari ionlari bilan birga  $\text{SO}_4^{2-}$  ionlariga qo'shib eritmaga o'tadi. Eritma tarkibida mis va temir ionlarining miqdori boshqa ionlarga qaraganda miqdor jihatidan ko'p bo'lganligi uchun ularni

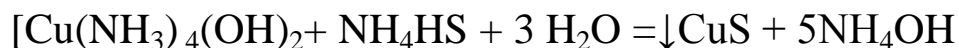
tozalash kerak bo‘ladi. Yuqorida ko‘rsatilgan boshqa ionlar miqdor jihatidan juda kam foizni tashkil qiladi.

Mis va temir ionlarini sulfidlar holida cho‘ktirish uchun eritmadagi kompleks ionlari parchalanib, ya’ni:



hosil bo‘ladi.

Mis ioni ( $\text{Cu}^{++}$ ) bilan ( $\text{NH}_4$ )<sub>2</sub>S quyidagi holatda reaksiyaga kirishadi:

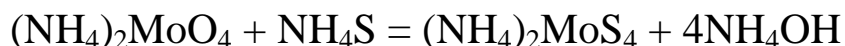


Xuddi shunday usulda FeS ham cho‘kmaga tushadi:



Eritmaga qo‘shilayotgan ammoniy sulfidini nazorat qilib turish kerak bo‘ladi, chunki eritmaga qo‘shilgan ortiqcha ammoniy sulfidi eritmadagi molibden bilan sulfotuzlarni hosil qilib, asosiy mahsulotning ifloslanishiga olib keladi.

Bu reaksiya quyidagicha boradi:



Ammiakli cho‘kmaga ammoniy sulfidi taqsimlab quyiladi, so‘ng to‘liq cho‘kma hosil bo‘lishi tekshirilib ko‘riladi. Eritmada sulfid ionlarini tekshirish uchun eritmadan ozroq olib, unga rux nitrat eritmasi ta’sir ettiriladi. Agarda eritmada ortiqcha sulfid ionlari bo‘lsa, rux molibdat ionini oq cho‘kmasi hosil bo‘ladi. Bu reaksiyalar orqali eritmalardagi ortiqcha sulfid ionlari bor yoki yo‘qligi aniqlanadi. Eritmadagi ortiqcha sulfid ionlarini yo‘qotish kuyindini ishqorlashda hosil bo‘lgan ammiakli eritmalardan qo‘shish bilan amalga oshiriladi. Mis va temirning sulfidlarini cho‘ktirish jarayoni maxsus yasalgan uskunalarda olib boriladi.

#### **6.4. Sulfidlarni tanlab eritish kinetikasi va mexanizmi**

Ko‘pchilik rudalarda metallar sulfidli minerallar ko‘rinishida uchraydi. Ularga temirning minerallari – pirit  $\text{FeS}_2$  va pirrotin  $\text{FeS}$ ; mis minerallari – kovellin  $\text{CuS}$ , xalkozin  $\text{Cu}_2\text{S}$  va xalkopirit  $\text{CuFeS}_2$ ; qo‘rg‘oshin va rux minerallari – galenit  $\text{PbS}$  va sfalerit  $\text{ZnS}$ ; molibden

minerallari – molibdenit  $\text{MoS}_2$ ; mishyakning minerallari – arsenopirit  $\text{FeAsS}_2$ ; nikel minerallari – pentlandit  $(\text{Fe}, \text{Ni})\text{S}$ ; simob minerali – kinovar  $\text{HgS}$  kiradi. Mazkur rangli va qora metallarning sulfidlari suvda odatdagi sharoitda kam eriydi. Ulardan ba'zilar suyo'tirilgan kislotali eritmalarida erishi mumkin. Masalan,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{CoS}$ ,  $\text{NiS}$  va  $\text{FeS}$  10 % li  $\text{H}_2\text{SO}_4$  eritmasida (qizdirilganda) vodorod sulfid hosil qilib eriydi. Rux va qo'rg'oshinning sulfidlari natriy gidroksid eritmasi bilan reaksiyaga kirishib,  $\text{Na}_2\text{PbO}_2$  va  $\text{Na}_2\text{ZnO}_2$  birikmalarini hosil qiladi. Misning sulfidlari esa natriy sianid eritmalarida sianidli kompleks birikmalar hosil qilib eriydi.

Kislorod ishtirokida sulfidli minerallarni shteynlardan yoki sulfidli boyitmalardan tanlab eritish jarayoni mis, rux, nikel va kobaltlarni ajratib olishda foydalaniladi. Jarayon yoki ishqoriy muhitlarda olib boriladi.

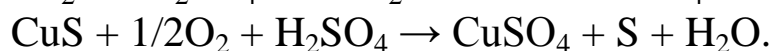
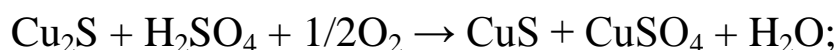
Kislorod ishtirokisiz temir va rangli metallarning barcha sulfidlari  $300\text{ }^\circ\text{C}$  gacha suvda amaliy jihatdan erimaydi, lekin kislorod ishtirokida esa metallar sekin asta eritmaga o'ta boshlaydi. Harorat va eritmaning pH qiymatiga bog'liq bo'lgan holda tanlab eritish jarayonining kimyoviy reaksiyasi elementar ko'rinishdagi oltingugurt yoki  $\text{SO}_4^{2-}$  ionlari hosil bo'lishi bilan oqib o'tadi.

Agar jarayonning harorati  $120\text{ }^\circ\text{C}$  ga qadar ko'tarilsa (bu haroratda oltingugurt eriydi) hamda jarayon kislotali muhitda olib borilsa,  $\text{S}^{2-}$  ionlari elementar oltingugurtga qadar oksidlanadi, shuningdek, bu haroratdan pastroq haroratda  $\text{S} + 3/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$  reaksiyasining borishi sekinlashadi.  $120\text{ }^\circ\text{C}$  dan yuqori haroratda esa sulfat ionlari hosil bo'la boshlaydi.

#### ***Kislorod ishtirokida xalkozinni ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) oksidlantirib eritish.***

Mis metali ruda va boyitmalarda ko'pincha xalkopirit minerali ( $\text{CuFeS}_2$ ) ko'rinishida, kamdan-kam holatda esa bornit minerali ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) ko'rinishida uchraydi. Lekin mis va nikel pirometallurgiyasining ba'zi yarim mahsulotlarida mis (I)-sulfidi ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) ko'rinishida ham uchraydi.  $\text{Cu}_2\text{S}$  – shteyn, faynshteyn va oq mattning asosiy komponenti hisoblanadi.  $\text{Cu}_2\text{S}$  juda oz miqdorda boyitmalar tarkibida ham uchrab turadi.

Amaliy natijalarga tayanadigan bo'lsak,  $\text{Cu}_2\text{S}$  mineralini ikki bosqichda oksidlanishini ko'rishimiz mumkin:



Bunda birinchi bosqich anchayin tezroq, 2-bosqich esa sekinroq borishi kuzatilgan.  $\text{Cu}_2\text{S}$  ni oksidlantirib tanlab eritish jarayonida  $\text{Cu}_2\text{S}$  ning panjaralari kovellinning ( $\text{CuS}$ ) panjaralariga o'zgarishi kuzatildi. Bu holda mineraldan iborat qattiq jismda uchta jarayon oqib o'tadi:

- 1) xalkozin  $\text{Cu}_2\text{S}$  kristall panjaralaridan mis ionlarining ajralib chiqishi;
- 2) qattiq jismdan oksidlovchi kislorodga elektronlarning o'tishi;
- 3) mis va oltingugurt atomlarining  $\text{CuS}$  panjarasini hosil qilib qayta guruhlanishi.

Elektronlarning harakati qanchalik tezlashsa, kimyoviy reaksiyada qattiq jismdan eritma fazasiga mis ionlarining o'tishi shunchalik tezlashadi. Amaliy tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, o'lchami 0,1 – 0,15 mm bo'lgan xalkozin bo'laklari 90 – 100 °C haroratda 30 daqiqa ichida  $\text{CuS}$  ga aylanadi. Bu jarayonda mis ionlarining diffuziyalanishi jadallashadi. Bu jarayonlarni o'rganib shunday xulosa qilish mumkin: qachon tanlab eritishning 2-bosqichi samarali oqib o'tsagina, tanlab eritishning 1-bosqichi qattiq zarraning butun hajmida sodir bo'lishi mumkin.

### **6.5. Kuydirilgan rux boyitmalarini tanlab eritish jarayonining gidrometallurgik hisobi**

Rux keklarining chiqishini hisoblash uchun hisobni 100 kg kuydirilgan rux boyitmasiga nisbatan olib boriladi. Qaynar qatlamli pechdan chiqqan kuyindining kimyoviy tarkibini bilgan holda tanlab eritishdan so'ng chiqadigan kekning tarkibini hisoblash mumkin. Kuyindining kimyoviy tarkibi quyidagicha: 56,63% Zn, 1,67% Pb, 0,78% Cu, 0,49% Cd, 8,23% Fe, 2,8%  $\text{S}_{\text{SO}_4}$ , 0,3%  $\text{S}_{\text{S}}$ , 21,76%  $\text{O}_2$ , 0,55%  $\text{MgO}$ , 1,11%  $\text{CaO}$ , 3,33%  $\text{SiO}_2$ , 1,22%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  va 1,11% boshqalar.

Metallurgik zavodlar amaliyoti natijasiga ko'ra, kuyindi tarkibidagi rux oksidi (erkin holatda va  $\text{SiO}_2$  ga bog'langan holda)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  bilan ta'sirlashib  $\text{ZnSO}_4$  ko'rinishiga o'tadi (99,7 %). Oksidlanmay qolgan sulfidlar va temir oksidlariga bog'lanib qolgan ferritlar kuchsiz konsentratsiyali sulfat kislotali eritmalarda odatdagi sharoitda erimaydi hamda oqibatda ular tanlab eritishdan so'ng qoladigan chiqindi kek tarkibiga o'tib ketadi. Kekning tarkibini hisoblash uchun ba'zi amaliyot natijalaridan foydalanib bir nechta qiymatlar qabul qilinadi. Masalan, kuyindi tarkibidagi qo'rg'oshinning barcha miqdori tanlab eritish jarayonida  $\text{PbSO}_4$  ko'rinishiga o'tadi. Kuyindidagi  $\text{CuO}$  ning 94 % qismi,  $\text{CdO}$  ning esa 95 % qismi eritmaga o'tadi. Agar rux kuyindilarini tanlab eritish jarayoni yopiq siklda olib borilsa, u holda kuyindi bilan keladigan keladigan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  birikmalari to'laligicha kek tarkibiga o'tib ketadi deb hisoblash kerak.

Ishlab chiqarish amaliyoti natijalariga tayangan holda kekning tarkibi quyidagicha bo‘ladi deb qabul qilamiz: 4,5%  $Zn_{H_2O}$  (yoki 11,11%  $ZnSO_4$ ), 0,05%  $Cu_{H_2O}$  (yoki 0,13%  $CuSO_4$ ), 0,03%  $Cd_{H_2O}$  (yoki 0,06%  $CdSO_4$ ).

Kek tarkibidagi metall sulfatlari miqdorini eritmaga o‘tgan metallarning miqdorini bilgan holda topish mumkin. Bundan tashqari kekning chiqishini va namligini ham bilish zarur (aniqroq aytganda, kek tarkibida qolib ketgan eritma massasining quruq kek massasiga nisbatidan topish mumkin). Kimyoviy tarkib berilganda boshqalar deb ketilgan moddalarning miqdori kekda 2,83 % deb olinadi. Bu son kuyindidagi boshqalarning tarkibi va kekning tarkibiga nisbatan olinadi va kuyindining 25 – 40 % ini tashkil etadi.

Endi  $ZnO$  ning miqdorini aniqlaymiz. Kek tarkibiga 100-99,7 = 0,3% yoki  $60,73 \cdot 0,003 = 0,18$  kg  $ZnO$  o‘tadi; bu yerda ruxning miqdori  $48,79 \cdot 0,003 \approx 0,15$  kg, kislorodniki esa  $11,94 \cdot 0,003 = 0,03$  kg. Kekda qolib ketgan  $ZnS$  miqdori 0,71 kg ni tashkil etadi, unda 0,48 kg  $Zn$  va 0,23 kg  $S$  bor. Rux ferritining miqdori ( $ZnO \cdot Fe_2O_3$ ) 15,59 kg ni tashkil etadi; unda 4,23 kg  $Zn$ , 7,22 kg  $Fe$ , 4,14 kg  $O_2$  mavjud.  $RbSO_4$  miqdorini kuyindi tarkibidagi qo‘rg‘oshin miqdoridan topamiz (kuyindida 1,67 %  $Pb$ ):  $303,2 - 1,67 : 207,2 = 2,45$  kg; unda 0,26 kg  $Pb$  va 0,52 kg  $O_2$ .  $CuO$  ning miqdori  $0,68 \cdot 0,06 = 0,04$  ni tashkil etadi; unda 0,03 kg  $Cu$  va 0,01 kg  $O_2$ .  $CuS$  ning miqdori 0,12 kg ni tashkil etadi; unda 0,08 kg  $Cu$  va 0,04 kg  $O_2$  mavjud. Mis ferriti ( $CuO \cdot Fe_2O_3$ ) ning miqdori 0,29 kg; unda 0,08 kg  $Cu$ , 0,13 kg  $Fe$  va 0,08 kg  $O_2$  bor.  $CuO$  ning miqdori  $0,33 - 0,05 = 0,0165$  kg ni tashkil etadi; unda 0,0145 kg  $Cu$  va 0,0020 kg  $O_2$  mavjud.  $CdS$  ning miqdori 0,05 kg ni tashkil etadi; unda 0,04 kg  $Cd$  va 0,01 kg  $S$  bor. Kadmiy ferritining miqdori ( $CdO \cdot Fe_2O_3$ ) 0,10 kg; unda 0,04 kg  $Cd$ , 0,04 kg  $Fe$  va 0,02 kg  $O_2$  mavjud.  $MgSO_4$  ning miqdori 1,67 kg ni tashkil etadi; unda 0,55 kg  $MgO$  bor; 0,45 kg  $Mg$  va 0,67 kg  $O_2$  bor.  $CaSO_4$  ning miqdori 2,70 kg ni tashkil etadi; unda 1,11 kg  $CaO$ ; 0,64 kg  $Ca$  va 0,95 kg  $O_2$  bor. Kvars ( $SiO_2$ ) ning miqdori 3,33 kg ni tashkil etadi,  $Al_2O_3$  ning miqdori esa 1,22 kg.

Sulfatlarning miqdori quyidagiga teng ( $ZnSO_4 + CuSO_4 + CdSO_4$ ):  $11,11 + 0,13 + 0,06 = 11,30\%$ . Miqdori ma’lum bo‘lgan komponentlar  $100 - (11,3 + 2,83) = 85,87\%$  ni tashkil etadi.

Olingan natijalarga asoslanib rux kekining chiqishini hisoblaymiz:  $(0,18 + 0,71 + 15,59 + 2,45 + 0,04 + 0,12 + 0,29 + 0,02 + 0,05 + 0,10 + 1,67 + 2,70 + 3,33 + 1,22) : 0,8587 = 28,47 : 0,8587 = 33,15$  kg, bu 100 kg



tanlab eritilgan kuyindiga nisbatan olingan bo'lib, u 33,15 % ni tashkil etadi.

Endi  $ZnSO_4$  miqdorini aniqlaymiz:  $33,15 \cdot 0,1111 = 3,68$  kg, unda 1,49 kg Zn, 0,73 kg S va 1,46 kg  $O_2$  mavjud.

Kekdagi  $CuSO_4$  ning miqdori  $33,15 \cdot 0,0013 = 0,04$  kg ni tashkil etadi; unda 0,02 kg Cu,  $\sim 0,01$  kg S va  $\sim 0,01$  kg  $O_2$  mavjud.

$CdSO_4$  ning miqdori  $33,15 \cdot 0,0006 = 0,02$  kg ga teng, unda 0,012 kg Cd, 0,003 kg S va 0,006 kg  $O_2$  bor.

Endi boshqalarning miqdorini aniqlashtirib olamiz:  $33,15 - (28,47 + 3,68 + 0,04 + 0,02) = 0,94$  kg va u  $(0,94:33,15)100 = 2,84\%$  ni tashkil etadi.

Kekning kuyindi massasiga nisbatan juda ko'p (33,15%) chiqishiga sabab dastlabki xomashyo tarkibida temirning miqdori ko'p va u kuydirish davrida boshqa kerakli metal oksidlarini o'ziga bog'lab oladi va ferritlar deb ataluvchi tanlab eritish jarayonida erimaydigan moddalarni hosil qiladi. Bundan tashqari kvartsning miqdori oshib ketishi ham kuydirish davrida silikatlarini hosil qiladi va bu moddalar eritmaning filtratsiyasini yomonlashtiradi.

Kek tarkibidagi ruxning umumiy miqdori 19,16% ni tashkil etadi, shuningdek, kekda kislotada erigan rux ham mavjud bo'lib, uning miqdori 4,95% ni tashkil etadi. Ulardan suvda eruvchanlari esa 4,5% ni tashkil etadi.

Kekdagi komponentlarning miqdori quyidagicha: 5,04% Rb, 0,63% Cu, 0,33% Cd, 6,3% sulfat holdagi oltingugurt, 0,84% sulfid holdagi oltingugurt, 22,29% Fe. Xulosa o'rnida shuni aytish mumkinki, olingan hisob natijalari amaliyot natijalariga ancha yaqin.

### **Rux keklari tarkibini hisoblash**

Rangli metallarni gidrometallurgik qayta ishlash natijasida tanlab eritish jarayonidan so'ng hosil bo'lgan bo'tanani tindirish, quyuqlashtirish yoki filtrlash jarayoniga beriladi. Bunda bo'tanadagi erigan minerallar va erimagan ruda jinslari bir-biridan ajratiladi. Natijada ikki xil mahsulot metall saqlagan eritma va erimagan jinslardan iborat kek hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan kek tarkibida ham qimmatbaho metall eritma holda mavjud bo'lsa, u holda undan metallni ajratib olish uchun uni yana yuvishga jo'natiladi. Metallurgik keklar va ularning tarkibini hisoblash muhim amaliyotlardan biri bo'lib, bu hisoblarni amalga oshirish tufayli kek tarkibiga qaysi moddadan va qancha miqdorda qolganligini aniqlash

mumkin. Bu ko'rsatkichlarni aniqlash ishlab chiqarish korxonalarining sutkalik unumdorligini hisoblashda qo'l keladi.

Mazkur amaliy mashg'ulotda rux ishlab chiqarishda hosil bo'ladigan keklar misolida jarayonning material balansini va miqdoriy ko'rsatkichlarini ko'rib chiqamiz. Bunda dastlab kekning hosil bo'lishiga sabab bo'luvchi jarayon hisoblangan – eritmani keraksiz moddalardan tozalash jarayonini hisoblashdan boshlanadi. Rux eritmasini qo'shimcha metall ionlaridan tozalashda shunday faol modda tanlash kerakki, bunda eritmadagi qo'shimcha ionlar to'liq cho'kishi ta'minlansin.

Masalan, rux eritmalarini mis va kadmiydan tozalash maqsadida rux kukunlaridan foydalaniladi. Rux kukunlarining ko'p qismi gidrometallurgik jarayonda eritmaga o'tadi va buni olinadigan eritmalarining tarkibini va miqdorini aniqlashda hisobga olish zarur. Sementator sifatida rux kukunlaridan foydalanishning ahamiyati shundaki, birinchi navbatda rux eritmadagi boshqa metallardan ko'ra manfiyroq elektrod potensialiga ega bo'lib, elektrokimyoviy kuchlanishlar qatoridagi o'zidan keyingi metallarni to'la cho'ktiradi. Bundan tashqari, aynan rux kukunidan foydalanish eritmani ruxga nisbatan yanada boyishiga olib keladi.

Rux kukunlarining sarfi birinchi navbatda eritmadagi misning va kadmiyning miqdori orqali topiladi. Mis-kadmiyli tozlashda ruxning sarfi eritmadagi bu metallarning miqdoriga nisbatan 2,5 – 3 marta ortiqcha sarflanadi. Lekin oxirgi yillarda rux eritmalarini kompleks tozalash usuli keng tarqalganligi tufayli eritmadan mis va kadmiy bilan birgalikda kobalt va nikel ionlaridan ham tozalaniladi. Buning uchun ularga ham rux kukuni saqlagan faollashtiruvchi qo'shimchalar solinadi va shu sababdan eritmani tozalash uchun ketadigan ruxning sarfi ancha ortadi. Rux va kadmiy ishlab chiqarish amaliyotida rux changidagi ruxning umumiy sarfi 4 – 6 % ni tashkil etadi.

Eritmani mis va kadmiy ionlaridan tozalashda rux changining sarfini 1 tonna chushka holdagi rux uchun 55 kg deb qabul qilamiz.

Ishlab chiqarish zavodlarining amaliyot natijalariga tayangan holda chushka holdagi metall olish uchun rux eritmalaridan ruxni umumiy ajratib olish darajasi 97 – 97,2 % ni tashkil etadi. Hisobni amalga oshirish uchun bu ko'rsatkichni 97,2 % deb qabul qilamiz. Shuni hisobga olgan holda 1 tonna ruxga sarflanadigan rux kukunining miqdori quyidagini tashkil etadi.

$$55 \cdot 0,972 = 53,46 \text{ kg.}$$

Kuydirilgan rux boyitmasini tanlab eritish natijasida eritmaga o'tgan rux miqdori quyidagicha:  $270,95 + 30,35 = 301,3$  t/sutka.

Eritmani mis va kadmiydan tozalash uchun ketadigan rux kukuniga ruxning sarfi quyidagini tashkil etadi:  $301,3 \cdot 53,46 : 1000 = 16,11$  t/sutka.

Mis-kadmiyli tozalashda rux changidagi nazariy sarflanadigan ruxning zaruriy miqdorini hisoblaymiz:

Misni sementatsiyalash uchun. Eritmadagi misning miqdori:

$3,09 + 0,36 = 3,45$  t/sut ni tashkil etadi. Bu miqdor uchun ruxning sarfi quyidagini tashkil qiladi:  $65,4 \cdot 3,45 : 63,6 = 3,55$  t.

Kadmiyni sementatsiyalash uchun. Eritmadagi kadmiyning miqdori quyidagicha:  $2,048 + 0,455 = 2,503$  t. Buning uchun ruxning sarfi quyidagicha:  $65,4 \cdot 2,503 : 112,4 = 1,46$  t.

Ruxning umumiy sarfi quyidagini tashkil etadi:  $3,55 + 1,46 = 5,1$  t/sut. Mis va kadmiyni sementatsiyalashga ortiqcha sarflanadigan ruxning karrali nisbatini aniqlash uchun uning nazariy sarflanadigan miqdorini rux changidagi miqdoriga nisbati bilan aniqlanadi:  $16,11 : 5,1 = 3,2$ .

Mis va kadmiyni sementatsiyalash uchun sarflanadigan rux changidagi va eritmaga o'tgan ruxning miqdori 5,1 t ni tashkil etadi. Rux changining ortiqcha miqdori mis-kadmiyli kekda saqlanib qoladi. Bu  $16,11 - 5,10 = 11,01$  t/sutkani tashkil etadi.

Ishlab chiqarish zavodlarining mis-kadmiyli keki tarkibida 38 – 45 % Zn mavjud bo'lib, shundan 7 – 10 % qismi  $ZnSO_4$  ko'rinishida bo'ladi. Hisoblash uchun ruxning umumiy miqdorini 40 % deb qabul qilamiz. Shu qatorda 9,5 % qismi  $ZnSO_4$  ko'rinishida va qolganlari boshqa minerallar ko'rinishida deb qabul qilamiz. U holda mis-kadmiyli kekda metall holdagi ruxning miqdori 30,5 % ni tashkil etadi. Kekning chiqishi quyidagini tashkil etadi:  $11,01 : 0,305 = 36,1$  t/sut.

Mis-kadmiyli kekda  $(2,503 : 36,10) \cdot 100 = 6,9$  % kadmiy va  $(3,45 : 36,10) \cdot 100 = 9,6$  % mis mavjud.

Mis-kadmiyli kekning tarkibi: 40% Zn, 9,6% Cu, 6,9% Cd, 43,5% boshqalar.

Hozirgi kunda rux keklerini qayta ishlash dolzarb muammolyardan biri bo'lib qolmoqda. Ayni paytda rux keklerini qayta ishlash velslash jarayoni bilan amalga oshirilmoqda. Ammo bunda koksning sarfi ancha ko'pligi uchun hozirgi kundagi ruxning tan-narxi uni nisbatan arzonroq va qulayroq gidrometallurgik usullar bilan qayta ishlash zarurligini keltirib chiqarmoqda.

## Neytral eritmalarning miqdorini hisoblash

Hozirgi kunda metallurgiya sanoatida ko'pchilik metallarni gidrometallurgik usul bilan ajratib olish rivojlanib bormoqda. Bunga sabab gidrometallurgik jarayonlarni energiya va resurs tejamligini bo'lib, bu usulda nodir, noyob va og'ir rangli metallarni ishlab chiqarish nisbatan samaraliroq va ishlab chiqarish uchun ketadigan sarf xarajatlari nisbatan kamroqdir. Metall birikmalarini gidrometallurgik qayta ishlash asosan tanlab eritish jarayonlariga asoslangan bo'lib, ularda uchraydigan qonuniyatlarni va ularning eng muhim parametrlarini o'rganish katta ahamiyatga ega. Tanlab eritish jarayonida eritmalarning miqdori, tanlab eritiluvchi moddaning miqdori, erituvchi reagentlarning stexiometrik va ortiqcha sarfi, chiquvchi eritmalarning miqdori, tanlab eritish mobaynida metallarning chiqindilar bilan chiqib ketishi kabi ko'rsatkichlar jarayonning eng muhim ko'rsatkichlaridan hisoblanadi. Chunki mana shu ko'rsatkichlarga tayangan holda jarayonning materiallar balansini va erituvchi reagentlarning sarfini aniqroq hisoblab topish mumkin. Bundan tashqari tanlab eritish mobaynida metallarni chiqindilar bilan yoki neytral eritmalar bilan chiqib ketish sabab va qonuniyatlarni o'rganish orqali jarayonda metallarning sarfini kamaytirib ularni maksimal darajada tejab qolish va bu bilan birga ishlab chiqarish unumdorligini oshirishga erishiladi.

Tanlab eritish jarayonida nafaqat rangli metallarni sarflanishi kuzatiladi, balki eritmada sulfat kislota bilan reaksiyaga kirishadigan kalsiy, qo'rg'oshin va shu kabi boshqa keraksiz metallar hisobidan hamda shu metallarni tozalashda sistemadan chiqarib yuboriladigan eritmalar hisobidan sulfat kislotaning ham yo'qotilishi kuzatiladi. Amaliyotda sulfat holdagi oltingugurtning yo'qolishini qo'shimcha sulfat kislotani kiritilishi va kuyindidagi sulfatlarning kiritilishi bilan to'ldiriladi. Suvning kelishi esa uning sarfi bilan tengdir. Shu amaliy natijalarga tayangan holda sulfatlar va suvning balansini tanlab eritish jarayonida teng deb hisoblaymiz.

Tanlab eritish jarayonida qayta ishlanadigan kuydirilgan rux boyitmasining miqdori quyidagini tashkil etadi:  $200\ 000 : 365 = 549,95$  t/sutka. Shuncha miqdor kuyindi bilan quyidagi miqdorda moddalar keladi, t:  $Zn\ 549,95 \cdot 0,5663 = 311,44$ ;  $Cd\ 549,95 \cdot 0,0049 = 2,695$ ;  $Cu\ 549,95 \cdot 0,0078 = 4,29$ .

**Rux kekining ratsional tarkibi**

Birikmalar	S <sub>SO4</sub>		S <sub>S</sub>		O <sub>2</sub>		Jami	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
ZnO	-	-	-	-	0,03	0,09	0,18	0,54
ZnSO <sub>4</sub>	0,73	2,2	-	-	1,46	4,4	3,68	11,1
ZnS	-	-	0,23	0,69	-	-	0,71	2,14
ZnO·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	4,14	12,49	15,59	47,03
PbSO <sub>4</sub>	0,26	0,78	-	-	0,52	1,57	2,45	7,39
CdO	-	-	-	-	-	-	0,02	0,06
CuO	-	-	-	-	0,01	0,03	0,04	0,12
CuS	-	-	0,04	0,12	-	-	0,12	0,36
CuO·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	0,08	0,25	0,29	0,88
CuSO <sub>4</sub>	0,01	0,03	-	-	0,02	0,06	0,04	0,12
CdSO <sub>4</sub>	-	-	-	-	-	-	0,02	0,06
CdS	-	-	0,01	0,03	-	-	0,05	0,15
CdO·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	0,02	0,06	0,1	0,3
MgSO <sub>4</sub>	0,45	1,36	-	-	0,67	2,02	1,67	5,04
CaSO <sub>4</sub>	0,64	1,93	-	-	0,95	2,86	2,7	8,14
SiO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	3,33	10,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	1,22	3,68
Boshqalar	-	-	-	-	-	-	0,94	2,84
Jami	2,09	6,3	0,28	0,84	7,9	22,83	33,15	100

Ishlab chiqarish zavodlari ma'lumotlariga asoslangan holda kuyindidan neytral eritmaga o'tishda ajratib olishdagi yo'qotishlarni hisoblash ishlari uchun 87% Zn, 76% Cd va 72% Cu bo'ladi deb qabul qilamiz.

Tanlab eritish mobaynida kuyindidan neytral eritmaga quyidagi moddalar o'tadi, t/sutka: Zn  $311,44 \cdot 0,87 = 270,95$ ; Cd  $2,695 \cdot 0,76 = 2,048$ ; Cu  $4,29 \cdot 0,79 = 3,09$ .

Ruxni eritmaga o'tkazish uchun quyidagi miqdorda kislota talab etiladi:  $98 \cdot 270,95 : 65,4 = 406,01$  t; kadmiyni eritmaga o'tkazish uchun esa mos ravishda  $98 \cdot 2,048 : 112,4 = 1,79$  t kislota va mis uchun  $98 \cdot 3,09 : 63,6 = 4,76$  t kislota talab etiladi.

Jarayon uchun zarur bo'lgan kislotaning umumiy miqdori:  $406,01 + 1,79 + 4,76 = 412,56$  t/sutkani tashkil etadi.

Kuydirilgan rux boyitmasini tanlab eritishdan so'ng chiqadigan eritmaning umumiy miqdori quyidagini tashkil etadi:  $412,56 \cdot 1000 : 130 = 3174$  m<sup>3</sup>/sutka.

Kuydirilgan rux boyitmasi tanlab eritilib, keraksiz metal ionlaridan tozalanib bo‘lingandan so‘ng olingan toza rux sulfati eritmasi elektroliz jarayoniga yo‘naltiriladi va undan ruxni elektrolitik tozalash yo‘li bilan katod holida ajratib olinadi.

### *Savol va topshiriqlar*

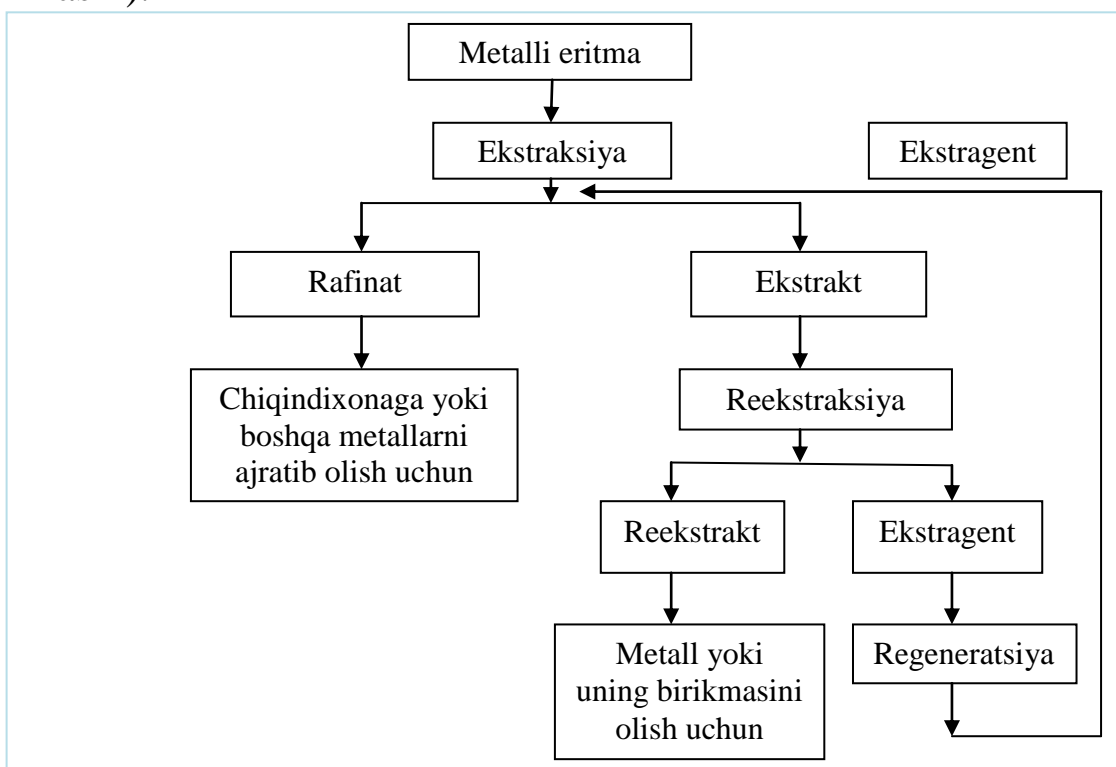
1. Sof metallarni tanlab eritishda qanday fizika-kimyoviy o‘zgarishlar sodir bo‘ladi?
2. Metall oksidlari qaysi turdagi reagentlar ishtirokida tanlab eritiladi?
3. Oksidlarni tanlab eritish jarayoniga misollar keltiring!
4. Sulfidli birikmalar kislota va ishqorlarda erimasa ularni qanday qilib eritish mumkin?
5. Oltinni tanlab eritish jarayonining texnologik sxemasini keltiring!
6. Molibden trioksidini tanlab eritish jarayonining texnologik sxemasini keltiring!
7. Neytral eritma deganda nimani tushunasiz?
8. Neytrallanish reaksiyalari deb qanday reaksiyalarga aytiladi?
9. Tanlab eritish mobaynida kuyindidan eritmaga qanday moddalar o‘tadi?
10. Rux keki tarkibida qancha miqdor atrofida rux mavjud bo‘ladi?
11. Rux keki tarkibidagi rux qanday birikmalar ko‘rinishida bo‘ladi?
12. Ruxni tanlab eritishda necha foiz rux kek tarkibiga o‘tadi?

## 7-BOB. EKSTRAKSION JARAYONLARNING ASOSLARI

### 7.1. Umumiy tushunchalar. Ekstragentlarni sinflash

Ekstraksiya deb, moddalarni (metall birikmalarini) eritmadan suvga aralashmaydigan suyuq organik fazaga o'tkazishga aytiladi. Organik fazadan metall birikmalarini suv fazasiga o'tkazish reekstraksiya deb ataladi.

O'ta suyultirilgan eritmadan ekstraksiya-reekstraksiya yo'li bilan yuqori konsentratsiyali eritma olishga ekstraksiya jarayonlari deb ataladi (7.1 – rasm).



7.1-rasm. Eritmadan metallni ekstraksiya usulida ajratib olish jarayonining prinsipial sxemasi

Hozirgi kunda gidrometallurgiyada ekstraksiya uran, indiy, talliy, germaniy, tellur moddalarini ajratib olish va tozalashda; misni ajratib olishda, kobalt va nikelni bir biridan ajratishda; volframni ajratib olishda va platina guruhidagi metallarni ajratib olish va tozalashida qo'llaniladi.

Ekstraksiya jarayonida quyidagi tushuncha va atamalar ishlatiladi.

**Ekstragent** - eritmadan ajratib olinishi kerak bo'lgan metall ion yoki molekulasi bilan birikma hosil qiluvchi va hosil qilgan birikmasi boshqa biror organik suyuqlikda erish xossasiga ega bo'lgan organik modda. Bularga organik kislotalar, spirtlar, efirlar va boshqalar kiradi.

**Suyultirgich** - eksragentni suyultirish uchun xizmat qiluvchi, suvda erimaydigan suyuq organik modda (kerosin, ksilol, uayt - spirt va boshqalar).

**Faollantirgichlar** - eritmadagi metall ioni bilan oson ekstraksiyalanuvchi molekula yoki kompleks hosil qiluvchi anorganik moddalar.

**Ekstrakt** - ekstraksiyadan keyingi organik faza.

**Rafinat**- ekstraksiyadan keyingi suvli faza.

**Reekstrakt** - reekstraksiyadan keyingi suvli faza.

**Regeneratsiya**- ekstragentning dastlabki xossalarini qayta tiklash jarayoni.

Ekstraksiya jarayonining miqdoriy ko‘rsatkichlarini ifodalash uchun moddaning taqsimlanish koeffitsiyenti ( $D$ ), ajratish koeffitsiyenti ( $\beta$ ), taqsimlanish doimiyliigi ( $K_d$ ) va ajralish (ekstraksiya) darajasi ( $E$ ) kabi atamalardan foydalaniladi.

**Taqsimlanish koeffitsiyenti** deb, tizim muvozanatlashgan vaqtda moddaning organik fazadagi umumiy konsentratsiyasini suvli fazadagi konsentratsiyasi nisbatiga aytiladi.

$$D = \frac{\sum C_{opz}}{\sum C_{cy\theta}} = \frac{C_{1(opz)} + C_{2(opz)} + C_{3(opz)} + \dots + C_{i(opz)}}{C_{1(cy\theta)} + C_{2(cy\theta)} + C_{3(cy\theta)} + \dots + C_{i(cy\theta)}}$$

Bu yerda,  $C_{suv} \dots, C_{org}$  - moddaning suvli va organik fazalardagi har xil birikma holdagi konsentratsiyalari.

Agar modda organik va suvli fazalarda faqat bir xil birikma holda bo‘lsa, taqsimlanish koeffitsiyenti quyidagi shaklda yoziladi.

$$D = K_d = \frac{C_{1(opz)}}{C_{1(cy\theta)}}$$

Bu yerda,  $K_d$  - taqsimlanish doimiyliigi.

Taqsimlanish doimiysi  $K_d$  muvozanat doimiysi  $K_m$  bilan quyidagicha bog‘langan.

$$K_d = K_m \frac{\gamma_{opz}}{\gamma_{cy\theta}}$$

Bu yerda,  $K_m$  – muvozanat doimiysi;  $\gamma_{suv}$  va  $\gamma_{org}$  – moddaning suvli va organik fazalaridagi faollik koeffitsiyentlari.

O‘ta suyultirilgan eritmalar uchun  $\gamma_{suv} = \gamma_{org} = 1$ , va  $K_d = K_m$

**Ajratish koeffitsiyenti** ( $\beta$ ) - ikkita ajratilayotgan moddalar taqsimlanish koeffitsientlarining o‘zaro nisbati

$$\beta = \frac{D_1}{D_2}$$



Moddalarni bir-biridan ekstraksiya yo‘li bilan ajratib olish uchun  $\beta \geq 2$  bo‘lishi kerak.

Ajratish (ekstraksiya) darajasi (E) - moddaning umumiy miqdoridan organik fazaga o‘tgan qismi foizlar hisobida quyidagiga teng bo‘ladi:

$$E = \frac{C_{org} \cdot 100}{C_{org} + C_{suv}} = \frac{\frac{C_{org}}{C_{suv}} \cdot 100}{\frac{C_{org}}{C_{suv}} + 1} = \frac{D \cdot 100}{D + 1}$$

Suv va organik fazalarning har xil hajmlarida:

$$E = \frac{C_{org} V_{org} 100}{C_{org} V_{org} + C_{suv} V_{suv}} = \frac{C_{org} 100}{C_{org} + C_{suv} \frac{V_{suv}}{V_{org}}} = \frac{100D}{D + \frac{V_{suv}}{V_{org}}}$$

Bu yerda  $C_{org}$  va  $C_{suv}$  - moddaning organik va suvli fazalardagi konsentratsiyalari;  $V_{org}$  va  $V_{suv}$  - organik va suvli fazalarning hajmlari.

### *Ekstragentlarga qo‘yiladigan talablar va ularning turlari*

Sanoatda muvaffaqiyatli qo‘llanilishi uchun ekstragent quyidagi xossalarga javob berishi kerak: yuqori ekstraksiyalash va tanlovchanlik qobiliyatiga, suvli eritmalarda erimaslik va barqarorlikka (oksidlanmaslik, qaytarilmaslik, gidrolizlanmaslik), suvli eritmaga nisbatan farqli zichlikka (kam yoki yuqori), kam qovushqoqlikka, zaharsiz, bug‘lanmaslik, alanganlanmaslik xususiyatlariga hamda arzon va suyultiruvchida oson erish qobiliyatiga ega bo‘lishi kerak.

Sanoatda ishlatilayotgan ekstragentlarni ularning metall ionlari bilan birikish xususiyatlarga qarab ikki toifaga - betaraf va ionalmashuvchi ekstragentlarga bo‘lish mumkin.

Betaraf ekstragentlarga tarkibida elektron-donor qobiliyatli faol atomi bo‘lgan organik birikmalar kiradi.

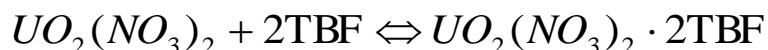
Ikkinchi guruh ekstragentlarga organik kislotalar va asoslar hamda ularning tuzlari kiradi. Ular suvli eritmada o‘zlarining kation va anionlarini eritmada boshqa, bir xil ishorali kation yoki anionga almashtirish qobiliyatiga ega.

Ionalmashuvchi ekstragentlar, almashuvchi ionlarining turiga qarab, kationalmashuvchi va anionalmashuvchilarga tasniflanadi.

Ekstraksiya jarayonlari qo‘llanilayotgan ekstragentning turiga qarab betaraf ekstragentlar bilan ekstraksiyalash, ionalmashuvchi ekstraksiya va kation almashuvchi ekstraksiyalarga farqlanadi.

## 7.2. Betaraf ekstragentlar bilan ekstraksiyalash

Betaraf ekstragentlar bilan ekstraksiyalashga, tributilfosfat (TBF) ekstragenti bilan uranilnitratni ekstraksiyalash tenglamasi misol bo‘lishi mumkin:



Betaraf ekstragentlar bilan ekstraksiyalash jarayonining muvozanatini quyidagi misolda ko‘rib chiqamiz:



Suvli eritmada  $Me^{n+}$  ning va suyultirgichda TBF ning kam konsentratsiyalarida (suyultirilgan eritmalarda  $\gamma_{Me^{n+}} = \gamma_{TBF} = 1$ ) reaksiyaning muvozanat doimiyligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$K_C = \frac{[Me(NO_3)_n \cdot qTBF]_{org}}{[Me^{n+}]_{suv} [NO_3^-]^n [TBF]_{org}^q}$$

$$\frac{[Me(NO_3)_n \cdot qTBF]_{org}}{[Me^{n+}]_{suv}} = D \quad \text{bo‘lgani uchun} \quad K_C = \frac{D}{[NO_3^-]^n [TBF]_{org}^q}$$

bo‘ladi.

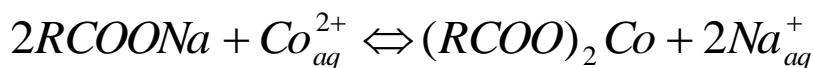
## 7.3. Anionalmashuvchi va kationalmashuvchi ekstraksiya

### *Kationalmashuv ekstraksiya*

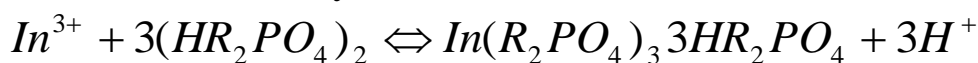
Organik kislotalar va ularning tuzlari bilan eritmalaridan metall kationlarini ekstraksiyalash kationalmashuv ekstraksiya deyiladi.

Ekstraksiyaning mexanizmi, ajratib olinadigan metall kationi, ekstragentning kationi bilan almashishidan tashkil topgan. Bunga misol qilib quyidagi tenglamalarni keltirish mumkin:

a) kobalt kationini yog‘ kislotasining natriyli tuzi bilan ekstraksiyalash



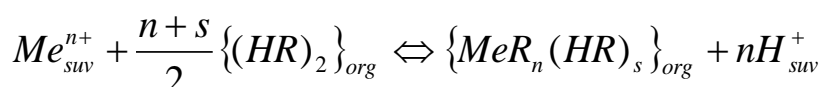
b) indiy va molebdenli kationlarini di-2-etilgeksilfosfor (D2EGFK) kislotalari bilan ekstraksiyalash



bu yerda R – radikalidagi uglerod atomlarining soni 7-9.

Kationalmashuv ekstragentlar bilan ekstraksiyalash jarayonining muvozanatini quyidagi misolda ko‘rib chiqamiz.

Organik kationlar bilan kationlarni ekstraksiyalash quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:



bu yerda: s – qo‘shimcha solvatlangan kislota molekulasini;  
(HR)<sub>2</sub> – kislotalarning juftlashgan molekulasini.

Tenglamani konsentration muvozanat doimiyligi:

$$K_C = \frac{[MeR_n(HR)_s]_{org} [H^+]_{suv}^n}{[Me^{n+}]_{suv} [(HR)_2]_{org}^{\frac{n+s}{2}}}$$

bu tenglamada

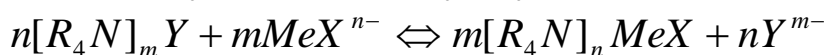
$$\frac{[MeR_n(HR)_s]_{org}}{[Me^{n+}]_{suv}} = D \quad \text{bu holda}$$

$$K_C = D \frac{[H^+]_{suv}^n}{[(HR)_2]_{org}^{\frac{n+s}{2}}} \quad \text{bo‘ladi.}$$

### Anionalmashuvchi ekstraksiya

Gidrometallurgiyada ishlatiladigan anionalmashuvchi ekstragentlarning hammasi aminlar sinfiga tegishli (organik asoslar). Aminlar – ammiakning hosilasidir.

To‘rtlamchi amin asoslarining (TAA) tuzlari metall anionlarini quyidagi mexanizm bo‘yicha ekstraksiyalaydi:



bu yerda: n – metall anionining zaryadi;

m – TAA tuzi anionining zaryadi;

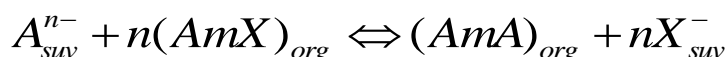
Y – kislota anioni.

Kationalmashuvchi ekstraksiyaga quyidagi tenglamani misol tariqasida ko'rsatsak bo'ladi:



Anionalmashuvchi ekstragentlar bilan ekstraksiyalash jarayonining muvozanatini quyidagi misolda ko'rib chiqamiz.

Anionalmashuvchi ekstraksiyasida sodir bo'ladigan kimyoviy jarayonlarni quyidagi umumiy tenglama bilan ifodalash mumkin:



Reaksiyaning muvozanat doimiyligi

$$K = \frac{[AmA]_{org} [X^-]_{suv}^{n-}}{[A^{n-}]_{suv} [AmX]_{org}^n}$$

bu tenglamada

$$\frac{[AmA]_{org}}{[A^{n-}]_{suv}} = D \quad \text{bu holda}$$

$$K = D \frac{[X^-]_{suv}^{n-}}{[AmX]_{org}^n} \quad \text{bo'ladi.}$$

#### 7.4. Ekstraksiya jarayonida muvozanat holatlar

Betaraf ekstragentlarga mansub bo'lgan TBF metall molekulari bilan quyidagicha birikma hosil qiladi:



Suyultirilgan eritmalar uchun ( $f_{Me}^{n+} = 1_{TF} = 1$ ) reaksiyaning muvozanat doimiyligi

$K_s = [Me(NO_3)_n TBF]_{org} / ([Me^{n+}]_{suv} [TBF]_{opr}^4 [NO_3^-]_{suv}^n)$  taqsimlanish koeffitsiyenti  $D = [Me(NO_3)_n q TBF]_{org} / [Me^{n+}]_{suv}$

u holda  $K_s = D / ([TBF]_{org} [NO_3^-]_{suv}^n)$  bo'ladi.

Ekstraksiya nitratli muhitda olib borilayotgan bo'lsa,  $NO_3^-$  ionlarining konsentratsiyasini o'zgarimas deb qabul qilsa bo'ladi. U holda

$K_m(NO_3) = K^1$  desak,  $D = K^1 [TBF]_{org}^{ch}$  yoki  $lgD = lgK^1 + q \lg_{<TBF>org}$  bo'ladi.

Metallarni nitratli eritmalaridan TBF yordamida olishda, eritmaga qo‘shimcha  $\text{NO}_3^-$  ionlari qo‘shilsa, ekstraksiya ko‘rsatkichlari ancha yaxshilanadi. Bunga sabab:

1) dissosiyalanmagan  $\text{Me}(\text{NO}_3)_n$  molekularining ko‘payishi D ning qiymatini ortishiga olib keladi;

2) eritmaga yangi qo‘shilgan  $\text{NO}_3^-$  ionlarining gidratlanishi  $\text{Me}^{n+}$  ionlarini qurshab turgan suv dipollarining kamayishiga, bu esa uning ekstragent molekulasi bilan osonroq solvatlanishiga sabab bo‘ladi.

Ekstraksiya jarayonida organik fazaga ma‘lum miqdorda kislota ham o‘tadi, masalan, kislotaning konsentratsiyasi 4 mol/l gacha bo‘lsa,  $\text{TBF} + 2\text{HNO}_3$  ko‘rinishiga o‘tadi. Bu D ning qiymatini kamaytiradi. Agar, Zr, Hf ekstraksiyalanayotgan bo‘lsa, eritmada  $\text{HNO}_3$  ning ko‘payishi D ning ortishiga sabab bo‘ladi, chunki tuzning gidrolizlanishi kamayadi. Bundan tashqari, taqsimlanish koeffitsiyentining qiymati  $\text{H}^+$  ionlariga ham bog‘liq, chunki



Reaksiyaning muvozanat doimiyligi

$$K_m = [\text{Zr}(\text{NO}_3)_4 \cdot 2\text{TBF}] / [\text{Zr}(\text{OH})_2^{2+}]$$

Taqsimlanish koeffitsiyenti

$$D = K_s [\text{NO}_3]_{\text{suv}}^* [\text{N}^+]_{\text{suv}}^2 [\text{TBF}]_{\text{org}}$$

Tenglamaga muvofiq, eritmada  $\text{HNO}_3$  ning konsentratsiyasining ortishi sirkoniy va gafniylarning taqsimlanish koeffitsiyentlarini kattalashishiga olib keladi. Ammo ajralish koeffitsiyenti  $P = D_{\text{Zr}} / D_{\text{Hf}}$  kamayadi. Bunga sabab, kislota miqdorining ortishi bilan  $D_{\text{Hf}}$  ning qiymati  $D_{\text{Zr}}$  nikiga nisbatan tezroq o‘sadi. Shuning uchun sirkoniy va gafniy bo‘lgan eritmada TBF yordamida faqat sirkoniyni ajratib olish uchun ekstraksiyani 5 normalli azot kislota eritmasida olib boriladi.

### *Anion almashuvchi ekstraksiyasida muvozanat*

Metall ionlari eritmada har xil ko‘rinishga va tabiatga ega. Masalan, volfram, reniy, molibden kabi metallar oddiy yoki polimer anionlari ko‘rinishida ( $\text{ReO}_4^-$ ,  $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{WO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mo}_7\text{O}_{24}^{6-}$ ), kobalt, temir, platina va boshqalar kompleks birikma holda ( $\text{CoCl}_4^{2-}$ ,  $\text{FeCl}_4^-$ ,  $\text{PtCl}_6^{2-}$ ,  $\text{TaF}_4^{2-}$ ) bo‘ladilar.

Bunday ionlar anionalmashuvchi ekstraksiyasi yordamida eritmada ajratib olinishi mumkin.

Anionalmashuvchi ekstraksiyasida sodir bo‘ladigan kimyoviy jarayonlarni quyidagi umumiy tenglama bilan ifodalash mumkin:

$$A_{\text{suv}}^{q-} + n (AmX)_{\text{org}}^* \rightleftharpoons (AmA)_{\text{org}} + nX^{n+} \quad (5.2.)$$

Bu yerda,  $x$  – kislota anioni  $Am^{+}$ -  $NR_4^{+}$  yoki  $NRqH_4^{+}$ .

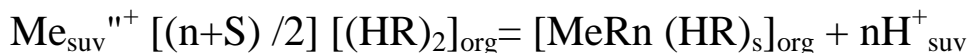
$q=1-3$ . Reaksiyaning muvozanat doimiysi

$K_m = \frac{[AmA]_{\text{org}} [X]_{\text{suv}}^n}{[A^{*}]}$ ,  $[AmX]_{\text{org}}$  Taqsimlanish koefitsiyenti  $D = \frac{[AmA]_{\text{org}}}{[A^{n+}]_{\text{suv}}}$  U holda  $\lg D = \lg K_m + n \lg \frac{[AmX]_{\text{opr}}}{[X']_{\text{cvB}}}$

Yuqoridagi ifodadan ko‘rinib turibdiki, eritmada  $X^n$  ionlarining ko‘payishi  $D$  ning qiymatini kamayishiga olib keladi. Agar ekstragentning konsentratsiyasi o‘zgarmas ( $[AmX]_{\text{org}} = \text{const}$ ) bo‘lsa, u holda  $\lg D = f(\lg [X]_{\text{suv}})$  bo‘ladi va bu to‘g‘ri chiziq og‘ish burchagining tangensi anion zaryadi ( $q$ ) ga teng bo‘ladi. Agar  $(AmX)_{\text{pr}} = 1$  va  $(X)_{\text{suv}} = 1$  bo‘lsa, u holda  $K = D$  bo‘ladi.

### *Kation almashuvchi ekstraksiyasida muvozanat*

Organik kislotalar bilan kationlarni ekstraksiyalash quyidagi tenglama bilan ifodalanadi.



Bu yerda  $S$ - qo‘shimcha solvatlangan kislota molekulasini;

$(HR)_s$  - kislotalarning juftlangan molekulasini.

Reaksiyaning muvozanat doimiyligi

$$K_s = \frac{[MeRn (HR)_s]_{\text{org}} [N^+]_{\text{suv}}}{[Me^{n+}]_{\text{suv}} [(HR)_2]_{\text{org}}^{(n+s)/2}}$$

Taqsimlanish koefitsiyenti

$$D = \frac{[MeRn (HR)_s]_{\text{org}}}{[Me^{n+}]_{\text{suv}}} \text{ bo‘lsa,}$$

$$\text{U holda } K_s = D [N^+]_{\text{suv}}^{n+s} / t[(HR)_2]_{\text{org}}^{n+s}$$

$$\text{Yoki } \lg D = \lg K_c + [(n+s)/2] \lg [(RH)] + npH.$$

Faraz qilaylik, ekstragent keragidan ortiqcha, ya‘ni  $j[(HR)_2]_{\text{org}} \gg [Me^{q+}]_{\text{suv}}$ , u holda  $(HR)_{2/\text{org}}$  o‘zgarmas miqdor.

Agar  $D(H^+)_{\text{suv}} = K^1$  desak yuqoridagi tenglamadan  $K = D[H^+]^n$  yoki  $\lg D = \lg K^1 + npH$  kelib chiqadi.

Tenglamalar tahlili shuni ko‘rsatadiki, kationlarni organik kislotalar bilan ekstraksiyalaganda jarayonning taqsimlanish koefitsiyenti, shuningdek, ajratib olish darajasi ( $e$ ) eritmada vodород ionlarining konsentratsiyasiga bog‘liq bo‘ladi, ya‘ni  $\lg D = f(pH)$  bo‘lib, u kationning konsentratsiyasiga bog‘liq bo‘lmaydi. To‘g‘ri chiziqning og‘ish burchagi kation zaryadiga teng.

Agar fazalar hajmi teng va  $D=1$  bo‘lsa, ekstraksiyalash darajasi 50 foiz bo‘ladi. U holda  $\lg D = 0$  ni tenglamaga qo‘yib,  $pH$  ning qiymatini topamiz. Bu yarim ekstraksiyalash  $pH_{1/2}$  deb ataladi.

Alifatik monokarbon kislotalar bilan kationlarning ekstraksiyalanishini o'rganish haqiqatan ham ekstraksiya ko'rsatkichlari eritmaning pH ga bog'liq ekanligini ko'rsatdi. Tajriba natijalari tahlil qilinib, quyidagi xulosaga kelingan:

**E** – pH egri chizig'i bir xil zaryadli hamma kationlar uchun bir xil ko'rinishga ega, ammo har bir kationning suvli fazadan organik fazaga o'tishi pH ning ma'lum oraliq qiymatiga to'g'ri keladi.

Kationning 50 foiz miqdorda organik fazaga o'tgandagi pH ning qiymati shu kation uchun yarim ekstraksiyalanish nordonligi (pH) deb qabul qilingan va metallar shu birlik qiymati bo'yicha ma'lum tartibda joylashgan. pH qiymati katta bo'lgan kationlar qiyinroq ekstraksiyalanadi.

Har xil zaryadli metall ionlarini monokarbon kislotasi bilan ekstraksiyalanishi  $Me^{3+} > Me^{2+} > Me^{+}$  tartibida susayib boradi. Bu past zaryadli kationlarning katta zaryadli kationlarga nisbatan gidratlanish energiyasi yuqoriroq ekanligini ham ko'rsatadi.

## 7.5. Ekstraksiya jarayonining kinetikasi

Ikkita ta'sirlashadigan fazalar [suv va organik] orasida moddani muvozanatlashgan taqsimlanish tezligi quyidagicha aniqlanadi:

1) moddani suv va organik fazalarni hajmida va fazalarni bo'linish chegarasida massa almashuv tezligi bilan;

2) ikkala faza yoki fazalar chegarasida kimyoviy reaksiyalarning tezligi bilan.

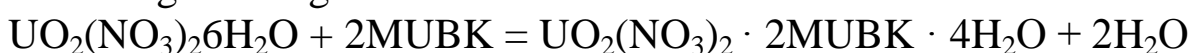
Ekstraktorlarda fazalarni intensiv aralashtirish sharoitlarida massa almashuv yuqori tezlikda boradi.

Gidrometallurgiyada qo'llaniladigan ekstraksion sistemalarda, kimyoviy reaksiyalarning tezligi ham odatda juda yuqori bo'ladi. Shu sababdan ekstraksiya jarayonida ko'p hollarda muvozanat holatiga 3-5 minutda erishiladi.

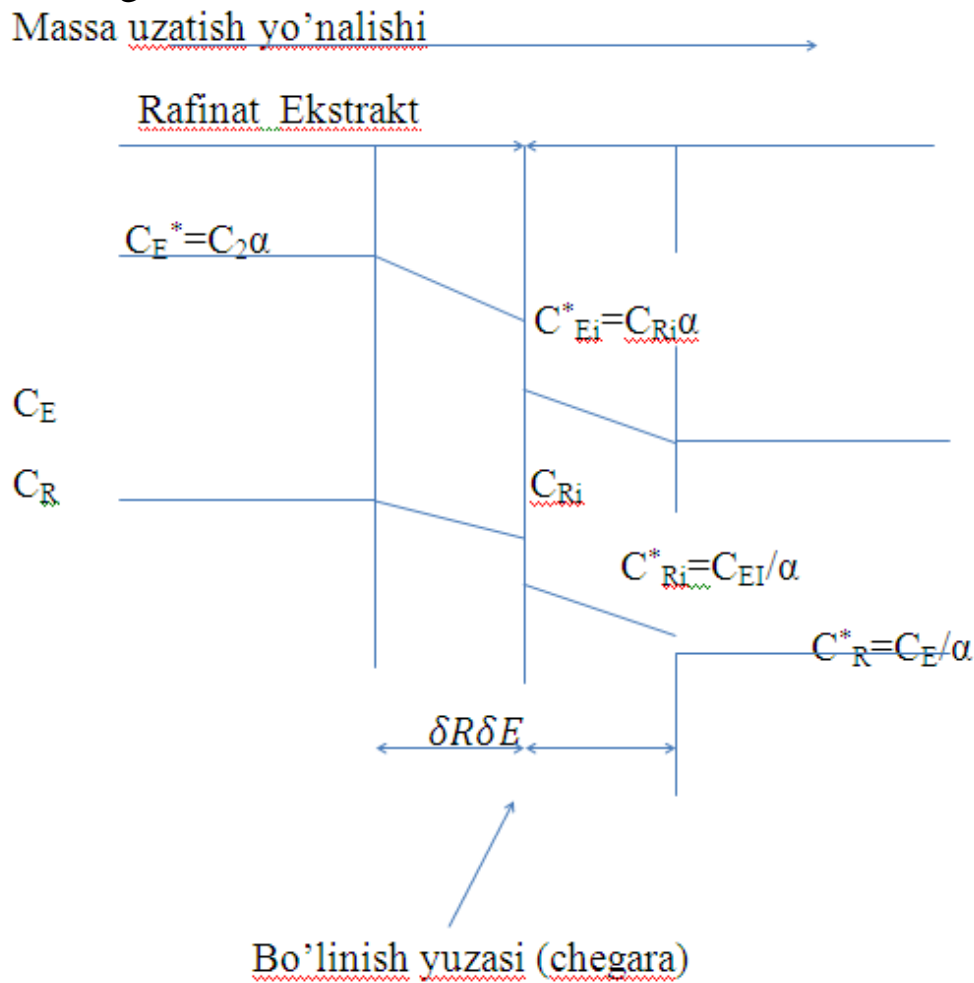
Ayrim hollarda ekstraksiya tezligi kimyoviy reaksiyalarning tezligi bilan limitlanadi. Kimyoviy reaksiyaning tezligi bilan limitlangan jarayonlarda ekstraksiyadan avval suv fazasida ichki kompleks birikmalar yoki solvatlar hosil bo'ladi.

Miisol sifatida uranilnitratni ekstraksiyalashda solvatlarni hosil bo'lishini keltirish mumkin.

Uranilnitratning molekulari suvda metall izobutil niton [MUBK] tomonidan gidratlangan:



Ekstraksiya jarayoni tezligini umumiy tenglamasini tuzish 7.2-rasmda ko'rsatilgan.



**7.2-rasm. Ekstraksiya jarayonining modeli**

7.2-rasmdagi modelga ko'ra fazalar bo'linish yuzasida qalinligi  $C_R$  va  $C_E$  bo'lgan nozik chegaraviy qatlamlar mavjud.

Bu qatlamlarda konsentratsiya tez (keskin) o'zgaradi va moddaning bir fazadan ikkinchi fazaga o'tishi asosan molekular diffuziyasi orqali amalga oshiriladi. Faqat bitta moddaning molekulari diffuziyalanishini qabul qilamiz (suv fazasi - rafinatdan organik faza - ekstraktga).

Keyingi tenglamani tuzish uchun modelda keltirilgan quyidagi belgilarni qabul qilamiz: R-rafinat; E-ekstrak; S-taqsimlanadigan komponentning konsentratsiyasi;  $C_R$  va  $C_E$  – taqsimlanadigan komponentning rafinat va ekstraktidagi konsentratsiyasi  $C_{Ri}$  va  $C_{Ei}$  – har bir faza yuzasidagi konsentratsiya;  $C_{Ri}^*$  va  $C_{Ei}^*$  – fazalar yuzasida muvozanatlashgan konsentratsiyalar.

Agar taqsimlanish koeffitsiyenti “ $\alpha$ ” deb belgilasak va uni doimiy deb qabul qilsak, u holda

$$C_E^* = \alpha C_R; \quad C_{Ei}^* = \alpha C_{Ri}; \quad C_R^* = C_E / \alpha; \quad C_{Ri}^* = C_{Ei} / \alpha.$$



Yuzada boradigan qaytar reaksiyani quyidagi tenglama orqali yozamiz:

$Me_R = Me_E$ , bu tenglamaning muvozanat doimiysi

$$K = \frac{[Me]_E}{[Me]_R} = \frac{Y}{X} = \alpha$$

Keltirilgan reaksiyani birinchi tartibdagi reaksiya deb qabul qilamiz va to'g'ri hamda teskari reaksiyalarning tezlik konstantalarini  $K_1$  va  $K_2$  deb belgilaymiz;

Bu holda statsionar holatda kimyoviy bosqichning tezligi quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$J_1 = K_1 C_{Ri} - K_2 C_{Ei} = K_1 \left[ C_{Ri} - \left( \frac{K_2}{K_1} \right) C_{Ei} \right] = K_1 (C_{Ri} - C_{Ri}^*)$$

Muvozanat holatda to'g'ri hamda teskari reaksiyalarning tezlik konstantalarining nisbati muvozanat konstantasi va taqsimlanishi koeffitsiyentiga ( $\alpha$ ) teng, shu sababdan,

$$\frac{K}{K} = \frac{1}{\alpha}$$

$$S_{Ei} / \alpha = C_{Ri}^*$$

Rafinat hajmidan fazalar ajralish chegarasida diffuziya oqimi yo'lidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$J_2 = (D_R / S_R) (C_R - C_{Ri}) = \beta_R (C_R - C_{Ri})$$

Tenglamada  $\beta_R = (D_R / S_R)$  – suv fazasida massa uzatish koeffitsiyenti.

Fazalar ajralish chegarasidan ekstrakt hajmiga diffuziya oqimi quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$J_3 = (D_E / S_E) (C_{Ei} - C_E) = \beta_E (C_{Ei} - C_E) = \beta_E (\alpha C_{Ri}^* - \alpha C_R^*) = \alpha \beta_E (C_{Ri}^* - C_R^*)$$

Tenglamada  $\beta_E = D_E / S_E$  - organik fazada massa uzatish koeffitsiyenti.

Muvozanatlashgan rejimda  $J_1 = J_2 = J_3 = J$ , Shu sababdan,  $J / K_1 = C_{Ri} - C_{Ri}^*$ ,  $J / \beta_R = C_R - C_{Ri}$ ,  $J / (\alpha \beta_E) = C_{Ri}^* - C_R^*$

Keltirilgan tenglamalarning chap va o'ng qismlarini qo'shsak quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$J \left[ \frac{1}{K_1} + \frac{1}{\beta_R} + \frac{1}{\alpha \beta_E} \right] = C_R - C_R^* = C_R - C_E / \alpha$$

$$J = \frac{C_R - C_E / \alpha}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{\beta_R} + \frac{1}{\alpha \beta_E}}$$

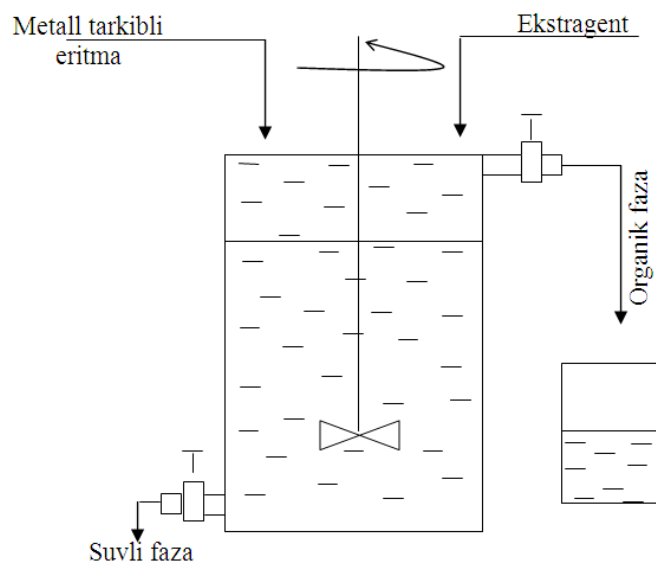
Diffuzion qarshiliklar  $1/\beta_R$ ,  $1/(\alpha\beta_E)$  va kimyoviy qarshiliklar  $1/K_L$ . Kattaliklarining ko‘satkichlariga bog‘liq holda, jarayon massa uzatish yoki kimyoviy reaksiya bilan limitlanadi.

## 7.6. Ekstraksiya jarayonining amaliyoti va dastgohlari

Ekstraksiya jarayoni ikki xil usulda - davriy va uzluksiz olib borilishi mumkin. Qaysi bir usulni tanlash asosan taqsimlanish koeffitsiyentining qiymatiga va eritmaning miqdoriga (zavodning quvvatiga) bog‘liq.

Agar,  $D$  katta qiymatga va metalli eritmaning hajmi nisbatan kichik bo‘lsa, davriy usul qabul qilinadi.

Davriy usulda ekstraksiyalash uchun (ekstraktor) ekstraksiya jarayoni olib boriladigan dastgoh ma‘lum hajmdagi eritma bilan to‘ldirilib, unga aniq miqdordagi ekstragentning bir ulushi qo‘shiladi va 5 - 10 minut davomida aralashtiriladi. So‘ngra aralashtirgich to‘xtatilib, fazalar ajralgunga qadar kutiladi. Organik faza engil bo‘lganligi sababli u eritmaning yuqori qismida yig‘iladi va maxsus jo‘mrak yordamida boshqa idishga o‘tkaziladi (7.3 - rasm).



7.3- rasm. Davriy ekstraksiya jarayonini amalga oshirish usuli va dastgohining sxemasi

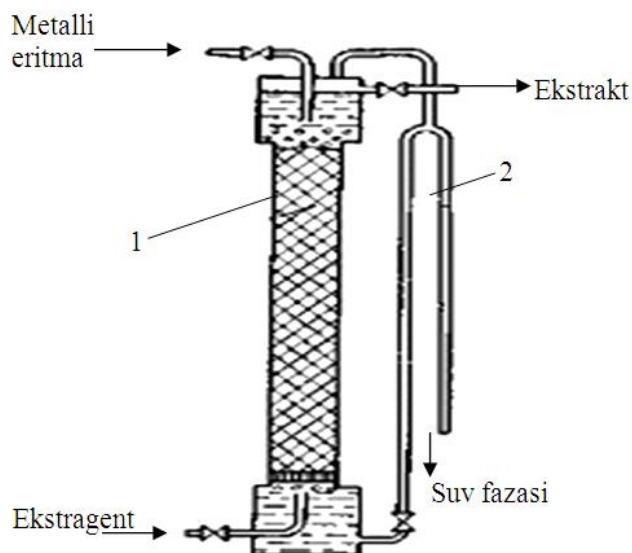
Dastgohda qolgan eritmaga ekstragentning yangi bir ulushi ko‘shilib, jarayon qaytariladi va kerak bo‘lsa, jarayon uchinchi, to‘rtinchi va hokazo marta qaytarilishi mumkin. Metall to‘liq organik fazaga o‘tkazilgandan keyin suvli faza chiqindixonaga yoki undan boshqa

moddalarni ajratib olish uchun, yig'ilgan organik faza esa reekstraksiyaga jo'natiladi.

Taqsimlanish koeffitsiyenti kichik qiymatga ega bo'lib, eritmaning hajmi katta bo'lgan hollarda undan metallni ajratib olish uchun uzluksiz ekstraksiya usulini qo'llash maqsadga muvofiqdir.

Uzluksiz ekstraksiyani to'siqli (nasadkali) yoki likopchali pulsatsiyalanuvchi kalonnlarda, aralashtiruvchi - tindiruvchi va markazga intilma ekstraktorlarda olib boriladi.

Ekstraksiyalash kalonnlari tik quvurdan iborat bo'lib, uning ma'lum qismi yumaloq (yoki cho'zinchoq) shakldagi (sopol, chinki yoki po'lat) soqqalar bilan to'ldiriladi. Kolonnaning bu qism nasadka deb ataladi. Nasadkaning vazifasi eritma va organik suyuqlikni parchalab, ularning muloqot yuzalarini kattalashtirishdir. 7.4-rasmda nasadkali ekstraksiyalash kolonnasining chizmasi ko'rsatilgan.



**7.4- rasm. Nasadkala ekstraksiyalash kolonnasining sxematik chizmasi  
1- nasadkali kolonna; 2- rafinatni kolonnada chiqaruvchi sifon trubkasi**

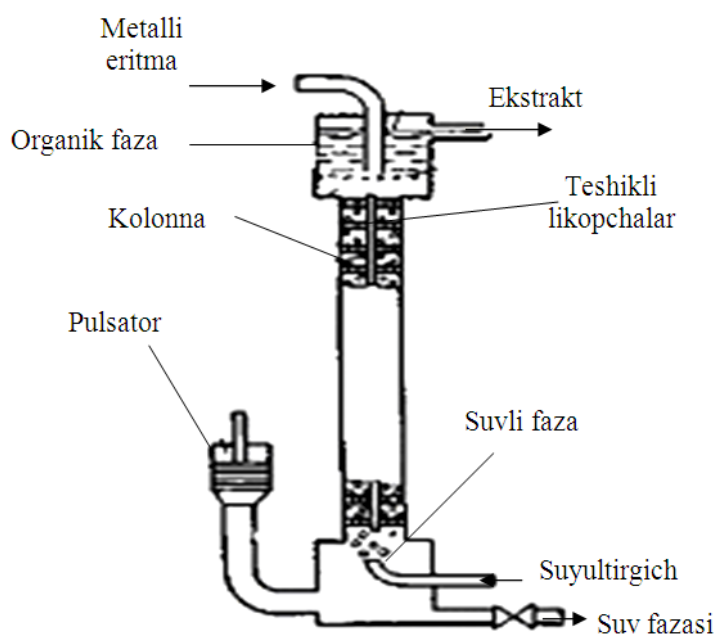
Kolonnaning pastki qismidan organik suyuqliq ustki qismidan suvli eritma beriladi. Og'irlik kuchi hisobiga eritma yuqoridan pastga, organik modda esa engil bo'lganligi sababli pastdan yuqoriga qarab harakatlanadi. Kolonnaning nasadkasiz yuqori qismida fazalar ajraladi va ekstrakt jo'mrak orqali kolonnani tark etadi. Suvli eritma esa sifon yordamida kolonnaning pastki qismidan boshqa dastgohga uzatiladi. Sifon kolonnadagi eritma balandligini bir xil ushlab turishga xizmat qiladi.

Ekstraksiyalash kolonnasi ichiga nasadka o'rniga bir-biridan ma'lum balandlikda bir qancha likopchalar o'rnatilgan bo'lsa, bu dastgoh likopchali kolonnalar deb ataladi 7.5- rasm.

Teshikchalar yuqoriga va pastga qarab egilgan qirqimlar bo‘lib, bu qirqimlarning yo‘nalishi qo‘shni likopchalardagi qirqimlarning yo‘nalishiga qarama-qarshi bo‘ladi. Bu eritmaning parchalanishiga va unga aylanma-ilgarilanma harakati bilan eritmani pastga qarab, organik suyuqlikni esa yuqoriga qarab yurishiga imkon beradi. Likopchali kolonnalarda ekstragent bilan metalli eritma juda yaxshi aralashadi.

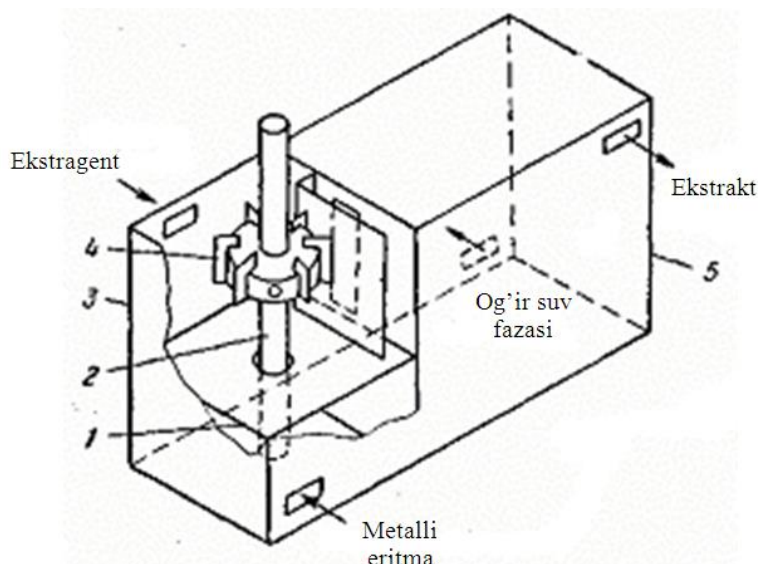
Nasadkali va likopchali kolonnadagi eritmaga ilgarilanma-qaytma harakat (pulsatsiya) berilsa, bu dastgohlarning unumdorligi 3-4 marta ortishi mumkin. Pulsatsiya siqilgan havo (kompessor) yordamida amalga oshiriladi.

Eritmalardan metallarni ekstraksiya usuli bilan ajratib olish uchun aralashtiruvchi- tindiruvchi ekstraktorlardan ham foydalaniladi.



**7.5 - rasm. Likopchali ekstraktor**

Aralashtiruvchi - tindiruvchi ekstraktorlar to‘rtburchakli qutisimon shakldagi dastgohdir (7.6-rasm).



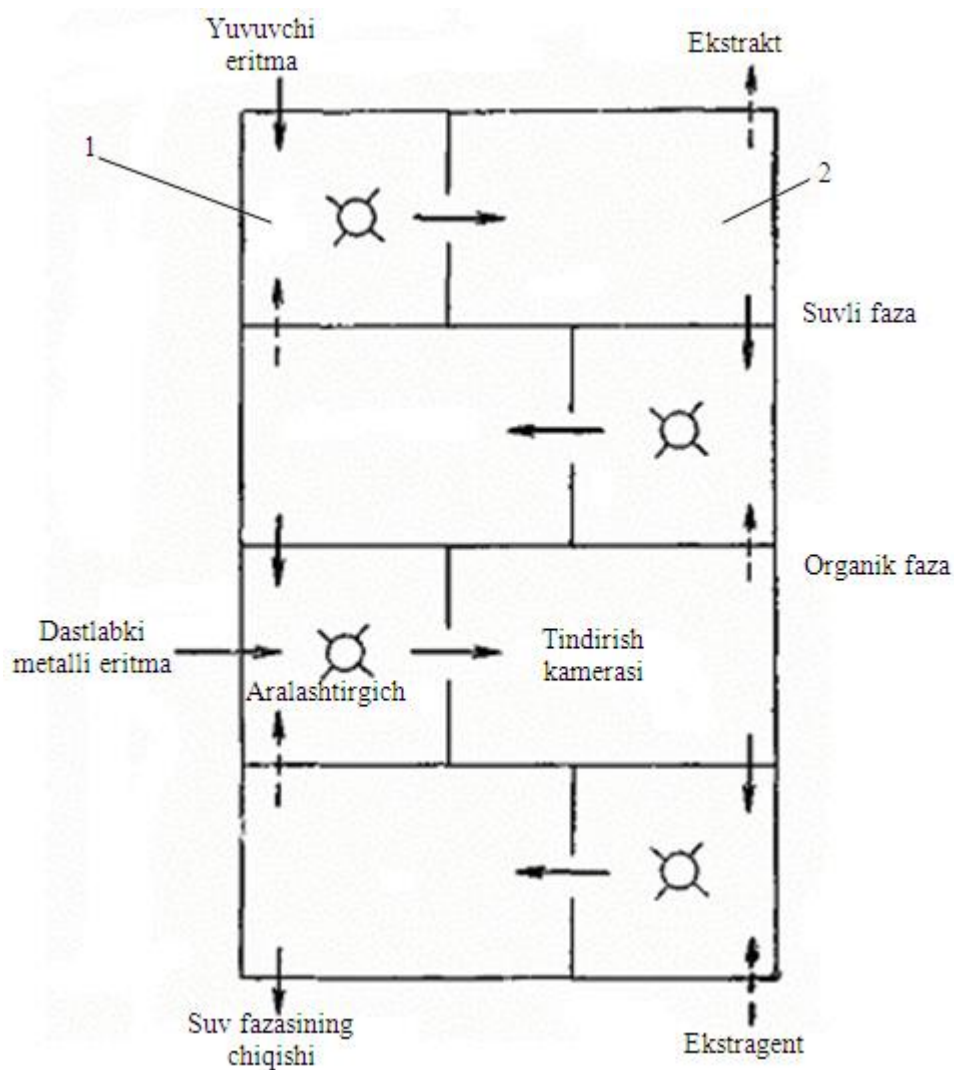
**7.6-rasm. 1- to'siq; 2- val; 3- aralashtirish kamerasi; 4- turbina; 5- tindirish kamerasi.**

Ekstraktorning ichki qismi katakchalarga bo'lingan (7.7- rasm).

Birinchi guruh katakchalar ekstragent bilan eritmani aralashtirish uchun ikkinchi guruh katakchalar esa aralashmani tindirib, uni organik va suvli fazalarga ajralishga hizmat qiladi. Katakchalar bir - biriga tutashtirilib ketma-ketlikni (kaskad) hosil qiladi. Metall eritma organik suyuqliqqa qarama-qarshi yo'nalishda harakat qiladi. Yangi metalsiz organiq faza konsentratsiyasi eng oz bo'lgan eritma bilan uchrashadi. Bu eritmadan metallni tulik, ajratib olishga imkon beradi.

Aralashtiruvchi - tindiruvchi ekstraktorlarning afzalliklari-bu dastgohlarning ko'p bosqichli jarayon uchun samaraliligi, besunaqay bo'lsa ham pastkam binolarga joylashtirish mumkinligidir. Kamchiligi esa aylanuvchi qismlarining ko'pligi, fazalarini sekin ajralishidir.

Yuqorida zikr etilgan ekstraktorlarning unumdorligi asosan organik va suvli fazalarning ajralish tezligiga bog'liq, chunki metall ionlarining organik fazaga o'tish tezligi katta bo'lib, 3-5 daqiqa yetarli.



7.7-rasm. Aralashtiruvchi-tindiruvchi ekstraktorda olib boriladigan ekstraksiya jarayonining sxemasi

### 7.7. Kimyoviy muvozanatga doir namunaviy masala va mashqlar yechish

**1-masala.** Muvozanat holatda turgan  $A+B=C+D$  sistemadagi moddalarning muvozanat holatdagi konsentratsiyalari mos ravishda 6; 4; 2; 3 mol/l ni tashkil etadi. Shu sistemaning muvozanat doimiysini toping.

**Yechish.** Berilgan:  $[A]=6$ ;  $[B]=4$ ;  $[C]=2$ ;  $[D]=3$  mol/l;  $K_{\text{muv}}=?$

$$K_{\text{muv}} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = \frac{[2]^1 \cdot [3]^1}{[6]^1 \cdot [4]^1} = 0,25$$

**Javob:** Sistemaning muvozanat doimiysi  $K_{\text{muv}}=0,25$  ga teng.

**2-masala.**  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$  sistemada moddalarning parsial bosimlari mos ravishda 2:4:5 kabi nisbatda bo'lsa, reaksiyaning muvozanat konstantasini toping.

**Yechish.** Berilgan:  $P[\text{CO}]=2 \text{ atm.}; P[\text{O}_2]=4 \text{ atm.}; P[\text{CO}_2]=5 \text{ atm.}; K_{\text{muv}}=?$

$$K_{\text{muv}} = \frac{P_{\text{CO}_2}^2}{P_{\text{CO}}^2 \cdot P_{\text{O}_2}} = \frac{5^2}{2^2 \cdot 4} = \frac{25}{16} = 1,5625$$

**Javob:** Sistemaning muvozanat doimiysi  $K_{\text{muv}}= 1,5625$  ga teng.

**3-masala.**  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  reaksiyada, reaksiyaga kirishuvchi moddalarning dastlabki konsentratsiyalari mos ravishda 3; 4 mol/l ga teng. Agar reaksiya natijasida NaOH ning 75 % qismi sarflangan bo'lsa, sistemada muvozanat qaror topgandan so'ng, muvozanat doimiysi qanchaga teng bo'ladi?

**Yechish.** Dastlab reaksiyaga kirishgan NaOH ning miqdorini topamiz:

$$4 \cdot 0,75 = 3 \text{ mol/l NaOH}$$

Endi bu qiymatdan foydalanib har bir moddaning muvozanat holatdagi konsentratsiyasini topamiz. Shuni esda saqlash kerakki, muvozanat holatdagi konsentratsiyaning qiymati dastlabki konsentratsiyaning qiymatidan reaksiyaga kirishgan qiymatni ayirilib topiladi. Bunday masalalarni yechilishini osonlashtirish maqsadida ularni jadval ko'rinishida yozilishi ayni muddao bo'ladi:

$\text{H}_2\text{SO}_4$	$2\text{NaOH}$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$2\text{H}_2\text{O}$	
3	4	-	-	Dastlabkisi
x	3	x	2x	Reaksiyaga kirishgani
3-x	4-3=1	x	2x	Muvozanatdagisi

Reaksiyaga muvofiq jadvaldagi noma'lum sonni (x ni) aniqlaymiz:

2 mol NaOH uchun ----- 1 mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  kerak

3 mol NaOH uchun ----- x mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  kerak

$$x=(3 \cdot 1)/2= 1,5 \text{ mol/l}$$

$\text{H}_2\text{SO}_4$	$2\text{NaOH}$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$2\text{H}_2\text{O}$	
3	4	-	-	Dastlabkisi
1,5	3	1,5	$2 \cdot 1,5 = 3$	Reaksiyaga kirishgani
3-1,5=1,5	4-3=1	1,5	$2 \cdot 1,5 = 3$	Muvozanatdagisi



Endi har bir muvozanat holatdagi konsentratsiyalardan foydalanib reaksiyaning muvozanat konstantasini topamiz:

$$K_{\text{muv}} = \frac{[\text{Na}_2\text{SO}_4] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{H}_2\text{SO}_4] \cdot [\text{NaOH}]^2} = \frac{1,5 \cdot 3^2}{1,5 \cdot 1^2} = \frac{13,5}{1,5} = 9$$

**Javob:** Sistemaning muvozanat doimiysi  $K_{\text{muv}} = 9$  ga teng.

**4-masala.**  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  reaksiyada moddalarning muvozanat holatdagi konsentratsiyalari mos ravishda  $[\text{CH}_4] = 0,4$  mol;  $[\text{O}_2] = 0,5$  mol;  $[\text{CO}_2] = 0,6$  mol ga teng bo'lsa, muvozanat holatdagi suvning konsentratsiyasini hamda  $\text{CH}_4$  va  $\text{O}_2$  larning dastlabki konsentratsiyalarini aniqlang.

**Yechish.** Dastlab berilgan qiymatlarni jadvalga kiritamiz va metanning miqdorini  $x$  deb olib, qolgan moddalar uchun ham noma'lum qiymatlarini shu  $x$  orqali hajmiy nisbatlar qonuniga asosan qiymatlarini belgilab olamiz:

$\text{CH}_4$	$2\text{O}_2$	$\text{CO}_2$	$2\text{H}_2\text{O}$	
$x+0,4$	$2x+0,5$	-	-	Dastlabkisi
$x$	$2x$	0,6	$2x$	Reaksiyaga kirishgani
0,4	0,5	0,6	$2x$	Muvozanatdagisi

Reaksiyaga muvofiq jadvaldagi noma'lum sonni ( $x$  ni) aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol CO}_2 \text{ uchun } & \text{-----} 1 \text{ mol CH}_4 \text{ kerak} \\ 0,6 \text{ mol CO}_2 \text{ uchun } & \text{-----} x \text{ mol CH}_4 \text{ kerak} \\ x & = (0,6 \cdot 1) / 1 = 0,6 \text{ mol} \end{aligned}$$

$\text{CH}_4$	$2\text{O}_2$	$\text{CO}_2$	$2\text{H}_2\text{O}$	
$0,6+0,4=1$	$1,2+0,5=1,7$	-	-	Dastlabkisi
0,6	$2 \cdot 0,6=1,2$	0,6	$2 \cdot 0,6=1,2$	Reaksiyaga kirishgani
0,4	0,5	0,6	$2 \cdot 0,6=1,2$	Muvozanatdagisi

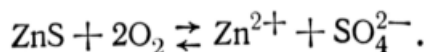
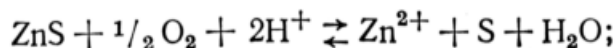
**Javob:**  $\text{CH}_4$  va  $\text{O}_2$  ning dastlabki konsentratsiyalari mos ravishda 1 mol va 1,7 molga teng,  $\text{H}_2\text{O}$  ning muvozanat konsentratsiyasi esa 1,2 molga teng.

**5-masala.** Oksidlovchi sifatida kislorodni qo'llab og'ir rangli metallarning sulfidlarini avtoklavlarda tanlab eritish.

$\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Mo}$  sulfidlari nordon va ishqoriy muhitda kislorod bilan yuqori harorat va bosimda oksidalanadilar.



Misol tariqasida ZnS oksidlanish reaksiyasini ko‘rib chiqamiz. Oksidlanish ikkita reaksiya bo‘yicha borish mumkinligini deb qabul qilamiz:



Hisobot uchun quyidagi termodinamik ko‘rsatkichlar qo‘llanilgan:

Birikma yoki ionlar	ZnS	H <sup>+</sup>	O <sub>2</sub>	Zn <sup>2+</sup>	S <sub>romb</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
$-\Delta H_{298}$ kJ/mol	192	0	0	152,4	0,29	285,76	907,5
$S_{298}$ kJ/(mol·K)	57,7	0	205	-106,5	31,8	69,9	17,15

Bu ma’lumotlardan foydalanib quyidagini olamiz:

$$\Delta G_{\text{I}}^{\circ} = -246450 + 165T; \quad \Delta G_{\text{II}}^{\circ} = -867900 + 557,1T;$$

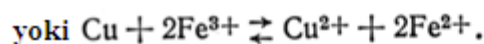
$$\Delta G_{298}^{\circ}(\text{I}) = -197,28 \text{ kJ}; \quad \Delta G_{298}^{\circ}(\text{II}) = -701,88 \text{ kJ};$$

$$\lg K_{p(\text{I})} = 34,58; \quad \lg K_{p(\text{II})} = 123;$$

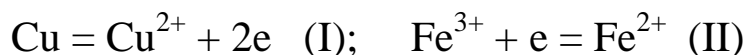
Termodinamik hisobotlar natijasi bo‘yicha (II) - reaksiyaning borish imkoniyati yuqori deb taxmin qilinishi mumkin. Ammo nordon muhitda (I)- reaksiyaning tezligi (II) – reaksiyaning tezligidan ancha yuqori, shu sababdan rux sulfidining oksidlanishi sulfat ioni emas, elementar oltingugurt hosil bo‘lishi bilan boradi.

Ko‘rib chiqilgan misoldan ko‘rinib turidiki,  $\Delta G^{\circ} < 0$  sharti reaksiyaning borish uchun etarli shart emas. Agar reaksiyaning hisoblangan  $\Delta G^{\circ}$  ko‘rsatkichi katta musbat ko‘rsatkich bo‘lsa, muvozanat konstantasi nolga yaqin va termodinamik hisobot reaksiya kerakli yo‘nalishda bormaslikni ko‘rsatadi.

**6-masala. Oksidlovchi sifatida uch valentli temir sulfatini qo‘llab misni eritish.**



Quyidagi reaksiyani ikkita elektrod jarayoni sifatida yozish mumkin:



Elektrodlarning standart potentsiallari, V:  $\varphi_I^0 = +0,345$ ;  $\varphi_{II}^0 = +0,771$ .

Reaksiyaning yig'indi tenglamasiga ko'ra (II)-elektroda tiklanishi, (I) – elektrodda esa oksidlanish reaksiyasi boradi, shuning uchun shu elektrodlardan tashkil topgan galvaniq elementning standart elektr yurituvchi kuchi

$$E^0 = \varphi_{II}^0 - \varphi_I^0 = 0,771 - 0,345 = 0,426V \text{ ga teng.}$$

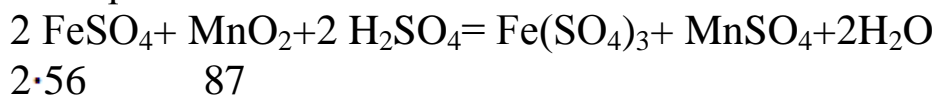
Muvozanat konstantasini hisoblash uchun quyidagi tenglamadan foydalanamiz:  $\lg K_p = nFE^0 / (2,303RT)$ .

Tenglamaga quyidagi ko'rsatkichlarni qo'ysak  $n = 2$ ;  $F = 96493$  J/(V· g · ekv);  $R = 8,314$  J/(mol·K );  $T = 298$  K, muvozanat konstantasining ko'rsatkichi quyidagiga teng bo'ladi:  $\lg K_p = 14,43$ ;

$$K_{p_{298}} = 2,7 \cdot 10^{14}$$

**7-masala. Marganesning 47 % li tarkibi  $MnO_2$  ko'rinishida bo'lib,  $FeSO_4$  ning oksidlanishi uchun  $H_2SO_4$  1 m<sup>3</sup> da shunday sharoitda bo'lishi kerakki, qaysiki eritmada Fe ning (II)-valentli tarkibi 2,7 gr/l bo'lsa va nazariy jihatdan oksidlanish sarfi 2 marta oshganda (Mn) marganesli rudaning sarfini aniqlang!**

**Yechish:**  $FeSO_4$  ning oksidlanishi  $N_2SO_4$  da quyidagi reaksiya bo'yicha oqib o'tadi.



Reaksiyadan kelib chiqadiki 112 gr  $FeSO_4$  da 87 gr  $MnO_2$  kerak bo'ladi. U holda,  $MnO_2$  ning nazariy miqdori 2,7 gr ning oksidlanishi uchun kerak bo'lgan, 1 l eritma tarkibida quyidagiga teng:

$$\begin{array}{l} 112 \text{ gr} \text{ ----- } 87 \text{ gr} \\ 2,7 \text{ gr} \text{ ----- } X \text{ gr} \end{array}$$

$$X = \frac{87 \cdot 2,7}{112} = 2,1 \text{ gr } MnO_2$$

Ikki karra ortiqlikda bu 1 l eritmada  $MnO_2$   $2,1 \cdot 2 = 4,2$  gr ni yoki 1 m<sup>3</sup> eritmada 4,2 kg  $MnO_2$  ni tashkil qiladi.

Endi Mn li rudaning sarfini aniqlaymiz, unda 47 % Mn bor, Mn ning 55 atom og'irligida

$$\frac{87 \cdot 47}{55} = 74 \% MnO_2 \text{ bor.}$$

4,2 kg MnO<sub>2</sub> olish uchun Mn li rudaning sarfi 1 m<sup>3</sup> eritmada

$$\frac{4,2 \cdot 100}{74} = 5,6 \text{ kg.ni tashkil qiladi.}$$

### ***Mustaqil yechish uchun masala va mashqlar***

1. Muvozanat holatda turgan A+B=C+D sistemadagi moddalarning muvozanat holatdagi konsentratsiyalari mos ravishda 5; 6; 5; 3 mol/l ni tashkil etadi. Shu sistemaning muvozanat doimiysini toping.

2. 2SO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> = 2SO<sub>3</sub> sistemada moddalarning parsial bosimlari mos ravishda 1,5:2:3 kabi nisbatda bo'lsa, reaksiyaning muvozanat konstantasini toping.

3. HNO<sub>3</sub> + KOH = KNO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O reaksiyada, reaksiyaga kirishuvchi moddalarning dastlabki konsentratsiyalari mos ravishda 4; 5 mol/l ga teng. Agar reaksiya natijasida KOH ning 75 % qismi sarflangan bo'lsa, sistemada muvozanat qaror topgandan so'ng, muvozanat doimiysi qanchaga teng bo'ladi?

4. CS<sub>2</sub> + 3O<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub> + 2SO<sub>2</sub> reaksiyada moddalarning muvozanat holatdagi konsentratsiyalari mos ravishda [CS<sub>2</sub>] = 0,6 mol; [O<sub>2</sub>] = 0,7 mol; [CO<sub>2</sub>] = 0,4 mol ga teng bo'lsa, muvozanat holatdagi SO<sub>2</sub> ning konsentratsiyasini hamda CS<sub>2</sub> va O<sub>2</sub> larning dastlabki konsentratsiyalarini aniqlang.

### ***Savol va topshiriqlar***

1. Ekstraksiya jarayonlari deganda nimani tushunasiz?
2. Ekstragent, ekstrakt va rafinat tushunchalariga ta'rif keltiring!
3. Betaraf ekstragentlarni yana qanday nomlanadi?
4. Anion almashuvchi ekstraksiya jarayoni qanday amalga oshiriladi?
5. Reekstraksiya jarayoniga misol keltiring!
6. Ekstraksiya jarayonlarini amalga oshirishda qanday dastgohlardan foydalaniladi?
7. Kation almashuvchi ekstraksiya jarayoniga misol keltiring!
8. Metallni ajratib olish darajasi deganda nimani tushunasiz?
9. Metallarni eritma fazasigan organik fazaga o'tkazishda qanday reagentlardan foydalaniladi?
10. Ekstraksiya jarayonida vujudga keladigan muvozanat holat bo'yicha qanday ma'lumotlarga egasiz?

11. Ekstraksiya jarayonlarini jadallashtirish uchun qanday choratadbirlar ko‘riladi?

12. Qaysi metallar yoki ularning birikmalari ekstraksiya usulida boyitiladi?

13. Organik fazadan metallarni qayta reekstraksiya qilish uchun qanday reagentlar qo‘llaniladi?

14. Ekstragentlarga qo‘yiladigan talablarni aytib bering!

## 8-BOB. IONALMASHUVCHI JARAYONLARNING ASOSLARI

### 8.1. Umumiy tushunchalar. Ionalmashuvchi qatronlarning tarkibi to'g'risida ma'lumot

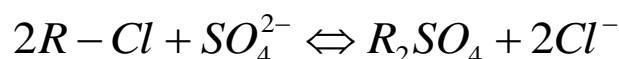
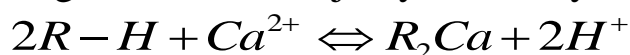
Kon mahsulotlarini tanlab eritilganda metall eritmaga ion holda o'tadi. Eritmadan metallni ajratib olish uchun har xil usullardan, jumladan, elektroliz, gazlar, metallar yordamida qaytarib cho'ktirish yoki kam eriydigan birikma holda cho'ktirish yo'llaridan foydalaniladi. Bu usullar yuqori konsentratsiyali eritmalar uchun samaralidir.

Agar tanlab eritilgandan so'ng o'ta suyultirilgan eritmalar hosil bo'lsa, ulardan metallni ajratib olish uchun oldin ionalmashuv yoki ekstraksiya jarayonlari yordamida yuqori konsentratsiyali eritma olinib, so'ngra yuqorida aytilgan usullarning biridan foydalaniladi.

Kon mahsulotlaridan gidrometallurgiya yo'li bilan metal ajratib olish texnologiyasida ionalmashuv va ekstraksiya jarayonlari o'rta bo'g'in jarayon hisoblanib, ular yuqori konsentratsiyali eritma olishda, xossalari yaqin bo'lgan birikmalarni bir-biridan ajratishda, tozalashda qo'llaniladi.

#### *Ion almashuv jarayonlari*

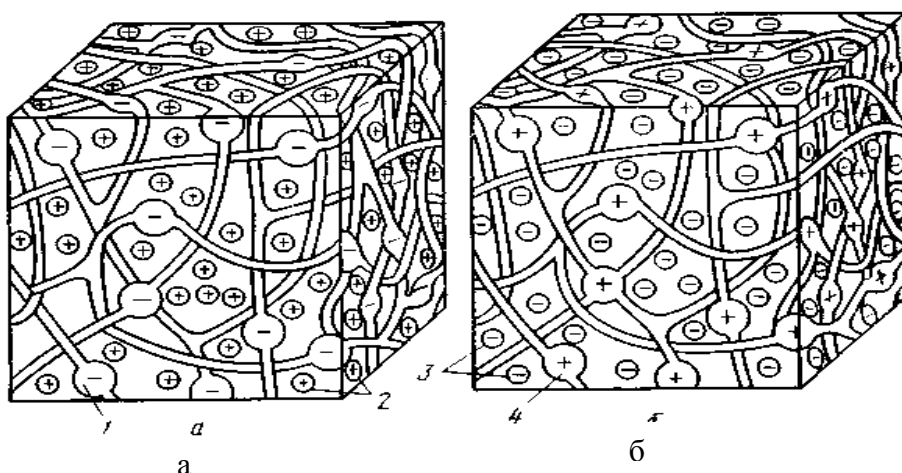
Ionitlar deb ataluvchi qattiq moddalarning o'z ionlarini ishorasi bir xil bo'lgan eritmadagi ionlarga almashtirishi hisobiga eritmadan metall ionlarini ajratib olishiga ionalmashuv jarayonlari deyiladi. Masalan:



bu yerda, R-H va R-Cl bilan ionit fazasi belgilangan (R –ionitning karkasi).

Ionitlar o'zida ionogen guruhlari bo'lgan uch o'lchamli polimer yoki durlik to'ridan tashkil topgan. Ionogen guruhlari to'rga bog'langan ionlarning zaryadiga qarama-qarshi ishorali zaryadga ega bo'lgan erkin ionlardan iborat. Masalan: SO<sub>3</sub>H ionogen guruhi bo'lib, SO<sub>3</sub> - bog'langan N- erkin ion deyiladi.

Erkin ion eritmadagi ion bilan almashadi. Almashuvchi ionlarning ishorasiga qarab, ionitlar kationitlar va anionitlarga bo'linadi. Agar ionitlar ham musbat, ham manfiy ishorali ionlarga almashtirish qobiliyatiga ega bo'lsa, ularni amfolitlar deb ataladi. Kationitning va anionitning modeli 8.1- rasmda ko'rsatilgan.



**8.1 - rasm. Kationit (a) va anionitning (b) modeli:  
1,4 – bog‘langan ionlar; 2,3- erkin ionlar.**

Ionitlar ekvivalent miqdorda ion almashtiradilar.

Hozirgi vaqtda gidrometallurgiyada qatron (smola) deb ataluvchi sun‘iy organik ionitlar keng tarqalgan. Qatronlar yordamida o‘ta suyultirilgan eritmalaridan metallarni ajratib olish, xossalari juda yaqin bo‘lgan metallarni bir-biridan ajratish, ishlab chiqarish chiqindi suvlarini zaharli moddalardan tozalash mumkin.

Ionalmashuvchi sun‘iy qatronlarning qurilishi plastmassalar qurilishiga o‘xshash bo‘lib, ularning tarkibiga ionnogen guruhlar kiritilishi ionitlarga elektrokimyoviy faollik bag‘ishlaydi.

Sanoatda qatronlar 0,5-3,0 mm yiriklikda va yumaloq shaklda chiqariladi.

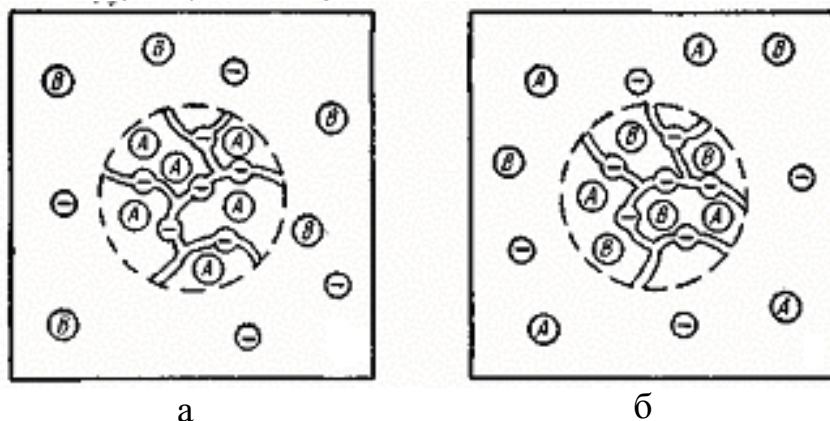
### *Qatronlarning asosiy xususiyatlari*

**Qatronning shishishi.** Sanoatda ishlab chiqarilayotgan ionitlarning o‘lchami 0,5- 3,0 mm (cho‘zinchoq bo‘lsa 2-4 mm) bo‘ladi. Qatron suvga tushirilganda ma‘lum miqdordagi suvni shimib shishadi. Suvning qatron g‘ovaklariga kirib borishi, uning ichidagi erkin ionlarning gidratlanishga bo‘lgan moyilligi hisobiga yuz beradi. G‘ovaklarga suv to‘lgan sari qatronning fazoviy to‘ri cho‘zila boshlaydi va hajmi kattalasha boradi.

### *Qatronning ionalmashuv sig‘imi*

Qatronlarning - asosiy xususiyatlaridan biri, ularning ionalmashuv sig‘imidir. Ionalmashuv sig‘imi deb, 1g quruq, qatronning eritmadan yuta olgan ionlar miqdoriga aytiladi va u mg-ekv/g yoki mg/g bilan o‘lchanadi.

Ionalmashuv jarayonining sxematik tasviri 8.2- rasmda ko'rsatilgan.



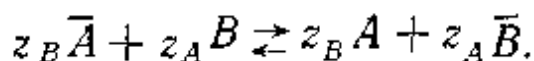
8.2- rasm. Ionalmashuv jarayonining sxematik tasviri  
a- ionit almashgungacha; b- almashgandan so'ng

## 8.2. Ionalmashuvchi jarayonlarning muvozanati

### *Muvozanatning miqdor tavsifi*

Ionitni elektrolit eritmasi bilan ta'sirlashganida muvozanat holati qaror topguncha ion almashuv jarayoni ro'y beradi. Almashuv reaksiyasi qaytar reaksiyadir va oddiy kimyoviy reaksiyalar kabi ekivalent miqdorlarda boradi.

Umumiy ko'rinishda A va V ionlarining almashishi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:



tenglamada  $z_A$  va  $z_B$  — A va V ionlarining zaryadi, ionit fazasi chiziqcha biln belgilangan.

Bu reaksiya uchun termodinamik muvozanat konstantasi quyidagicha belgilanadi

$$K_{B:A} = \frac{a_A^{z_B} \bar{a}_B^{z_A}}{(a_A^{z_B} a_B^{z_A})},$$

tenglamada  $\bar{a}_A$ ,  $\bar{a}_B$ ,  $a_A$ ,  $a_B$  — itonlaning ritmada va smoladagi faolliqi.

Muvozanat holatlarni ifodalash uchun ion almashuvning muvozanat konstantasidan tashqari quyidagi bir-biriga bog'liq bo'lgan ikkita ko'satkichdan foydalanish qulaydir: taqsimlanish koeffitsiyenti (D) va ajratib olish koeffitsiyenti yoki selektivlik koeffitsiyenti  $T_{V/A}$ .

Taqsimlanish koeffitsiyenti, smola hajmidagi almashuvchi ion konsentratsiyasini eritma hajmidagi konsentratsiyasi nisbatiga teng:

$$D_A = \bar{C}_A / C_A = \bar{N}_A / N_A.$$

Ajratib olish koeffitsiyenti almashuvchi ionlarning taqsimlanish koeffitsiyentining nisbatiga teng:

$$T_{B/A} = D_B / D_A = (\bar{C}_B / \bar{C}_A) (C_A / C_B).$$

### *Qatrandan metallni ajratib olish va qatron xossasini qayta tiklash*

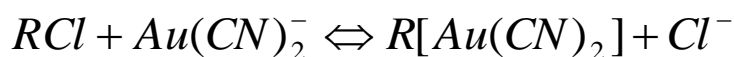
Qatrandan metallni ajratib olish uchun uni kuydirib kuliga ishlov berilsa ham bo‘ladi. Ammo qatronning tannarxi juda yuqori bo‘lganligi uchun uning yordamida olib boriladigan gidrometallurgiya jarayonlarining samaradorligi past bo‘ladi. Chunki kuydirib yuborilgan qatronni qayta ishlatib bo‘lmaydi. Qatron yordamida bajarilgan jarayonlarning samaradorligini oshirishning birdan-bir yo‘li qatrandan ko‘p marotaba foydalanishdir. Buning uchun metalli qatronga shunday ishlov berish kerakki, bunda ham undan metallni ajratib olish mumkin bo‘lsin, ham uning dastlabki xossalari qayta tiklansin. Metallni qatrandan ajratib olish jarayoni desorbsiya, qatronning xususiyatini tiklash jarayoni esa regeneratsiya deb ataladi.

Qayta tiklash jarayoni qatronni biror eritma bilan yuvish (desorbsiya yoki elyuirlash) hisobiga olib boriladi. Qatronni yuvish uchun tayyorlangan eritmani «yuvuvchi» (elyuent), qatronni yuvish natijasida olingan metalli eritmani esa «yuvindi» (ellyuat, regenerat) deb ataladi.

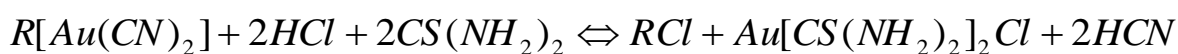
Yuvish jarayoni kollonlarda olib borilib, qatron qatlamidan pastdan yuqoriga qarab yuvuvchi eritma o‘tkaziladi.

Sorbsiyalash va desorbsiyalash jarayonini oltinni sian kompleksini sorbsiyalash va desorbsiyalash reaksiyalarida ko‘rsatsak bo‘ladi.

Oltinning sianli kompleksi  $Au(CN)_2^-$  kuchli asosli  $Cl^-$  ko‘rinishidagi anionalmashuvchi qatronga sorbsiyalanadi:



Oltinni qatrandan desorbsiyalash 8-9 % tiomochevinaning HCl (yoki  $H_2SO_4$ ) kislota-dagi eritmasida olib boriladi:





### 8.3. Ionalmashuv jarayonining kinetikasi

Ionalmashuv jarayonining bosqichlarini uchta bosqichga aratish mumkin:

1. ionit tomonidan shimiladigan (yutiladigan) ionlarni (qarama-qarshi) eritma hajmidan fazalar ajralish yuzasiga diffuziyasi;
2. smola hajmidagi almashuvchi ionni eritmadan yutiladigan ion bilan qarama-qarshi yoʻnalishdagi diffuziyasi (yutiladigan ion yuzadan ionit hajmiga, almashuvchi ion smola hajmidan ionit yuzasiga);
3. smola hajmidan siqib chiqarilgan ionni smola yuzasidan, eritma hajmiga diffuziyasi.

2-bosqich bir paytning oʻzida boradigan jarayon boʻlib, ikkala ion uchun bir xil oʻzaro diffuziyalanish koeffitsiyenti bilan tavsiflanadi.

Ionitning mikrohajmidagi bogʻlangan "X" ionlarining konsentratsiyasi qarama-qarshi ionlarning ekvivalent konsentratsiyasiga teng boʻladi.

Agar  $D_I = D_i (dC_i/dx)$  ( $dC_i/dx$  – diffuziya yoʻnalishidagi ion konsentratsiyasining gradiyenti) boʻlsa, oqimlar tengligidan quyidagicha kelib chiqadi:

$$D_B(dC_B/dx) = - D_A (dC_A/dx)$$

(tenglamadagi «-» ishorasi ionlarni qarama-qarshi yoʻnalishidagi diffuziyasini aniqlaydi). Shu tariqa  $C_A + C_B = C_x = const$ ,  $C_A = C_x - C_B$  va  $dC_A/dx = -dC_B/dx$ , shundan quyidagi tenglik kelib chiqadi:

$$D_B = D_A = D$$

Ionalmashuvning tezligi ionit donasining hajmidagi diffuziya tezligi (gel diffuziyasi), yoki ionit yuzasidagi suyuqlik pardasidagi diffuziya (plyonkali diffuziya) bilan belgilanadi. Ayrim holatlarda jarayonni ikkala bosqich belgilaydi.

Koʻp hollarda konsentrlangan eritmalarda almashuv tezligi zarra hajmidagi diffuziya bilan belgilanadi, past konsentratsiyalangan eritmalarda esa tashqi diffuziya bilan belgilanadi.

Plyonkali kinetikada jarayonning tezligi Fikning birinchi qonunining tenglamasi bilan aniqlanadi: Sferik zarra uchun

$$\frac{dQ}{d\tau} = sD \frac{C - C_{yuza}}{\Delta\tau_o} = 4\pi\tau_o^2 D \frac{C - C_{yuza}}{\Delta\tau_o}$$

Tenglamadagi  $Q$  – sorbsiyalangan qarama-qarshi ionni eritmadagi konsentratsiyasi,  $S_{yuza}$  – ionit yuzasidagi eritmada qarama-qarshi ionning konsentratsiyasi,  $\Delta\tau_o$ -plyonka qalinligi,  $\tau_o$  – smola donasining radiusi.

Smola donasining hajmidagi diffuziya jarayonini belgilash uchun Fikning ikkinchi qonunidan foydalaniladi.

$$\partial C_i / \partial \tau = D (\partial^2 C_i / dx^2)$$

Sferik zarra uchun (smola zarrasi)

$$\partial C_i / \partial \tau = D (\partial^2 C_i / d\tau^2) + (2/\tau) (\partial C_i / d\tau)$$

Tenglamadagi  $D$  – ionitdagi (smoladagi) diffuziya koeffitsiyenti,  $\tau$  – sferik zarra markazidagi masofa.

#### **8.4. Ion almashuvchi jarayonlarning dastgohlari va amalga oshirish usullari**

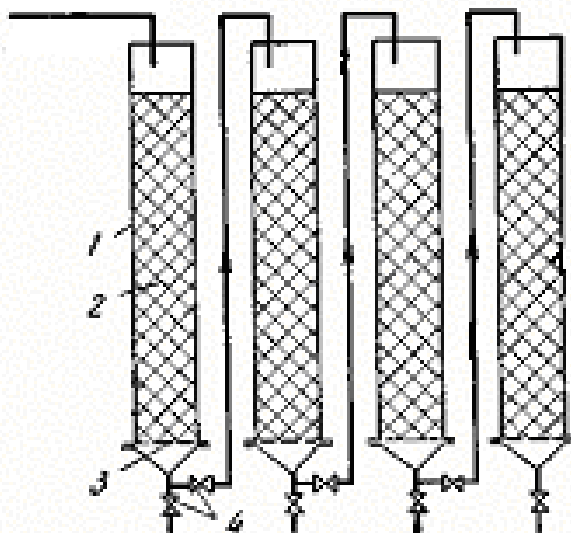
Ionalmashuv jarayoni statik va dinamik usullar bilan olib borilishi mumkin.

Statik usul-ma'lum hajmdagi toza va tiniq eritma bilan qatronning ma'lum miqdori biror idishda ionalmashuv jarayoni muvozanatlashgunga qadar bir me'yorda aralastirilib turiladi, so'ngra fazalar g'alvir yordamida ajratiladi. Bu usulning afzalliklari shundan iboratki, dastgohlar oddiy, kamharj, ishlatilishi sodda bo'ladi. Ammo unumdorligi past.

Dinamik usul - sanoatda keng tarqalgan bo'lib, metall ionlarini bo'tanadan yoki qattiq zarrachalardan tozalangan, tiniq, eritmalardan ajratib olishda foydalaniladi.

Tozalangan tiniq, eritmadan metall ionlarini ajratib olish uchun eritma ketma-ket ulangan va qatron bilan to'ldirilgan kollonlardan uzluksiz o'tkaziladi (8.3-rasm).

Metalli  
eritma



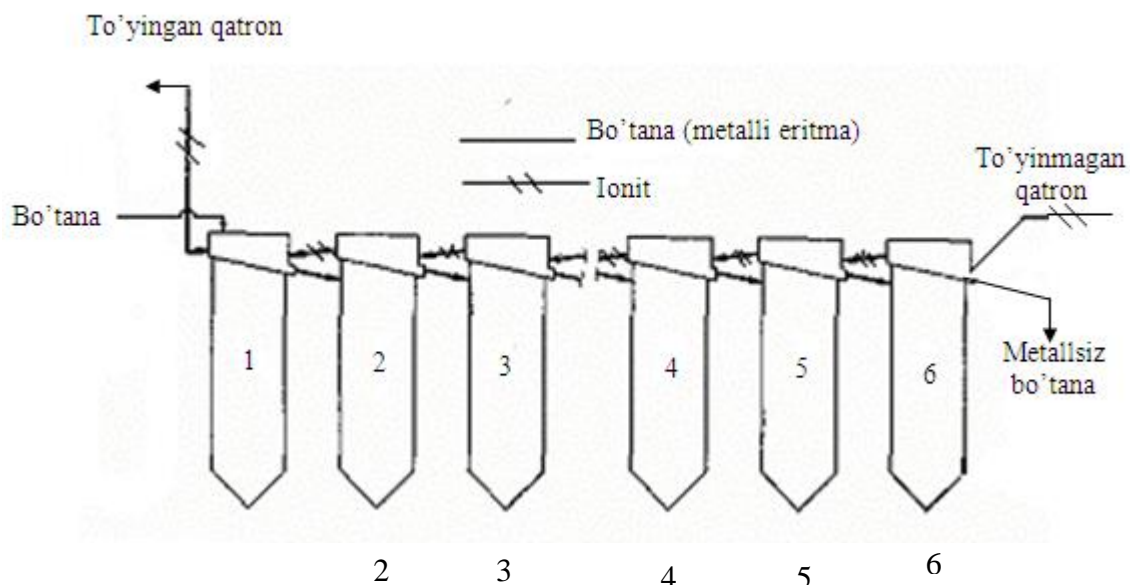
**8.3- rasm. Metallarni ionalmashuv usulda ajratib olish kolonnalarning batareyasi: 1- kolonna; 2- ionalmashuvchi qatron; 3- suzgich; 4- kranlar**

Eritmadagi metall ionlari dastlab 1- kolonnadagi qatronga yutila boshlaydi. Yutilmay qolgan ion esa keyingi kolonnalarda yutiladi. Soʻngra yuqori konsentratsiyali eritma metalli qatron bilan uchrashadi, past konsentratsiyali eritma esa yangi, hali ishlatilmagan, konsentratsiyasi past boʻlgan qatron qatlamidan oʻtadi va oxirgi kolonnadan metalsiz eritma chiqarib yuboriladi.

Shunday qilib, oldingi kolonnalardagi qatron almashayotgan ionga toʻyinib boradi. Bu usul qatronning almashuv sigʻimini toʻliqroq ishlatishga imkon beradi. Umumiy almashuv sigʻimining 80 - 85 foizi ishlatilgandan soʻng qatron toʻyingan hisoblanadi.

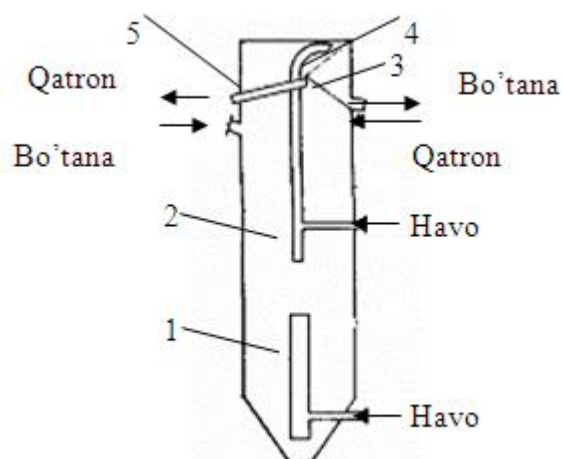
Sanoatda boʻtanadan metall ionlarini ajratib olish uchun 8.4-rasmda koʻrsatilgandan qarshi oqim qoidasi qoʻllaniladi, yaʼni boʻtana birinchi dastgohga berilib, oxirgisidan chiqarib olinadi, qatron esa oxirgisiga berilib birinчисidan chiqarib olinadi.

Bu usulda metalsiz (yangi yoki xususiyati qayta tiklangan) qatron konsentratsiyasi eng oz boʻlgan, oxirgi dastgohdagi eritma bilan uchrashadi va yutish jarayonida eritmadagi ionlar konsentratsiyasi qabul qilingan miqdorgacha kamaytiradi. Oxirgi dastgohdagi qatron siqilgan havo yordamida oldingi dastgohga uzatiladi, soʻngra undan oldingisiga oʻtadi va hokazo. Har bir dastgohda toʻyinmagan qatron konsentratsiyasi yuqoriroq boʻlgan eritma bilan uchrashadi. Toʻyingan qatron birinchi dastgohdan chiqarib olinadi. Soʻngra yuvish uchun joʻnatiladi.



**8.4-rasm. Uzluksiz ishlaydigan qarama qarshi oqimida ishlaydigan dastgohlarning sxemasi**

Bo'tana siqilgan havo yordamida maxsus to'r kurilmada qatronidan ajralib, 1- dastgohdan ikkinchisiga, so'ngra uchunchisiga va hokazo o'tib borib oxirgi dastgohdan chikindixonaga jo'natiladi. Bu usul oltin, uran va molibden sanoatida qo'llaniladi. Jarayon quyuuq-suyuq (q:s) nisbatligi 1:1 bo'lgan bo'tanada, 0,5 - 1,5 mm kattalikda qatron bo'lgan (bo'tana zarrachalarining kattaligi 0,1 mm) havo yordamida aralashtiriladigan 6- 7 tasi ketma- ket ulangan dastgohlarda olib boriladi. Sorbsion jarayonlarni amalga oshirish dastgohlari – "pachuk" deb nomlanadi (8.5-rasm).



**8.5-rasm. Sorbsion jarayonini amalga oshirish dastgaxoning (pachukning) sxematik chizmasi: 1 – "sirkulyator" -tarkibida qatron mavjud bo'tanani aralashtirish moslamasi; 2- "aerolift" – qatron va bo'tanani haraktlashtiruvchi moslama; 3 – "tanov"; 4 – "g'alvir" – qatron va bo'tanani ajratishga mo'ljallangan moslama; 5- "tarnov".**

Qatron donachalari metall ionlarini yutib og'irlashgani sababli, dastgohning pastki qismida to'planadi va qatron xaydagich aerolift yordamida dastgohdan chiqarib olinadi. Ionalmashuv jarayonlarini amalga oshirish usullaridan eng samaraligi jarayonni bo'tanada olib borishdir. Chunki bu usulda gidrometallurgiyada texnologik sxemani ancha qisqartiradi, eng ko'p vaqt va sarf-harajat talab qiladigan bosqich – eritmani qattiq moddalardan ajratish jarayoni (quyultirish, suzish) kerak bo'lmaydi.

Ammo yutish jarayonida qatronning sarfi boshqa usullarga nisbatan ko'proq bo'ladi. Bunga sabab qatron donachalari qattiq zarrachalar bilan to'qnashganda, ishqalanish natijasida yemirila boradi, uning o'lchami kichiklashib g'alvirdan bo'tana bilan birga o'tib chiqindixonaga tashlanadi. Shu bilan birga qatronga yutilgan metall ham yo'qoladi.

### **8.5. Oltin saqlovchi rudalar misolida sorbsion tanlab eritish jarayonini hisoblash**

Sorbsion tanlab eritishning texnologik sxemasi 8.6-rasmda keltirilgan. Sxemada 7 jarayon (5 bo'linish jarayonlari a 2 qo'shilish jarayoni), 14 (ruda, qatron, bo'linish jarayonlarining 10 mahsuloti va qo'shilish jarayonlarning 2 mahsuloti). Hisobot bitta komponent – qatron bo'yicha olib boriladi.

$$N_n = C(n_p - a_p) = 1(10 - 5) = 5 = N_\varepsilon$$

$$(N_\gamma = 0, N_\beta = 0)$$

Qatronning bir sutkadagi oqimi:

$$10,7 \cdot 24 = 256,8 \text{ kg}$$

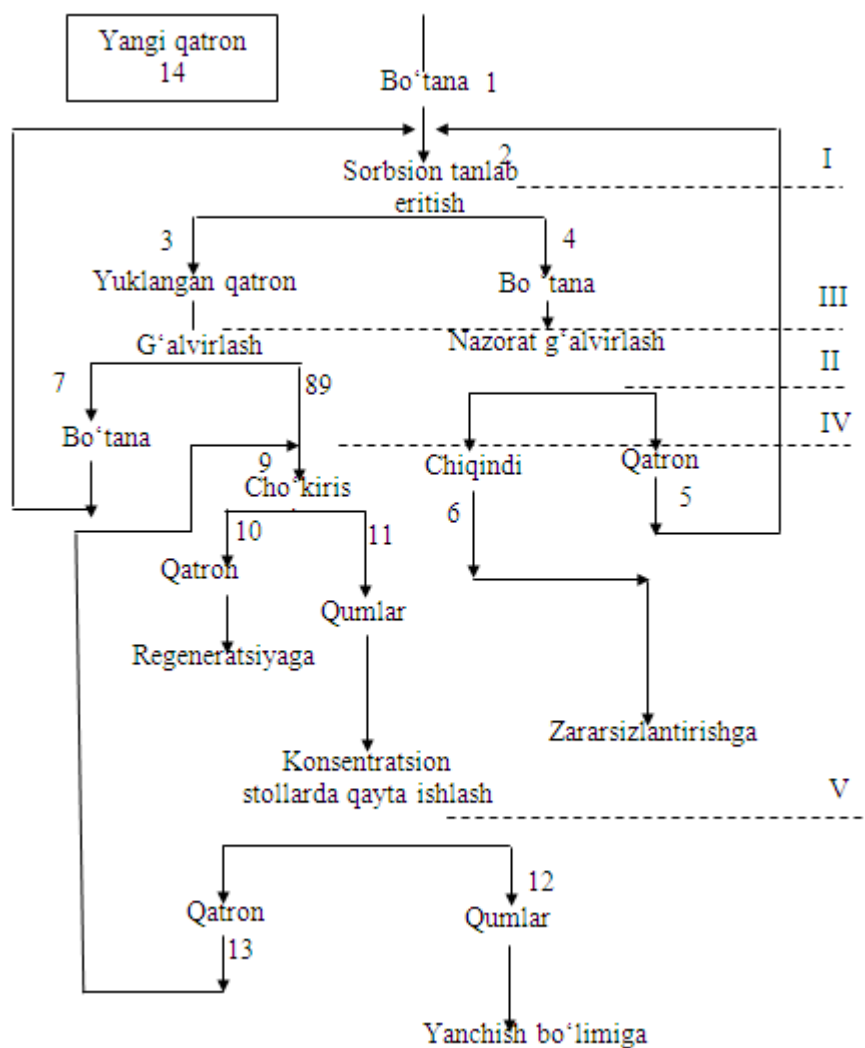
Kerakli 5 dastlabki ajratib olish ko'rsatkichlardan quyidagilarni tanlaymiz  $\varepsilon_{10}$  va  $\varepsilon_{12}$ ,  $E_{10}$ ,  $E_8$  va  $E_3$ .

Yoki loyihalashtiriladigan bo'limning qayta ishlash quvvati bo'yicha

$$0,0316 \cdot 995 = 31,44 \text{ kg/sut,}$$

foiz hisobida  $31,44 : 256,8 \cdot 100 = 12,25 \%$ . Desorbsiyaga beriladigan to'yingan qatronning ajratib olish darajasi:

$$\varepsilon_{10} = \varepsilon_{14} - 12,25 = 100 - 12,25 = 87,75 \%$$



**8.6-rasm. Sorbtsion tanlab eritish sxemasi**

Amaliyot ko'rsatkichlari bo'yicha qatronning mexanik yo'qolishi 1 tonna rudaga 0,0316 kg.

Qatronning qumlar bilan yo'qolishini  $\varepsilon_{12} = 10\%$  qabul qilinadi. Unda tashlandiq chiqindilar bilan qatronning yo'qolishi:

$$\varepsilon_6 = \varepsilon_{14} - \varepsilon_{10} - \varepsilon_{12} = 100 - 87,75 - 10 = 2,25\%.$$

Qolgan shaxsiy ajratib olish darajalari quyidagicha qabul qilinadi:

- tovarli qatronga shaxsiy ajratib olish  $E_{10} = 86,5\%$ ;
- III g'alvirlash jarayonida g'alvir usti mahsulotga ajratib olish  $E_8 = 97\%$ ;
- «xomaki qatronga» ajratib olish  $E_3 = 97,5\%$

$$\varepsilon_9 = \frac{\varepsilon_{10}}{E_{10}} = \frac{87,8}{86,5} \cdot 100 = 101,5\%$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} &= \varepsilon_4 - \varepsilon_{10} = 101,5 - 87,8 = 13,7\% \\ \varepsilon_{13} &= \varepsilon_4 - \varepsilon_{12} = 13,7 - 10,0 = 3,7\% \\ \varepsilon_8 &= \varepsilon_9 - \varepsilon_{13} = 101,5 - 3,7 = 97,8\% \\ \varepsilon_3 &= \frac{\varepsilon_8}{E_8} = \frac{97,8}{97,0} \cdot 100 = 100,8\% \\ \varepsilon_7 &= \varepsilon_3 - \varepsilon_8 = 100,8 - 97,8 = 3,0\% \\ \varepsilon_2 &= \frac{\varepsilon_3}{E_3} = \frac{100,8}{97,5} \cdot 100 = 103,4\% \\ \varepsilon_4 &= \varepsilon_2 - \varepsilon_3 = 103,4 - 100,8 = 2,6\% \\ \varepsilon_6 &= \varepsilon_{14} - \varepsilon_{10} - \varepsilon_{12} = 100,0 - 87,75 - 10,0 = 2,25\% \\ \varepsilon_5 &= \varepsilon_4 - \varepsilon_6 = 2,6 - 2,3 = 0,3\% \end{aligned}$$

### ***Sorbsion tanlab eritish jarayonining shlam va miqdor sxemasi hisobi***

Sorbsion tanlab eritishda qum fraktsiyasining chiqishini 0,5 % qabul qilinadi – 0,5 % , demak:

$$(1000 - 5) \cdot 0,005 = 4,98 \text{ t.}$$

Suyuq chiqindilardagi qattik mahsulotning miqdori:

$$995 - 4,98 = 990 \text{ t.}$$

G'alvir ustidagi qattiq mahsulotning miqdori 8,3 t.

Sorbsion tanlab eritish jarayonining miqdor sxemasi 8.1-jadvalda keltirilgan

8.1- jadval

### **Sorbsion tanlab eritish jarayonining miqdor sxemasi**

Jar. va mah. t/r	Jarayon va mahsulot nomi	$Q_n$ , t/sut	$\gamma_n$ , %	$\beta_n$ , %	$\varepsilon$ , %	P kg/sut
<b>I</b>	<b>Sorbsion tanlab eritish</b>					
	Kiradi:					
1	Sianli bo'tana	995	-	-	-	-
7	III g'alvirlashdan keyingi bo'tana	3,04	-	-	3,0	7,7

5	II g'alvirlash qatroni	-	-	-	0,3	0,77
14	Yangi qatron	0,257	-	2	100,0	257,0
	<b>Jami</b>	<b>998,3</b>	-	-	<b>103,3</b>	<b>265,5</b>
	Chiqadi:					
3	G'alvir ustidagi mahsulot	8,3	-	-	100,8	259,0
4	Tashlandiq suyuq chiqindilar	990	-	-	2,6	6,68
	<b>Jami</b>	<b>998,3</b>	-	-	<b>103,3</b>	<b>265,5</b>
<b>II</b>	<b>Nazorat g'alvirlash</b>					
	Kiradi:					
4	Bo'tana	990	-	-	2,6	6,68
	<b>Jami</b>	<b>990</b>	-	-	<b>2,6</b>	<b>6,68</b>
	Chiqadi:					
5	Qatron				0,3	0,77
6	Chiqindilar zararsizlantirishga	990	-	-	2,25	5,78
	<b>Jami</b>	<b>990</b>	-	-	<b>2,6</b>	<b>6,68</b>
<b>III</b>	<b>G'alvirlash</b>					
	Kiradi:					
3	G'alvir ustidagi mahsulot	8,3	-	-	100,8	259,0
	<b>Jami</b>	<b>8,3</b>	-	-	<b>100,8</b>	<b>259,0</b>
	Chiqadi:					
8	«Xomaki qatron»	5,26	-	-	97,8	251,3
7	Bo'tana	3,04	-	-	3,0	7,7
	<b>Jami</b>	<b>8,3</b>	-	-	<b>100,8</b>	<b>259,0</b>
<b>IV</b>	<b>Cho'ktirish</b>					
	Kiradi:					
8	«Xomaki qatron»	5,26	-	-	97,8	251,3
13	Qayta tozalashdan chiqqan qatron	$9,5 \cdot 10^{-3}$	-	-	3,7	9,5
	<b>Jami</b>	<b>5,269</b>	-	-	<b>101,5</b>	<b>260,8</b>
	Chiqadi:					
10	Qatron regeneratsiyaga	0,257	-	-	87,6	225,1
11	Qumlar	5,012	-	-	13,7	35,2
	<b>Jami</b>	<b>5,269</b>	-	-	<b>101,5</b>	<b>260,8</b>
<b>V</b>	<b>Qayta tozalash</b>					
	Kiradi:					
11	Qumlar	5,012	-	-	13,7	35,2
	<b>Jami</b>	<b>5,012</b>	-	-	<b>13,7</b>	<b>35,2</b>
	Chiqadi:					
13	Qatron cho'kindiga	$9,5 \cdot 10^{-3}$	-	-	3,7	9,5
12	Qumlar qayta yanchishga	5,002	-	-	10,0	25,7
	<b>Jami</b>	<b>5,012</b>	-	-	<b>13,7</b>	<b>35,2</b>



## Sorbtsion tanlab eritishning shlam sxemasi

Jar. va maxs nomi t/r	Jarayon va mahsulotning nomlanishi	$Q_n$ , t/sut	$R_n$	$W_n$ , $m^3/sut$	$V_n$ , $m^3/sut$
<b>I</b>	<b>Sorbtsion tanlab eritish</b>				
	Kiradi:				
1	Sianli boʻtana	995	1,25	1243,8	1600
7	III gʻalvirlashdan keyingi boʻtana	3,04	1,25	3,8	4,88
14	Yangi qatron	0,257	-	0,33	0,33
	<b>Jami</b>	<b>998,3</b>	<b>-</b>	<b>1247,5</b>	<b>1605,2</b>
	Chiqadi:				
3	Gʻalvir ustidagi mahsulot	8,3	1,25	10,4	13,34
4	Tashlandiq suyuq chiqindilar	990	1,25	1237,1	1591,8
	<b>Jami</b>	<b>998,3</b>	<b>-</b>	<b>1247,5</b>	<b>1605,2</b>
<b>II</b>	<b>Nazorat gʻalvirlash</b>				
	Kiradi:				
4	Boʻtana	990	1,25	1237,1	1591,8
	<b>Jami</b>	<b>990</b>	<b>1,25</b>	<b>1237,1</b>	<b>1591,8</b>
	Chiqadi:				
5	Qatron		-	-	-
6	Chiqindilar zararsizlantirishga	990	1,25	1237,1	1591,8
	<b>Jami</b>	<b>990</b>	<b>1,25</b>	<b>1237,1</b>	<b>1591,8</b>
<b>III</b>	<b>Gʻalvirlash</b>				
	Kiradi:				
3	Gʻalvir ustidagi mahsulot	8,3	1,25	10,4	13,34
	<b>Jami</b>	<b>8,3</b>	<b>1,25</b>	<b>10,4</b>	<b>13,34</b>
	Chiqadi:				
8	«Xomaki qatron»	5,26	1,25	6,6	8,46
7	Boʻtana	3,04	1,25	3,8	4,88
	<b>Jami</b>	<b>8,3</b>	<b>1,25</b>	<b>10,4</b>	<b>13,34</b>
<b>IV</b>	<b>Choʻktirish</b>				
	Kiradi:				
8	«Xomaki qatron»	5,26	1,25	6,6	8,46
13	Qayta tozalashdan chiqqan qatron	$9,5 \cdot 10^{-3}$	1,0	$9,5 \cdot 10^{-3}$	0,013
	<b>Jami</b>	<b>5,269</b>	<b>1,25</b>	<b>6,61</b>	<b>8,47</b>
	Chiqadi:				
10	Qatron regeneratsiyaga	0,257	1,0	0,257	0,42
11	Qumlar	5,012	1,25	6,353	8,05
	<b>Jami</b>	<b>5,269</b>	<b>1,25</b>	<b>6,61</b>	<b>8,47</b>
<b>V</b>	<b>Qayta tozalash</b>				

	Kiradi:				
11	Qumlar	5,012	1,25	6,353	8,05
	<b>Jami</b>	<b>5,012</b>	<b>1,25</b>	<b>6,353</b>	<b>8,05</b>
	Chiqadi:				
13	Qatron cho'ktirishga	$9,5 \cdot 10^{-3}$	1,0	$9,5 \cdot 10^{-3}$	0,013
12	Qumlar qayta yanchishga	5,002	1,25	6,34	8,037
	<b>Jami</b>	<b>5,012</b>	<b>1,25</b>	<b>6,353</b>	<b>8,05</b>

### *Savol va topshiriqlar*

1. Sorbsion tanlab eritish deganda nimani tushunasiz?
2. Adsorbsiya va absorbsiyaning qanday farqlari bor?
3. Oltinni tanlab eritishdan so'ng uni sorbsiyalashning nima ahamiyati bor?
4. Ionitlar necha xil bo'ladi?
5. Kationitlarga misol keltiring!
6. Anionitlar qaysi metallarni ajratib olishda qo'llaniladi?
7. Amfolitlarga ta'rif bering!
8. Eritmadan oltinni sorbsiyalash jarayonining kimyoviy reaksiya tenglamasini yozing!
9. Sorbentlarning qanday texnologik xususiyatlari mavjud?
10. AM-2B markali anionitning har bir harfi va raqami qanday ma'noni anglatadi?
11. KU-10 markali kationit qanday maqsadda qo'llaniladi?
12. Amfolitlar qanday moddalar va nima maqsadda ishlatiladi?
13. Xemosorbsiya jarayoni qanday jarayon?
14. Fizikaviy sorbsiya va kimyoviy sorbsiya jarayonlariga misollar keltiring!
15. Qatronlarning nisbiy sig'imi deganda nimani tushunasiz?
16. Oltin ishlab chiqarishda 1 kg qatron qancha miqdorda oltinni o'ziga sorbsiyalaydi?
17. Desorbsiya jarayonida qaysi moddalar ishlatiladi?
18. Desorbsiyadan so'ng hosil bo'lgan eritmani qanday nomlanadi?
19. Sorbsiya va desorbsiya jarayonlarini amalga oshirishdan asosiy maqsad nima?

## 9-BOB. METALL YOKI METALL BIRIKMALARINI SUVLI ERITMALARDAN AJRATIB OLIISH JARAYONLARINING ASOSLARI

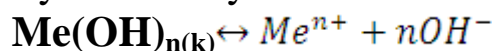
### 9.1. Kam eruvchan birikmalarni cho'ktirish yo'li bilan metallarni ajratib olish

Gidrometallurgiyada eritmalardan metallarni ajratib olish uchun ularni kam eruvchan birikmalar holida cho'ktirish usulidan keng foydalaniladi. Kam eruvchan birikmalarga quyidagilar kiradi:

- 1) asoslar (masalan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Co}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , yoki asosli tuzlar ( $x\text{MeSO}_4 \cdot y\text{Me}(\text{OH})_2$ );
- 2) sulfidlar (masalan  $\text{CuS}$ ,  $\text{CoS}$ ,  $\text{MoS}_2$  va hokazo);
- 3) anorganik tuzlar ( $\text{AgCl}$ ,  $\text{TiCl}$ ,  $\text{CaWO}_4$  va hokazo);
- 4) organik tuzlar ( oksalatlar, ksatogenlar, kufferonatlar).

#### *Asos va asosli tuzlarni cho'ktirish*

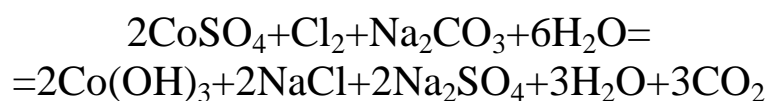
Eritmadan metall ionlarini asos  $\text{Me}(\text{OH})_n$  yoki asosli tuz  $\text{Me}(\text{OH})_n \cdot \text{MeA}_n$  holda cho'ktirish mumkin. Buning uchun eritmaga ishqor qo'shib, uning nordonligini kamaytirish kifoya:



**2-jadvalda** bir nechta metallarning gidroksid holatda cho'kish nordonlik qiymati keltirilgan.

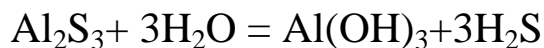
Metall	pH
Ti(IV)	0.5
Sn(IV)	0.1
Co(III)	1.0
Fe(III)	1.6
Al(III)	3.1
Cu(II)	4.5

Gidroksid holatda cho'ktirish jarayonini quyidagi reaksiya misolida ko'rish mumkin:



### *Metallarni sulfid holda cho'ktirish*

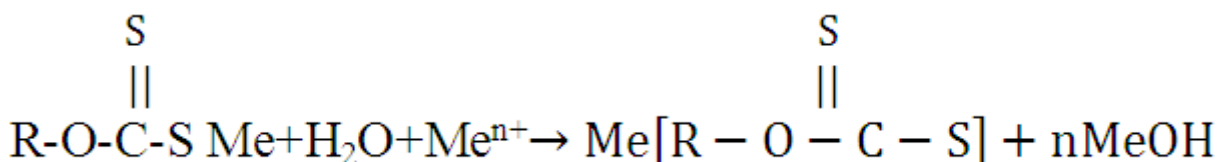
Sulfidlar orasida faqat ishqoriy metallarning sulfidlari suvda gidrolizlanib yaxshi eriydi. Ishqoriy er metallarining sulfidlari hamda  $\text{Al}_2\text{S}_3$  yoki  $\text{Cr}_2\text{S}_3$  lar esa kam eriydi, ammo gidrolitik parchalanadilar va cho'kmaga tushib ketadilar.



### *Metallarni organik reagentlar bilan cho'ktirish*

Hozirgi vaqtda juda ko'p organik birikmalar bo'lib, sanoatda turli maqsadlarda foydalaniladi. Shulardan bir guruhi foydali qazilmalarni flotasiya usuli bilan boyitish uchun ishlatiladi va ular yig'uvchilar deb ataladi. Yig'uvchilar tarkibi va qurilishiga qarab turlicha nomlanadi. Shulardan bir guruh sulfigidrilar deb atalib, ularga ksantogenatlar, ditiyofosfatlar, ditiokarbomatlar va merkaptobeztiozol (kaptaks) kiradi.

Organik reagentlar bilan metallarni cho'ktirilishi quyidagi reaksiyalar bilan ifodalasa bo'ladi:



### *Metallarni kam eruvchanlik birikmalar holda cho'ktirib bir-biridan ajratish*

Birikmalarning eruvchanligi har xil bo'lib, eritmaning tarkibiga hamda pH ga bog'liqdir. Moddalarning bu xususiyati eritmadagi metallarni alohida-alohida kam eruvchan birikmalar holda cho'ktirishga yoki asosiy metallni ifloslantiruvchi yo'ldosh metallarni oldin cho'ktirib eritmani ulardan tozalashga imkon beradi. Ammo amalda yo'ldosh birikma, ma'lum darajada asosiy metall birikmasi bilan birgalikda cho'kish kuzatiladi. Bu ergashma cho'kish yoki birga cho'kish xodisasi orqali yuz beradi. Agar eritma ham asosiy metallga, ham yo'ldosh metallga to'yingan bo'lsa va ikkala metall birikmalari bir vaqtda cho'kmaga tushsa, bu xodisa **"birga"** cho'kish deb ataladi.

Agar eritma asosiy metallga to'yingan bo'lib, yo'ldosh metallga to'yinmagan bo'lsa-da, yo'ldosh metall asosiy metall birikmasi bilan birga cho'kmaga tushsa, bu xodisa **"ergashma"** cho'kish deyiladi.

## *Suvsizlantirish yoki quyushtirish jarayonlari*

Quyushtirish (tindirish) jarayoni metallurgik homashyolarni gidrometallurgik usulda qayta ishlashda keng qo'llaniladigan jarayondir.

Gidrometallurgik korxonalarda, quyushtirish jarayoni ikki xil sharoitda qo'llaniladi:

1) mayin yanchishdan so'ng tanlab eritish va filtrlash jarayonlaridan oldin bo'tanadagi ortiqcha suvni (namlikni) ajratib olishda (quyushtirish jarayoni suvsizlantirish jarayonlarnig birinchi bosqchi hisoblanadi);

2) tanlab eritish jarayonidan so'ng, metllsaqlovchi eritmalarni erimagan qoldiqdan ajratib olishda.

Quyushtirish (tindirish) jarayonlari rangli va noyob metallarning gidrometallurgiyasida katta ahamiyatga ega. Masalan, rux kuynilarini tanlab eritish sexlarida quyushtirgichlar egallagan maydon, sexning yarmini tashkil etadi, oltin ajratib olish zavodlarida esa quyushtirgichlar korxon maydonining 25% ni egallaydi.

Suyushtirishda qattiq zarachalar cho'kishining sharti, bu zarracha og'irlik kuchining arximed kuchidan yuqori bo'lishidir, bu holda cho'kish tezligi muhitning qarshiligiga bog'liq bo'ladi.

Quyushtirish jarayonida zarachalarning erkin va siqilgan cho'kishi kuzatiladi. Erkin cho'kishda zarrachalar harakat davomida bir biri bilan to'qnashmaydi, siqilgan cho'kishda esa zarrachalar bir biri bilan to'qnashadi.

Zarrachalarning erkin cho'kishi dispers fazaning past konsentratsiyalarida [ $<1\%$  (hajm)] kuzatiladi. Tindirish jarayonida bo'tananing tepa qismida past qismiga qarab cho'kadigan zarrachalar konsentratsiyasining oshishi kuzatiladi, shuning uchun erkin cho'kish asta sekin siqilgan cho'kishga o'tadi.

Sferik shaklga ega bo'lgan zarrachaning og'irlik kuchi muhitning qarshiligi bilan muvozanatlashganda, erkin cho'kish doimiy tezlikka ega bo'ladi. Cho'kish tezligini Stoks qonuni bo'yicha aniqlash mumkin:

$$v_{\text{ep}} = d^2(\rho - \rho_0)g / (18\mu)$$

tenglamada  $d$  — zarrachaning diametri, m;  $\rho$  — zarrachaning zichligi,  $\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ;  $\rho_0$  — muhitning zichligi,  $\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ;  $g$  — og'irlik kuchining tezlanishi,  $\text{m}/\text{s}^2$ ;  $\mu$  — dinamik qovushqoqlik,  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ .

Cho'kish tezligi zarrachalarning geometrik ko'rinishiga ham bog'liq. Sharsimon zarrachalarning cho'kish tezligi  $v_{\text{er}}$ , shar ko'rinishiga ega

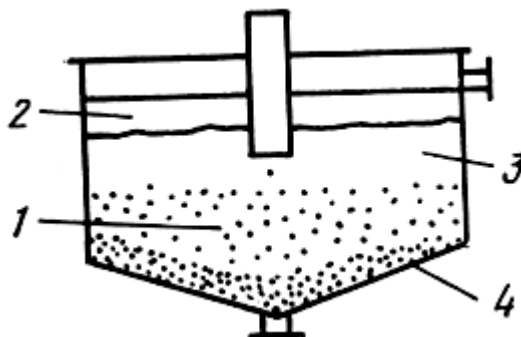
bo‘lmagan zarrachalarning cho‘kish tezligina yuqori. Hisobotlarda, tezlikning sekinlashishi, zarrachaning geometrik shakli koeffitsiyenti  $\varphi < 1$  yordamida aniqlanadi. Yumaloq shaklga ega bo‘lgan zarrachalar uchun  $\varphi = 0,77$ , burchakli zarrachalar uchun  $\varphi = 0,66$ , cho‘zilgan zarachalar uchun  $\varphi = 0,58$  va parrak simon zarrachalar uchun  $\varphi = 0,43$  qabul qilinadi. Turli shaklga ega bo‘lgan zarrachalarning cho‘kish tezligini aniqlash uchun yuqoridagi tenglamada geometrik shakli koeffitsiyenti hisobga olinadi.

$$v'_{er} = \varphi v_{er}$$

Keltirilgan tenglamala faqat erkin cho‘kish sharoitiga tegishli. Keltirilgan tenglamalar cho‘kish jarayoniga asosiy fizikaviy omillarning ta’sirini ko‘rsatadi.

Bir xil o‘lchamdagi zarrachalar uchun siqilgan cho‘kish tezligi erkin cho‘kish tezligidan har doim sekin bo‘ladi, chunki siqilgan cho‘kishda zarrachalarni bir biriga to‘qnashishi qo‘shma qarishilikka olib keladi. Siqilgan cho‘kishda har-xil o‘lchamdagi zarrachalarning cho‘kish tezligi yaqinlashadi, ammo zarrachalarning apparat balanlgi bo‘yicha harakat tezligi farqlanadi. Cho‘kish tezligi suspeziyani (bo‘tanani) zichlanishi bilan sekinlashadi.

Zarrachalarni vaqt davomida cho‘kish jarayoni 9.1-rasmda keltirilgan.



**9.1-rasm. Quyush jarayonining sxemasi: 1- siqilgan cho‘kish zonasi; 2- tindirilgan eritma zonasi; 3- erkin cho‘kish zonasi; 4- cho‘kindilarni zichlanish zonasi**

Erkin cho‘kish zonasida zarrachalarning cho‘kish tezligi doimiy bo‘ladi, suspeziyani (bo‘tanani) zichlanishi davomida cho‘kish tezligi sekinlashadi (siqilgan cho‘kish zonasi) va so‘ngra cho‘kish tezligi keskin nolgacha tushadi (zichlanish zonasi). Ma’lum vaqtdan keyin apparatning tepa qismida tindirilgan eritma zonasi hosil bo‘ladi.

Siqilgan cho‘kish tezligini hisoblash uchun ko‘p hollarda quyidagi tenglamalardan foydalanadi:

Zich bo‘tanalarda ( $\varepsilon \leq 0,7$ ) ( $\varepsilon$  – bo‘tanada erkin suyuqlik hajmining miqdori)

$$v_{ck} = [v_{\varepsilon p} \cdot 0,123\varepsilon^3 / (1 - \varepsilon)]\varphi$$

Suyuqroq bo‘tanalarda ( $\varepsilon > 0,7$ )

$$v_{ck} = (v_{\varepsilon p} \varepsilon^2 - 10^{-1,82(1-\varepsilon)})\varphi$$

### *Quyushish jarayonini jadallashtirish usullari*

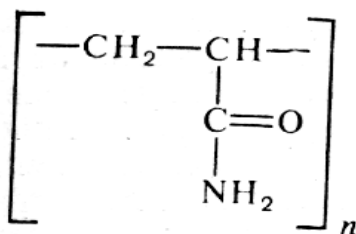
Quyushish jarayonini jadallashtirishga bo‘tanaga maxsus reagentlar qo‘shilishi bilan erishish mumkin. Bu reagentlar bo‘tandagi mayin zarrachalarning yiriklashishiga olib keladi va shuning natijasida quyushish tezligi oshadi. Bu birikmalar flokulyantlar deb nomlanadi. Ular turli kimyoviy snflarga tegishli birimlar bo‘lishi mumkin: noorganiki elektrolitlar (ishqor, kislota, tuz), suvda eritilgan yuza faollashtiruvchi organik moddalar poverxnostno-aktivnie (yuqori molekulyar spirtlar, kislotalar, efirlar); tabiiy polimer birikmalar (kraxmal, stolyar kleyi) va sintetik polimerlar (poliakrilamid)

Flokulyasiya jarayonida flokulyantlarning makromolekulasi yordamida mayin zarrachalarning yiriklashishi amalga oshiriladi.

Flokulyasiya jarayoni zarrachalar va flokulyantlarni elektrostatik o‘z-aro ta’sirlashuvi hisobiga va zarracha va flokulyant orasida vodorod va kimyoviy bog‘ hosil bolishi hisobiga amalga oshiriladi.

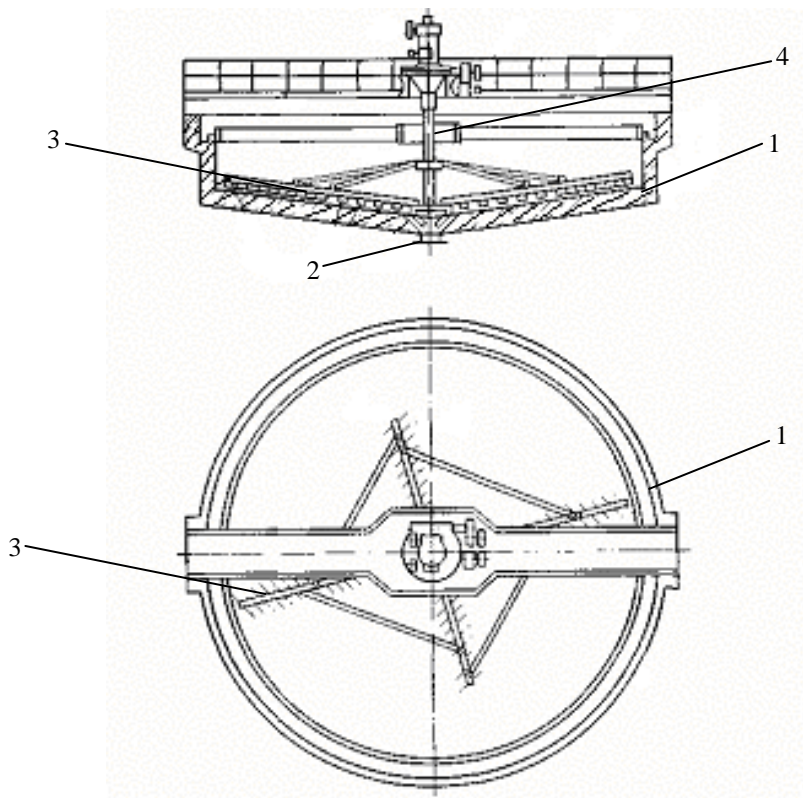
Sanoatda tabiiy polimer flokulyantlardan kraxmal va stolyar kley, sintetik polimer flokulyantlardan esa poliakrilamid (PAA) keng qo‘llaniladi.

Poliakrilamid (PAA) quyidagi formula bilan ifodalanadi.



Amaliyotda quyushish jarayoni quyushitirgich deb nomlanadigan dastgohlarda olib boriladi (9.2-rasm). Quyushitirgich – silindrik shakldagi, tubi konus simon bo‘lgan dastgohdir. Quyushitirgich tubiga cho‘kkan zarrchalarni dastgohning tubida

joylashtirilgan chiqarish tuynikiga harakatlantirish uchun, quyuqlashtirgichda aralashtirgich mavjud. Aralashtirgichning aylanish tezligi juda sekin (0,015-0,5 ayl/min), buning sababi tubga choʻkkan zarrachalar qaytadan muallaq holga oʻtmasligi.



9.2-rasm. Quyuqlashtirgich: 1- silindrik chan; 2- quyuqlashgan mahsulotni chiqarish tuynigi; 3- aralashtirgich; 4 – boʻtanani yuklash moslamasi

## 9.2. Durlanish jarayonlarining asoslari

Durning xossalariga taʼsir qiluvchi omillarni koʻrib chiqamiz:

**Durning shakli.** Durning shakli asosan durlanayotgan moddaning tabiatiga bogʻliq. Ammo durlanish sharoiti dur shaklini oʻzgartirishi ham mumkin. Masalan, eritmani aralashtirish yuqori tezlik bilan olib borilsa, hosil boʻlgan durlar oʻzaro kuchli toʻqnashishi va durlagich devorlariga ishqalanishi natijasida dur qirralari yeyilib ketishi mumkin. Bundan tashqari, durning shakli eritmadagi begona moddalarning bor-yoʻqligiga ham bogʻliq. Masalan, kaliy xloridi toza suvli eritmada kub shaklida, mochevina boʻlsa kubooktaedr shaklida durlanadi.

**Durning oʻlchami.** Yirik durlar oʻta toʻyinish darajasi kamroq boʻlgan eritmadan va oʻsishi sekin borgan durlash sharoitida olinadi. Durning oʻlchamiga eritmaning aralashtirish tezligi katta taʼsir qiladi.



Eritma tez aralashtirilsa, bir tomondan dur qirralariga diffuziya yo‘li bilan ionlarning kelishi osonlashadi, natijada dur tez o‘sadi, ikkinchi tomondan, yangi dur pushtlari hosil bo‘lishi tezlashib, mayda dur olinishi mumkin. Shuning uchun aralashtirish shiddati har bir modda uchun tajriba yo‘li bilan aniqlanadi. Durning o‘lchami eritmadagi begona moddalarga ham bog‘liq. Ba‘zi bir moddalar durning yiriklashishiga yordam bersa, boshqalari esa to‘sqinlik qiladi. Yirik dur olishning asosiy usuli eritmaga tashqaridan dur pushtini berishdir. Sanoatda olinadigan durlarning yirikligi 10-12 mm gacha bo‘ladi.

**Granulometrik tarkibi.** Bir xil yiriklikdagi dur olish uchun eritmaning konsentratsiyasini va haroratning intervalini kamaytirish kerak.

**Durning sofliqi.** Durning tozaligi asosan eritmaning tozaligiga bog‘liq. Eritma toza bo‘lsa, toza dur olinadi. Eritmada begona moddalar erigan bo‘lsa, ular dur g‘ovaklariga kirib qolishi yoki durlanayotgan moddaning durlik qurilishiga yaqin bo‘lgan izomorf tuzlar bo‘lsa, ular durlik panjarasiga o‘tirib olishi mumkin. Durni begona moddalardan tozalash uchun uni toza suv bilan qayta-qayta yuvish yoki qayta durlash usulidan foydalaniladi.

Qayta durlash yo‘li bilan tuzlarni tozalash va xossalari yaqin bo‘lgan moddalarni bir-biridan ajratish mumkin.

Tuzlarni toza erituvchida eritib, undan yana dur olish qayta durlash deyiladi. Qayta durlash yo‘li bilan tuzlarni noizomorf unsurlardan tozalash mumkin. O‘ta toza tuz olish uchun ketma-ket bir necha bor qayta durlash o‘tkaziladi.

Ko‘p a‘zoli tuz uchun esa o‘ta murakkab sxema qo‘llaniladi. Bunda dastlabki ko‘p a‘zoli eritmaning ma‘lum qismi bug‘latiladi va qolgan eritma sovitilib durlanadi.

Eritmadan dur tindirish usuli bilan ajratib olinadi. Birinchi dur ( $A_1$ ) toza erituvchida eritiladi, bug‘latiladi va sovitilib dur ( $V_1$ ) va qoldiq eritma (2) olinadi: birinchi qoldiq eritma (1) bug‘latiladi, sovitilib dur ( $A_2$ ) va eritma (3) olinadi. Dur ( $A_2$ ) eritma ( $2^1$ ) bilan eritilib, bug‘latiladi, sovitilib dur (S) va eritma ( $3^y$ ) olinadi va hokazo.

Ajratilayotgan durlarning tozaligi belgilangan darajaga yetganda tayyor mahsulot ( $E_1$ ,  $E_2$ ) sifatida jarayondan chiqariladi. Bu usul juda ko‘p bosqichli, unumdorligi past va murakkab bo‘lganligi uchun hozirgi vaqtda sanoatda kam qo‘llaniladi.

Moddalarni dur holda ajratib olish uchun eritmalar o'ta to'yingan holga keltirilishi kerak. O'ta to'yingan eritmalar quyidagi usullar bilan olinadi:

- Eritmadagi erituvchining bir qismini bug'latib, eritma quyiltiriladi;
- Eritmani sovitish bilan eruvchanlikni kamaytirish;
- Eritmalarga erituvchining o'zini biriktirib oluvchi yoki eruvchanlikni kamaytiruvchi moddalarni qo'shish;
- Maxsus usullar.

Birinchi usul bilan durlash uchun eritma bug'latish dastgohiga joylashtiriladi. Dastgoh ichiga o'rnatilgan "ilon izi" truba orqali isituvchi agent (bug' yuboriladi) truba devorlari orqali issiqlik eritmaga o'tadi va uning haroratini qaynash haroratigacha ko'taradi. Erituvchini ma'lum qismi bug'langandan so'ng shu dastgohning o'zida durlanish boshlanadi. Bug'lanish mo'ljalidagi dur olingunga qadar davom ettiriladi. Bu usulning kamchiligi shundaki, durlar truba sirtiga yopishib qolishi mumkin.

Bu jarayonni oldini olish maqsadida eritma shiddatliroq aralashtiriladi. Durlar eritmadan suzgichda yoki sentrifugalar orqali ajratib olinib, keyin yuviladi.

Eruvchanligi yuqori bo'lgan tuzli eritmalaridan dur olish uchun eritma sovitiladi. Bu jarayon bir yoki ko'p bosqichli dastgohlarda davriy yoki uzluksiz ravishda olib boriladi. Sovituvchi agent sifatida suv yoki havo ishlatiladi. Havo bilan sovitish jarayonining tezligi juda sekin boradi, lekin uning afzalligi ham bor, olingan dur yirik bo'ladi.

Eruvchanligi kam bo'lgan tuzli eritmalaridan dur olish uchun bu eritmani qizdirishga to'g'ri keladi.

**Maxsus usullar.** Bularga quyidagilar kiradi: vakuumda durlash, erituvchini bir qismini tashuvchi agent (havo) oqimi yordamida bug'latib durlash; bo'laklab durlash.

Vakuumba durlash. Qaynoq to'yingan eritma vakuum durlagichga kelib tushadi. Durlagich vakuum so'rgichga (nasosga) ulanganligi sababli undagi bosim kamayib boradi. Natijada eritmaning qaynash harorati mos ravishda pasayib, bug'lanadi. Hosil bo'lgan bug' to'xtovsiz tashqariga chiqarilib turiladi. Eritma o'zining fizik issiqligi hamda dur hosil bo'lish issiqligi hisobiga bug'lanadi. Bug'lanish, sovitish va durlanish jarayonlari eritmaning butun hajmida o'tadi. Shuning uchun durlagich devorlariga dur o'tirib qolmaydi.

Eritmani tashuvchi agent oqimi yordamida bug'latib durlash usulida erituvchining ma'lum qismi havo oqimiga bevosita eritma yuzasidan o'tkazish hisobiga bug'latiladi. Shuning bilan birga eritma ham soviydi.

Bo‘laklab durlash. Agar eritmada bir nechta kerakli unsur bo‘lib, ularni alohida-alohida dur shaklida ajratib olish kerak bo‘lsa, u holda bo‘laklab durlash usuli qo‘llaniladi. Bu usul ko‘p bosqichli bo‘lib, har bir bosqich o‘zining me‘yoriy shart-sharoitlariga (harorat, konsentratsiya, va boshqalar) ega.

### *Durlagichlar*

Ishlash uslubiga qarab sanoat durlagichlari quyidagi turlarga bo‘linadi:

- bug‘latuvchi - durlagichlar;
- sovituvchi - durlagichlar;
- vakuum - durlagichlar;
- mavxum qaynovchi- durlagichlar.

Hamma turdagi durlagichlar davriy va uzluksiz maromda ishlashi mumkin. Durlagichlar xilma-xil ko‘rinishga va konstruksiyaga ega. Shulardan ba’zi birlari bilan tanishib chiqamiz.

Bug‘latuvchi - durlagichlar. Bu durlagichlarda eritma qizdirilib, erituvchining bir qismi bug‘latiladi va o‘ta to‘yingan eritma olinadi. O‘ta to‘yingan eritmada esa durlar ajralib chiqadi.

Sovituvchi durlagichlar sinfiga tebranma, shnekli, havo yoki suv bilan sovituvchi, juvali va aralashatirgichli durlagichlar kiradi. Bular ichida sanoatda keng tarqalgani aralashatirgichli durlagichlardir.

Aralashatirgichli durlagichlar ichida aralashatirgichi bo‘lgan idishdan iborat. Sovituvchi agent (suv yoki havo) “ilon izi” trubasi ichida harakat qiladi.

Aralashatirgich aylanishi natijasida eritmada ajralayotgan durlar eritmada muallaq holda bo‘ladi. Bunday dastgohlar davriy yoki uzluksiz maromda ishlashi mumkin. Agar dastgoh davriy ishlasa, u eritma bilan to‘ldiriladi, durlanish jarayoni tugagach, pastki jo‘mrak orqali mahsulot tushiriladi. Uzluksiz maromda ishlasa, bir necha dastgohlar ketma-ket ulangan bo‘lib, eritma birinchisidan ikkinchisiga, undan keyingisiga o‘tkaziladi.

Juvali durlagichning asosiy ishchi qismi tashqi va ichki devorlari orasida sovuq suv harakatlanishidan soviydigan, aylanib turuvchi, temirdan yasalgan baraban bo‘lib, u qisman eritma to‘ldirilgan karetaga botirilgan. Durlanish baraban sirtida sodir bo‘lib, durlar unga o‘tiradi. Baraban yuzasidan durlar qirgichlar bilan qirib olinib, maxsus idishga tushiriladi.

Barabanni aylanish tezligi 0,1 dan 1 m/sek gacha. Juvali durlagichda olingan durlar mayda va eritmadagi begona moddalar bilan ifloslangan bo'ladi. Shuning uchun bu durlagich sanoatda kam ishlatiladi.

Mavhum qaynovchi durlagich. Bunday durlagichlar yirik va bir xil shakldagi durlar olish uchun ishlatiladi. Bu dastgohda durlanish jarayoni eritmani bir qismini bug'latish yoki eritmani sovitish bilan olib boriladi. U isitgich (yoki sovutgich)dan, eritmani uzluksiz harakatga keltiruvchi nasosdan, bug'latish va mavxum qaynatish bo'linmalaridan iborat. Isitgichdan chiqayotgan mayda durlari bo'lgan qoldiq eritma bilan aralastirilib, nasos yordamida bug'latish bo'linmasiga uzatiladi. Bug'latish bo'linmasida eritma qaynab bug'lanadi, konsentratsiyasi oshadi, durlanish boshlanib, dastgohning pastki qismiga qarab harakatlanadi.

Ko'p pog'onali vakuum-durlagich. Bu durlagich sanoatda ko'p miqdorda durlar olish uchun ishlatiladi. Bunda bir necha dastgoh ketma-ket ulanib vakuumning miqdori birinchi dastgohdan oxirgisiga qarab oshib boradi. Har qaysi dastgoh uchun bug'larni kondensatsiyalashga alohida kondensatorlar o'rnatiladi.

Kondensatorlar sovituvchi suvning oqimi yo'nalishi bo'yicha ketma-ket ulangan. Issiq, to'yingan eritma uzluksiz birinchi dastgohga berilib, qisman bug'latiladi va vakuum hisobiga sovitiladi. Birmuncha sovigan durlar hosil bo'la boshlagan eritma keyingi dastgohlarda ko'proq vakuum bo'lgani uchun ularga o'z-o'zidan oqib tushadi. Har bir dastgohda eritmaning ma'lum qismi bug'lanib, erituvchining miqdori pasayib boradi. Shu sababli eritma konsentratsiyasi durlanish jarayonining davom etishini ta'minlab turadi. Oxirgi dastgohning pastki qismida durlar to'planadi, yuqori qismidan esa durdan ajralgan suyuqlik barometrik turba orqali tortib olinadi. Hosil bo'lgan durlarning kattaligi 0,2 – 0,25 mm bo'ladi.

### **9.3. Metallarni eritmadan elektroliz usulida cho'ktirish**

Eritmalarda elektr toki ta'sirida kimyoviy reaksiyalar sodir bo'ladigan jarayon *elektroliz* deyiladi.

Elektroliz elektr toki ta'sirida parchalanish demakdir. Elektroliz jarayoni sanoat va qishloq xo'jaliklarida katta hamiyatga ega.

Elektroliz jarayonida elektrod elektrolid chegarasida elektrokimyoviy reaksiyalar sodir bo'lib, bunda elektrolit bilan eritmadagi ionlar o'zaro elektron almashadi.

Katodda elektronlar elektrodan ionga, anodda esa iondan elektrodga o'tadi, bunda ionlar yoki molekulalar o'zining elektr zaryadini yo'qotadi yoki o'zgartiradi.

Elektrolitlarda sodir bo'ladigan elektrokimyoviy reaksiyalarda faqat elektronlar elektr tashishi mumkin va eritmadagi ionlar o'zaro elektron almashadi.

Katodda elektronlar elektrodan ionga, anoddan esa iondan elektrodgacha o'tadi, bunda ionlar yoki molekulalar o'zining elektr zaryadini yo'qotadi yoki o'zgartiradi.

Elektrolitlarda sodir bo'ladigan elektrokimyoviy reaksiyalarda faqat elektronlar elektr tashishi, eritmadagi ionlar esa valentligini o'zgarishi, lekin elektrodlar zaryadsizlanmasligi ham mumkin. Ingliz olimi M. Faradey elektrolizni tajribada o'rganib, ikkita muhim qonuni kashf etadi.

1. Elektroliz vaqtida elektrodlardagi moddalar miqdori elektrolit orqali o'tgan elektr miqdoriga to'g'ri mutanosibdir.

2. Turli xil elektrolitlardan bir xil miqdordagi elektr o'tkazilganda elektrodalarda ajraladigan moddalar miqdori shu moddalarning kimyoviy ekvivalentlariga to'g'ri mutanosibdir.

$\text{AgNO}_3$ ,  $\text{CuSO}_4$  va  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  eritmaları orqali kulon elektr o'tkazilganda katodda 1,118 mg qonuni, 0,3293 mg mis va 0,010446 mg vodorod ajralib chiqadi. Kimyoviy ekvivalentning elektrokimyoviy ekvivalentga nisbati o'zgarmas kattalik bo'lib, eritma  $16487 \pm 1,6 \frac{K}{g \cdot ekv}$

(yaxlitlanganda 96500) ga teng va bu Faradey soni deyiladi.

Shunday qilib, elektroliz usuli bilan eritmadagi gramm-ekvivalent modda ajratib olish yoki uni o'zgartirish uchun bir Faradey elektr sarflash kerak. Zanjir orqali o'tgan elektr miqdorini aniq o'lchash usuli Faradey qonuniga aslangan. Bunda o'lchashlar uchun kumushli, misli va boshqa kalorimetrlar ishlatiladi. Bu asboblarda elektroliz mahsulotlarining miqdori ma'lum bo'lgach sarflangan elektr miqdori oson topiladi.

**Faradey qonunlari.** Elektroliz jarayonida elektrodalarda ajralib chiqqan moddalarning miqdori bilan sarf bo'lgan elektr toki miqdori orasidagi bog'lanish M. Faradey qonunlarida o'z aksini topgan.

Faradeyning 1-qonuni. Elektroliz davomida elektrodalarda ajralib chiqqan moddalar (yoki elektrod erishi natijasida hosil bo'lgan modalar) massasi elektrolit eritmasi orqali o'tgan elektr tokining miqdoriga to'g'ri proporsional bo'ladi.

$$m = K \cdot Q$$

$m$  – ajralib chiqqan modda massasi;

$Q$  – tok miqdori;

$K$  – elektr kimyoviy ekvivalent.

Faradeyning 2-qonuni. Agar turli xil elektrolitlar eritmalari orqal bir xil miqdorda elektr toki o'tkazilsa elektrolarlarda ajralib chiqadigan moddalarning massa miqdori o'sha moddalarning kimyoviy ekvivalentiga to'g'ri proporsional bo'ladi.

Har qanday moddalarning ekvivalent miqdorini hosil qilish uchun bir xil miqdordagi elektr toki miqdorini sarf qilish kerak. Bu miqdor tokni Faradey soni ( $F$ ) deb ataladi. Faradey soni  $F$  elektron zaryadning Avagadro soniga ko'paytmasiga teng.

$$F = N_A \cdot e = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ Kl} = 96485 \text{ Kl}$$

Har qanday moddaning bir ekvivalent miqdorini olish uchun eritma yoki suyuqlanma orqali 96485 Kl miqdorda elektr tokini o'tkazish kerak.

### *Rux sulfat eritmasining elektrolizi*

Metallarni elektrcho'ktirish jarayonini ruxni elektroliz jarayoni misolida ko'rib chiqamiz.

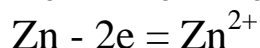
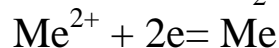
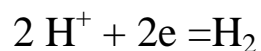
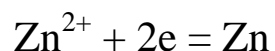
Rux – og'ir rangli metallardan eng elektromanfiylardan biri. Uni standart potentsiali – 0,763 V, vodorodniki esa – 0,0 V, ya'ni  $E_{\text{Ni}} > E_{\text{Zn}}$ . Buning natijasida ruxni elektrtiklanishi murakkab, tezda o'zgaradigan, noturg'un elektrokimyoviy jarayon. Elektrmanfiy ruxni, elektrmusbat vodorodga nisbatan elektrodga o'tirishi, vodorodga o'tirishi, vodorodni ruxda o'ta kuchlanishi bilan bog'liqdir. SHuning uchun, elektrtiklanishda o'ta kuchlanishni saqlab turadigan sharoitlarni saqlab turish kerak. Vodorod kuchlanishiga oid hamma omillar ruxni korroziyasiga va tokdan foydalanish koeffitsiyentini pasayishiga, rux elektrtiklanish jarayonini buzilishiga olib keladi.

Vodorodni o'ta kuchlanishiga tok zichligi, harorat, katoda o'tirgan rux sirtini ahvoli, elektrolitni tarkibi va zarra aralashmalarni mavjudligi ta'sir qiladi.

Amaliyotda ruxni elektr o'tkazish yashik shaklidagi vannada, erimaydigan qo'rg'oshin, yoki qo'rg'oshin kumush anod yordamida o'tkaziladi. Vannaga uzluksiz tozalangan neytral rux eritmasi beriladi va ishlatilgan elektrolit chiqazilib yuboriladi. Rux alyuminiydan yasalgan matrisaga cho'ktiriladi, qaysidan biri sutkada bir marta ajratib olinadi.

Yaproqsimon katod ruxni induksion pechda xlorli ammoniy qatlam ostida eritiladi va quyma moslamaga quyiladi.

Suv sulfat kislotali rux eritmasidan metalni katodga choʻktirishda, quyidagi reaksiyalar oʻtishi mumkin:



Katod potentsiali, elektrolitni tarkibi va elektr oʻtkazish sharoitlarga qarab yuqoridagi reaksiyalardan biri oqib oʻtadi. Katodda ionlarni razryad potentsiali Nernst tenglamasi bilan aniqlanadi:

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \cdot \ln a_{\text{Zn}^{2+}}$$

Bunda:  $E_0$  – ionni normal potentsiali;

$R$  – gaz doimiyligi;

$T$  – haqiqiy harorat;

$n$  – iondagi zarralar soni;

$a$  – ionni aktivligi.

Vodorodni ruxdagi oʻta kuchlanishi tok zichligi bilan Tafel tenglamasi orqali bogʻlangan:

$$\eta = a + v \lg i$$

Bunda  $a$  va  $v$  – doimiyliklar 20 s da doimiyliklarni qiymatlari:  $a = 1,24$  va  $v = 0,118$ .

Texnikaviy ruxda vodorodni oʻta kuchlanishi tok zichligiga bogʻliq. Masalan, tok zichligini 400 – 600 A/m<sup>2</sup> oraligʻida, oʻta kuchlanish qiymati 1,11-1,13 V ni tashkil qiladi.

Ruxni elektr oʻtkazish amaliyotida vodorodni ruxdagi oʻta kuchlanishini oshirish katta ahamiyatga ega. Uni tok zichligini oshirish, elektrolit haroratini pasaytirish, eritmani zarra moddalardan tozalash, eritmaga aktiv moddalar qoʻshish yoʻllari bilan amalga oshirish mumkin.

Tokdan foydalanish koeffitsiyentini rux konsentratsiyasi pasayishi bilan kamayadi. Ayniqsa, rux konsentratsiyasi 50 g/m<sup>3</sup> pastroq boʻlib kolsa, kislotani elektrodida konsentratsiyasi kamayishi tokdan foydalanishini oshiradi.

Haroratni oshishi tokdan foydalanishni pasayishga olib keladi.

Elektr quvvatini solishtirma sarfi aniqlanadi:

$$W = U / 1,219 \quad \text{kv.t. s/kg}$$

bunda  $U$  – vannadagi kuchlanish, 1,219 – elektrokimyoviy ekvivalent.

### *Misni elektrolitik rafinirlashning asosiy maqsadi, ko'satkichlari va dastgohi*

Elektrolitik tozalashning asosiy maqsadi toza, yuqori sifatli mis va yarim mahsulot (shlam) olishdir. Shlamda oltin, kumush, selen va tellur to'planadi. Bu jarayonni amalga oshirish uchun anoddagi mis doimiy elektr toki yordamida eritiladi va shu paytning o'zida mis katodga o'tkaziladi. Erituvchi modda hisobida sulfat kislotasi qo'llanadi. Asosiy dastgoh hisobida elektrolitik vanna ishlatiladi.

Elektrolitik vanna o'zi bilan temir betondan yasalgan kesimi to'g'ri burchak dastgohdir. Vanna elektrolit quyadigan truboprovod va elektr tokini ta'minlaydigan shinalar bilan jihozlangan. Vannaning ichki sirti viniplast yoki qo'rg'oshin bilan izolyatsiya qilingan, chunki eritmada sulfat kislotasi bor.

Elektroliz o'tadigan muhitning elektroliti tarkibga quyidagicha: 135-200 g/l  $H_2SO_4$  va 170-200 g/l mis ko'porosi -  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  (35-50 g/l  $Cu^{2+}$  ionlariga to'g'ri keladi).

Vannalarni himoya qilish materiali hisobida viniplastni qo'llash ancha afzalroqdir. Viniplast tok o'tkazmaydi va tokning isrofgarchiligi kamayadi va foydalanish koeffisienti oshadi. Viniplastni kamchiligi - u mo'rt, sinuvchan va mexanik ta'sirida tezda ishdan chiqishi mumkin. Viniplastli futerovka, qo'rg'oshinga nisbatdan, kamroq ishlaydi. Lekin, qo'rg'oshinni qimmatligini hisobga olganda, viniplast keng qo'llanadi. Xorijiy davlatlarda viniplastni rad etib, qo'rg'oshin himoyaga o'tilmoqda. Qo'rg'oshinni ishlash davrini oshirish uchun, uni tarkibiga 3-6 % Sb va 0,0006 % Cu qo'shilgan. Kanada zavodlarining birida, bunday himoyaviy material 28 yil uzluksiz ishlagan.

Anod hisobida misdan tayyorlangan plastina qo'llanadi. Anodni eni 35-40 mm, og'irligi 270-320 kg.

Katod bo'lib toza misdan yasalgan ensiz plastina qo'llanadi. Katodni o'lchamlari, anodnikiga nisbatdan, kattaroqdir. Buni elektr tokini katod sirtida bir tekis taqsimlanishi uchun qilinadi. Bu tadbir natijasida katodning chegara qismlarida har xil o'sish va dendritlar paydo bo'lishiga yo'l qo'yilmaydi.

Vannaga anod va katodlar navbat bilan osiladi.

Vannani kattaligi anod, katodlar soni va ularning masofasiga bog'liqdir. Agarda vannada 34 anod va 35 katod bo'lsa, vannani ishchi o'lchamlari taxminan 4000 x 1000 x 1200 mm tashkil qiladi.

Vannaning kattaligini tanlashda elektrodlararo masofa hisobga olinadi. Amaliyotda oqilona deb topilgan, bir xil elektrodaro, masofa 100-



110 mm. Agar masofa 100 mm bo'lsa, anod va katodning orasi 28 mm ga teng bo'ladi. Bu masofa elektrodlarni qisqa tutashuviga yo'l qo'ymaslik uchun eng minimal o'lchamdir.

### *Elektroliz jarayonida misning aylanishi*

Agarda, elektrolit eritmasiga tushirilgan, to'g'rilagichdan mis anodiga musbat tok berilsa, katodga esa-manfiy zaryad bog'lansa, elektr zanjir tutashadi va elektrolit hajmidan tok oqib o'tadi. Bunda anodda quyidagi jarayonlar yuz beradi:

1) metall ionini anoddan ajralib chiqib va ortiqcha Elektronni tashqi zanjirga o'tishi:



2)  $\text{CuH}_2\text{O}^{2+}$  kationini gidratasiyasi (metall ionini eritmada suv molekulasini bilan bog'lanishi);

3) kationni eritmaga o'tishi.

Katod jarayoni quyidagi bosqichlardan tuziladi:

1) Kationni eritma hajmidan katod yuziga eltishi;

2) Kationni elektron yordamida tiklanishi:



3) metall atomini katod kristallik tuzilishiga qo'shilishi.

Bunday sxema bo'yicha mis anodda erib, katodga qo'shiladi va katodni enligi o'sib boradi.

Jarayon davrida elektr quvvat elektrolit, shina va kontaktlarning qarshiligini bartaraf qilish uchun sarflanadi. Faradey qonuniga binoan, katodga o'tadigan metallning gramm - ekvivalenti, zanjirdan oqib o'tadigan elektr tokiga bog'liqdir. Bir gramm - ekvivalent metallni o'tkazishga 96500 kulon elektr toki sarflanadi, yoki

$$96500 : 3600 = 26,8 \text{ A-soat}$$

Katodda 1 A-soat tok yordamida o'tkaziladigan metallning massasi - shu metallning elektr kimyoviy ekvivalenti deb ataladi.

Eritmadan 1A-soat elektr toki oqib o'tsa, katodda  $31,78:26,8 = 1,186$  g mis o'tiradi (gramm ekvivalent - grammda o'lchangan metallning atom massasini valentligiga bo'linganligi aytiladi. Masalan, ikki valentli misning gramm - ekvivalenti  $63,56 : 2 = 31,78$ ). Amaliyotda katodda o'tiradigan metallning massasi bu raqamdan kamroqdir. Amaliy metall massasini nazariy olish mumkin bo'lgan massasiga nisbatligi har doim bir

dan kam bo‘ladi va foiz orqali belgilanadi. Bu nisbiylik tok bo‘yicha chiqish deb aytiladi.

Metallik mis mavjudligida, mis sulfat Eritmasida ikki va bir valentli mis oralig‘ida muvozanat tashkil topadi:



Anodda bir valentli misni paydo bo‘lishi tokdan chiqishni ko‘paytiradi, chunki bir valentli misning elektrkimyoviy ekvivalenti 2,374 g teng va ikki valentli misni ekvivalentidan ikki marta ko‘proqdir. Afsuski, bir valentli mis eritmada mustahkam emas va u ajraladi:



Bu reaksiyaning o‘zgarmas doimiyligi teng:

$$K = [\text{Cu}^+]^2 / [\text{Cu}^{2+}] = 0,62 \cdot 10^{-6}$$

Boshka so‘z bilan aytganda, bir valentli misning miqdori, ikki valentli mis miqdoriga nisbatan, taxminan 60000 marta kamroqdir.

Nordon eritmalarda misni bevosita erish jarayoni ham oqib o‘tadi:



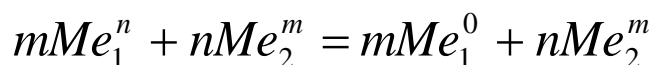
Misning bevosita erishi elektrolitning yuzasida o‘tadi, chunki u erda sistema atmosferadagi kislorod bilan ta’sirda bo‘ladi. Bu jarayon natijasida elektrolit ortiqcha mis bilan boyitiladi va maxsus choralar bilan normal holatga olib kelinadi.

Misni elektrolitik tozalashda, anodni yuzasi atrofida, mayda mis kukuni ajralib chiqishi kuzatiladi. Bu jarayon yuqoridagi reaksiya oqib o‘tishi natijasida kuzatiladi. Amaliyotda vannadagi misni miqdori 2 % tashkil qiladi. Anoddan katodga mis yarim sulfidi va yarimoksidi o‘tmasdan cho‘kma fazasiga o‘tadi

#### 9.4. Metallarni sementasiya usulida eritmalardan ajratib olish

Eritmadagi metall ionlarini boshqa bir metall bilan qaytarib (tiklab) cho‘ktirish jarayoniga sementatsiya deb ataladi.

Sementatsiya jarayonida eritmalardan tiklanadigan metall ionlari va sementator metall orasidagi o‘zaro ta’sirlashuv elektrkimyoviy reaksiyalariga asoslangan.

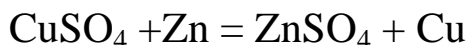


bu yerda m va n - ionlarning zaryadi.

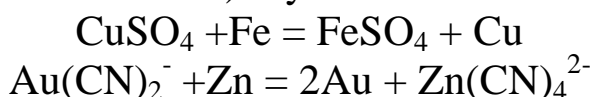
Sementasiya bu elektrokimyoviy jarayondir va ko‘p hollarda uni ichki elektroliz deb nomlashadi.

Gidrometallurgiyada sementasiya jarayoni asosan quyidagi maqsadlarda qoʻllaniladi:

Sementasiya gidrometallurgiyada asosan metalli eritmalarni begona ionlardan tozalashda (masalan, rux sulfat eritmasini mis, kadmiy va talliy ionlaridan) :



va eritmadan asosiy metallni ajratib olishda (misni temir yordamida, oltinni rux yordamida choʻktirishda) foydalaniladi:



Eritmalardan asosiy metallarni siqib chiqarish uchun sementator metallning standart potentsiali siqib chiqariladigan metallning potentsialidan manfiyroq boʻlish kerak. Ayrim metallarning standart sharoitlarda kuchlanish qatori 9.1-jadvalda keltirilgan.

Sementator metalini tanlashda nafaqat uning standart potentsialini hisobga olish kerak, balki asosiy metallni siqib chiqariladigan eritmada sementator metallning unsur element sifatida borligini hisobga olish lozim. Masalan misni sulfat kislota eritmasidan sementasiyalashda asosan temir tanlanadi, chunki mis eritmalarda har doim temir ionlari mavjud va sementasiyadan soʻng eritmalar temirdan tozalanadi.

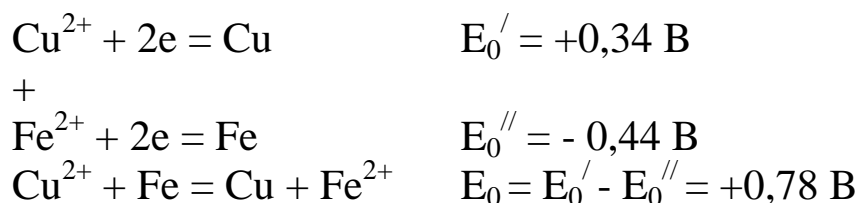
9.1-jadval

### Baʼzi metallarning elektrod potentsiali

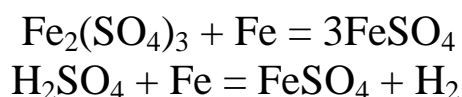
Elektrod reaksiya	Standar potentsial, V
$\text{Au}^+ + e = \text{Au}$	+1,5
$\text{Hg}^{2+} + 2e = \text{Hg}$	+0,86
$\text{Ag}^{2+} + 2e = \text{Ag}$	+0,798
$\text{Cu}^+ + e = \text{Cu}$	+0,51
$\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}$	+0,34
$2\text{H}^+ + e = \text{H}_2$	0,0
$\text{Fe}^{2+} + 2e = \text{Fe}$	-0,44
$\text{Zn}^{2+} + 2e = \text{Zn}$	-0,763
$\text{Al}^{3+} + 3e = 3\text{Al}$	-1,33

Sementasiya jarayonini misni sulfat kislota eritmalarida temir bilan sementasiyalash misolida koʻrib chiqamiza.

Eritmalardan misni temir bilan sementasiyalash jarayonini quyidagi yaritm reaksiyalar bilan ifodalash mumkin:



Asosiy jarayondan tashqari sementasiya jarayonida qo‘shimcha, metallik temirning sarfini oshiradigan reaksiyalar boradi:



Misni eritmadan sementasiyalashda temirning stexiometrik sarfi 1 kg misga 0,874 kg ni tashkil etadi. Amaliyotda esa temirning ortiqcha sarfini hisobga olganda temirning sarfi 1 kg misni sementasiyalash uchun 1 dan 2,5 kg gacha tashkil etadi.

Misni sementasiyalash jarayoni ikkita elektrod jarayonlardan tashkil topgan (1 va 2 reaksiyalar).

Sementasiya reaksiyasining Gibbs energiyaining o‘zgarishi quyidagicha bo‘ladi:

$$\Delta G_{\text{reak}} = -nFE^0 = -2 \cdot 23,06 \cdot 0,78 = -35,97 \text{ kkal}$$

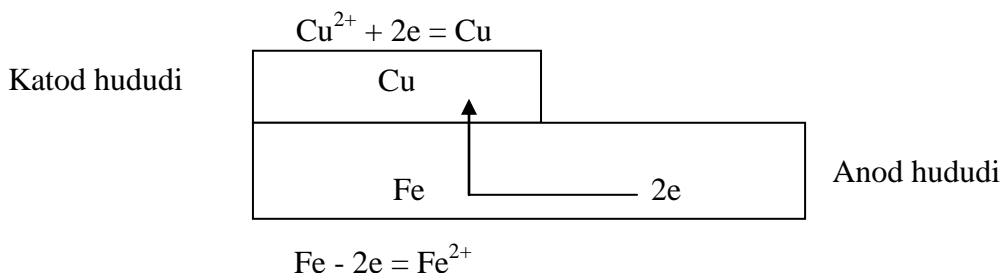
Sementasiya jarayonining tezligi diffuzion jarayon bo‘lganligi uchun eritmaning aylanish tezligiga bog‘liq, hamda sementatorning yirikligi va yuzasining ahvoliga bog‘liq.

Sementasiya jarayoni muvozanatga erishganda quyidagi shart bajariladi:

$$\begin{aligned}
E_0' &= E_0'' \\
+ 0,34 + \frac{0,059}{2} \lg[\text{Cu}^{2+}] &= -0,44 + \frac{0,059}{2} \lg[\text{Fe}^{2+}] \\
0,029 \lg \frac{[\text{Cu}^{2+}]}{[\text{Fe}^{2+}]} &= -0,78 \\
\lg \frac{[\text{Cu}^{2+}]}{[\text{Fe}^{2+}]} &= -26,6 \\
\frac{[\text{Cu}^{2+}]}{[\text{Fe}^{2+}]} &= 2,5 \cdot 10^{-27}
\end{aligned}$$

Demak, nazariya bo‘yicha mis to‘liq temir bilan eritmadan siqib chiqariladi.

Elektrod reaksiyalarning zamonaviy nazariyasiga asoslangan holda, eletrolit bilan ta’sirlashuvchi temirning yuzasida bir paytning o‘zida katod va anod reaksiyalar boradi (9.3-rasm).



### 9.3-rasm. Galvanik mikroelement sxemasi

Amaliyotda misni temir bilan sementasiyalash jarayoni aralashtirilmasa sekinlashadi yoki umuman bormaydi, chunki temirning yuzasi ensiz sementlangan mis qobig‘i bilan qoplanadi. Shuning uchun sementasiya jarayonini jadallashtirish maqsadida temirning yuzasiga o‘tirgan mis qobig‘ini qirib tashlash zarur.

Sementasiya jarayonining tezligini oshiri maqsadida aralashtirish jarayonidan tashqari quyidagi tadbirlarni bajarish mumkin:

- eritmani sementator orasidan sizdirib o‘tkazish;
- sementatorning eritma bilan ta’sirlashadigan yuzasini oshirish.

### 9.5. Metallarni eritmalardan elektroliz usulida cho‘ktirish jarayonini hisoblash

#### *Rux sulfat eritmasini elektrolitik cho‘ktirish*

Amaliy mashg‘ulotning asosida Faradey qonuni yotadi. Bu qonungina binoan, metall ekvivalentining bir mollyar massasini cho‘ktirish uchun 96500 K (kulon) yoki  $96500 : 3600 = 26,8$  A·soat elektr sarflanadi. Misning ekvivalenti  $63,6 : 2 = 31,78$  g/mol ga teng. Agar mis saqlovchi eritmadan 1 soat davomida 1 A tok kuchiga ega bo‘lgan tok o‘tkazilsa  $31,78 : 26,8 = 1,186$  g mis cho‘kadi. Bu ko‘satkich misning elektrkimyoviy ekvivalenti deb nomlanadi (moddaning kimyoviy gramm-ekvivalenti elektrkimyoviy ekvivalentdan 26,8 barobar ko‘pdir).

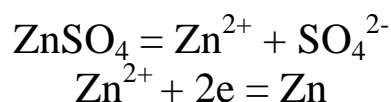
Amaliyotda bir qator metallarni elektrcho‘ktirishda asosiy reaksiya bilan bir qatorda ko‘shimcha jarayonlar ham boradi, va ularning hisobiga eritmadan 96500 K elektr o‘tganda, 1 g-ekv dan kam miqdorda metall cho‘kadi. Shu sababdan Faradey qonunlarini elektrcho‘ktrish jarayonida kechadigan barcha reaksiyalar uchun ko‘llash zarur.

Elektroliz jarayoni elektroliz vannalarda olib. Vannalarga ketma-ket anod va katodlar joylashtiriladi. Elektroliz jarayoni doimiy tok yordamida olib boriladi. Anodlar doymiy tok manbasining musbat zaryadiga katodlar

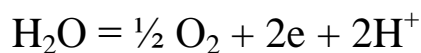
esa manfiy zaryadiga ulanadi. Elektrolit sifatida tarkibida rux sulfati eritmasi qo‘llaniladi.

Elektrodlarga doimiy tok ulanganda elektronlar tashqi zanjirdan anoddan katodga elektronlar harakatlanadi. Buning natijasida anod musbat, katod esa manfiy zaryadlanadi. Elektrolit eritmasida katodga musbat zaryadga ega bo‘lgan  $Zn^{2+}$  ionlari harakatlanadi, bu ionlar etishmaydigan elektronlarni qabul qilib katodda neytral atom sifatida cho‘kadi.

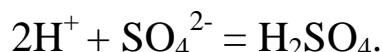
Ruxni elektroliz usulida cho‘ktirish jarayonida katodda quyidagi reaksiya kechadi:



anodda esa suvning parchalanishi va kislorodning hosil bo‘lishi ro‘y beradi:



Shuningdek, ruxni elektroliz usulida cho‘ktrish natijasida sulfat kislota tiklanadi:



### *Anod misni elektrolitik rafinirlash*

Misni elektrolitik tozalash asosan barcha zarra moddalardan holi sifatli metall olish uchun qo‘llaniladi. Xomashyo tarkibida uchrovchi nodir metallar mis bilan yo‘ldosh metallar sifatida elektroliz jarayonigacha etib keladi va bu jarayonda shlam sifatida metall holdagi misdan ajratib olinadi. Bu shlam tarkibida oltin, kumush, va platinaoidlar uchraydi.

Anod mislarini elektroliz qilish uchun misning ikki valentli misning sulfat kislotali eritmasi, erkin holdagi sulfat kislotalarida olib boriladi. Odatda elektrolit tarkibi 140—200 g/l  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  va 150—220 g/l  $H_2SO_4$  dan iborat. Elektroliz jarayonida elektrolit harorati 55—65° C ni tashkil etadi. Yuqori sifatli katod mahsulotini olish uchun elektrolitga turli xil elim, tiomochevina va boshqa qo‘shimchalar qo‘shiladi. Anod sifatida misni olovli tozalashdan so‘ng olinadigan yarim maxsulot ishlatiladi. Katod sifatida elektrolitik toza, yupqa mis plastinkasidan yasalgan bo‘ladi. Elektroliz jarayoni doimiy va zaxiralangan doimiy toklarda olib boriladi. Elektroliz jarayonining texnologik hisoblashda

uning material balansini, regeneratsiyaga yuboriladigan elektrolit miqdori, elektrolit tarkibidagi zarra moddalar tarkibi va miqdorlari aniqlanadi.

Quyidagi tarkibli anod misini elektroliz jarayonining material balansini hisoblash kerak: 99,6% Cu; 0,08% Au; 0,035% Ag; 0,05% Se; 0,02% Te; 0,05% Rb; 0,08% Ni; 0,03% As; 0,02% Sb; 0,01 % Bi; 0,015% Fe; 0,01% O<sub>2</sub>. bu hisoblashlarni olib borish uchun amaliyotdagi ma'lumotlarga ko'ra ayrim kattaliklarni qabul qilamiz. Anod skrapining chiqishi 18%. Adabiyotlardagi ma'lumotlarga asosan skraplarda, eritmalar orasida, shlam va katod chiqindilarida mis va zarra moddalarning taqsimlanishini quyidagicha belgilaymiz:

9.1-jadval

### Anod misning kimyoviy tarkibi

Material balansini.....	Cu	Au	Ag	Se	Te	Rb	Ni	As	Sb	Bi	Fe	O <sub>2</sub>
Eritmaga.....	1,9	-	-	-	-	8	92	25	7	52	70	-
Shlamga.....	0,1	99	98,5	99	99	83	1	51	64	7	20	90
Katodlarga.....	98	1	1,5	1	1	9	7	24	29	41	10	10

Jadvalda keltirilgan taqsimlanishga ko'ra elektroliz jarayonining material balansini topamiz, kg:

9.3-jadval

### Elektroliz jarayonining material balansini

Material balans	Cu	Au	Ag	Se	Te	Pb
Kelishi .....	996	0,8	0,35	0,5	0,2	0,5
Chiqishi:						
skrap va qoldiqlarga.....	179,28	0,144	0,063	0,09	0,036	0,09
Shlamga.....	0,817	0,6493	0,283	0,406	0,162	0,34
Eritmaga.....	15,52	-	-	-	-	0,0328
Katodga.....	800,39	0,0043	0,0043	0,00168	0,00164	0,015

9.3-jadval davomi

Material balans	Ni	As	Sb	Bi	Fe	O <sub>2</sub>
Kelishi.....	0,8	0,3	0,2	0,1	0,15	0,1
Chiqishi:						
skrap va qoldiqlarga.....	0,144	0,054	0,036	0,018	0,027	0,018
Shlamga.....	0,0066	0,125	0,105	0,0057	0,025	0,074
Eritmaga.....	0,603	0,0615	0,0115	0,0426	0,0861	-
katodga.....	0,046	0,059	0,0476	0,0336	0,0123	0,008

*Regeneratsiyaga beriladigan elektrolitning hajmini hisoblaymiz.* Elektrolit hajmi, regeneratsiyadan chiqadigan elektrolitda chegaralangan elementlar miqdoridan aniqlanadi. Amaliyotdan olingan ma'lumotlarga asosan elektrolit tarkibidagi elementlarning chegaraviy miqdori quyidagicha: 40 Cu, 20 Ni, 4 As, 0,7 Sb, g/l.

Material balansdan olingan ma'lumotlarga binoan 1000 kg anoddan elektrolitga o'tgan zarra moddalarning miqdorini aniqlaymiz:

9.4-jadval

### **Anoddan elektrolitga o'tgan moddalar miqdori**

Elementlar	Anod tarkibi, kg	elektrolit tarkibiga, kg	Qabul qilgan tarkibi, g/l	Elektrolit tarkibi, l
Ni	0,8	0,603	20	30,15
As	0,3	0,0615	4	0,0154
Sb	0,2	0,017	0,7	24,3
Cu	996	15,52	40	388,0

*Ishlatilgan elektrolit tarkibini hisoblash.* Regenerativ vannaga 40 g/l Cu, 150 g/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tarkibli elektrolit 1 soatda 0,4 m<sup>3</sup> kelib turadi. Ishlatilgan elektrolit tarkibini aniqlash kerak.

Erimaydigan anodni elektroliz qilish va sulfat kislotani regeneratsiya qilish quyidagi reaksiya bo'yicha oqib o'tadi.



Elektroliz jarayonida tok kuchi 12 400 A, tok chiqishi esa 83%. Unda 1 soatda ajraladigan misning miqdori:  $12\,400 \cdot 1,185 \cdot 1 \cdot 0,83 = 12\,196$  g. Vannaga 1 soatda keladigan misning miqdori.  $400 \cdot 40 = 16000$ g. Ishlatilgan elektrolitda qoladigan misning miqdori  $16000 - 12196 = 3804$  g, elektrolit tarkibidagi misning miqdori  $3804 : 400 = 9,5$  g/l.

Yuqorida keltirilgan reaksiya bo'yicha 63,5g misga 98g sulfat kislotaga to'g'ri keladi.  $40 - 9,5 = 31,5$  g/l mis uchun esa  $31,5 - 98 : 63,5 = 48,6$  g/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> to'g'ri keladi. Elektrolit tarkibidagi kislotaning miqdori  $150 + 48,6 = 198,6$  g/l ni tashkil etadi.

### *Elektr energiya sarfini hisoblash*

Misni elektrolitik tozalash jarayonida elektrenergija sarfi quyidagi nisbatlikda topiladi: kVt · s/t:



$$W = E10^3 : 1,186 A,$$

bu yerda:  $E$  – bitta vannadagi kuchlanishning to‘liq tushishi, V;

$$E = E_V + E_{Sh}$$

bu yerda:  $E_V$  – vannadagi kuchlanish tushishi, V;  $E_{Sh}$  – vanna shinalarining kuchlanishining tushishi, V; 1,186–misning elektrokimyoviy ekvivalenti, g/(A· s);  $A$  – tok bo‘yicha chiqishi, %.

Elektrenergiya sarfini aniqlash uchun amaliyotda aniqlangan tokning chiqishi ko‘rsatkichini va mashina vaqti kattaligini belgilab olamiz. Ular quyidagiga teng.

$$M = 91 \div 93\%; \quad A = 94 \div 96\%.$$

Vannadagi kuchlanish tushishini, vannadagi kuchlanishni yechish orqali ham aniqlash mumkin. Umumiy ravishda vannadagi kuchlanishning tushishini quyidagi ifoda orqali aniqlasa bo‘ladi:

$$E_V = E_a - E_k + E_{sh} + E_{el}$$

bu yerda:  $E_a$  – anod potentsiali;  $E_k$  – katod potentsiali;  $E_{el}$  – elektrolitdagi kuchlanishning tushishi,  $E_{sh}$  – tutashma va uzatgichlarda kuchlanishning tushishi.

Mis elektrolitik tozalash zavodida, A.I.Levina va M.I. Nomborglarning ma’lumotiga ko‘ra vannalardagi kuchlanishning tushishi o‘rtacha 0,29 - 0,404 V qiymatlarni tashkil etadi.

Vannadagi umumiy kuchlanish tushishida elektrenergiyaning asosiy yo‘qoladigan qismi bu elektrolitlarga to‘g‘ri keladi. Bunda 50-70% kuchlanishning yo‘qolishi to‘g‘ri keladi.

Mis elektrolit tsexlarida shina tayyorlashda ishlatiladigan materiallar sifatida mis va alyuminiy ishlatiladi. Elektroliz sexi ichidagi atmosferani o‘rganib bu iqlim alyuminiy turg‘unligiga yomon ta’sir qiladi. Shu tufayli shinalar misdan tayyorlanadi. Amaliyotdagi ma’lumotlarga asosan, vannadagi kuchlanishning tushishidan, 12-15 % shinalarda kuchlanishning yo‘qolishiga to‘g‘ri keladi. Yuqorida keltirilgan ma’lumotlarga asosan texnologik jihatdan 1 tonna katod misiga sarflanadigan elektr energiyani topamiz. Agarda vannadagi kuchlanishning tushishi 0,36 V ni tashkil etsa, shinalarni qarshiligi esa har bir vannaga 0,4 V hisobida shinalarda kuchlanish pasayishiga olib keladi, vannadagi mashina vaqti 91 % ni, tok bo‘yicha chiqish unumi 94 % ni tashkil qiladi. Ko‘rsatilgan qiymatlarni tenglamadagi noma’lumlar o‘rniga qo‘yib chiqamiz.

$$[(0,36 + 0,04) : 1,186 \cdot 0,94] 10^3 = (0,4 : 1,115) 10^3 = 359 \text{ kVt} \cdot \text{s/t}.$$

Amaliyotda 1 tonna katod mis olish uchun sarflanadigan elektr energiya miqdori 320 - 400 kVt · s ni tashkil etadi.

## *Savol va topshiriqlar*

1. Metallarni kam eruvchan birikma ko‘rinishida cho‘ktirish jarayoni qanday amalga oshiriladi?
2. Kam eruvchan birikma ko‘rinishida cho‘ktirishning qanday asosiy shartlari bor?
3. Durlanish jarayonlarining ta’rifini keltiring!
4. Durlanish usuli bilan qaysi metallar cho‘ktiriladi?
5. Sementatsiya jarayonining asosiy shartini ayting!
6. Elektroliz deb nimaga aytiladi?
7. Suyuqlanma va eritma elektrolizining bir-biridan qanday farqi bor?
8. Eritma elektrolizi usulida qanday metallar ajratib olinadi?
9. Rux va mis elektrometallurgiyasining asosiy farqi nimada?
10. Ruxni elektroliz usuli bilan ajratib olishning qanday ahamiyatli tomoni bor?
11. Mis anodlarini elektrolizlashda anod tarkibida qancha mis mavjud bo‘ladi?
12. Mis anodini elektrolitik rafinirlash deganda nimani tushunish kerak?
13. Mis anodini elektrolitik rafinirlashda vanna qancha kuchlanish beriladi?

# ILOVALAR

## 1-ilova

### Kislota va asos eritmalarining (15°C) zichligi va massa ulushi

$\omega$ (%)	Eritmaning zichligi, $g/sm^3$						
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>	HCl	CH <sub>3</sub> COOH	KOH	NaOH	NH <sub>3</sub>
4	1,027	1,022	1,019	1,0052	1,033	1,046	0,983
8	1,055	1,044	1,039	1,0113	1,065	1,092	0,967
12	1,083	1,068	1,059	1,0171	1,100	1,137	0,953
16	1,112	1,093	1,079	1,0228	1,137	1,181	0,939
20	1,143	1,119	1,100	1,0284	1,176	1,225	0,926
24	1,174	1,145	1,121	1,0337	1,217	1,268	0,913
28	1,205	1,171	1,142	1,0388	1,263	1,310	0,903
32	1,238	1,198	1,163	1,0436	1,310	1,352	0,893
36	1,273	1,225	1,183	1,0481	1,358	1,395	0,884
40	1,307	1,251		1,0523	1,411	1,437	
44	1,342	1,277		1,0562	1,460	1,478	
48	1,380	1,303		1,0598	1,511	1,519	
52	1,419	1,328		1,0631	1,564	1,560	
56	1,460	1,351		1,0660	1,616	1,601	
60	1,503	1,373		1,0685		1,643	
64	1,547	1,394		1,0707			
68	1,594	1,412		1,0725			
72	1,640	1,429		1,0740			
76	1,687	1,445		1,0747			
80	1,732	1,460		1,0748			
84	1,776	1,474		1,0742			
88	1,808	1,486		1,0726			
92	1,830	1,496		1,0696			
96	1,840	1,504		1,0644			
100	1,838	1,522		1,0553			

## 2-ilova

Turli birikmalarning eruvchanlik jadvali

Ion	$OH^-$	$F^-$	$Cl^-$	$Br^-$	$J^-$	$S^{2-}$	$CO_3^{2-}$	$SiO_3^{2-}$	$NO_3^-$	$PO_4^{3-}$	$SO_3^{2-}$	$SO_4^{2-}$	$CH_3COO^-$
$H^+$		<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>O</i>
$NH_4^+$	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>O</i>
$Ag^+$	?	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>O</i>	<i>X</i>
$Li^+$	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Na^+$	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$K^+$	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Rb^+$	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Cs^+$	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Be^{2+}$	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	—	—	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Mg^{2+}$	<i>X</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Ca^{2+}$	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Ba^{2+}$	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>
$Ni^{2+}$	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Mn^{2+}$	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	—	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Cu^{2+}$	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Cd^{2+}$	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Fe^{2+}$	<i>X</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Hg^{2+}$	?	—	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Pb^{2+}$	<i>X</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>X</i>	—	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>
$Sr^{2+}$	<i>O</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>
$Ti^{2+}$	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>E</i>
$Zn^{2+}$	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
$Fe^{3+}$	<i>O</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	—	—	—	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	—	<i>E</i>	<i>E</i>
$Cr^{3+}$	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	—	—	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	—	<i>E</i>	<i>E</i>
$Al^{3+}$	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	—	—	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	—	<i>E</i>	<i>E</i>
Ion	$OH^-$	$F^-$	$Cl^-$	$Br^-$	$J^-$	$S^{2-}$	$CO_3^{2-}$	$SiO_3^{2-}$	$NO_3^-$	$PO_4^{3-}$	$SO_3^{2-}$	$SO_4^{2-}$	$CH_3COO^-$

### Eruvchanlik jadvalidagi shartli belgilar

Oksidli cho`kma hosil qiladi	<i>O</i>	Oz erib cho`kma hosil qiladi, qisima ionlarga dissosiyalanadi	<i>E</i>	Eriydi va oxirigacha ionlarga dissosiyalanadi
Suvli eritmalarda mavjud emas. Suv bilan ta`sirlashib tegishli asos va kislotaga aylanadi.	<i>X</i>	Erimaydi, hosil bo`lgan cho`kma ionlarga dissosiyalanmaydi		

### 3-ilova

#### Sifat reaksiyalari uchun bir-biriga reaktiv moddalar

Aniqlanadigan ion	Aniqlovchi ion yoki reaktiv	Ta`sir natijasi
$H^+$	Lakmus ( <i>universal</i> )	Eritma ( <b>indikator qog`oz</b> ) qizaradi
$OH^-$	Lakmus ( <i>universal</i> )	Eritma ( <b>indikator qog`oz</b> ) ko`karadi
$Ag^+$	$Cl^-$	O`q rangli cho`kma
$Ag^+$	$PO_4^{3-}$	To`q sariq rangli cho`kma
$Cu^{2+}$	$OH^-$	Havo rangli cho`kma
$Cu^{2+}$	$S^{2-}$	Qora rangli cho`kma
$Fe^{2+}$	$OH^-$	Och yashil rangli cho`kma
$Fe^{3+}$	$OH^-$	Qizil-qo`ng`ir rangli cho`kma, ishqor mo`l bo`lsa erib ketadi
$Fe^{3+}$	$C_6H_5OH$	Binafsha rangli cho`kma
$Fe^{3+}$	$K_4[Fe(CN)_6]$	Trumbil ko`ki
$Fe^{3+}$	$SCN^-$	Qizil rangli cho`kma
$Zn^{2+}$	$OH^-$	Oq rangli cho`kma
$Zn^{2+}$	$S^{2-}$	Oq rangli cho`kma, ishqor mo`l bo`lsa erib ketadi
$Al^{3+}$	$OH^-$	Kul rang tusli cho`kma, ishqor mo`l bo`lsa erib ketadi
$NH_4^+$	$OH^-$	Ammiak hidi keladi
$Ba^{2+}$	$SO_4^{2-}$	Oq rangli cho`kma
$Ca^{2+}$	$CO_3^{2-}$	Loyqalanadi, so`ngra oq cho`kma tushadi
$Cl^-$	$Ag^+$	Oq rangli cho`kma
$Br^-$	$Ag^+$	Och sariq rangli cho`kma
$I^-$	$Ag^+$	Sariq rangli cho`kma
$I^-$	$H_2SO_4$	$H_2S$ gazi hidi keladi, $I_2$ ajraladi
$CO_3^{2-}$	$H^+$	$CO_2$ gazi ajraladi
$SO_4^{2-}$	$Ba^{2+}$	Oq rangli cho`kma
$CH_3COO^-$	$H_2SO_4$ (kons)	Sirka hidi chiqadi
$NO_3^-$	$H_2SO_4$ (kons)+Cu	Qo`ng`ir rangli gaz ajraladi

## 4-ilova

### Kislotalarning kuchi va ular orasidagi bogʻliqlik

Kuchli asos <i>Anion boʻyich gidroliz</i>		Kuchli kislota <i>Kation boʻyich gidroliz</i>	
	LiOH	HCl	
KOH	← gidrolizga	uchramaydi	HJ
	NaOH	HBr	
	RbOH	HNO <sub>3</sub>	
	CsOH	HClO <sub>4</sub>	
	Ba(OH) <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
	Ra(OH) <sub>2</sub>	HMnO <sub>4</sub>	
	Ca(OH) <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	
	Cu(OH) <sub>2</sub>	HCN	
	Fe(OH) <sub>2</sub>	HF	
	Fe(OH) <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	
	Cr(OH) <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	
	Ni(OH) <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	
	Al(OH) <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	
Mg(OH) <sub>2</sub>	← ham kation, ham	anion boʻyicha	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
Zn(OH) <sub>2</sub>	gidrolizga	uchraydi	HNO <sub>2</sub>
	NH <sub>4</sub> OH	CH <sub>3</sub> COOH	
<i>Kislotali muhit pH&lt;7</i>		<i>Ishqoriy muhit pH&gt;7</i>	
Kuchsiz asos		Kuchsiz kislota	

## GLOSSARIY

<b>Абсолютная температура</b>	<b>mutlaq harorat</b>	<b>absolute temperature</b>	<b>Kelvin darajasida ifodalangan O° harorat</b>
<b>Абсорбат</b>	<b>absorbat</b>	<b>absorbate</b>	absorbatsiya jarayonida absorbentga yutiluvchi modda
<b>Анионит</b>	<b>anionit</b>	<b>anionite</b>	absorbsiya jarayonida absorbatni yutuvchi modda
<b>Абсорбер</b>	<b>Absorber</b>	<b>absorber</b>	absorbsiya jarayonini amalga oshiradigan qurilma
<b>Абсорбция</b>	<b>Absorbsiya</b>	<b>absorption</b>	gazlar aralashmasidagi moddalarning suyuqlikning butun hajmiga yutilishi.
<b>Агент</b>	<b>Agent</b>	<b>agent</b>	sistemaga qo‘shilgan jarayonni maqsadga muvofiq o‘zgartiruvchi modda yoki moddalar aralashmasi
<b>Агрегат</b>	<b>Агрегат</b>	<b>aggregate</b>	1) bir necha texnologik birikmalardan tuzilgan qurilma. 2) mayda zarrachalarning o‘zaro birikib yiriklashgani.
<b>Адиабатический процесс</b>	<b>Адиабатик jarayon</b>	<b>adiabatic process</b>	tashqi muhitdan mutloq ajratilgan sistemada boradigan jarayon
<b>Адсорбент</b>	<b>Shimuvchi</b>	<b>adsorbent</b>	sirti shimish qobiliyatiga ega bo‘lgan sintetik yoki tabiiy qattiq modda (mas: ko‘mir)
<b>Адсорбер</b>	<b>Shimdirgich</b>	<b>Adsorber</b>	shimilish jarayoni o‘tkaziladigan dastgoh
<b>Адсорбция</b>	<b>Shimilish</b>	<b>Adsorption</b>	eritmadagi molekula va ionlarning qattiq jism sirtiga yutilishi
<b>Активатор</b>	<b>Faollantiruvchi</b>	<b>activator</b>	reaksiyaga kirishayotgan moddalarning faolligini oshiruvchi modda
<b>Активация</b>	<b>Faollantirish</b>	<b>activation</b>	moddaning fizik-kimyoviy faolligini oshirish
<b>Абсолютная температура</b>	<b>mutlaq harorat</b>	<b>absolute temperature</b>	kelvin darajasida ifodalangan O° harorat
<b>абсорбат</b>	<b>absorbat</b>	<b>absorbate</b>	absorbatsiya jarayonida absorbentga yutiluvchi modda
<b>Абсорбент</b>	<b>Absorbent –</b>	<b>absorbent</b>	absorbsiya jarayonida absorbatni yutuvchi modda

<b>Абсорбер</b>	<b>Absorber</b>	<b>absorber</b>	absorbsiya jarayonini amalga oshiradigan qurilma
<b>Абсорбция</b>	<b>Absorbsiya</b>	<b>absorption</b>	gazlar aralashmasidagi moddalarning suyuqlikning butun hajmiga yutilishi
<b>Агрегат</b>	<b>Агрегат</b>	<b>aggregate</b>	1) bir necha texnologik birikmalardan tuzilgan qurilma. 2) mayda zarrachalarning o'zaro birikib yiriklashgani.
<b>Анион</b>	<b>Anion</b>	<b>acid ion</b>	elektroledning suvda eriganidan hosil bo'lgan manfiy qutbli mayda zarrachalar (ionlar).
<b>Аниониты</b>	<b>Anionitlar</b>	<b>anionite</b>	o'z anionlarini almashtirish qobiliyatiga ega bo'lgan ion almashtiruvchi modda
<b>Аппарат</b>	<b>Dastgoh</b>	<b>apparatus</b>	jarayonlarni amalga oshirish uchun yasalgan qurilma uskuna.
<b>Ариометр</b>	<b>Areometr</b>	<b>hydrometer</b>	suyuqlikning solishtirma og'irligini o'lchaydigan asbob
<b>Аэрация</b>	<b>Aeratsiya</b>	<b>aeration</b>	suyuqliklarni havo bilan to'yintirish
<b>Аэрозоль</b>	<b>Aerozol</b>	<b>aerosol</b>	ichida qattiq yoki suyuq zarrachalar muallaq joylashgan gaz muhitli kolloid sistema
<b>Аэросмесь</b>	<b>Наво aralashmasi</b>	<b>aeromixture</b>	qattiq yoki suyuq yonilg'ilarning havo bilan aralashmasi
<b>Бак</b>	<b>Suvdon</b>	<b>tank\ vat</b>	suv yoki boshqa suyuqlik saqlanadigan idish
<b>Бактерия</b>	<b>Bakteriya</b>	<b>bacterium</b>	bo'linish yo'li bilan ko'payuvchi oddiy va bir hujayrali yadrosiz mikroorganizm
<b>Бактериальное выщелачивание</b>	<b>Bakteriyali tanlab eritish</b>	<b>bacterial-leaching</b>	ruda yoki boyitmalardan metallar va ularning tabiiy birikmalarini suvli muhitda bakteriyalar ishtirokida tanlab eritish
<b>Бактериологическое обогащение</b>	<b>Bakteriyal boyitish</b>	<b>Bacteriological enrichment</b>	foydali qazilmalarni bakteriyalar ishtirokida boyitish
<b>Водяная баня</b>	<b>Qosqon</b>	<b>water bath</b>	kichik hajmli kimyoviy idishlarni va ularning ichidagi ashyolarni isitish yoki sovutish



			uchun ishlatiladigan suvli idish
<b>Бассейн</b>	<b>Навза</b>	<b>basin</b>	havo yoki suyuq modda to'plangan joy
<b>Биотехнология</b>	<b>Beotexnologiya</b>	<b>Bio technology</b>	mikroorganizmlar ishtirokida ruda tosh va boyitmalardan metallarni ajratib olish usuli.
<b>Благородные металлы</b>	<b>Nodir metallar</b>	<b>noble metal</b>	oltin, kumush, platina va platinoidlar (palladiy ,iridiy ,radiy ,ruteniy va osmiy) ning texnika va fandagi umumiy nomi.Ularning tashqi ko'rinishi chiroyli va kimyoviy turg'un bo'lganligi uchun shunday nom berilgan.
<b>Ванна</b>	<b>Tos</b>	<b>pool</b>	suyuqlik uchun mo'ljallangan to'rtburchakli yoki yumaloq idish
<b>Вентиляция</b>	<b>Shamollatish</b>	<b>ventilation</b>	bino, xona havosini yaxshilash maqsadida havo almashtirish
<b>Влагосодержание</b>	<b>Namlik</b>	<b>moisture content</b>	ashyolarning tarkibidagi suvning miqdori
<b>Влагомер</b>	<b>Nam o'lchagich</b>	<b>moisture meter</b>	materialning namligini o'lchash asbobi
<b>Влагопоглощение</b>	<b>Namtortishlik</b>	<b>moisture absorption</b>	materiallar va buyumlarning suvini yutish va o'zida saqlab turish xossasi.
<b>Влагостойкость</b>	<b>Namga chidamlilik</b>	<b>moisture resistant</b>	ashyolarning vaqt davomida nam havoda o'z hususiyatini yo'qotmay turish qobiliyati.
<b>Влажность</b>	<b>Namlik</b>	<b>humidity dampness</b>	ashyodagi suvning miqdori
<b>Внутренняя энергия</b>	<b>Ichki energiya</b>	<b>internal energy</b>	sistemaning ichki holatiga bog'liq bo'lgan energiya
<b>Водоочистка</b>	<b>Suvni tozalash</b>	<b>water treatment</b>	idishga va sanoatda ishlatishga halaqit beradigan moddalarni suvdan chiqarib tashlash jarayoni
<b>Водоподготовка</b>	<b>Suv tayyorlash</b>	<b>water treatment</b>	suvni iste'molchi uchun etadigan miqdorda va talabdagi tozalikda tayyorlab berish jarayoni
<b>Восстановитель</b>	<b>Qaytaruvchi</b>	<b>ignition</b>	oksidlanish-qaytarilish reaksiyasida elektron berish qobiliyatiga ega bo'lgan modda

<b>Выход концентрата</b>	<b>Boyitma chiqishi</b>	<b>outlet of concentrate</b>	boyitish jarayoni natijasida chiqqan boyitma massasini dastlabki ashyolar umumiy massasiga nisbati, foizlar hisobida.
<b>Выход (металла) по энергии</b>	<b>Energiya bo'yicha(metall ning)chiqishi</b>	<b>power efficiency</b>	elektroliz jarayonida foydali ishga sarflangan energiya miqdorini ko'rsatuvchi kattalik.
<b>Выщелачивание</b>	<b>Tanlab eritish</b>	<b>leaching</b>	ruda va boyitmalardan maxsus sharoitlarda metallarni eritmaga o'tkazish jarayoni
<b>Выпаривание</b>	<b>Bug'lanish</b>	<b>evaporation</b>	moddani qaynash haroratidan yuqori darajada qizdirib ,gaz holatiga o'tkazish
<b>выброс</b>	<b>Otilma</b>	<b>ejection,out burst</b>	suyuq ashyolar ichida gazlarning to'planib qolishi natijasida,ularning otilib chiqish jarayoni
<b>Вскрытие</b>	<b>Yuzani ochish</b>	<b>break-down</b>	reaksiyaga kirishayotgan moddani o'rab turgan nojins elementlardan tozalash.
<b>Десорбция</b>	<b>Desorbsiya</b>	<b>desorption</b>	yutilgan ionlarni qattiq (yoki suyuq)modda tarkibidan chiqarish.Sorbsiyaga teskari jarayon.
<b>Десорбер</b>	<b>Desorber</b>	<b>desorber</b>	desorbsiya jarayonini amalga oshiruvchi dastgoh
<b>Диаграмма</b>	<b>Diagramma</b>	<b>diagram</b>	taqqoslanayotgan kattaliklar orasidagi bog'lanishlarni yaqqol ko'rsatuvchi chiziqli tasvir.
<b>Диспергирование</b>	<b>Dispirslash</b>	<b>dispersion</b>	suyuqlik muhitida erimaydigan qattiq yoki suyuq moddani hajmda teng taqsimlanishini taqsimlanishini ta'minlash,maydalash
<b>Дисперс-ност</b>	<b>Disperlik</b>	<b>dispersivity</b>	mayinlik (maydalik) darajasi
<b>Диссоциация</b>	<b>Dissotsiatsiya</b>	<b>dissociation</b>	kimyoviy parchalanish
<b>Добыча</b>	<b>qazilma</b>	<b>mining</b>	konlardan qazib olingan mahsulot
<b>Дымоход</b>	<b>Tutunquvur</b>	<b>smoke stack</b>	pechlardan chiqayotgan gazlarni mo'riga o'tkazib qo'yadigan kanal.

<b>Золи</b>	<b>Zollar</b>	<b>sols</b>	suyuq dispers muhitdagi yuqori derspersli kolloid sistema
<b>Золото</b>	<b>Oltin</b>	<b>gold</b>	nodir metallarga mansub kimyoviy unsur, belgisi Au, t.s. 79, at.m. 196.967. metall. E.x. 1063 <sup>0</sup> C. kislotalarda
<b>Известко-вая вода</b>	<b>Ohakli suv</b>	<b>limewater</b>	kalsiy asosining to'yingan eritmasi.
<b>Известковое молоко</b>	<b>Ohak suti</b>	<b>lime milk</b>	ohakli suvdagi suzib yuruvchi so'ndirilgan ohak Ca(OH) <sub>2</sub> zarrachalari.
<b>Известняк</b>	<b>Ohaktosh</b>	<b>limestone</b>	asosan CaCO <sub>3</sub> tashkil topgan tog' jinsi.
<b>Известь</b>	<b>ohak</b>	<b>lime</b>	ohaktoshni kuydirish jarayonida olingan mahsulot (CaO).
<b>Извлечение</b>	<b>Ajralish</b>	<b>extraction</b>	texnologiya jarayonlarida dastlabki ashyolardan foydalanish darajasining ko'rsatkichi. ajralayotgan moddaning olingan mahsulotdagi massasi uning dastlabki ashyodagi umumiy massaga nisbati bilan aniqlanadi, foizlar hisobida
<b>Кислота</b>	<b>Kislota</b>	<b>acid</b>	Tarkibida harakatchan vodorod atomlari bo'lgan kimyoviy birikmalar sinfi.
<b>Кислот-ность</b>	<b>Nordonlik</b>	<b>acidity</b>	Eritmalardagi vodorod ionlarining miqdorini anglatuvchi tushuncha. uning miqdori pH ning qiymati bilan belgilanadi.
<b>Кислотос-тойкость</b>	<b>Nordonbardoshlik</b>	<b>acid resistance</b>	Buyum va jismlarning nordon muhitda o'z xossalarini saqlab qolish qobiliyati
<b>Лакмус</b>	<b>Lakmus</b>	<b>litmus</b>	Tabiiy ranglanuvchi modda. Muhutning tasnifini aniqlash uchun ishlatiladi. (nordon muhitda ko'karadi, ishqoriy muhitda qizaradi).
<b>Набухание</b>	<b>Bo'kish</b>	<b>swelling</b>	Atrof muhitdan suyuqlik yoki bug'ni yutish hisobiga qattiq jismlar hajmining kengayishi.
<b>Насос</b>	<b>Nasos</b>	<b>pump</b>	Suyuqlik va gazlarni bosim

			ostida harakatga keltiruvchi gidromashina.
<b>Насыпь</b>	<b>To'kma</b>	<b>Embankment</b>	Sochiluvchan ashyolar (tuproq,qum,ruda) uyumi.
<b>Обезвоживание</b>	<b>Suvsizlantirish</b>	<b>Dehydration</b>	moddadagi erkin bog'lanmagan suvni ajratib chiqarish jarayoni.Bu tindirish,suzish yoki moddani qizdirish yo'li bilan amalga oshiriladi
<b>Обезмеживание</b>	<b>Missizlantirish</b>	<b>Decopperization</b>	Metall,qotishma,toshqol va boshqa ashyolardan misni chiqarib olish jarayoni.
<b>Обезуглероживание</b>	<b>Ko'mirsizlantirish</b>	<b>Decarburization</b>	Suyuq metall tarkibidagi uglerodni yo'qotish jarayoni.
<b>Обессеривание</b>	<b>Oltinugurtsizlantirish</b>	<b>desulphurization</b>	Yuqori haroratda moddalar tarkibidagi oltinugurtning oksidlash yo'li bilan kamaytirish
<b>Осадок</b>	<b>Cho'kma</b>	<b>precipitate</b>	Cho'ktirish jarayonidan olingan qattiq mahsulot.
<b>Осаждение</b>	<b>Cho'ktirish</b>	<b>Precipitation</b>	Suspenziya va emulsiyalardan mayda,qattiq zarralarni og'irlik kuchi ta'sirida ajratish.
<b>Пассиватор</b>	<b>Susaytirgich</b>	<b>passivator</b>	Jarayonning tezligini sekinlashtiruvchi moddalar (asosan oksidlovchila
<b>Радиоактивность</b>	<b>Radiofaollik</b>	<b>Radioactivity</b>	Radiy. aktiniy va boshqa unsurlar atomlarining o'zi emirilib,alfa,betta,gamma nurlar chiqarib, boshqa elementlarga aylanib turish xodisasi.
<b>Растворитель</b>	<b>Erituvchi</b>	<b>solvent</b>	Moddalarni eritish xususiyatiga ega bo'lgan suyuqlik.
<b>Растворение</b>	<b>Eritish</b>	<b>dissolution</b>	Moddani erituvchi ta'siri ostida suyuq holatga keltirish.
<b>Раствор</b>	<b>Eritma</b>	<b>solution</b>	Ikki yoki undan ortiq a'zoldan iborat bir jinsli aralashma. Eritmalar: buferli, ideal, qattiq, qotishma, suyuq, gazli va h.k.bo'ladi. Eritma va erituvchidan iborat.
<b>Реагент</b>	<b>Reagent</b>	<b>reagent</b>	Kimyoviy reaksiyada ishtirok etuvchi modda.

<b>Реактив</b>	<b>Reaktiv</b>	<b>chemical agent</b>	Laboratoriya, ilmiy tadqiqot tajribalarida ishlatiladigan kimyoviy modda
<b>Реактор</b>	<b>Reaktor</b>	<b>reactor</b>	kimyoviy reaksiyalar o'tkaziladigan dastgoh.
<b>Реакция</b>	<b>Reaksiya</b>	<b>reaction</b>	Moddalar, ion, molekula yoki zarralar o'rtasidagi o'zaro ta'sirlashish jarayoni.
<b>Седиментация</b>	<b>Cho'kish</b>	<b>Sedimentation</b>	Gravitatsion maydon va markazdan qochma kuch yordamida eritmada qattiq modda zarralarining o'lchamiga qarab qatlam-qatlam bo'lib
<b>Селективное извлечение</b>	<b>Tanlab ajratish</b>	<b>selective extraction</b>	Metallni yoki metall birikmalarini kon mahsulotlaridan tanlab ajratib
<b>Селективные реактивы</b>	<b>Saylanma reaktivlar</b>	<b>selective reagent</b>	Ko'p ionlar orasidan bir xil ionlar bilangina reaksiyaga kirishuvchi moddalar
<b>Смола</b>	<b>Qatron</b>	<b>resin</b>	Yuqori polemirli uglevodlar zanjirining fazoviy turidan tashkil topgan, tarkibida ion almashuvi faol guruhlari bo'lgan organik qattiq modda
<b>Фаза</b>	<b>faza</b>	<b>phase</b>	Chegara sirtlari bilan ajratilgan va tashqi kuch ta'sir qilmaganda o'zining barcha nuqtalarida bir xil fizik xossalarga ega bo'lgan sistema.
<b>Фарфор</b>	<b>Chinni</b>	<b>porcelain</b>	Suyuqlik va gazlarni shimmaydigan, tuproq, qum, kaolinit va dala shpati qorishmasiga shakl berilgandan keyin yuqori haroratda qizdirib olinadigan oq sopol.
<b>Хвосты</b>	<b>Chiqitlar</b>	<b>tailings</b>	Tarkibida metall miqdori kam bo'lgan keraksiz jinslar. Ular chiqindixonalarda saqlanadi. Keyinchalik uni xom ashyo sifatida ishlatish mumkin.
<b>Цветные металлы</b>	<b>Rangli metallar</b>	<b>non-ferrous metal</b>	Temir va uning birikmalaridan boshqa hamma metallarning sanoatdagi umumiy nomi.
<b>Цианиро-</b>	<b>Sinillash</b>	<b>Cyanidation</b>	Nodir metallarni sinil eritmasi

<b>вание</b>			bilan tanlab eritish jarayoni.
<b>Чан</b>	<b>Chan</b>	<b>precipitator</b>	Katta chuqur to‘g‘arak idish. Bo‘tanani aralastirish,tindirish uchun ishlatiladi.
<b>Щелочь</b>	<b>Ishqor</b>	<b>alkali</b>	Suvda yaxshi eriydigan metall gidrooksidi.
<b>Щелочноземельные металлы</b>	<b>Ishqoriy er metall</b>	<b>alkali earth metal</b>	Kalsiy, stronsiy, seziy. bariy,rodiylarning umumiy nomi.
<b>Щелочные металлы</b>	<b>Ishqoriy metall</b>	<b>alkalimetal</b>	Natriy,litiy,kaliylarning fandagi umumiy nomi.
<b>Эквивалент</b>	<b>Teng qiymat</b>	<b>equivalent</b>	(Qarang:Ximicheskij ekvevalent).
<b>Экзотермическая реакция</b>	<b>Ekzotermik reaksiya</b>	<b>exothermic reaction</b>	Issiqlik chiqarish bilan boradigan reaksiya.
<b>Экспресс-анализ</b>	<b>Tezkor tahlil</b>	<b>express train</b>	Texnologik jarayonlarni nazorat qilish uchun qo‘llaniladigan tadbir va kimyoviy tahlil usullari.
<b>Экстрагенты</b>	<b>Ekstragentlar</b>	<b>extraagent</b>	Eritmadagi ion va molekulalar bilan birikma hosil qiluvchi va hosil bo‘lgan birikmasi boshqa biror organik suyuqlikda eruvchi organik modda.
<b>Экстрактор</b>	<b>Ekstraktor</b>	<b>extractor</b>	Ekstraksiyalash dastgohi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Xasanov A.S., Sanakulov Q.S., Yusupxodjayev A.A. Rangli metallar metallurgiyasi. O'quv qo'llanma. – T.: Fan, 2015. - 284 b.
2. Kubaschewski O., Evans E. L. Metallurgical Thermo – chemistry: 3<sup>rd</sup> ed. Pergamon Press., New York. 2016. P. 32 – 35.
3. Kelly K. K. Data on theoretical Metallurgy. XIII. High temperature heat capacity and Entropy data for elements and inorganic compounds., U.S.A. Bur. Mines, Bull. 2017. P. 584.
4. Chakrabarti D. J., Laughlin D. E. The Cu – S (Copper – Sulfur) system., Carnegie – Mellon University, U.S.A. 2015. P. 23.
5. Abdulxayeva M.M., Mardonov O'M. Kimyo: darslik – T.: “O'zbekiston”, 2017-y. - 608 b.
6. Xomchenko G. P., Xomchenko I. G. Kimyo. Tosh. O'qituvchi. 2017 y. - 712 b.
7. Севрюков Н.Н. Общая металлургия. -Москва: Металлургия. 2015. 467 с.
8. Yusupxodjayev A.A., Aripjanova D.E., Mirzajonova S.B. Pirometallurgiya jarayonlari nazariyasi. Ma'ruza matni. Toshkent: ToshDTU, 2015. -78 b.
9. Thum Earnest Edger. A practice Book in Elementary Metallurgy. 2015. P. 321.
10. Biswas A.K., Davenport W.G. Extractive Metallurgy of Copper. Pergamon, 2013, P. 489.
11. Davenport W.G., King M., Schlesinger M., Biswas A.K. Extractive Metallurgy of Copper. Pergamon, 2016, P. 460.
12. Fundamental of Metallurgy. Edited by Seshadri Seetharaman. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2015, P. 589.
13. Tomas Havlik. Hydrometallurgy: Principles and applications. Cambridge International Science Publishing Limited, 2018. P. 686.
14. Зеликман А.Н. и др. Теория гидрометаллургических процессов. - М.: МИСиС, 2010. – 424 с.
15. Abduraxmonov S.A. Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi va dastgohlari. – Navoiy: NavDKI, 2010. - 286 b.
16. Луганов В.А., Байконурова А.О., Сажин Э.Н. Основы гидрометаллургических процессов. Учебное пособие. – Алматы: КазНТУ, 2015. - 219 с.

17. Chiranjib Kumar Gupta. Chemical Metallurgy: Principles and Practice. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2016. – 824 p.
18. Um, Namil. Hydrometallurgical recovery process of rare earth elements from waste: main application of acid leaching with devised diagram. INTECH. July 2017. pp. 41–60.
19. Yusupxodjayev A.A., Xudoyarov S.R. Metallurgiyada ishlab chiqarish texnologiyasi. – Toshkent: “Turon-Iqbol”, 2010. – 128 b.
20. Петухов О.Ф., Толстов Э.А. Окислительно-восстановительные процессы при щелочивании. – Ташкент: «Фан», 2015. - 414 с.
21. Xudoyarov S.R., Berdiyarov B.T. Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi va dastgohlari. Laboratoriya ishlarini bajarish uchun uslubiy ko‘rsatma. – T.: ToshDTU, 2014. – 27 b.
22. Greenwood, N. N.; & Earnshaw, A. Chemistry of the Elements (2nd ed.), Oxford: Butterworth-Heinemann, 2017. – 234 p.
23. Волдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов: учебное пособие для ВУЗов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Intermet Engineering, 2013. – 464 с.
24. Каковский И.А., Набойченко С.С. Термодинамика и кинетика гидрометаллургических процессов. - Алматы. 2017. – 356 с.
25. Mirziyoyev Sh.M. Erkin va farovon, demokratik O‘zbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining lavozimiga kirishish tantanali marosimiga bag‘ishlangan Oliy Majlis palatalarining qo‘shma majlisidagi nutqi.-T.: “O‘zbekiston” NMIU, 2016. -56 b.
26. Mirziyoyev Sh.M. Qonun ustuvorligi va inson manfaatlarini ta’minlash yurt taraqqiyoti va xalq farovonligining garovi. O‘zbekiston Respublikasi Konstitutsiyasi qabul qilinganining 24 yilligiga bag‘ishlangan tantanali marosimdagi ma’ruza. 2016 yil 7 dekabr –T.: “O‘zbekiston” NMIU, 2016. -48 b.
27. Mirziyoyev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. – T.: “O‘zbekiston” NMIU, 2017. -488 b.
28. O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida. –T.: 2017 yil 7-fevral, PF-4947-son farmoni.



# MUNDARIJA

<b>KIRISH</b> .....	3
<b>1 BOB. ELEKTROLIT ERITMALARNING TERMODINAMIKASI</b>	6
1.1. Eritish (tanlab eritish turlari). Erituvchilarni tanlash va sinflash	6
1.2. Asosiy termodinamik tushunchalar .....	10
1.3. Termodinamika qonunlari .....	13
1.4. Eritmalar va ularning xossalari .....	17
1.5. Eritma komponentlarning kimyoviy potentsiali .....	19
1.6. Ideal va real eritmalarning termodinamik xossalari .....	22
1.7. Elektrolitlarning faolligi va faollik koeffitsiyenti .....	29
1.8. Eritmalarga doir namunaviy masala va mashqlar yechish .....	45
<b>2 BOB. ODDIY TANLAB ERITISH TERMODINAMIKASI</b>	57
2.1. Suv va uning xossalari .....	57
2.2. Ionlarning gidratlanish energiyasi .....	67
2.3. Tuzlarning eruvchanligi .....	70
2.4. Oddiy tanlab eritishga doir namunaviy masala va mashqlar yechish	72
<b>3 BOB. KIMYOVIY REAKSIYA BILAN BORADIGAN TANLAB ERITISH JARAYONLARINING TERMODINAMIKASI</b>	78
3.1. Reagent sarfi bilan muvozanat doimiyligi orasidagi bog'liqlik....	78
3.2. Muvozanat doimiyligini hisoblash usullari .....	80
3.3. Potensial – Ph (Purbe) diagrammalari .....	82
3.4. Murakkab tanlab eritish jarayonlariga doir namunaviy masala va mashqlar yechish .....	91
<b>4 BOB. TANLAB ERITISH KINETIKASI VA MEXANIZMI</b>	103
4.1. Tanlab eritish tezligi va unga ta'sir qiluvchi omillar .....	103
4.2. Gazlar ishtirokida boradigan tanlab eritish jarayonining kinetikasi	110
4.3. Tashqi va ichki diffuziya qonuniyatlari .....	113
4.4. Jarayonni kinetik sohada borish qonuniyatlari .....	118
4.5. Limitlovchi bosqichga tanlab eritish sharoitlarininig ta'siri .....	121
4.6. Tanlab eritish tezligiga durlik panjarasi nuqsonlarining ta'siri ....	126
4.7. Tanlab eritish usullari. Tanlab eritish rejimlari (maromi).....	129
4.8. Tanlab eritishda qo'llaniladigan dastgohlar .....	134
4.9. Tanlab eritish kinetikasi va mexanizmiga doir namunaviy masala va mashqlar yechish .....	138
<b>5-BOB. TANLAB ERITISH TEZLIGINI OSHIRISH CHORALARI</b>	148
5.1. Tanlab eritish jarayonlarini jadallashtirish .....	148
5.2. Qattiq jismni mexanik va harorat (termik) ta'sirida faollashtirish usullari .....	151
5.3. Reaksiyaning tezlik konstantasini oshirish .....	153
5.4. Tanlab eritish tezligini oshirishga doir namunaviy masala va mashqlar yechish .....	154

<b>6 BOB.</b>	<b>SOF METALL, METALL OKSIDI VA METALL SULFIDLARINI TANLAB ERITISH KINETIKASI VA MEXANIZMI ...</b>	160
6.1.	Oltin va kumush gidrometallurgiyasi misolida sof metallarni oksidlantirish yo‘li bilan tanlab eritish .....	163
6.2.	Metall oksidlarini kislotali muhitda tanlab eritish kinetikasi va mexanizmi .....	163
6.3.	Metall oksidlarini ishqoriy muhitda tanlab eritish kinetikasi va mexanizmi .....	169
6.4.	Sulfidlarni tanlab eritish kinetikasi va mexanizmi .....	171
6.5.	Kuydirilgan rux boyitmalarini tanlab eritish jarayonining gidrometallurgik hisobi .....	173
<b>7 BOB.</b>	<b>EKSTRAKSION JARAYONLARNING ASOSLARI</b>	181
7.1.	Umumiy tushunchalar. Ekstragentlarni sinflash .....	181
7.2.	Betaraf ekstragentlar bilan ekstraksiyalash .....	184
7.3.	Anionalmashuvchi va kationalmashuvchi ekstraksiya .....	184
7.4.	Ekstraksiya jarayonida muvozanat holatlar .....	186
7.5.	Ekstraksiya jarayonlarining kinetikasi .....	189
7.6.	Ekstraksiya jarayonining amaliyoti va dastgohlari .....	192
7.7.	Kimyoviy muvozanatga doir namunaviy masala va mashqlar yechish .....	196
<b>8 BOB.</b>	<b>IONALMASHUVCHI JARAYONLARNING ASOSLARI</b>	203
8.1.	Umumiy tushunchalar. Ionalmashuvchi qatronlarning tarkibi to‘g‘risida ma’lumot .....	203
8.2.	Ionalmashuvchi jarayonlarning muvozanati .....	205
8.3.	Ionalmashuv jarayonining kinetikasi .....	207
8.4.	Ion almashuvchi jarayonlarning dastgohlari va amalga oshirish usullari .....	208
8.5.	Oltin saqlovchi rudalar misolida sorbsion tanlab eritish jarayonini hisoblash .....	211
<b>9 BOB.</b>	<b>METALL YOKI METALL BIRIKMALARINI SUVLI ERITMALARDAN AJRATIB OLIISH JARAYONLARINING ASOSLARI .....</b>	217
9.1.	Kam eruvchan birikmalarni cho‘ktirish yo‘li bilan metallarni ajratib olish .....	217
9.2.	Durlanish jarayonlarining asoslari .....	222
9.3.	Metallarni eritmadan elektroliz usulida cho‘ktirish .....	226
9.4.	Metallarni sementasiya usulida eritmalardan ajratib olish.....	232
9.5.	Metallarni eritmalardan elektroliz usulida cho‘ktirish jarayonini hisoblash .....	235
	<b>ILOVALAR .....</b>	241
	<b>GLOSSARIY.....</b>	245
	<b>FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR .....</b>	253

**Yusupxodjayev Anvar Abdullaevich**  
**Hojiyev Shohruh Toshpo‘latovich**  
**Ochildiyev Qahramon Toshtemirovich**

## **GIDROMETALLURGIYA JARAYONLARI NAZARIYASI**

O‘zbekiston Respublikasi oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi tomonidan  
oliy o‘quv yurtlari “5310300-Metallurgiya” ta’lim yo‘nalishi talabalari  
uchun darslik sifatida tavsiya etilgan

Muharrir: M.Talipova  
Musahhih: I.Tursunova  
Kompyuterda tayyorlovchi: G.Ibragimova

Bosishga ruxsat etildi 15.09.2022.  
Qog‘oz bichimi 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. TIMES garniturasini  
Shartli bosma tabog‘i 16,2. Nashr tabog‘i 12,7  
Adadi 100. Buyurtma № 15-12.

«LESSON PRESS» MCHJ nashriyoti  
Toshkent, Komolon ko‘chasi, Erkin tor ko‘chasi, 13

«IMPRESS MEDIA» MCHJ bosmaxonasida chop etildi.  
Manzil: Toshkent sh. Qushbegi ko‘chasi, 6-uy.

### Qo‘shimcha adabiyotlar:

1. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T. Sulfidli rux boyitmasini Qaynar Qatlam pechida kuydirish jarayonida silikatlar va ferritlar hosil bo‘lishining oldini olish chora-tadbirlari // “Fan va Texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy anjumanining ma’ruzalar to‘plami, I qism/ Toshkent: ToshDTU, aprel, 2015. 171 – 174 b.
2. A.A. Юсупходжаев, С.Р. Худояров, Х.Р. Валиев, Ш.Т. Хожиев, И.К. Матмусаев. Взаимодействие компонентов шихты при их нагреве в металлургических печах// Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference “Modern Scientific Achievements and Their Practical Application” (October 27 – 28, 2016, Dubai, UAE). Ajman, 2016, № 11(15), Vol. 1, с. 24 – 27.
3. Каримова Т.П., Самадов А.У., Саидова М.С., Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т. Разработка эффективной технологии снижения потери меди со шлаками методом автоматизации процесса разлива конвертерных шлаков при сливе// Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference “Scientific and Practical Results in 2016. Prospects for their Development” (December 27 – 28, 2016, Abu-Dhabi, UAE). Ajman, 2017, № 1(17), Vol. 1, с. 40 – 43.
4. А.А. Юсупходжаев, С.Б. Мирзажоннова, Ш.Т. Хожиев. Повышение комплексности использования сырья при переработке сульфидных медных концентратов// Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference “Scientific and Practical Results in 2016. Prospects for their Development” (December 27 – 28, 2016, Abu-Dhabi, UAE). Ajman, 2017, № 1(17), Vol. 1, с. 45 – 48.
5. А.А. Yusupkhodjayevev, Sh.T. Khojiyev. Methods of decreasing of Copper loss with Slag in Smelting Processes// International Academy Journal Web of Scholar. Kiev, March 2017, № 2(11), Vol. 1, P. 5 – 8.
6. А.А. Юсупходжаев, Ш.Т. Хожиев, Ж.С. Мамиркулов. Технология получения металлизированных железных концентратов из низкосортного сырья// Сборник статей победителей IX Международной научно-практической конференции “World Science: Problems and Innovations”, состоявшейся 30 апреля 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 176. С. 152 – 156.
7. А.А. Юсупходжаев, Ш.Т. Хожиев, С.Ш. Эргашев. Ресурсосберегающие технологии в металлургии меди// Сборник статей победителей IX Международной научно-практической конференции “World Science: Problems and Innovations”, состоявшейся 30 апреля 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 176. С. 157 – 160.
8. А.А. Yusupkhodjayevev, Sh.T. Khojiyev, J.S. Mamirkulov. The analysis of physic chemical properties of metallurgical molten slags// Сборник статей Международной научно-практической конференции “Управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика”,

- состоявшейся 15 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 190. С. 12 – 15.
9. A.A. Yusupkhodjayev, Sh.T. Khojiev, G.A. Kimsanboeva. The analysis of the arch of service of autogenous smelting furnaces during processing of copper sulfide concentrates// Сборник статей Международной научно-практической конференции “Управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика”, состоявшейся 15 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 190. С. 16 – 18.
  10. A.A. Yusupkhodjayev, Sh.T. Khojiev, S.B. Mirzajanova. Usage of reducing-sulfidizing agents in copper-bearing slags depletion// Сборник статей Международной научно-практической конференции “Управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика”, состоявшейся 15 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 190. С. 19 –21.
  11. A.A. Yusupkhodjayev, Sh.T. Khojiev, J. Usarov. Reasons of copper loss with slag// Сборник статей Международной научно-практической конференции “Управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика”, состоявшейся 15 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 190. С.22 –23.
  12. A.A. Yusupkhodjayev, Sh.T. Khojiev, V.K. Nodirov. Modern state of technology of copper extraction// Сборник статей победителей VIII Международной научно-практической конференции “Современная экономика: актуальные вопросы, достижения и инновации”, состоявшейся 20 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 2, № 191. С.59 –61.
  13. M.M. Yakubov, A.A. Yusupkhodjayev, Sh.T. Hojiyev. Eritish jarayonida misning shlak bilan isrofini kamaytirish yo‘llari // Kompozitsion materiallar. 2017, №1. 18 – 19 b.
  14. Yusupkhodjayev A.A., Khojiev Sh.T., Kimsanboeva G.A. Studying of the clinker coating formed on internal the laying of the oxygen-torch furnace at fusion of sulphidic copper concentrates // Сборник статей XIII Международной научно-практической конференции “European research”, состоявшейся 7 декабря 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 248. С. 62 – 65.
  15. Samadov A.U., Khojiev Sh.T., Buzurkhanova F.S., Ruziev Z.N. Perspective method of smelting low-sulfur copper concentrates // Научные достижения и открытия современной молодёжи: сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2018. С. 38 – 41.
  16. Khojiev Sh.T., Ruziev Z.N., Ochildiev K.T. The development of non-waste technology in mining and metallurgical productions // Сборник статей II Международной научно-практической конференции “Advanced Science”, состоявшейся 17 января 2018 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2018, Часть 1, № 268. С. 68 – 71.

17. Yakubov M.M., Khojiev Sh.T., Yavkochiva D.O. Studying of laws of smelting processes of sulfide concentrates // European Scientific Conference: сборник статей XII Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2018. С. 91 – 93.
18. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Исмаилов Ж.Б. Изучение свойства шлаков медеплавильных заводов // Высокие технологии, наука и образование: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2018. С. 28 – 30.
19. Хожиев Ш.Т., Очилдиев К.Т., Хотамкулов В.Х. Переработка медно-алюмосиликатных руд // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. В 3 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2018. С. 142 – 144.
20. Валиев Х.Р., Хожиев Ш.Т., Файзиева Д.К. Исследование селективного извлечения металлов из титаномагнетитовых руд // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. В 3 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2018. С. 145 – 147.
21. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Ismailov J.B. Recycling of slag from copper production // Инновационные процессы в науке и образовании: сборник статей Международной научно-практической конференции. В 3 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 51 – 53.
22. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Valiev X.R., Saidova M.S., Omonkhonov O.X. Application of Physical and Chemical Methods for Processing Slags of Copper Production // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 6, Issue 1, January 2019. pp. 7957 – 7963.
23. Khojiev Sh.T. Pyrometallurgical Processing of Copper Slags into the Metallurgical Ladle // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 6, Issue 2, February 2019. pp. 8094 – 8099.
24. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Абдукаримова Ф.У., Толибова Х.Г. Плавка в жидкой ванне освоена на медеплавильном заводе Алмалыкского горно-металлургического комбината // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: сборник статей XII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 71 – 73.
25. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Толибова Х.Г., Абдукаримова Ф.У. Комплексная переработка тонкого пыли медеплавильного производства // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: сборник статей XII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 74 – 76.
26. Khojiev Sh.T., Irsaliyeva D.B., Muhammadiev Sh.A., Ergasheva M.S. Method for recycling of converter slags into the metallurgical ladle // Современная наука: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей VI

- Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 56 – 58.
27. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Abdikarimova F.O‘., Tolibova X.G‘. Method for pyrometallurgical processing of copper casting slags // Современные технологии: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXVII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 62 – 64.
  28. Khojiev Sh.T., Tolibova X.G‘., Abdikarimova F.O‘., Rakhmatalliev Sh.A. Solubility of copper and cobalt in iron-silicate slags // Современные технологии: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXVII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 65 – 67.
  29. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Suyunova M.N., Babaev B.S. Mechanical and physico-chemical copper losses in slags // Современные технологии: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXVII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 68 – 70.
  30. Khojiev Sh.T., Suyunova M.N., Babaev B.S., Yavkochiva D.O. Recycling of copper slags with local reductants // Современные технологии: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXVII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 71 – 73.
  31. Сафаров А.Х., Хожиев Ш.Т. Разработка безотходной технологии производства золота // “Fan va Texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-texnikaviy anjumanining ma‘ruzalar to‘plami / Toshkent: ToshDTU, aprel, 2019. 440 – 442 b.
  32. Абдикаримова Ф.У., Хожиев Ш.Т. Способ переработки медных шлаков // “Fan va Texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-texnikaviy anjumanining ma‘ruzalar to‘plami / Toshkent: ToshDTU, aprel, 2019. 535 – 357 b.
  33. Сафаров А.Х., Хожиев Ш.Т. Разработка безотходной технологии производства золота // Международный научный журнал “Молодой Учёный”, № 17 (255), часть I. -Казань: издательства «Молодой ученый», 2019. С. 47 – 49.
  34. Khojiev Sh. T., Safarov A. X., Mashokirov A. A., Imomberdiyev S. F., Khusanov S. U., Umarov B. O. New method for recycling of copper melting slags// Международный научный журнал “Молодой Учёный”, № 18 (256), часть II. -Казань: издательства «Молодой ученый», 2019. С. 133 – 135.
  35. Abjalova H.T., Hojiyev Sh.T. Metallning shlak bilan isrofi va uni kamaytirish yo‘llari // akademik T.M. Mirkomilovning 80 yilligiga bag‘ishlangan universitet miqyosidagi talaba va yosh olimlarning ilmiy tadqiqot ishlarida “Innovatsion g‘oyalar va texnologiyalar” mavzusidagi ilmiy-amaliy anjumanining ma‘ruzalar to‘plami / Toshkent: ToshDTU, 17-18- may, 2019. 95 – 97 b.

36. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Хайруллаев П.Х., Муталибханов М.С. Исследование влияния температуры и содержания меди на плотность медеплавильных шлаков // Monografia Pokonferencyjna “Science, Research, Development”: Technics and technology. – Warszawa: “Diamond trading tour”. – 2019. С. 6 – 9.
37. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Yavkochiva D.O., Ismailov J.B. Technology of Processing Slags of Copper Production using Local Secondary Technogenic Formations// International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, Volume-9, Issue-1, November 2019. P. 5461 – 5472.
38. Хожиев Ш.Т., Нусратуллаев Х.К., Акрамов У.А., Ирсалиева Д.Б., Мирсаотов С.У. Минералогический анализ шлаков медеплавильного завода Алмалыкского горно-металлургического комбината// “Студенческий вестник”: научный журнал, № 43(93). Часть 5. Москва, Изд. «Интернаука», Ноябрь 2019. С. 62 – 64.
39. Хожиев Ш.Т., Зайниддинов Н.Ш., Мирсаотов С.У., Ирсалиева Д.Б., Мамараимов С.С., Муносибов Ш. Термогравитационное обеднение шлаков медного производства // “Студенческий вестник”: научный журнал, № 43(93). Часть 5. Москва, Изд. «Интернаука», Ноябрь 2019. С. 65 – 68.
40. Хожиев Ш.Т., Эркинов А.А., Абжалова Х.Т., Мирсаотов С.У., Мамараимов С.С. Использование металлургических техногенных отходов в качестве сырья // “Студенческий вестник”: научный журнал, № 43(93). Часть 5. Москва, Изд. «Интернаука», Ноябрь 2019. С. 69 – 71.
41. Khojiev Sh.T., Yusupkhodjaev A.A., Aribjonova D.Y., Beknazarova G.B., Abdullaev D.N. Depletion of Slag from Almalyk Copper Plant with Aluminum Containing Waste // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, Volume-9, Issue-2, December 2019. P. 2831 – 2837. DOI: 10.35940/ijitee.B7200.129219
42. Hojiyev Sh.T., Norqobilov Y.F., Raxmataliyev Sh.A., Suyunova M.N. Yosh metallurg [Matn]: savol-javoblar, qiziqarli ma'lumotlar va metallar ishlab chiqarish texnologik jarayonlari. – Toshkent: “Tafakkur” nashriyoti, 2019 . - 140 b. ISBN 978-9943-24-273-9
43. Yusupxodjayev A.A., Mirzajonova S.B., Hojiyev Sh.T. Pirometallurgiya jarayonlari nazariyasi [Matn]: darslik. – Toshkent: “Tafakkur” nashriyoti, 2020. – 300 b. ISBN 978-9943-24-295-1
44. Хожиев Ш.Т., Исмаилов Ж.Б., Очилдиев К.Т., Шукуров М.С., Махмудова О.О. Анализ возможных химических реакций при обеднении медных шлаков // “Студенческий вестник”: научный журнал, № 6(104). Часть 4. Москва, Изд. «Интернаука», Февраль 2020 г. С. 38 – 41.
45. Khojiev Sh.T., Abjalova H.T., Erkinov A.A., Nurmatov M.N. Study of methods for preventing copper loss with slags // “Студенческий вестник”: научный журнал, № 6(104). Часть 4. Москва, Изд. «Интернаука», Февраль 2020 г. С. 71 – 74.



46. Khojiev Sh.T., Erkinov A.A., Abjalova H.T., Abdikarimov M.Z. Improvement of the hydrodynamic model of the bubbling depletion of slag in the ladle // “Студенческий вестник”: научный журнал, № 6(104). Часть 4. Москва, Изд. «Интернаука», Февраль 2020 г. С. 75 – 77.
47. Рахматалиев Sh.A., Hojiyev Sh.T. Xo‘jalik chiqindilaridan toza kumushni ajratib olish usullari // Техника yulduzlari, № 1, Toshkent: “ToshDTU”, Mart, 2019. 104 – 107 b.
48. Юсупходжаев А.А., Бердияров Б.Т., Хожиев Ш.Т., Исмоилов Ж.Б. Технология повышения комплексности использования стратегически важного сырья в цветной металлургии Узбекистана // Научно-практический журнал «Безопасность технических и социальных систем», № 1, Ташкент, Изд. «ТашГТУ», Декабрь, 2019. С. 12 – 21.
49. Yusupходjayeв А.А., Hojiyev Sh.T., Ochildiyev Q.T. Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi: amaliy mashg‘ulotlar uchun uslubiy ko‘rsatmalar. – Toshkent: ToshDTU, 2020. -132 b.
50. Yusupходjayeв А.А., Hojiyev Sh.T., Ochildiyev Q.T. Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi: laboratoriya ishlari uchun uslubiy ko‘rsatmalar. – Toshkent: ToshDTU, 2020. -36 b.
51. Abjalova Kh.T., Khojiev Sh.T. Intensification of the process of depletion the converter slag // Техника yulduzlari, № 4, Toshkent: “ToshDTU”, Dekabr, 2019. 59 – 63 b.
52. Абжалова Х.Т., Хожиев Ш.Т. Обеднение шлаков кислородно-факельной печи Алмалыкского медного завода // Техника yulduzlari, № 4, Toshkent: “ToshDTU”, Dekabr, 2019. 53 – 58 b.
53. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Сайназаров А.М., Курбанов Б.Т. Современное состояние и перспективы развития автогенных процессов переработки сульфидных медных концентратов // Инновационное развитие науки и образования: сборник статей X Международной научно-практической конференции, Состоявшейся 10 марта 2020 г. в г. Пенза. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2020. С. 20 – 24.
54. Matkarimov S.T., Yusupходjayeв А.А., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Matkarimov Z.T. Technology for the Complex Recycling Slags of Copper Production // Journal of Critical Reviews, Volume 7, Issue 5, April 2020. P. 214 – 220. <http://dx.doi.org/10.31838/jcr.07.05.38>
55. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Мирзажоннова С.Б. Анализ состояния системы в металлургии. Монография // Beau Bassin (Mauritius): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. P. 189. ISBN 978-620-2-52763-7
56. Khojiev Sh. Modern Scientific Researches in Metallurgy: from Theory to Practice: monograph // Shokhrukh Khojiev (Ed.). - Beau Bassin (Mauritius): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. P. 154. ISBN 978-613-9-47121-8
57. Hojiyev Sh.T., Mirsaotov S.U. Oltin ishlab chiqarishda eritmani zararli unsurlardan tozalash usullari // “Ilm-fan taraqqiyotida zamonaviy metodlarning qo‘llanilishi” mavzusidagi ilmiy onlayn konferensiya to‘plami, Toshkent, 27-iyun, 2020. 442 – 446 b.

58. Khojiev Sh.T., Kadirov N.A., Obidov B.M. Development of Alternative Fuel Production Technology by Recycling Polyethylene Bags up to 40 Microns Thick // Proceedings of an international scientific and technical online conference on “Challenges and Prospects Innovative Technics and Technologies in the Security Sphere Environment”, Tashkent, September 17-19, 2020. P. 274 – 276.
59. Khojiev Sh.T. Improving Environmental Protection as a Result of Non-ferrous Metallurgy Industry Waste Recycling // Proceedings of an international scientific and technical online conference on “Challenges and Prospects Innovative Technics and Technologies in the Security Sphere Environment”, Tashkent, September 17-19, 2020. P. 278 – 280.
60. Хожиев Ш.Т. Разработка эффективной технологии извлечения меди из конверторных шлаков // Journal of Advances in Engineering Technology, Vol.1(1), Sept, 2020. P. 50 – 56.
61. Khojiev Sh.T., Yusupkhodjaev A.A., Rakhmonaliev M., Imomnazarov O.O. Research for Reduction of Magnetite after Converting // Kompozitsion materiallar, 2019, №4. P. 54 – 55.
62. Hojiyev Sh.T., Mirsaotov S.U. Tarkibida yaroqli uglerod saqlagan maishiy chiqindilarni metallurgiya sanoatiga maqsadli yo‘naltirish// “Ishlab chiqarishga innovatsion texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish muammolari” mavzusidagi Respublika miqyosidagi ilmiy-texnik anjumanining materiallari to‘plami, Jizzax, 18-oktabr, 2020. 21 – 27 b.
63. Hojiyev Sh.T., Mirsaotov S.U. Innovatsion texnologiya orqali metallurgiya sanoati chiqindisini qayta ishlash // “Ishlab chiqarishga innovatsion texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish muammolari” mavzusidagi Respublika miqyosidagi ilmiy-texnik anjumanining materiallari to‘plami, Jizzax, 18-oktabr, 2020. 329 – 336 b.
64. Хожиев Ш.Т. Экономическая эффективность использования местных и альтернативных энергетических ресурсов для снижения расхода природного газа на металлургических предприятиях // Материалы республиканской научно-технической конференции «Инновационные разработки в сфере науки, образования и производства – основа инвестиционной привлекательности нефтегазовой отрасли» в г. Ташкент, 3 ноября 2020 г. С. 413 – 416.
65. Khojiev Sh.T., Matkarimov S.T., Narkulova E.T., Matkarimov Z.T., Yuldasheva N.S. The Technology for the Reduction of Metal Oxides Using Waste Polyethylene Materials // Conference proceedings of “Metal 2020 29<sup>th</sup> International Conference on Metallurgy and Materials”, May 20 – 22, 2020, Brno, Czech Republic, EU. P. 971-978. <https://doi.org/10.37904/metal.2020.3592>
66. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Mirsaotov S.U. Mis ishlab chiqarishning chiqindisiz texnologiyasini ishlab chiqish muammolari // “Zamonaviy kimyoning dolzarb muammolari” mavzusidagi Respublika miqyosidagi xorijiy

- olimlar ishtirokidagi onlayn ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Buxoro, 4-5 dekabr, 2020. 26 – 28 b.
67. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Mirsaotov S.U. Rangli metallurgiya chiqindilarini qayta ishlashning dolzarbligi // “Zamonaviy kimyoning dolzarb muammolari” mavzusidagi Respublika miqyosidagi xorijiy olimlar ishtirokidagi onlayn ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Buxoro, 4-5 dekabr, 2020. 61 – 62 b.
  68. Obidov B.M., Hojiyev Sh.T., Mirsaotov S.U. Polietilen paketlari chiqindisi ikkilamchi uglevodород manbai sifatida // “Zamonaviy kimyoning dolzarb muammolari” mavzusidagi Respublika miqyosidagi xorijiy olimlar ishtirokidagi onlayn ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Buxoro, 4-5 dekabr, 2020. 63 – 64 b.
  69. Каримжонов Б.Р., Бердияров Б.Т., Маткаримов С.Т., Хожиев Ш.Т. Анализ современного состояния переработки цинксодержащих сталеплавильных пылей // “Zamonaviy kimyoning dolzarb muammolari” mavzusidagi Respublika miqyosidagi xorijiy olimlar ishtirokidagi onlayn ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Buxoro, 4-5 dekabr, 2020. 65 – 66 b.
  70. Khojiev Shokhruxh, Berdiyarov Bakhridin, Mirsaotov Suxrob. Reduction of Copper and Iron Oxide Mixture with Local Reducing Gases // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent, 2020, Vol.10, Iss.4. P. 7-17.
  71. Мирзараимов З.А., Хожиев Ш.Т., Муносибов Ш.М., Муносибов Ш.М., Ирсадиева Д.Б. Восстановление зубьев вала шестерни мельницы МШР 2700×3600 в условиях АО «АГМК» цеха ЦРМЗ // Образование и наука в XXI веке, 10 (4), 2021. С. 347 – 363.
  72. Alamova G.Kh., Khojiev Sh.T., Okhunova R.Kh. Current State Of Copper Smelting Slags And Their Processing: A Review // Central Asian Journal of Literature, Philosophy and Culture, 2021, 02(02). P. 49-55.
  73. Alamova G.Kh., Khojiev Sh.T., Okhunova R.Kh. Comparative Estimation of the Efficiency of Various Materials in the Reduction of Magnetite in Slag Melt // International Journal for Innovative Engineering and Management Research, 2021, 10(03). P. 191-196. doi:10.48047/IJEMR/V10/I03/45
  74. Хожиев Ш.Т., Эргашева М.С. Изучение гарнисажа образовавшегося на внутренней кладке кислородно-факельной печи при плавке сульфидных медных концентратов // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 11(2). С. 67-73.
  75. Аламова Г.Х., Хожиев Ш.Т., Охунова Р.Х. Термодинамический анализ процесса восстановления феррита меди в присутствии паров аммиака // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 11(2). С. 317-322.
  76. Аламова Г.Х., Хожиев Ш.Т., Охунова Р.Х. Некоторые термодинамические аспекты восстановления оксидов меди и железа парами аммиака // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 11(2). С. 323-327.
  77. Аламова Г.Х., Хожиев Ш.Т., Охунова Р.Х. Изучение первопричины потери меди со шлаками // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 11(2). С. 328-332.

78. Аламова Г.Х., Хожиев Ш.Т., Охунова Р.Х. Исследование формы нахождения цветных металлов в промышленных шлаках // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 11(2). С. 333-340.
79. Аламова Г.Х., Хожиев Ш.Т., Охунова Р.Х. Изучение диаграммы состояния многокомпонентной шлаковой системы // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 11(2). С. 341-350.
80. Alamova G.Kh., Jo'raev Sh.Sh., Rakhimov N.S., Khojiev Sh.T. Kinetics of Carbon-Thermal Reduction of Magnetite // Студенческий вестник: электрон. научн. журн., Часть 3, 2021, 8(153). С. 60-62.
81. Alamova G.Kh., Rakhimov N.S., Jo'raev Sh.Sh., Khojiev Sh.T. Use of Waste Automobile Tires as a Reducing Agent in Metallurgy // Студенческий вестник: электрон. научн. журн., Часть 3, 2021, 8(153). С. 63-65.
82. Alamova G.Kh., Rakhimov N.S., Jo'raev Sh.Sh., Khojiev Sh.T. Reduction of Volatile Metal Oxides // Студенческий вестник: электрон. научн. журн., Часть 3, 2021, 8(153). С. 69-71.
83. Alamova G.Kh., Nazarova Z.S., Khojiev Sh.T., Okhunova R.Kh. Advantages of the Sulfide Concentrate Smelting Process in a Liquid Bath // Студенческий вестник: электрон. научн. журн., Часть 3, 2021, 8(153). С. 66-68.
84. Rakhmataliev Sh.A., Kadirov N.A., Khojiev Sh.T. Lead Smelting Slag Processing // "Ilm-fan va ta'limda innovatsion yondashuvlar, muammolar, taklif va yechimlar" mavzusidagi 9-sonli respublika ilmiy-onlayn konferensiyasi materiallari to'plami. Farg'ona, 28-fevral, 2021-yil, 2-qism. 23-26 b.
85. Hojiyev Sh.T., Mirsaotov S.U., Ergasheva M.S. Metall oksidlarini amminotermik tiklashning ba'zi termodinamik jihatlari // UzACADEMIA: scientific-methodical journal, Vol. 2, Issue 1(12), 2021. P. 6-16.
86. Khojiev S.T., Nuraliev O.U., Berdiyarov B.T., Matkarimov S.T., Akramov O'.A. Some thermodynamic aspects of the reduction of magnetite in the presence of carbon // Universum: технические науки: электрон. научн. журн., Часть 3, 3(84), 2021. P. 60-64. DOI - 10.32743/UniTech.2021.84.3-4
87. Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Alamova G.X., Abjalova H.T. Application of Energy-Saving Technology in The Smelting of Copper Sulfide Concentrates in Autogenous Processes // International Journal of Academic and Applied Research, 5(3), 2021. P. 30-33.
88. Khojiev Sh., Berdiyarov B., Yavkochiva D., Abduraimov J. Study of the Factors Influencing the Decoppering Process of Non-Ferrous Metallurgy Slags: A Review // International Journal of Academic and Applied Research, 5(3), 2021. P. 84-93.
89. Ergasheva M.S., Mirsaotov S.U., Khojiev Sh.T. Use of Zinc Plant Clinker as a Reducing Agent in The Processing of Copper Slags // European Scholar Journal, Vol. 2, Issue 3, 2021. P. 218-222.
90. Rakhmataliev Sh.A., Berdiyarov B.T., Kadirov N.A., Khojiev Sh.T. Recycling technology using battery waste and other lead savings of secondary raw materials // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 12(3). С. 867-880.

91. Khojiev Sh., Nurmatov M. Methods of Using Secondary Energy Resources in Industry // International Journal of Academic and Applied Research, 5(4), 2021. P. 87-96.
92. Khojiev Sh., Berdiyarov B., Samadov A., Narkulova E. New Technology for Decreasing Copper Content in Dump Slags: A Review // International Journal of Academic and Applied Research, 5(4), 2021. P. 212-220.
93. Khasanov A.S., Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Abdullaev D.N., Ergashev J.K. New Technological Solutions to Reduce the Copper Content in the Slags of the Oxygen-Flare Smelting of Sulfide Copper Concentrates // International Journal of Academic and Applied Research, 5(4), 2021. P. 206-211.
94. Khojiev Sh., Fayzieva D., Mirsaotov S., Narkulova E. New The Main Trends in the Integrated Processing of Waste from Mining and Metallurgical Industries // International Journal of Engineering and Information Systems, 5(4), 2021. P. 182-188.
95. Khojiev Sh., Berdiyarov B., Gulomov I., Mamatov M. The Current State and Development of the Integrated Use of Technogenic Waste // International Journal of Engineering and Information Systems, 5(4), 2021. P. 189-194.
96. Khojiev Sh., Mirsaotov S., Khamroev J., Khamroqulov Sh. Development of Promising Technologies in the Production of Non-Ferrous Metals and Improvement of Existing Technologies // International Journal of Academic Multidisciplinary Research, 5(4), 2021. P. 356-361.
97. Hojiyev Sh.T., Matkarimov S.T., Akramov O.A. Elektr yoyli po'lat eritish pechi changlarini qayta ishlash asosida qaynoq briketlangan temirli birikma olish // International scientific and scientific-technical conference on "Resource and energy-saving innovative technologies in the field of foundry" April 13-15, 2021, Tashkent. P. 77-78.
98. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т. Способ переработки медных шлаков с использованием отходов автомобильных шин // Заявка на изобретение № IAP 2017 0257, Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. № 1(213). Ташкент, 2019. С. 24-25.
99. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Омонхонов О.Х., Хотамкулов В.Х. Способ переработки сульфидных медных концентратов // Заявка на изобретение № IAP 2018 0095, Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. № 9(221). Ташкент, 2019. С. 22.
100. Обидов Б.М., Хожиев Ш.Т. Способ переработки цинксодержащих отходов металлургического производства // Заявка на изобретение № IAP 2019 0014, Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. № 2(214). Ташкент, 2019. С. 27-28.
101. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Акрамов У.А. Способ получения металлизированных окатышей // Заявка на изобретение № IAP 2019 0523, Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. № 2(226). Ташкент, 2020. С. 29-30.

102. Abjalova H.T., Hojiyev Sh.T. Tarkibida uglerod saqlagan texnogen chiqindilarni metallurgiya sanoatiga maqsadli yo'naltirish // "Fan va Texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o'rni" nomli Respublika online ilmiy-amaliy anjumanining ma'ruzalar to'plami, Toshkent, 23-aprel, 2021, ToshDTU. 318 – 319 b.
103. Alamova G.X., Hojiyev Sh.T. Mis boyitmalarining issiqlik berish xususiyatini oshirish // "Fan va Texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o'rni" nomli Respublika online ilmiy-amaliy anjumanining ma'ruzalar to'plami, Toshkent, 23-aprel, 2021, ToshDTU. 312 – 313 b.
104. Mirsaotov S.U., Hojiyev Sh.T. Mis ishlab chiqarishning kam chiqindili texnologiyasini ishlab chiqish // "Fan va Texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o'rni" nomli Respublika online ilmiy-amaliy anjumanining ma'ruzalar to'plami, Toshkent, 23-aprel, 2021, ToshDTU. 314 – 315 b.
105. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Khayrullayev P.A. Technology for the complex processing of wastes of non-ferrous metallurgy // Proceedings of International Conference on Integrated Innovative Development of Zarafshan Region: Achievements, Challenges and Prospects, Navoi, November 28, 2019. P. 129 – 135.
106. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Акрамов У.А. Использование нетрадиционных восстановителей для расширения ресурсной базы ОАО «Узметкомбинат» // Черные металлы, апрель 2021, № 4 (1072). С. 4 – 8. DOI: 10.17580/chm.2021.04.01
107. Alamova G.Kh., Khojiev Sh.T. Economic efficiency of using secondary energy resources in the industry // Texnika yulduzlari, 2021, №1-2. P. 294 – 298.
108. Alamova G.Kh., Khojiev Sh.T. Improving properties of molten copper slags // Texnika yulduzlari, 2021, №1-2. P. 301 – 305.
109. Alamova G.X., Hojiyev Sh.T. Mis boyitmalarining issiqlik berish xususiyatini oshirish // Texnika yulduzlari, 2021, №1-2. 305 – 310 b.
110. Alamova G.X., Hojiyev Sh.T. Metallurgik jarayonlarni matematik modellashtirish muammolari // Texnika yulduzlari, 2021, №1-2. 314 – 317 b.
111. Khojiev Sh.T., Ergasheva M.S., Khamroqulov Sh.F., Khamroev J.O'. The Current State of Copper Metallurgy and Its Raw Material Base // IJEAIS, 5(5), 2021. P. 7-14.
112. Karimova T.P., Khojiev Sh.T., Saidova M.S., Bakhodirova N.Q. To Prevent the Loss of Copper with Slag during the Casting of the Converter Slag // IJEAIS, 5(5), 2021. P. 15-22.
113. Berdiyarov B., Khojiev Sh., Rakhmataliev Sh., Suyunova M., Rasulova N. Modern Technologies of Aluminum Production // IJEAIS, 5(5), 2021. P. 100-105.
114. Mukhametdjanova Sh., Khojiev Sh., Rakhmataliev Sh., Avibakirov I., Mamatov M. Modern Technologies of Copper Production // IJEAIS, 5(5), 2021. P. 106-120.
115. Rakhmataliev Sh., Sultonov Kh., Khojiev Sh., Abdukholiqov A. Modern Technologies of Gold Production // IJEAIS, 5(5), 2021. P. 121-131.

116. Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Kadirov N.A., Obidov B.M. and Turan M.D. (2021) Utilization of household waste-based solid fuel // Technical science and innovation: Vol. 2021: Iss.1. P. 168-176.
117. Makhsudova L.T., Khojiev Sh.T., Shamaribkhodjaeva G.J., Annakulova N.K. The Practical Importance of the Use of Innovative Educational Technologies in the Teaching of Technical Sciences // IJAPR, 5(6), 2021. P. 55-63.
118. Khojiev Sh.T., Alamova G.X., Yavkochiva D.O. Application of energy-saving technologies in the autogenous processing of copper sulfide concentrates // International scientific and practical online-conference proceedings of “Innovative solutions to current problems in the field of highmolecular metallorganic compounds”, Part II, Tashkent, May 28, 2021. P. 183 – 185.
119. Khojiev Sh.T., Alamova G.X., Yavkochiva D.O. Application of energy-saving technologies in the autogenous processing of copper sulfide concentrates // Материалы международной научно-практической онлайн конференции «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов» в г. Алмалык, 27 мая 2021 г. С. 122 – 123.
120. Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Mirsaotov S.U. Development of low waste technology of copper production // Материалы международной научно-практической онлайн конференции «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов» в г. Алмалык, 27 мая 2021 г. С. 126 – 127.
121. Khojiev Sh.T., Matkarimov S.T., Akramov O'.A. Complex processing of zinc-containing waste from non-ferrous and ferrous metallurgy // Материалы международной научно-практической онлайн конференции «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов» в г. Алмалык, 27 мая 2021 г. С. 130 – 131.
122. Rakhmataliev Sh.A., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T. Extraction pure silver from household waste // Материалы международной научно-практической онлайн конференции «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов» в г. Алмалык, 27 мая 2021 г. С. 154 – 155.
123. Khojiev Sh.T., Khamroev J.O', Khamroqulov Sh.F. Complex use of raw materials in the production of non-ferrous metals // Материалы международной научно-практической онлайн конференции «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов» в г. Алмалык, 27 мая 2021 г. С. 100 – 101.
124. Khojiev Sh.T., Khamroqulov Sh.F., Khamroev J.O'. Increasing efficiency by partial changing the ore grinding process // Материалы международной научно-практической онлайн конференции «Проблемы, перспективы и

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД ЭФФЕКТИВНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ» в г. Алмалык, 27 мая 2021 г. С. 115.

125. Toshpulatov D.D., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T. Analysis of Non-Ferrous Metallurgy Waste Processing Capacity // IJEAIS, 5(11), 2021. P. 41-50.
126. Rakhmataliyev Sh.A., Khojiev Sh.T., Kodirov N.A., Berdiyarov B.T., Rakhmonaliev M.M. Analysis of technologies for processing lead-containing minerals // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 185 – 186.
127. Toshpulatov D.D., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T. Thermodynamic analysis of molybdenum dioxide acidical oxidation // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 190 – 192.
128. Khojiev Sh.T., Toshpulatov D.D., Berdiyarov B.T., Ismailov J.B. Thermodynamic analysis of aluminothermic reduction of metal oxides // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 207 – 208.
129. Хайруллаев П.Х., Маткаримов С.Т., Мухаметджанова Ш.А., Хожиев Ш.Т. Исследование возможности обогащения титаномагнетитовых руд Тебинбулакского месторождения // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 276 – 278.
130. Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Karimova M.Sh. Processing of copper production dust // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 377 – 379.
131. Rakhmataliyev Sh.A., Khojiev Sh.T., Kodirov N.A., Berdiyarov B.T., Gulomov I.I. Investigation of the kinetic possibilities of processing high-zinc-containing slags from lead production // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 383 – 384.
132. Toshpulatov D.D., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T. Study of the possibilities of the metallothermic reduction process of zinc ferrite // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on



- “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 386 – 388.
133. Rakhmataliyev Sh.A., Khojiev Sh.T., Kodirov N.A., Berdiyarov B.T., Shoazizov F.N. Recycling of lead production dust // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 400 – 401.
134. Gulomov I.I., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Rakhmataliyev Sh.A. Mis metallurgiyasida toshqol va chiqindilarni qayta ishlashning ahamiyati // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 419 – 420.
135. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Abjalova H.T. Shlaklar bilan misning isrofini kamaytirish texnologiyasini tadqiq etish // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 420 – 422.
136. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Muxametdjanova Sh.A. Sulfidli mis boyitmalarini oksidlovchi ishtirokida tanlab eritish tadqiqoti // “Mineral xomashyolar va texnogen chiqindilarni qayta ishlashda fundamental tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar” nomli, professor M.M. Yakubovning 70 yillik yubileyiga bag‘ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami, Olmaliq, 10-dekabr, 2021. 154 b.
137. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Muxametdjanova Sh.A., Toshpulatov D.D. Rux ferritini metallik rux bilan tiklanish jarayonining tadqiqoti // “Mineral xomashyolar va texnogen chiqindilarni qayta ishlashda fundamental tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar” nomli, professor M.M. Yakubovning 70 yillik yubileyiga bag‘ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami, Olmaliq, 10-dekabr, 2021. 155 b.
138. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Muxametdjanova Sh.A., Mamatov M.A. Sulfidli mis boyitmalarini oksidlash yo‘li bilan ulardagi misning konsentratsiyasini oshirish // “Mineral xomashyolar va texnogen chiqindilarni qayta ishlashda fundamental tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar” nomli, professor M.M. Yakubovning 70 yillik yubileyiga bag‘ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami, Olmaliq, 10-dekabr, 2021. 156 b.
139. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Muxametdjanova Sh.A., Hamroqulov Sh.F. Nanometallurgiyani rivojlantirishning muammolari // “Mineral xomashyolar va texnogen chiqindilarni qayta ishlashda fundamental tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar” nomli, professor M.M. Yakubovning 70 yillik yubileyiga bag‘ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami, Olmaliq, 10-dekabr, 2021. 157 b.

140. Рахматалиев Ш.А., Хожиев Ш.Т., Кадыров Н.А., Суюнова М.Н. Переработка свинец-содержащих отходов // “Mineral xomashyolar va texnogen chiqindilarni qayta ishlashda fundamental tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar” nomli, professor M.M. Yakubovning 70 yillik yubileyiga bag‘ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami, Olmaliq, 10-dekabr, 2021. 77-78 b.
141. Хожиев Ш.Т., Бердияров Б.Т., Рахматалиев Ш.А., Рахмоналиев М.М., Якубов А.О. Переработка цинксодержащих отходов // “Mineral xomashyolar va texnogen chiqindilarni qayta ishlashda fundamental tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar” nomli, professor M.M. Yakubovning 70 yillik yubileyiga bag‘ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami, Olmaliq, 10-dekabr, 2021. 79-80 b.
142. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T. Thermodynamic analysis of reduction of oxidized copper compounds in a slag phase // Kompozitsion materiallar, 2021, №4. P. 39 – 43.
143. Toshpo‘latov D.D., Hojiyev Sh.T. Oksidlangan mis birikmalarini etil spirti bilan tiklab mis olishning termodinamik tahlili // Texnika yulduzlari, 2021, №4. P. 13 – 18.
144. Berdiyarov B.T., Xasanov A.S., Hojiyev Sh.T., Mutalibxonov S.S., Karimova Sh.K. Mis ishlab chiqarishning silikatli shlaklarini mahalliy tiklovchi moddalar bilan qayta ishlash jarayonining termodinamik imkoniyatlarini o‘rganish // Материалы II-Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов», Ташкент, 19 января 2022 г. С. 432-434.
145. Бердияров Б.Т., Хасанов А.С., Исмоилов Ж.Б., Хожиев Ш.Т. Рух ишлаб чиқариш куйиндиларини қайта ишлаш технологиясини такомиллаштириш // Материалы II-Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов», Ташкент, 19 января 2022 г. С. 434-437.
146. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Xasanov A.S., Ochildiyev Q.T. Xalkopirit mineralini oltingugurt bilan termik parchalash orqali hosil bo‘luvchi silikatli shlaklar miqdorini kamaytirish // Материалы II-Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов», Ташкент, 19 января 2022 г. С. 556-558.
147. Ochildiyev Q.T., Xasanov A.S., Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T. Metallarning shlak bilan mexanik isrof bo‘lish sabablarini o‘rganish // Материалы II-Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов», Ташкент, 19 января 2022 г. С. 564-566.

148. Xasanov A.S., Ochildiyev Q.T., Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T. Silikatli shlak tarkibidan rangli metallarni ajratib olish // Материалы II-Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов», Ташкент, 19 января 2022 г. С. 568-571.
149. Хожиев Ш.Т., Бердияров Б.Т., Мухаметджанова Ш.А., Нематиллаев А.И. Некоторые термодинамические аспекты карботермических реакций в системе Fe-Cu-O-C // O‘zbekiston kimyo jurnali. – Toshkent, 2021, – №6. – С. 3 – 13.
150. Hojiyev Sh.T., Matkarimov S.T., To‘xtamurodov F.B., Akramov O‘.A. Po‘lat ishlab chiqarish sanoatining ikkilamchi texnogen chiqindilarini qayta ishlash asosida kukunsimon temirli birikmalar olish // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. С. 61-63.
151. Кадиров Н.А., Туляганов М.И., Хожиев Ш.Т., Рахматалиев Ш.А. Сырьевая база металлургии индия // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. С. 118-120.
152. Kadirov N.A., Khojiev Sh.T., Avbakirov I.F., Rakhmataliev Sh.A. Copper electrolytic purification method // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. С. 183-186.
153. Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Abjalova Kh.T. Determination of the main technological parameters of restoration of the quality of copper in waste slag // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. С. 183-186.
154. Hojiyev Sh.T., G‘ulomov I.I., Raxmataliyev Sh.A., Mamatov M.A. Konvertor shlaklarini sulfidlash jarayonining termodinamik jihatlarini o‘rganish // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. С. 196-198.
155. Tulaganov M.I., Khojiev Sh.T., Rakhmataliev Sh.A., Umirkulov X.A. Modern technology of zinc production // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. С. 225-228.
156. Хожиев Ш.Т., Тўхтамуродов Ф.Б., Акрамов Ў.А., Маманазаров А.Х. Мониторинг процесса удаления кислорода на заключительном этапе выплавки стали // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro

- miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. C. 381-383.
157. Toshpo‘latov D.D., Hojiyev Sh.T. Metall oksidlarini alyuminotermik tiklashning termodinamik tahlili // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 21-23 aprel, 2022 y. C. 255-256.
  158. Toshpo‘latov D.D., Hojiyev Sh.T. Rux ferritini metallotermik tiklanish jarayonining imkoniyatlarini o‘rganish // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 21-23 aprel, 2022 y. C. 256-258.
  159. Toshpo‘latov D.D., Hojiyev Sh.T. Xalkopiritni ozon yordamida kislotali muhitda oksidlanish jarayonining termodinamikasini o‘rganish // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 21-23 aprel, 2022 y. C. 258-259.
  160. Toshpo‘latov D.D., Hojiyev Sh.T. Molibden dioksidini kislotali oksidlashning termodinamik tahlili // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 21-23 aprel, 2022 y. C. 260-261.
  161. Karimova M.Sh., Hojiyev Sh.T. Konvertor changlarini gravitatsion usulda qayta ishlash // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 21-23 aprel, 2022 y. C. 307-309.
  162. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Matkarimov S.T., Munosibov Sh. Study of the thermodynamic properties absorption sulfur storage gas of zinc and copper industry // Technical science and innovation, Vol. 2021, Iss.4. P. 293-301.
  163. Khojiev Sh.T., Rakhmataliev Sh.A., Tulaganov M.I., Umirkhulov H.A. Modern technologies of tungsten production // Образование и наука в XXI веке, 2022, 25(3). C. 1210-1219.
  164. Khojiev Sh.T., Rakhmataliev Sh.A., Tulaganov M.I., Rakhmonaliyev M.M. Modern technologies of zinc production // Моя профессиональная карьера, 2022, 35(8). C. 266-275.
  165. Хасанов А.С., Бердияров Б.Т., Хожиев Ш.Т., Очилдиев К.Т., Курбонов Ж.М. Актуальные проблемы формирования кластера медной промышленности // Материалы международной научно-технической конференции «Риски, вызовы и проблемы XXI века в цифровой трансформации рационального и безопасного недропользования», Ташкент, 21 мая 2022. С. 301 – 305.
  166. Khojiev Sh.T., Suyunova M.N., Saidova M.S., Yarashev U.Q. Thermodynamical Properties of the Process of Sintering of Iron Storage Copper Concentration Factories with Lime // International Journal of Engineering and Information Systems, 6(5), 2022. P. 11-16.
  167. Khojiev Sh.T., Qo‘shboyeva D.D., Rizaqulova K.I., Tojiddinova M.K. Efficient and low-waste technology of uranium production // Образование и наука в XXI веке, 2022, 26(8). C. 276-288.

168. Khojiev Sh.T., Rakhmataliev Sh.A., Turovov B.T., Normurodov B.T. Economic efficiency of the use of local and alternative energy resources to reduce natural gas consumption at metallurgical enterprises // Образование и наука в XXI веке, 2022, 26(8). С. 289-292.
169. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., G'ulomov I.I., Raxmataliyev Sh.A. Mis metallurgiyasida konvertor shlaklarini qayta ishlashning samaradorligini oshirish // Образование и наука в XXI веке, 2022, 26(2). С. 147-153.
170. Ҳожиёв Ш.Т. Мис ишлаб чиқариш шлаklarини яроқсиз автомобил шиналари билан қайта ишлаш орқали атроф-муҳит муҳофазасини яхшилаш // Материалы международной конференции «Современные проблемы экологии и охраны окружающей среды и биотехнологии», Ташкент, 15-16 июня 2022 г. С. 239 – 240.
171. Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Nuraliyev O.U., Mirsaotov B.U., Mirsaotov S.U., Osmanov Z.B. Quality Steel Production Research Based on the Introduction of Deoxidation Technology // International Journal of Engineering and Information Systems, 5(12), 2021. P. 91-101.
172. Berdiyarov B., Khojiev Sh., Nuraliyev O., Mirsaotov B., Mirsaotov S., Osmanov Z. Monitoring the oxygen removal process at the final stage of melting steel // Journal of Physics: Conference Series, 2131(2), 2021. P. 022071. doi:10.1088/1742-6596/2131/2/022071
173. Khojiev Sh.T., Saidova M.S., Kholboev N.M. Research On The Extraction Of Iron Oxide From Iron-Bearing Tailings Of Concentrating Plants // International Journal of Academic and Applied Research, 6(6), 2022. P. 83-87.
174. Khojiev Sh.T., Saidova M.S., Mirzajonova S.B., Ibrokhimov H.X., Ismatov Sh.O'. Development of Technology for Processing Zinc Cakes Based on the Use of Petroleum Coke // International Journal of Academic Engineering Research, 6(6), 2022. P. 23-28.
175. Khojiev Sh.T., Saidova M.S., O'rinboyev M.J. Modern Methods of Coating Zinc and Chromate Shells on the Surface of Structural Materials // International Journal of Engineering and Information System, 6(6), 2022. P. 1-6.
176. Toshpulatov D.D., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Jorayeva A.J., Kholmominova S.F. Thermodynamic Analysis Of Chalcopyrite Oxidation-Reduction Process // International Journal of Engineering and Information System, 6(6), 2022. P. 96-101.
177. Toshpulatov D.D., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Kholmominova S.F. Technological analysis of the process of metals recovery of large dust from the converter using metallurgical methods // International Journal of Engineering and Information System, 6(7), 2022. P. 67-71.
178. Khasanov A.S., Ochildiyev Q.T., Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Matkarimov S.T. Study thermodynamics of the magnetite sulfidation in copper smelting processes // Technical science and innovation, Vol. 2022, Iss.2. P. 19-27.

179. Khojiev Sh.T., Saidova M.S., Khotamqulov V.X., Saidqulov A.G'. Cost-Effective Technology of Selenium Extraction from Copper Production Waste and Intermediate Products: A Review // *International Journal of Academic Engineering Research*, 6(9), 2022. P. 14-16.
180. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Ismailov J.B., Gapparova M.M. Rux ferritini elementar oltingugurt bilan tiklash jarayonining termodinamik jihatlari // *Kompozitsion materiallar*, № 3, 2022. P. 65-69.
181. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Abjalova Kh.T. Technology of increasing complex use of raw materials in non-ferrous metallurgy of Uzbekistan // *Texnika yulduzlari*, № 3, 2022. P. 3-9.
182. Hojiyev Sh.T., Toshpo'latov D.D., Xolmo'minova S.F. Temir (II)-metasilikatini ohak bilan ta'sirlashuvining termodinamik imkoniyatlarini o'rganish // *Texnika yulduzlari*, № 3, 2022. P. 22-29.
183. Hojiyev Sh.T., Akramov O'A., Toshpo'latov D.D., Halimova A.A. Tarkibida temir saqlagan boyitish fabrikalari chiqindisidan temir oksidini ajratib olish tadqiqoti // *Texnika yulduzlari*, № 3, 2022. P. 42-49.
184. Khasanov A.S., Ochildiev Q.T., Khojiev Sh.T., Mashokirov A.A. Transfer of copper cations in iron vacancies of non-stoichiometric wustite in the magnetite phase // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – Москва, 2022. – № 10(103), часть 6. – С. 19-22.*
185. Khasanov A.S., Khojiev Sh.T., Ochildiev Q.T., Abjalova Kh.T. The main factors affecting the rate of separation of the slag and matte phases by their density: a general overview // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – Москва, 2022. – № 10(103), часть 6. – С. 23-27.*
186. Hojiyev Sh.T. Mahalliy ikkilamchi hosil bo'lgan texnogen chiqindilardan foydalanish asosida mis ishlab chiqarish shlaklarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish: t.f.f.d. (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati. – Toshkent: 2022. 46 b.
187. Yusupkhodzhaev A.A., Khozhiev Sh.T., Akramov U.A. Use of non-traditional reducing agents to expand the resource base of OJSC Uzmetkombinat // *Chernye Metally*, Volume 2021, Issue 4. P. 4 – 8.