

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

**Q. G'AFUROV**

**KIMYOVIIY TEXNOLOGIYANING  
NAZARIY ASOSLARI**

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi  
«Kimyoviy texnologiya va biotexnologiya» yo'nalishi bo'yicha  
bakalavrlar tayyorlash uchun o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etgan*

**Toshkent — 2007**

**Q. G'afurov.** Kimyoviy texnologiyaning nazariy asoslari. T., «Fan va texnologiya», 2007, 260 bet.

Mazkur darslik «Kimyoviy texnologiya va biotexnologiya» va «Atrof-muhit muhofazasi» yo'nalishlari bo'yicha ta'lim olayotgan bakalavrlar uchun mo'ljallangan bo'lib, texnologik jarayonlar mazmunini yechishda zarur bo'lgan qonuniyatlar: termodinamikaning asosiy qonunlari ish, ichki energiya, entalpiya, entropiya tushunchalari; ikki va ko'p fazali sistemalar mohiyati; kimyoviy kinetika va muvozanat qonunlari, muvozanat va reaksiya tezligiga ta'sir etuvchi omillar, texnologik jarayonlar turlari va mahsuldorlikni oshirish usullari; gomogen va geterogen sistemalar; nokatalitik va katalitik jarayonlar va reaktorlar tuzilishi, ishlash prinsipi hamda ularni loyihalash misollar bilan batafsil ifoda etilgan.

Kimyoviy texnologik sistemalar, bosqichlarni amalga oshirish yo'llari, fizik, kimyoviy va matematik modellash usullariga hamda sanoat ekologiyasiga alohida ahamiyat berilgan.

Darslik oxirida mavzularga monand masalalar, reaktorlarni hisoblash tenglamalari va yechimlari berilgan. Har bir bob mavzuga oid savollar bilan yakunlangan.

Kitobda berilgan ma'lumotlardan magistrlar ham foydalanishi mumkin.

**Taqrizchilar:** F.M.Mirzayev – O'zbekistonda xizmat ko'rsatgan fan arbobi, t.f.d., professor;  
SH.S. Nomozov – texnika fanlari doktori.

**ISBN 978-9943-10-033-6**

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2007 y.

## KIRISH

Qadim zamonlardayoq, taxminan 500 ming yillar oldin, ibtidoiy odamlar olovdan foydalanishgan, olov esa laboratoriya vazifasini bajargan. Qadimgi Misr, Mesopatamiya, Kichik Osiyoda eramizdan 3-4 ming yil avval toza misdan buyumlar yasashgan va 3 ming yil avval bronza davri boshlangan.

Qadimgi dunyo odamlari (eramizdan 7000-5000 yillar avval) oltin, kumush, qo'rg'oshin, qalay va misdan foydalanishgan. Simob ma'lum bo'lsa ham uni ishlatish yo'llarini bilishmagan. O'sha davrlardayoq hunarmandlar shisha va keramika-chinni tayyorlashgan. Misrda eramizdan 2800 yil, Xitoyda 2350 yillar oldin temir rudalarini olovda eritib temir olishgan.

Eramizdan ko'p asrlar oldin oltingugurt, tabiiy soda, mineral bo'yog'lar, o'simlik moylari, smoladan foydalanishgan va charm, kosmetik vositalar va portlovchi moddalar yasashgan. Bundan 3 ming yil avval odamlarga neft ma'lum edi.

Demak, insoniyat tabiiy boyliklardan foydalanish texnologiyalarini qadimdayog' kashf etgan. Amaliy ishlar texnologiya nazariyalari yaratilishidan avvalroq boshlangan. Tabiiy xom ashyodan iste'mol mollari, mehnat qurollari va boshqa narsalar ishlab chiqarish tasodifiy tanlov va tajribalarga asoslangan bo'lib, hunarmandchilik bilimi asta-sekin boyib borgan.

Texnologiya fani xom ashyoni iste'mol mollari, ishlab chiqarish vositalari va boshqa zaruriy vositalar yaratish uchun qayta ishlash jarayonlari va usullarini o'rganadi.

Texnologiya grekcha so'z bo'lib, «texnos» — sanoat yoki hunar, «lotos» — fan, ya'ni hunarlar fani demakdir. Ya'ni **texnologiya** — tabiiy xom ashyodan sanoat mahsulotlari ishlab chiqarish jarayonlari va usullari haqidagi fan. Ishlab chiqarish usuli mahsulot ishlab chigirilguncha xom ashyo o'tib boradigan barcha jarayonlar tizimidan iborat. **Jarayonlar tizimi** esa kimyoviy texnologik sistemani (KTS) tashkil etadi. KTS esa xom ashyo — tabiiy yoki sun'iy moddalar, boshqa sanoatning yarimmahsulotlaridan maqsadli mahsulot ishlab chiqarishdir.

Inson faoliyatida ikki yo‘nalish asosiy o‘rinni egallaydi. Biri insonning ma‘naviy dunyosini yuksaltirishga, ikkinchisi esa uning moddiy ehtiyojini qondirishga yo‘naltiriladi. Demak, texnologiya insoniyatning moddiy ehtiyojini qondirish uchun xizmat qiladigan asosiy ilmiy yo‘nalishdir.

Matematika, fizika, nazariy kimyo va boshqa fanlar hodisalarning umumiy qonuniyatlarini yaratgan holda, texnologiya bu qonuniyatlar asosida u yoki bu texnologik jarayonlarning mukammal sharoitlarini o‘rganish, amaliyotda qo‘llashda barcha soha fan yutuqlaridan foydalanadi va hamkorlikda ish olib boradi.

Texnologiya mexanik va kimyoviy yo‘nalishga ega.

**Mexanik texnologiya** moddalarning fizik xossalari (shakli v. b.) o‘zgarishi bilan boradigan jarayonlarni o‘rganadi.

**Kimyoviy texnologiya** esa moddalarning kimyoviy tuzilishi, tarkibi va xossalari o‘zgarishi bilan boradigan jarayonlarni o‘rganadi.

Bunday ajratish shartli bo‘lib, ko‘pincha texnologik jarayonlarda fizik-kimyoviy hodisalar ro‘y beradi.

Shuning uchun kimyoviy texnologiya fizik va kimyoviy jarayonlarning barchasini qamragan holda o‘rganadi va ularni sanoat miqyosida amalga oshiradi.

## **I BOB. UMUMIY TUSHUNCHA**

### **1.1. Kimyoviy texnologiyaning mazmuni**

Qadim zamonda moddiy ishlab chiqarish faqatgina qo'lib mehnatiga tayangan bo'lib, turli jarayonlar ham tasodifiy yoki uzoq davrlar davom etgan mehnat tajribalari natijasida yaratilgan. Ayniqsa, fizik-kimyoviy jarayonlar mavhum bo'lib, ishlab chiqarish usullari ham sir saqlangan.

Fizika va kimyo fanining yutuqlariga tayangan holda XIX asrdan boshlab kimyo sanoati taraqqiy eta boshladi.

Insoniyat o'z hayotiy faoliyatida foydalanadigan moddalar miqdori juda ham ko'p bo'lib, kundan-kunga yangidan-yangi moddalar (materiallar) ishlab chiqarish yo'lga qo'yildi. Hozirda 3 millionga yaqin moddalar, shu jumladan, 300 mingdan ortiq noorganik va 2,5 mln organik moddalar ishlab chiqariladi. Ular o'zaro tarkibi, tuzilishi va xossalari bilan farqlanadi.

Kimyo sanoatini ikki guruhga, ya'ni noorganik va organik moddalar ishlab chiqarishga ajratish mumkin.

Noorganik moddalar sanoatiga quyidagilar kiradi:

1) muhim kimyoviy moddalar (kislotalar, ishqorlar, tuzlar, o'g'itlar va boshqalar) ishlab chiqarish;

2) nozik noorganik moddalar (reaktivlar, kam uchraydigan elementlar, yarimo'tkazgichlar, farmatsevtik dorivor moddalar va boshqalar) ishlab chiqarish;

3) elektrokimyoviy (xlor, kislorod, vodorod va boshqalar) moddalar ishlab chiqarish;

4) metallurgiya (qora, rangli, nodir va kam uchraydigan metallar);

5) silikatlar (shisha, sement, keramika va boshqalar) ishlab chiqarish;

6) mineral bo'yog'lar va pigmentlar ishlab chiqarish.

Organik moddalar sanoatiga quyidagilar kiradi:

1) muhim organik sintez (spirtlar, kislotalar, efirlar, tabiiy va boshqa gazlar)ni qayta ishlash;

2) yarimo'tkazgich va bo'yog'larni ishlab chiqarish;

3) nozik organik sintez (farmatsevtik dorivor moddalar, kino-fotoreaktiv va boshqalar);

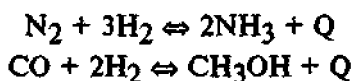
4) yuqori molekulyar moddalar (plastmassalar, sun'iy tolalar, kauchuk va boshqalar) ishlab chiqarish;

5) yog'lig'i moddalarni (neft, ko'mir, slanets va boshqalar) qayta ishlash;

6) ozuqa moddalar (shakar, yog' va boshqa) ishlab chiqarish.

Bunday ajratish texnologik jihatdan shartli bo'lib, ayrim noorganik va organik moddalarni olish jarayonlari umumiy o'xshashlikka ega.

Masalan, noorganik modda — ammiak va organik modda — metanolni olish jarayoni o'xshash:



Jarayon hajm kamayishi va issiqlik chiqishi bilan boradi. Sharoitlari ham o'xshash: ammiak 500°S harorat va 30 mPa bosimda, metanol esa 250°C harorat va 25 mPa bosimda sintez qilinadi.

Yuqoridagilardan ko'rinib turibdiki, kimyoviy texnologiya faqatgina asosiy kimyo sanoati jarayonlarini o'rganib, uning qonuniyatlarini tiklabgina qolmay, balki boshqa muhim texnika sohalari bilan ham shug'ullanadi. Chunki amalda barcha ishlab chiqarish asosida kimyoviy ta'sir bilan bog'langan jarayonlar mavjud, haqiqatan ham hozirda kimyoviy vosita va metodlar (usullar)siz sanoat sohasini tasavvur qilish qiyin. Usiz atom-yadro texnikasida, radiotexnikada, elektronikada, kosmo-navtika va boshqa texnika sohalarida muvaffaqiyatga erishib bo'lmaydi.

Hozirgi zamon kimyo texnologiyasining vazifasi jarayonlar oqimi qonuniyatlari va apparatlarning texnologik parametrlarini aniqlash, ayrim bosqich va butun jarayonlarni turli texnologik ko'rsatkichlarga bog'liq ravishda matematik modellash va optimallashdan iborat. Hozirda plazma-kimyoviy jarayonlar, ultratovushdan foydalanish, fotokimyoviy jarayonlar, fotokatalik va radiatsion-kimyoviy jarayonlar kimyo sanoatida qo'llanmoqda va jarayonlarni intensivlashda katta ahamiyat kasb etmoqda. Kimyoviy moddalar ishlab chiqarishda xom ashyo va energiyadan samarali foydalanish, jarayonlarni intensivlash, tuproq, suv va havoga tashlanayotgan chiqindilarsiz yangi texnologik tizimlarni ishlab chiqish, ekologik muvozanatni saqlash muhim va asosiy maqsad hisoblanadi.

## 1.2. Kimyoviy texnologiya fani, sanoati tarixi va ahamiyati

Kimyo sanoatining ahamiyati xalq xo'jaligini ko'p miqdordagi turli mahsulotlar bilan ta'min etishdan iborat bo'lib, usiz hozirgi zamon jamiyatining hayotini tasavvur etish qiyin.

Masalan, qazib olinadigan yoqilg'i moddalar: toshko'mir, neft, tabiiy gaz, torf va slanetslar, koks, motor yoqilg'isi, moylovchi yog'lar, yonuvchi gazlar va boshqa organik moddalar kabi muhim mahsulotlarni olishga imkon beradi. Kokssiz metallurgiya va unga bog'liq bo'lgan mashinasozlik rivojlanmas edi. Benzinsiz, ligroin va boshqa motor yoqilg'ilarisiz aviatsiya, avtomobil va boshqa transport vositalari ishlamas edi. Kunlik ehtiyojda va sanoatda kulsiz va tutunsiz yog'ilg'i sifatida yonuvchi gazlar ham katta ahamiyatga ega. Tabiiy gaz, neft, ko'mir, torf, slanetslardan sintez qilinadigan organik moddalar asosida bo'yog'lar, laklar, dorivor preparatlar, spirtlar, portlovchi moddalar va boshqalar ishlab chigarilib, ular hayotimizda va turli korxonalarda ishlatiladi. Yoqilg'ilarni qayta ishlash natijasida olingan mahsulotlardan yuqori molekulyar sintetik materiallar – plastmassa, sintetik tola va kauchuk olishda ishlatiladigan smolalar katta ahamiyatga ega.

Ko'mirdan yoki tabiiy gazdan, suv va havodan kimyo zavodlarida ammiak va azot kislotasi, ulardan esa mineral o'g'itlar, sintetik modda va boshqalar olinadi. Oltinugurt kolchedani va oltinugurtdan olinadigan sulfat kislotasi ko'pgina korxonalarda foydalaniladi. U yordamida apatit va fosforitlardan murakkab fosforli o'g'itlar olinadi. Rangli metallar ishlab chiqarishda, mashinasozlik, teri pishirish, qog'oz va oziq-ovqat sanoatlarida ham sulfat kislotasi yoki uning tuzlari ishlatiladi.

Osh tuzidan xlorid kislotasi, xlor, soda, ishqor va boshqa moddalar olinadi. Bu moddalar esa shisha, qog'oz, sovuni, alyuminiy, sun'iy tola, junli matolar, plastmassa va boshqa mahsulotlar ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

Yog'ochni qayta ishlash natijasida turli qimmatbaho mahsulotlar, jumladan, shoyi, shtapel, qog'oz, plastmassa, tutunsiz porox, aktivlangan ko'mir, ukusus kislotasi, metil va etil spirti, skipidar, kanifol, asetona va boshqalar olinadi. Kimyoviy usul bilan olingan radiaktiv moddalar atom energetikasida ishlatiladi.

Tarixiy manbalardan ma'lumki, eramizning VIII asrida arab kimyogari **Jobir Ibn-Hayyon** (721–815) birinchi bo'lib azot va sulfat kislotalarni olish usullarini yaratgan. Uning barcha ilmiy tadqiqot natijalari «70 kitob» asariga kiritilgan. Bu asarda metallar,

minerallar, tuzlar va boshqa materiallar haqida ma'lumotlar keltirilgan. **Ar-Roziy** (865–925) meditsina va kimyoviy tajribalar bilan shug'ullangan. Buyuk alloma **Ibn Sino** (980–1037) kimyoviy texnologiya tajribalari bilan shug'ullangan. Uning «Tib qanunlari» va «Shifobaxsh vositalar kitobi» butun Sharq va Yevropada shifokorlar va kimyogarlarning asosiy o'quv va bilim oluvchi asari sifatida qo'llanilgan. Arab olimi **Ar-Roziy** o'z davrida ma'lum bo'lgan moddalar (klassifikatsiya) sinflarini tuzgan. U moddalarni uch qismga: yer — minerallar, o'simlik va jonzotlarga ajratgan. «Tabiatning uch shoxligi» sistemasini tuzgan, minerallar klassifikatsiyasini kengroq o'rgangan va ishlab chiqgan.

Arablarining VIII–X asrlarda yozgan asarlari aniq, tushunarli tilda yozilgan. Yevropadagi **Bolon** (1119 y.), **Monpel** (1189 y.) va **Parij** (1200 y.) shaharlarida universitetlar tashkil bo'ldi. XII asrda arab tilidagi kimyo asarlari lotin tiliga tarjima qilinib, butun Yevropa bo'ylab tarqalgan. O'rta asrlarda ham ko'pgina buyuk alkimyogartar faoliyat ko'rsatdi. Ulardan dominikanlik monax **Albert Bolshtedskiy** (1193 – 1280 y.) arab alkimyogarlari davomchisi sifatida «Alkimyo haqida kitob»ini yozgan. «Al kimyo ko'zgusi» asari muallifi geologiya, kimyo (metallurgiya –«falsafa toshi» va metallarning o'zgarishi haqid.) falsafasiga oid faoliyat ko'rsatgan. Vrach va alkimyogar **Arnold Villanovanskiy** (1240–1311 y.), ingliz monaxi **Rodjer Bekon** (1214–1294 y.) tabobat bilan alkimyoni chambarchas bog'lab, ko'pgina moddalardan tibbiyotda foydalanish, zaharli moddalar va ularga qarshi ishlatiladigan vositalar haqida asarlar yozgan. O'rta asrlar alkimyogarlariidan **Raymond Lulliy** (1235–1313 y.)ning bir qancha asarlari alkimyo, falsafa va logika ( mantiq)ga bag'ishlangan.

XVI asrda kimyogar texniklar, ishlab chiqarish mutaxassislari paydo bo'ldi. Ulardan **Fransua Bernar Palissi** (1510 – 1589 y.) soda va shisha ishlab chiqarish hunarmandchiligi bilan shug'ullandi. U bo'yog'lar va glazurlar yasash usullarini kashf qildi. Uning chiroyli ranglar bilan bezatilgan fayans buyumlari butun Yevropada shuhrat qozondi. Ammo u texnologiya sirlarini yozib qoldirmagan. U nordon tuproqlarga mineral o'g'it sifatida ohak qo'llash g'oyasini aytib o'tgan. XVII asrda kimyoviy texnik yo'nalishda **Iogann Rudolf Glauber** (1604–1668 y.) faoliyat ko'rsatdi. U iatrokimyo yo'nalishi bilan shug'ullangan, turli laboratoriya va ishlab chiqarish pechlari yasagan, vinodan uksus, toza azot va xlorid kislota olish texnologiyalarini kashf qilgan. XV–XVI asrlarda osh tuzi va selitrani (chili selitrasi) temir kuprosi (temir



sulfat) bilan qizdirib, xlorid va azot kislotaga olgan. Bu kislotaga temir va boshqa moddalar qo'shimchalariga ega bo'lib, toza bo'lmagan. Bunday aralashma qizdirilganda kuporos moyi — sulfat kislotaga ajralib chiqib, osh tuzi va selitradan kislotalarni ajratib chiqishini aniqlagan va temir kuporosi o'rniga toza sulfat kislotaga ishlatib xlorid va nitrat kislotalarni toza holda olgan va ularni konsentrlab, qoldiq suvda eritib, qayta kristallab ichni bo'shashtiradigan dorivor moddaga olgan. Uni «ajoyib» deb nomlagan. Zamondoshlari esa uni Glauber tuzi deb atashadi. U bir necha dorivor moddalar tayyorlagan. Bauber preparativ kimyoni «spagirik farmakopeya» deb atadi.

XVIII asr kimyogarlari (ma'lumoti hakim) biri A.S. Margraf (1709 — 1782 y.) fosforni yondirib, fosfat kislotaga fosforning oltingugurtli birikmasini oladigan glinozem bilan magnezianing farqini aniqlaydi, gipsning ohak, sulfat kislotaga va suvdan tashkil etilganligini aniqlaydi, ishqorlar bilan shug'ullanadi, birinchi bo'lib sariq qon tuzi (ferrotsianid kaliy) va sianid kaliyni, gand lavlagi va boshqa shakarli o'simliklardan shakar ajratib oladi. Havaskor tabiatshunos ruhoniy S. Geyls (1667—1761ff.) tomonidan yog'ochni quruq haydash va ajralib chiqqan gazlarni to'plovchi pnevmatik vanna ixtiro qilingan. Bu vanna yordamida birinchi pnevmatik-kimyogar ingliz Dj. Blek ohaktoshni va magnezia (magniy karbonat)ni qizdirish natijasida «fiksatsiyalangan havo» (karbonat angidrid) ajrab chiqishini, bunday gaz ohaktosh va magneziyaga kislotalar ta'sir etganda ham ajralib chiqishini aniqladi. Ingliz olimi G. Kavendish (1731—1810 y.) metallarga kislotalar ta'sir ettirib vodorod oldi va uni flogiston deb o'yladi. Uning zichligi 0,09 ekanligini aniqladi. U Dj. Blek aniqlagan gazni ajratib oldi va uni «sun'iy havo» deb atadi («flogistonlashgan havo»), azotni kashf etdi, ammo uni e'lon qilmagani uchun 1772 yilda bu kashfiyot—«fiksatsiyalangan mifitik havo» A. Ruterford (1749—1819 y.)ga taalluqli bo'lib qoldi. U K. Sheyele tomonidan 1772 yilda ajratib olingan «olovli havo» (kislород) xossalari o'rgandi. 1783 yilda G. Kavendish havo tarkibini aniqlaydigan evdiometr yasadi. U azot oksidi xossalari o'rgandi. Kislородni — «olovli havo»ni 1772 yilda K. Sheyele, 1774—1775 yilda A.L. Lavuazye vodorod, kislород va azotni toza holda olib, ularning barcha xossalari aniqladi va ularga hozirgi atamalarni berdi. U moddalar massasining saqlanish qonunini ilmiy-nazariy jihatdan asosladi va amaliy misollar bilan isbotlab berdi. Dj. Priestley osh tuziga sulfat kislotaga ta'sir ettirib vodorod xlorid gazini, ohak bilan nashatir aralashmasini qizdirib, ammiakni sintez qildi. U oltingugurt

gazlarini va uglerod (II) oksidini sintez qilib o'rgandi (1799 y.). U flogiston nazariyasi tarafdori bo'lib qoldi. Uning zamondoshi shved olimi K.V. Sheyele (1742 – 1786 y.) bolaligidan dorixonada ishlab, kimyo va farmatsevtikani mustaqil o'rgandi. U 28 yoshida shved analitik kimyogari T.U. Bergman bilan tanishdi. Sheyele 1775 yilda Stokgolm akademiyasi a'zosi bo'ldi. U analitik, farmatsevtik va pnevmatik kimyo bilan shug'ullandi. 1777 yilda «Havo va olov haqida traktatlar» nomli kitobini yozganda u yaratgan ixtirolarning ko'plari boshqalar nomi bilan chop etilib bo'lingan edi. Shunday bo'lsa-da, ixtirolari so'zsiz uning sharafi bilan ataladi. U o'z asarida havo tarkibini aniqladi, 1769 yilda vino toshidan tartrat kaltsiy olib, uni parchalab vino kislotasini sintez qildi. O'simlik soklarini (sharbatlari) ohak bilan qayta ishlab, sulfat kislota ta'sir ettirib, 1784 yilda limon kislotasini, 1785 yilda olma kislotasini, 1786 yilda gallol kislotasini ajratib oldi. 1776 yilda shakarga azot kislotasini ta'sir ettirib shakar kislotasini (T. Bergman shunday atagan) oldi, keyinroq uning shaveldan olingan shavel kislotaga o'xshashligini aniqladi. Yog'larga (olivkovoye maslo) qo'rg'oshin oksidi ta'sir ettirib glitserin sintez qildi. Glitseringa azot kislota ta'sir ettirib, shavel kislotasini oldi. 1770 yildayog' u efirlarni, 1782 yilda sinil kislotasini sintez qildi. Ko'rinib turibdiki, u organik kimyo asoschisi hisoblanadi. T. Bergman temir, mis va simob turli darajada oksidlanishini, molibden yaltirog'i va grafit mustaqil moddalar (minerallar) ekanligini isbot qildi. Tungsten mineralini o'rganib (volfram kislotasining kaltsiyli tuzi), bu mineral ohak bilan maxsus bir kislota tuzi ekanligini aniqladi. Uning sharafiga bu mineral sheyelit deb ataldi. Marganets oksidiga xlorid kislotasi ta'sir ettirib (xlor) «deflogistonlashgan» xlorid kislota oladi va «qora magneziya» magniya emas, boshqa metallga tegichli ekanligini aniqlaydi. Uni mangan deb, XVIII asrda rus shishasoz-hunarmandlar marganets (IV) oksidni manganes (marganets) deb atashgan. U kiyik shoxi kukuni (zola) farmatsevtik preparatini tahlil qilib, unda maxsus kislota borligini aniqladi va uni fosfat kislota deb atadi. Bu ish I. Gan (1745–1818 y.) bilan hamkorlikda olib borilgan. Ular hayvonlar suyagidan fosfor ajratib olish usulini yaratgan. U o'zgina umri davomida (44 yil yashagan) juda ham ko'p kashfiyotlar yaratganligi hozirgacha kimyogarlarni hayratga soladi.

Texnik kimyo sohasidagi yuksalish Yevropa va Rossiyada kimyo sanoatining tez sur'atlar bilan rivojlanishiga sabab bo'ldi.

XV asrlarda Yevropada manufakturalar barpo bo'ldi va ular uchun kislotalar, ishqorlar, tuzlar, farmatsevtik preparatlar va ba'zi organik moddalar ishlab chiqaradigan kichik korxonalar vujudga keldi.

1720 yilda Moskva yaqinida (Rossiya) azot kislotasi, temir sulfat, akipidar, kanifol ishlab chiqaradigan kimyo zavodi, 1805 yilda esa sulfat kislotasi (kamerli usul) zavodi qurildi.

Fan sifatida «texnologiya» atamasi 1772 yilda Gyottingen universiteti professori I. Bekman tomonidan qo'llana boshlangan. 1795 yilda Germaniyada I.F. Gmelinning «Texnik kimyodan qo'llanma» kitobi nashr etildi.

1803 yilda Rossiya Fanlar akademiyasida kimyoviy texnologiya kafedrasini, 1920 yilda Moskvada D.I. Mendeleev nomidagi kimyoviy texnologiya instituti tashkil etildi. 1924 yilda O'rta Osiyo Davlat universiteti, 1931 yilda undan O'rta Osiyo politexnika instituti ajralib chiqib, unda kimyo-texnologiya fakulteti tashkil etildi. O'rta Osiyoda, shu jumladan, O'zbekistonda qadimda temirchilik, zargarlik, konchilik, yigiruv, to'quv (chit va shohi), kulolchilik, qog'oz ishlab chiqarish va boshqa korxonalar mavjud bo'lib, XIX asrning ikkinchi yarmidan boshlab katta quvvatga ega bo'lgan qog'oz, yog'moy, paxta tozalash va boshqa korxonalar tashkil etildi. Ayniqsa, ikkinchi jahon urushi davrida (1940 yillar) Chirchiq kimyo kombinati, Namangan kimyo zavodi, Toshkent aviatsiya zavodi, Bekobod metallurgiya zavodi, Qo'qon superfosfat zavodi, Toshkent to'qimachilik kombinati va boshqalar, 1950–70-yillarda Farg'ona azot o'g'itlar zavodi, Farg'ona furan birikmalar zavodi, Navoiy kimyo kombinati, Olmaliq metallurgiya kombinati, Olmaliq kimyo zavodi, Samargand kimyo zavodi, oltin, mis, rux va boshqa rudalarni qayta ishlash zavodlari va boshqa o'nlab kimyo, metallurgiya va elektrokimyo sanoati korxonalari qurilib ishga tushirildi. O'zbekistonda ulkan kimyoviy texnologiya sanoati barpo etildi. Hozirda O'zbekiston kimyo sanoati konserni 22 ta sanoat korxonalari, 5 ta ilmiy tadqiqot va loyihalash instituti va 2 ta remont-qurilish trestini o'z ichiga oladi. Respublika o'simliklarni himoya qilish, «O'zagrokimyoservis» tarmoqlari ham uning tasarrufida xizmat qiladi.

O'zbekiston kimyo sanoati 700 xil xalq iste'mol mollari ishlab chiqaradi.

*Kimyoviy texnika rivojlanishining asosiy yo'nalishlari.* Kimyo sanoatining rivojlanishi kimyoviy texnikaning takomillashishiga bog'liq. Texnika progressining asosiy maqsadi mehnat unumdor-

ligini, mahsulot sifatini oshirish va uning tannarxini pasaytirishdan iborat.

Kimyoviy texnika rivojlanishi o'zaro bog'liq bo'lgan quyidagi yo'nalishlardan iborat:

1) kimyoviy texnologik sistema va apparatlarning quvvati va ishlab chiqarish ko'lamini oshirish;

2) apparatlar (qurilmalar) ishini intensivlash;

3) energiya sarfini kamaytirish va kimyoviy reaksiya issiqligi (energiyasi)dan to'la (maks.) foydalanish;

4) ishlab chiqarish bosqichlarini kamaytirish va siklik (yopiq) sistemaga o'tish;

5) davriydan to'xtovsiz jarayonlarga o'tish;

6) ishlab chiqarishni mexanizatsiyalash va avtomatlashtirish.

Kimyoviy texnologik sistemalar miqdorini ko'paytirish emas, balki texnologik sistema quvvatini oshirish samarali hisoblanadi.

Apparatlarni yiriklashtirishning asosiy afzalligi shuki, uning tuzilishi (konstruksiya)ni deyarli o'zgartirmay hajmini kattalashtirish (kengaytirish) apparatning ishchi hajmiga proporsional ravishda uning mahsuldorligini oshirish demakdir.

Vaqt ( $\tau$ ) birligi ichida ishlab chiqarilgan mahsulot miqdori mahsuldorlik (unumdorlik) —  $M$  deb ataladi (kg/s, t/s):

$$M = G/c \quad (1.1)$$

yoki mahsulot hajmda o'lchansa ( $M^3/s$ ):

$$M = V_n/c \quad (1.2)$$

Apparatlar hajmini oshirish reaksiyon hajm birligiga nisbatan metallni iqtisod qilishga, bino qurish va qo'shimcha qurilmalar qurishda, vaholanki ta'mirlash ishlarida sarfni kamaytirishga olib keladi. Mehnat unumdorligi oshadi.

Apparatlarning hajmini oshirish ham ma'lum darajagacha samara beradi. Haddan tashqari hajmini oshirish va tuzilishini murakablashtirish uni boshqarishni qiyinlashtirishi mumkin.

Shuning uchun apparatlarning ishlashini intensivlash hisobiga ularning mahsuldorligini oshirish samaraliroq hisoblanadi.

Apparatlar mahsuldorligining o'lchamini belgilaydigan katalikka nisbati apparat ishi intensivligi deyiladi (hajmga yoki yuzasiga nisbati):

$$I = M/V = G/\tau V \quad (\text{kg/s} \cdot \text{m}^3 \text{ yoki } \text{T/s} \cdot \text{m}^3) \quad (1.3)$$

$$I = V_n/V\tau \quad (\text{m}^3/\text{T} \cdot \text{m}^3) \quad (1.4)$$

$$I = M/S = G/C \cdot S \quad (\text{kg/s} \cdot \text{m}^2 \text{ yoki } \text{T/s} \cdot \text{m}^2) \quad (1.5)$$

$$I = V_n/\tau S \quad (\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2) \quad (1.6)$$

**Intensivlashtirishga ikki yo'l bilan erishiladi:**

1) Mashina va apparatlarning tuzilishini o'zgartirish va takomillashtirish.

2) Bu apparatlardagi texnologik jarayonlarni takomillashtirish. Apparatlar intensivligi jarayon tezligiga proporsionalligini hisobga olib, texnologik jarayon kinetikasini o'rganib, mos ravishda apparat tuzilishi va texnologik tartib o'zgartiriladi. Texnologik tartib (rejim) tanlash jarayonida temperaturani o'zgartirish, bosim yoki vakuumda olib borish, katalizatorlar ishlatish, energiyani tejash (kimyoviy reaksiya issiqligidan maksimal foydalanish, gidravlik qarshiliklarni kamaytirish, aralashtirgich va haydagichlardan samarali foydalanish va boshqalar), ishlab chiqarish jarayonlari bosqichlarini kamaytirish va siklik (yopiq) sistemalarga o'tish, uzluqli jarayondan uzluksiz jarayonlarga o'tish, jarayonlarni mexanizatsiyalash va avtomatizatsiyalash asosiy vazifalardan hisoblanadi.

Texnik progress asosida jarayonlarni intensivlash mahsulot sifatini va mehnat unumdorligini oshirish, ya'ni mahsulot tannarxini pasaytirish bilan bog'liq ravishda olib boriladi.

### **1.3. Kimyoviy ishlab chiqarishda jarayonlar – materiallar balansi**

Sanoat apparatlari va borliq kimyoviy-texnologik sistemalar ishlab turgan ishlab chiqarish tajribasi asosida yoki kimyoviy texnologik qonuniyatlarga monand laboratoriyada o'tkazilgan ilmiy tadqiqotlarga asosan ishlab chiqiladi.

Yangi ishlab chiqarishni tashkil etishda bajariladigan ishlar texnologik, konstruktiv (tuzilish) va texnik-iqtisodiy hisoblardan iborat bo'lib, bunda muhandis-texnologlar, loyihalash muhan-dislari, muhandis-iqtisodchilar, energetiklar, santexniklar va quruvchi muhandislar ishtirok etadi.

**Zaruriy ko'rsatkichlar.** Vazirlik, boshqarmalar yoki korxonalar (agar qayta ta'mirlash, texnologik jarayonni o'zgartirish bo'lsa) talabiga asosan ilmiy tadqiqot institutlari yoki yangi texnologiya egasi (mualliflari) yangi korxonalar yoki sexni qurish uchun zaruriy ko'rsatkichlarni taqdim etadi. Masalan, sexni loyihalash ko'rsatkichlari quyidagicha bo'lishi mumkin: 1) sexning qurilish joyi; 2) ishlab chiqarish mahsuldorligi; 3) xom ashyo sifati va tarkibi; 4) mahsulot turlari; 5) ishlab chiqarish texnologik sxemasi; 6) texnologik tartib (rejim) ko'rsatkichlari; 7) texnologik mashina apparatlar va ularning materiallari; 8) nazorat sxemasi va jarayonni

boshqarish; 9) avtomatik boshqarish va boshqa zaruriy hujjatlar. Texnologiyani boshqarish uchun jarayonlar reglamenti, texnik shartlar va boshqalar tavsiya etiladi.

Boshlang'ich zaruriy ko'rsatkich va hujjatlar loyihalash tashkiloti tomonidan tekshirilib, tahlil qilinadi va ijrochi bilan birgalikda ayrim o'zgartirishlar kiritilishi mumkin.

Hukumat, vazirlik yoki mutasaddi tashkilot topshirig'iga asosan loyihalash ikki bosqichda bajariladi. Birinchi bosqich — loyiha topshirig'i qurilish joyini tanlash va asoslash, ishlab chiqarish usuli, xom ashyo va energiya manbalari, prinsipial texnologik sxemani ishlab chiqish, asosiy jarayon va apparatlarning hisobi, ishlab chiqaruvchi kuchlar (shtatlar)ni aniqlash, qurilish hajmi va mahsulot tannarxini hisoblashdan iborat bo'ladi. Loyiha topshirig'ining asosini texnologik hisoblar tashkil qiladi. Turli ishlab chiqarish usullarini texnoiqtsodiy solishtirish orqali xom ashyo, energiya, jarayon va apparatlarning optimal ko'rsatkichlari aniqlanadi.

Ikkinchi bosqich — ishchi chizmalar har bir bo'lim uchun ipidan ignasigacha aniqlikda tayyorlanadi. Uning yordamida sexning qurilishi, texnologik qurilmalar (mashina, apparat va boshqalar) montaji (o'rnatilishi), kommunikatsiya va avto-matlashtirish shaxobchalarini joylashtirish ishlari olib boriladi.

Ishlab turgan korxonada mahsulot turini o'zgartirish yoki sifatini yaxshilash maqsadida qilinadigan qayta ta'mirlash ishlari bo'lsa, zaruriy ko'rsatkichlar asosida loyihalash tashkiloti yoki korxonaning loyihalash bo'limi bajarishi mumkin.

Ishlab chiqarish texnologik sxemasini tuzib chiqib, xom ashyo, yarimmahsulot va mahsulot yo'nalishlari va miqdorlari aniqlangach, material va energetik balanslar aniqlanadi.

Material va energetik balanslar hamda matematik modellashtirish yangi ishlab chiqarishni loyihalash yoki harakatdagi ishlab chiqarishni tahlil qilish uchun tuzilishi mumkin.

Material balans — massalar saqlanish qonunining moddiy ifodalanishi bo'lib, har qanday yopiq sistema o'zaro ta'sir qiluvchi moddalar miqdori, ta'sirlashuvda hosil bo'lgan moddalar miqdoriga teng bo'ladi.

Material balans tuzilganda xom ashyodagi qo'shimchalar bilan ketadigan ikkilamchi jarayonlar e'tiborga olinmay, asosiy moddalar e'tiborga olinadi.

Moddalar massasini aniqlashda qattiq, suyuq va gaz fazalari hisoblanadi va balans quyidagicha ifodalanadi:

$$G_k + G_s + G_g = G'k + G's + G'g \quad (1.7)$$

Bu yerda:  $G_k$ ,  $G_s$ ,  $G_g$  – ishlab chiqarishga yoki ma'lum bosqichga (apparatga) tushayotgan (kirayotgan) qattiq, suyuq va gazsimon moddalar massasi,  $G'k$ ,  $G's$ ,  $G'g$  – ishlab chiqarish mahsuloti massalari.

Qattiq yoki suyuq moddalar bir necha turda bo'lishi yoki uch fazadan birortasi bo'lmasligi mumkin. Unda 1.7-formula soddalashishi yoki murakkablashishi mumkin.

Material balans moddalar sarfi yoki hosil bo'lishi ma'lum vaqt birligi ichida hisoblanadi.

#### 1.4. Kimyoviy ishlab chiqarishda jarayonlarning energetik balansi

Reaktorlarni hisoblashda boshlang'ich tenglama bo'lib, issiqlik o'zgarishlarini e'tiborga olgan issiqlik balansi tenglamasi hisoblanadi. U odatda reaksiyon aralashmadagi biror tashkil etuvchi (komponent) modda bo'yichatuziladi.

Issiqlik balansini umumiy ko'rinishda quyidagicha yozish mumkin:

$$Q_{\text{kirish}} = Q_{\text{sarf}} \quad (1.8)$$

Bunda:  $Q_{\text{kirish}}$  – reaktorga vaqt birligi ichida kirayotgan issiqlik miqdori;  $Q_{\text{sarf}}$  – vaqt birligi ichida sarflanayotgan issiqlik miqdori.

Oddiy ekzotermik reaksiya jarayoni holati:



bo'ladi Bu holda jarayonga issiqlikning kirishi:

$$Q_{\text{kirish}} = Q_{K,r.} + Q_{\text{reag}} \quad (1.10)$$

Bunda:  $Q_{K,r.}$  – vaqt birligi ichida A modda V moddaga aylanishida ajralib chiqqan (kimyoviy reaksiya) issiqlik miqdori,  $Q_{\text{reag}}$  – vaqt birligi ichida reaktorga modda (reagent) bilan kirayotgan issiqlik miqdori.

Issiqlik sarfi quyidagi tenglama holda yozilishi mumkin:

$$Q_{\text{sarf}} = Q_{\text{maxs.}} + Q_{\text{yig.}} + Q_{\text{yo'q}} \quad (1.11)$$

Bunda:  $Q_{\max}$ , — vaqt birligi ichida reaktordan mahsulot bilan chiqib ketayotgan issiqlik miqdori;  $Q_{yig}$ , — vaqt birligi ichida reaktorda yig'ilgan issiqlik miqdori;  $Q_{yo'q}$ , — vaqt birligi ichida atrof-muhitga sarflanayotgan (yo'qalayotgan) issiqlik miqdori.

$Q_{kirish}$ , va  $Q_{sarf}$ , (1.11) dagi qiymatlarni (1.8) tenglamaga qo'ysak:

$$Q_{k.r.} + Q_{reag.} = Q_{\max} + Q_{yig.} + Q_{yo'q} \quad (1.12)$$

bo'ladi. O'rinlar almashtirilsa:

$$Q_{yig.} = -(Q_{\max} - Q_{reag.}) - Q_{yo'q} + Q_{k.r.} \text{ bo'ladi.} \quad (1.13)$$

bo'ladi. Reaktorga xom ashyo bilan kirayotgan issiqlik bilan undan reaksiya natijasida isigan modda — mahsulot bilan chigayotgan issiqlik o'rtasidagi farq konvektiv issiqlik oqimi deyiladi va quyidagicha yoziladi:

$$Q_{konv.} = Q_{\max} - Q_{reag.} \quad (1.14)$$

Tenglama (1.13) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$Q_{yig.} = Q_{konv.} - Q_{yo'q} + Q_{k.r.} \quad (1.15)$$

Issiqlik balansi tenglamasi reaktorning tipiga (turiga) va issiqlik tartibi (rejimi)ga bog'liq ravishda turli ko'rinishga ega bo'lishi mumkin.

Umumiy holatda esa jarayon ko'rsatkichlari (harorat, konsentratsiya va boshq.) reaktor hajmi bo'yichao'zgarishi yoki vaqt bo'yichao'zgarishi mumkin. Bu holda issiqlik balansi differensial tenglama holida yoziladi va hisoblanadi.

Bu maqsadda o'zgartirishlar kiritilgan konvektiv issiqlik almashinish differensial tenglamadan foydalaniladi:

$$\rho C_p \cdot \frac{ET}{E} = -C\rho \left( W_x \frac{ET}{E_x} + W_y \frac{ET}{E_y} + W_z \frac{ET}{E_z} \right) + \lambda \left( \frac{E_2 T}{E_{x_2}} + \frac{E_2 T}{E_{y_2}} + \frac{E_2 T}{E_{z_2}} \right) - Fk\Delta T + U\Delta H. \quad (1.16)$$

Bunda,  $\rho$  — reaksiyon aralashma zichligi;  $C_p$  — aralashma issiqlik sig'imi;  $X$ ,  $U$ ,  $Z$  — fazoviy koordinatlar;  $W_x$ ,  $W_u$ ,  $W_z$  — oqim harakati tezligining  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  o'qlari yo'nalishidagi ko'rsatkichlari;  $\lambda$  — reaksiyon aralashmaning issiqlik o'tkazish (molekulyar va turbulent) koeffitsiyenti;  $F$  — issiqlik almashinish yuza birligi;  $K$  — issiqlik almashinish koeffitsiyenti.



$\Delta T = T_a - T_{is}$ , bunda:  $T_a$  – reaksiyon aralashma harorati;  $T_{is}$  – issiqlik almashtirgichdagi harorat;  $U$  – kimyoviy reaksiya tezligi;  $\Delta N$  – reaksiyaning issiqlik effekti.

Tenglamani (1.16) chap tomonidagi ko'rsatkichlar guruhi elementar hajmda yig'ilgan issiqlik tezligini ko'rsatadi. Unga (1.15) tenglamadagi Q<sub>yig</sub> qiymati muvofiq keladi:

$$Q_{yig} = \rho C \rho \frac{ET}{ET} \quad (1.17)$$

Tenglamani o'ng tomonidagi ko'rsatkichlar guruhi esa elementar hajmda (X, Y, Z) koordinatalariga muvofiq ravishda konvektiv-issiqlik o'tishini aks ettiradi.

O'ng tomondagi ko'rsatkichlarning ikkinchi guruhi esa reaksiyon aralashmaning issiqlik o'tkazuvchanligiga bog'liq ravishda issiqlikning o'zgarishini ko'rsatadi.

Issiqlik o'tkazuvchanlikning ta'sirini aks ettiruvchi konvektiv oqim bilan issiqlik o'tishining umumiy qiymatiga (1.14) tenglamadagi Q<sub>konv</sub> muvofiq keladi. Natijada quyidagicha yozish mumkin:

$$Q_{konv} = -\rho C \rho \left( W_x \frac{ET}{Ex} + W_y \frac{ET}{Ey} + W_z \frac{ET}{Ez} \right) + \lambda \left( \frac{E_2 T}{Ex_2} + \frac{E_2 T}{Ey_2} + \frac{E_2 T}{Ez_2} \right) \quad (1.18)$$

(1.15) va (1.16) tenglamalarni solishtirsak:

$$Q_{yo'q} = Fk\Delta T \quad (1.19)$$

va

$$Q_{K, r} = U\Delta H \quad (1.20)$$

kelib chiqadi.

Tenglama (1.16) ni yechish ko'pincha katta qiyinchiliklarga bog'liq.

Reaksiyaning borishiga, reaktordagi tartib (rejim)ga bog'liq ravishda tenglamadagi ayrim ko'rsatkichlar juda ham kichik qiymatga ega bo'lib, ularni e'tiborga olmaslik mumkin bo'ladi. Natijada tenglama soddalashib, yy'chish natijasida yetarli darajada aniq qiymatlar (natijalar) olish mumkin.

Yuqoridagi (1.15) va (1.16) tenglamalar turg'oq bo'lmagan (nostatsionar) tartib (rejim)da issiqlik oqimining matematik yozil-

ishi bo'lib, unda issiqlikning yig'ilishi va harorat vaqt bo'yicha o'zgaradi.

Uzluksiz ishlaydigan reaktorlar turg'oq (statsionar) tartib xususiyatiga (xarakteriga) ega, ya'ni  $Q_{yig.} = 0$ .

Davriy (periodik) ravishda ishlaydigan reaktorlarda tartib doimo o'zgarib boradi, ya'ni  $Q_{yig.} \neq 0$ .

Davriy reaktorlarda issiqlikning konvektiv o'tishi bo'lmay,  $Q_{kon} = 0$  bo'ladi.

*Energetik balans* energiyaning saqlanish qonuni asosida tuziladi. Unga asosan yopiq sistemada energiyalar yig'indisi doimiydir (ma'lum bir miqdorga ega), ya'ni kimyoviy texnologik jarayonga kirayotgan issiqlik miqdori sarflanayotgan issiqlik miqdoriga teng. Material balans va kimyoviy reaksiyalar issiqlik effekti ko'rsatkichlariga asosan issiqlik balansi tuziladi. Bunda apparatda kechadigan kimyoviy reaksiyalar, fizik o'zgarishlar, issiqlik effekti, tashqaridan berilayotgan issiqlik, mahsulot bilan chiqib ketadigan issiqlik va apparat devori orqali sarflanadigan issiqlik hisobga olinadi. Issiqlik effekti quyidagi ko'rinishda hisoblanadi:

$$Q_Q + Q_{s+} + Q_G + Q_F + Q_r + Q_k = Q^*q + Q^*s + Q^*g + Q^*f + Q^*r + Q^*y \quad (1.21)$$

Bu yerda:  $Q_k$ ,  $Q_s$ ,  $Q_g$  — apparatga qattiq, suyuq va gaz holatida berilayotgan moddalar bilan kirayotgan issiqlik miqdorlari.

$Q^*k$ ,  $Q^*s$  va  $Q^*g$  esa apparatdan chigarilayotgan mahsulotlar bilan chigayotgan issiqlik miqdorlari, ularning farqi esa konvektiv issiqlik oqimi deyiladi.  $Q_f$  va  $Q^*f$  — fizik o'zgarishlar jarayonida chigayotgan va yutilayotgan issiqlik miqdorlari.

$Q_r$ ,  $Q^*r$  — endo va ekzotermik reaksiyalar issiqligi va  $Q_k$  — sistemaga kiritilayotgan isitish va  $Q^*y$  — atrof-muhitga yoki sovutgich orqali chiqib yo'qotilayotgan issiqlik miqdori.

$Q_q$ ,  $Q_s$ ,  $Q_g$  va  $Q^*k$ ,  $Q^*s$ ,  $Q^*g$  — moddalarning (materiallarning) issiq tutishi deyiladi. Odatda bu kattalik sistemaga kirayotgan va undan chigayotgan har bir modda (material) uchun quyidagi formula bo'yichahisoblanadi:

$$Q = G \cdot s \quad (1.22)$$

Bu yerda:  $G$  — modda (material) miqdori,  $S$  — uning o'rtacha issiqlik sig'imi va  $t$  — harorati.

Issiqlik sig'imi ma'lum bir harorat va modda uchun texnik adabiyotlarda ko'rsatilgan.

Odatda, reaktorga (apparatga) bir emas bir necha xom ashyo (material – modda) berilishi mumkin. Bunda moddalar aralashmasi issiqlik sig‘imi quyidagicha aniqlanadi:

$$C_A = \frac{G_1 c_1 + G_2 c_2 + G_3 c_3 \dots}{G_1 + G_2 + G_3} \quad (1.23)$$

Fizik jarayonlardagi issiqlik miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_f = G_1 f_1 + G_2 f_2 + G_3 f_3 + \dots \quad (1.24)$$

Bu yerda:  $G_1, G_2, G_3$  – moddalar miqdori,  $f_1, f_2, f_3$  – fazoviy o‘zgarish issiqliklari, ya’ni kondensatsiyalanish, kristallanish, erish va boshqalar.

Ekzotermik va endotermik reaksiyalar issiqligi quyidagicha aniqlanadi:

$$A + V = D \pm \Delta N \quad (1.25)$$

A va V moddalari orasidagi reaksiya issiqligi D modda hosil bo‘lishi va issiqlik effekti  $\Delta N$  bilan hisoblanadi.

Apparatga berilayotgan-yo‘qolayotgan, masalan, isituvchi bug‘ bilan yoki yo‘qolayotgan issiqlik quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_b = G_c (t_g - t_{ox}) \quad (1.26)$$

$$Q_b = G_{fb} \quad (1.27)$$

Bu yerda: G – bug‘ miqdori, S – issiqlik sig‘imi, F<sub>b</sub> – bug‘lanish issiqligi yoki apparat devori orqali berilgan (yo‘qotilgan) issiqlik miqdori:

$$Q_y = K \cdot F (t_i - t_c) \tau \quad (1.28)$$

Bu yerda: K – issiqlik uzatish (berish) koeffitsiyenti, F – issiqlik yuzasi,  $t_H$  – isituvchi moddaning o‘rtacha harorati,  $t_c$  – isitilayotgan (sovuq) moddaning o‘rtacha harorati va  $\tau$  – vaqt. Bu tenglama bilan jarayonga berilayotgan yoki olinayotgan, atrof-muhitga yo‘qotilayotgan issiqlik miqdorlari aniqlanadi.

*Kimyoviy jarayonlarni va reaktorlarni modellash.* Texnologik tartib, apparatlar va qurilmalarning optimal ko‘rsatkichlarini aniqlash uchun, ya’ni texnologik sistema ishini optimallashtirish uchun loyihalash jarayonida kimyoviy jarayonlar va reaktorlarni modellash tadqiqoti o‘tkaziladi.

Modellashdagi birinchi masala–jarayon tezligi yoki tezlik konstantasi, yoki mahsulotning chiqishi ularni aniqlash uchun zarur bo‘lgan kattaliklar—ko‘rsatkichlar bilan funksional bog‘liqligini matematik aniqlashdan iborat. Kimyoviy texnologik jarayon tezligini aniqlashda (tavsiflashda) asosiy ko‘rsatkichlar—ma’lum

hajmda vaqt birligi ichida reaksiyaga kirishayotgan moddalar miqdori (konsentratsiyasi)— $C_1, C_2, C_3$  komponent (tashkil etuvchilar) larning effektiv diffuziya koeffitsiyentlari —  $D_1, D_2, D_3$  harorat —  $T$ , bosim —  $R$ , harakatning chiziqli tezligi —  $W_v, W_s, W_g$  lar orqali aniqlanadigan o'zaro ta'sirlanuvchi fazalarning aralashtirish darajasi, qo'llanilayotgan katalizator aktivligi  $A_k$ , komponentlar sistemasi zichligi  $R_k, R_s, R_g$ , dinamik —  $\mu$  yoki statik  $\nu$  (вязкость), sirt tarangligi yoki fazalar chegarasidagi adgeziya —  $a$ , kuchi, sistemalarning shakli, reaksiya hajmi balandligi  $N$ , apparatning asosiy o'lchamlari (diametri  $D$ , uzunligi —  $l$ ) va boshqalar hisobga olinishi mumkin:

$$U = f(C_1, C_2, C_3 \dots D_1, D_2, D_3 \dots T, P, W_k, W_c, W_g, A_k, R_k, R_s, R_g, \mu, a, N, D \dots) \quad (1.29)$$

jarayon kinetikasini aniqlashda asosan:

1) fizik modellash; 2) matematik modellash; 3) xususiy nisbatlar asosida modellashga masshtabli o'tish usullari qo'llaniladi.

**Fizik modellash.** Jarayon kinetikasini modellashda aniqlovchi sifatida ko'pincha Margulis kriteriyasi qo'llaniladi:  $Ma = k / w$ .

Bunda:  $K$  — jarayon tezligi konstantasi, m/s,  $w$  — oqimning chiziqli tezligi, m/S (demak, kriteriya o'lchamsiz birlik). Odatda, bir necha aniqlovchi kriteriyalar ishtirokida bu tenglama yechiladi:

$$Ma = VRea Prb, Arnc Sd Ge, \quad (1.30)$$

bu yerda,  $V$  — proporsionallik koeffitsiyenti;  $Re = Wl\rho/\mu$  — Reynolds kriteriyasi;  $Rr + \mu/\rho D$  — Prantl, kriteriyasi;  $Ar_n = YE/RT$  — Arrenius kinetik kriteriyasi — bu yerda:  $YE$  — aktivlanish energiyasi katalizator aktivligini ifoda etishi mumkin;  $S = C_1/C_2$  — komponentlarning simpleks konsentratsiyasi;  $G = l_1/l_2$  — jara-yonning tezlik konstantasiga ta'sir etuvchi geometrik o'lchamlar simpleksi;  $a, v, s, d, e$  — darajalar. Bu o'lchamsiz kriteriy o'zaro o'xshash, ammo  $a, v, s, d, e$  — darajalarda farqlanuvchi hodisalarga keng qo'llanish imkonini beradi.

Murakkab sistemalarda taqqoslash (podobiya) kriteriyalari juda murakkab va ko'p bo'lib, ular ta'sirining o'zaro bog'liqligini aniqlash qiyinlashadi. Bunda o'rganilayotgan jarayon bir necha bosqichda tahlil qilinadi. Taqqoslash usuli asosida chiziqli o'lchamlar ma'lum sonlarda — oraliqda o'rganilib, kichik masshtabdan (o'lchamlardan) katta masshtabga o'tiladi. Kriteriya tenglamalari model qurilmalarida o'tkazilgan tadqiqotlar asosida

tuziladi. Taqqoslash usuli (fizik modellash) nisbatan oddiyroq jarayonlarni loyihalashda qo'llanadi.

*Matematik modellash.* Murakkab kimyoviy-texnologik sistemalarga, jarayonlar va apparatlarga matematik modellash usulini qo'llash mumkin. Matematik modellash usulining o'ziga xos xususiyati ularning izomorflik prinsipidir, ya'ni turli fizik tabiatdagi hodisalarni bir xil matematik shaklda yozish mumkin.

Masalan, har xil ko'rsatkichlarni aniqlovchi issiqlik  $Q$ , modda  $G$  va elektr  $J$  o'tish (aylanish) jarayonlari differensial tenglamalari ko'rinishiga o'xshash:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dl} \quad (\text{Furye qonuni}) \quad (1.31)$$

$$G = -D \frac{dc}{dl} \quad (\text{Fik qonuni}) \quad (1.32)$$

$$J = -\frac{1}{\rho} \frac{d\theta}{dl} \quad (\text{Om qonuni}) \quad (1.33)$$

Bunda:  $\lambda$  — Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti;  $D$  — difuziya koeffitsiyenti;  $\rho$  — Om qarshiligi koeffitsiyenti.

Bu tenglamalar o'zaro harorat, konsentratsiya va quvvat gradientlari bilan farqlanadilar:

$$\frac{dt}{dl}, \frac{dc}{dl}, \frac{d\theta}{dl} \quad (1.34)$$

Muvofiq hisoblash koeffitsiyentlarini kiritish orqali har qanday hodisani elektr o'tkazishga (yoki boshqa ko'rsatkichga) modellash mumkin.

Hisoblash mashinalari ishi izomorflik prinsipiga asoslangan bo'lib, har qanday fizik-kimyoviy jarayonlarni modellash imkonini beradi.

Har qanday kimyoviy-texnologik jarayonni optimallashtirish uchun matematik modellashda shu jarayonga, ya'ni uning tezligiga, mahsulot chiqishiga yoki boshqa asosiy ko'rsatkichni optimallashtirishga ta'sir etadigan ko'rsatkichlar (darajalar) va ularning maksimal, minimal va o'rtacha qiymatlari tanlab olinadi. Masalan, harorat, reagentlari miqdori, vaqt va boshqalar. Ana shu ko'rsatkichlar orqali laboratoriya yoki model qurilma sharoitida oz yoki ko'p

miqdorli tadqiqot olib boriladi. Tadqiqot natijalari hisoblash mashinalariga berilib, unda differensiallash, integrallash, jamlash va boshqa amallar bajarilib, asosiy ko'rsatkich (reaksiya tezligi, mahsulot chiqishi va boshqalar) qiymatlari ishlab chiqiladi va regressiya tenglamasi tuziladi. Bu tenglama asosida texnologiyaning har g'anday o'zgarishlarini kompyuterlashtirilgan avtomatik boshqarish sistemasi (AVS — ASU) yordamida boshqarish va optimal jarayonni ta'minlab turish mumkin.

### 1.5. Kimyoviy ishlab chiqarishning iqtisodiy samaradorligi

Kimyoviy sanoat korxonasi loyihalashtirilganda asosiy diqqat ishlab chiqarishning iqtisodiy samaradorligini hisoblab chiqishga qaratiladi va eng samarador usul tanlab olinadi. Iqtisodiy samaradorlikni asosiy 3 ko'rsatkich belgilaydi:

1. Kapital xarajatlar.
2. Mahsulot tannarxi.
3. Mehnat unumdorligi.

*Kapital xarajat* — bu ma'lum korxonaga yoki sexni qurish uchun sarflangan barcha xarajatlarni o'z ichiga oladi. Kapital xarajatlarni tavsiflashda kapital xarajatlar ulushini hisoblash aniqroq tahlil qilish imkonini beradi. Kapital xarajatlar ulushi korxonaga, sex yoki qurilma qiymatini (kapital xarajat) yillik ishlab chiqarish quvvati nisbatiga teng:

$$R = K / Q \quad (1.35)$$

Bunda:  $R$  — kapital xarajatlar ulushi, so'm/t · yil,  $K$  — kapital xarajatlar, so'm,  $Q$  — korxonaga, sex yoki qurilma quvvati, t/yil.

Tenglamadan ko'rinib turibdiki, agar qurilmaning ishlab chiqarish quvvati, uning tuzilishi, ishlash prinsipi o'zgartirilish yoki jarayonni intensivlash evaziga oshirilsa, kapital xarajatlar ulushi kamayishi mumkin ekan.

*Tannarx* — to'la tannarx mahsulot ishlab chiqarish va uni ta'sarruf etish uchun sarflangan xarajatlarni pul (valuta) ko'rinishidagi qiymati. Mahsulot ishlab chiqarish bilan uzviy bog'liq bo'lgan korxonaga xarajatlari fabrika-zavod tannarxi deyiladi va ular quyidagilardan tashkil topadi:

1. Xom ashyo, yarimfabrikat va kimyoviy reaksiyalarda ishtirok etadigan asosiy materiallar sarfi.
2. Texnologiyaga sarflangan yog'ilg'i va elektroenergiya.
3. Asosiy ishlab chiqarish ishchilari maoshi.

4. Amortizatsiya — A — asosiy ishlab chiqarish fondlarini tiklash (mashina, apparatlar, qurilmalar va binolarning ishdan chiqishi — yemirilishi va boshqalarni qoplash) uchun ajratiladigan xarajat ( $A=K/10Q = P / 10$  atrofida).

5. Sex xarajatlari — asosiy fondlarni tutish, ta'mirlash (remont) uchun xarajatlar (yordamchi va ta'mirlovchi ishchilar maoshi ham shu hisobda), sexning ma'muriy — boshqaruv (personallari) xodimlari uchun, texnika xavfsizligi va mehnat muhofazasi uchun xarajatlar.

6. Umumiy zavod xarajatlari. Asosiy mahsulot tannarxi asosida umumzavod xarajatlari va qo'shimcha mahsulotlar narxi hisoblab chigariladi, sanoat iqtisodiyoti kursida to'la tushuntiriladi.

## 1.6. Kimyoviy termodinamika va kinetik qonunlar

Kimyoviy texnologiya va texnika fani ko'p qamrovli bo'lib, er-gokimyo (kimyoviy reaksiya va kimyoviy muvozanat bajaradigan ishlar haqida ta'limot) va xronokimyo (vaqt bo'yichakehadigan kimyoviy reaksiyalar, jarayonlar tezligi, ya'ni kinetika va kataliz haqida ta'limot) uning muhim qismlaridandir.

Kimyoviy texnologik jarayonlarni chuqur o'rganishdan oldin shu jarayonlarning mohiyatini anglashga eltuvchi ayrim tushuncha va qonunlarni bilmoq zarur. Bunday tushunchalarga issiqlik va ish, issiqlik effekti va entalpiya, kimyoviy muvozanat va entropiya, fazalar qoidasi va boshqalar kiradi.

*Issiqlik va ish.* Materiyaning asosiy xossasi uning harakatidir. Uning mezoni esa harakat turlariga bog'liq ravishda turli ko'rinishda namoyon bo'luvchi energiyadir. Moddalarning o'zaro ta'sirlashuvi harakatlar, ya'ni energiya almashishida namoyon bo'ladi. Kimyo uchun esa eng muhimi moddalar orasida energiya almashinish, ya'ni issiqlik va ishdir.

Issiqlik modda yoki sistemani tashkil etuvchi (molekulalar, atomlar, elektronlar va hokazo) zarrachalarning tartibsiz, xaotik harakatlari miqdoriy o'lchamidir.

Issiqlik ko'rinishidagi energiya almashishida yuqori haroratga ega modda energiyasini past haroratli moddaga o'zaro harakat tenglashguncha uzatadi. Ish esa aksincha, tartibli harakatning miqdoriy o'lchami yoki yo'naltirilgan kuch maydoni bo'lib, zarrachalarning siljishidir. Masalan, ish «A» doimiy bosim ostida ( $R=const$ ) sistemaning boshlang'ich hajmi  $V_1$  dan oxirgi  $V_2$  ga kengayish quyidagicha ifodalanadi:

$$A=r(V_1-V_2) \quad (1.36)$$

yoki

$$A=q(\varphi_2-\varphi_1) \quad (1.37)$$

Bunda:  $q$  – elektr zaryadi,  $\varphi_1$  va  $\varphi_2$  – elektron potentsiallari.

Harakat bir ko‘rinishdan boshqa ko‘rinishga ekvivalent nisbatlarda o‘tadi. Sistemaga ma‘lum miqdorda issiqlik –  $Q$  berilsa, u: sistemaning ichki energiyasini o‘zgarishi  $\Delta U$  ga (molekula va kristallarning to‘g‘ri, tebranma va aylanma harakatlari intensivligining o‘zgarishiga) hamda shu sistemaga ta‘sir etuvchi tashqi kuchga (tashqi bosim, sirt tarangligi va boshqalar) qarshi bajariladigan ish –  $A$  ga sarflanadi.

### Reaksiyaning issiqlik effekti va entalpiyasi

Reaksiyaning o‘zgarmas bosim va o‘zgarmas hajmdagi issiqlik effekti termodinamikaning birinchi qonuni bo‘yicha aniqlanadi. Bu qonunga muvofiq har bir sistema o‘zining ichki energiyasiga ega bo‘lib, uning o‘zgarishi sistemaga berilgan issiqlik –  $Q$  va sistema bajargan ish –  $A$  ning qiymatlariga bog‘liq.

Energiyaning saqlanish qonunining matematik ifodasini quyidagicha yozish mumkin:

$$U=Q-A \text{ yoki } Q=\Delta U+A \quad (1.38)$$

Agar sistemaga o‘zgarmas bosimdan boshqa kuch ta‘sir etmasa, ish quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$A_p^x = p \cdot (V_2 - V_1) = p \cdot \Delta V \quad (1.39)$$

Demak,

$$QP=\Delta U+p \cdot \Delta V \quad (1.40)$$

Agar,  $\Delta U$  ikkita energetik daraja ( $U_2-U_1$ ) bo‘lsa, unda:

$$Q_p=(U_2-U_1)+p(V_2-V_1)=(U_2+pV_2)-(U_1+pV_1) \quad (1.41)$$

bo‘ladi.

$$U+pV=H \quad (1.42)$$

Bu qiymat entalpiya yoki ichki issiqlik (issiqlik tutish), deb nomlandi. Demak, entalpiya o‘zgarishi  $\Delta N$  – bu doimiy (bir xil) bosim sharoitidagi reaksiyaning issiqlik effektidir.

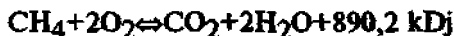
Bosim  $R=1,013 \cdot 10^5$  PA bo‘lganda entalpiya uchun  $\Delta N^\circ$  belgisi ishlatiladi.  $\Delta N$  ni harorat va bosimga bog‘liqligi Kimyoviy jarayonida yoki faza o‘zgarishida issiqlik sig‘imi  $\Delta SR$  ning o‘zgarishi bilan aniqlanadi:



$$\Delta H_{T_2} = \Delta N^{\circ} T_1 + \Delta S_r(T_2 - T_1) \quad (1.43)$$

**Gess qonuni.** Kimyoviy va fazaviy o'zgarishlar issiqlik effektlarini hamda moddalarning ayrim boshqa issiqlik xossalari o'rganuvchi soha termokimyo deb, issiqlik effektlari ko'rsatiladigan reaksiya tenglamalari esa termokimyoviy reaksiyalar deb ataladi.

Masalan,



Termokimyo asosi bo'lmish G.I. Gess qonuni massa-energiya saqlanishi qonuni mazmunidan kelib chiqqan bo'lib, quyidagicha ta'riflanadi: *reaksiyaning issiqlik effekti boshlang'ich va oxirgi moddalarning tabiati va holatiga bog'liq bo'lib, oraliq bosqichlar soni va xarakteriga bog'liq emas* ( $R = \text{const}$  yoki  $V = \text{const}$  da).

Gess qonunidan kelib chiqadigan birinchi xulosa quyidagicha ta'riflanadi: reaksiyaning issiqlik effekti, stexiometrik koeffitsiyentlarni e'tiborga olgan holda, reaksiya mahsulotlari hosil bo'lish issiqliklari miqdoridan reaksiyaga kirishayotgan moddalar hosil bo'lish issiqliklari miqdorining ayirmasiga teng.

Ikkinchi xulosa esa quyidagicha ta'riflanadi: organik moddalar o'rtasida kechadigan reaksiyalar issiqlik effekti reaksiya mahsulotlari yonish issiqliklari miqdoridan reaksiyaga kirishayotgan moddalar yonish issiqligining ayirmasiga teng.

Issiqlik effekti reaksiyada qatnashayotgan moddalar massasiga proporsional bo'ladi. Bu esa massa energiya saqlanish qonunining ifodasidir.

**Bertlo prinsipi.** Barcha mumkin bo'lgan reaksiyalar sistemasida eng katta ekzotermik effekt bilan kechadigan reaksiyalar imtiyozga egadir, degan fikrni Yu. Tomsen (1854) va M. Bertlo (1867) aytishgan. Issiqlik va ishni tenglashtiradigan Bertlo prinsipi eng katta ish prinsipi, deb nom olgan. Ko'p hollarda Bertlo prinsipi haqiqatan ham tajribada tasdiqlanadi. Masalan, uglerodning gelogenidlari hosil bo'lishida:



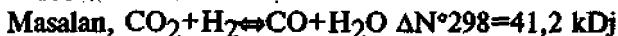
ta'sirlashishdagi ekzotermiklik endotermiklikka o'tadi va galogenidlarning termik mustahkamligi hamda bu jarayonlarning aktivligiga mos tushadi. Ya'ni  $\text{CJ}_4$  ni  $\text{J}_2$  va  $\text{C}_2\text{J}_4$  ga  $170^{\circ}\text{C}$  da parchalash mumkin, to'la parchalash uchun esa  $1700^{\circ}\text{C}$  harorat zarur.

To'rttorli uglerod esa 3000°C gacha parchalanmaydi. Yana misol, nitroglitserinning ekzotermik parchalanishi:



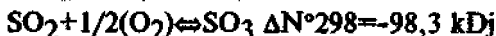
Bu jarayon portlash xarakteriga ega bo'lib, issiqlik chiqishi ( $\Delta N^{\circ}298 = -1427$  kDj) bilan boradi va katta hajmda gazlar hosil bo'ladi. Qaytar endotermik jarayonni hech ganday bosim va temperaturada amalga oshirib bo'lmaydi. Bu kimyoviy qaytmaslikning asosiy belgisidir.

Biroq qaytmas reaksiyalar qatori qaytar reaksiyalar ham sanoqsizdir. Bunday reaksiyalarni Bertlo prinsipi bo'yichatushunib bo'lmaydi. Ular ma'lum bir harorat va bosimda bir tomonga, boshqa harorat va bosimda teskari tomonga siljitydi. Bu ikki tomonga ham oxirigacha yetmaydi. Bunday holat kimyoviy muvozanat deb nom oldi.



Ko'rilayotgan bu sistemada moddalarning umumiy miqdori doimo bir xil bo'lsa,  $CO_2$  va  $H_2$  ning aktiv molekullari kamayib,  $SO$  va  $H_2O$  niki ko'payib, jarayon ma'lum paytda to'xtaganday bo'ladi, ya'ni reaksiya teskari harakatlanadi va dinamik muvozanat yuzaga keladi.

Haqiqiyfari qatori soxta yoki «muzlagan» muvozanatlar mavjud:



Bu jarayonlar odatdagi sharoitda sodir bo'lishi kerak edi. Ammo bu holat sodir bo'lmaydi. Agar katalizator ishlatilsa reaksiya sodir bo'ladi va muvozanat tiklanadi.

Yuqorida keltirilgan misollardan ko'rinadiki, reaksiya kyechishida issiqlik effekti uning miqdoriy kriteriysi bo'lmas ekan.

Kimyoviy muvozanat haqida keyinroq to'la ma'lumot beriladi.

Reaksiyada qatnashayotgan zarrachalar doimo tartibsiz harakatda bo'ladi. Bunday tartibsizlik holati darajasi *entropiya* deb ataladi.

Yuqoridagi muvozanatdagi sistemada komponentlar konsentratsiyalari (miqdorlari) teng bo'lib,  $C_{CO_2} = C_{CH_2} = C_{SO} = C_{H_2O} = 1$  kmol/m<sup>3</sup> bo'lsa, tartibsiz harakatlanayotgan barcha  $CO_2$  molekullari  $H_2$  ning har bir molekullari bilan va o'zaro  $H_2$  ning har bir molekullari  $CO_2$  molekullari bilan va o'zaro, shunga o'xshash  $SO$  va

H<sub>2</sub>O molekulari ham bir marotabadan to'qnashishi W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>, W<sub>4</sub> bo'lsa, W<sub>1,2</sub>=βco2βH<sub>2</sub>, W<sub>3,4</sub>=βco βN.0 ko'rinishida ifodalanadi.

Entropiya tenglama (qiymati) quyidagicha ifodalanadi:

$$S=R \ln \beta \quad (1.44)$$

Bunda, β – zarrachalarning umumiy to'qnashishlar soni, R – gazlar doimiysi. Entropiya Dj/(mol\_K) da yoki E.B. (elektr birligi)da o'lchanadi. Tartibsiz harakatni xarakterlash uchun holat nisbiyligi (W) qabul qilingan. Uni zarrachalarining to'qnashmay yonchilab o'tish holati deb tushuniladi.

Moddaning holat nisbiyligi bilan entropiyani A.Bolsman formulasi bog'laydi:

$$K \ln W=S \quad (1.45)$$

Bunda: K – Bolsman doimiyligi, W – holat nisbiyligi.

Entropiya zarralar to'g'ri harakatiga javob beradi. Ammo molekulada atomlar tebranma harakatda, molekular aylanma harakat qilishi mumkin. Shuning uchun to'la entropiya quyidagicha bo'ladi:

$$Sto'la=Stut + Stebr + Sayl \quad (1.46)$$

Ya'ni har bir modda agregat holatiga muvofiq entropiya qiymatiga ega bo'ladi. Tartibliroq holat kristallarda bo'lib, eng kam (kichik) entropiya qiymatiga ega. Suyuq va bug' (gaz) holatida modda yuqori entropiyaga ega bo'ladi. Masalan, 1 mol muz entropiyasi 0°S da 47,95 e.b. (elektr birligi), 25 °S da suvni 69,96 e.b., suv bug'iniki esa 25°S da 188,74 e.b. bo'ladi.

Entropiya kaos o'lchami bo'lib, faqatgina harakat bilan emas, balki modda zarrachalari soni, ular massasi va o'zaro joylashishi bilan ham bog'liq. Masalan, 1 mol gaz holdagi ikki atomlar fosfor (P<sub>2</sub>) 218,4 e.b. entropiyaga, to'rt atomli fosfor (P<sub>4</sub>) esa 279,9 e.b. entropiyaga ega. Entropiya manfiy bo'lmaydi.

$$RT \ln K=\Delta YE \cdot TR \Delta \ln \beta_1 \quad (1.47)$$

tenglamada R Δlnβ<sub>1</sub> – muvozanatda qatnashayotgan moddalar entropiyalari algebraik yig'indisi (ΔYE – to'g'ri va teskari reaksiya aktivlanish energiyasi) bo'lib, entropiya o'zgarishi deyiladi va ΔS° bilan ifodalanadi, ya'ni:

$$\Delta S^\circ=(S^\circ_{H_2O}+S^\circ_{CO})-(S^\circ_{CO_2}+S^\circ_{H_2})=188,7+197,4- \\ -(213,6+130,5)=42,0 \text{ e.b.}$$

**Gibbs energiyasi.** Yuqorida ko'rsatilganlarni e'tiborga olib (1.47), tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$-R \ln K = \Delta N^\circ - T\Delta S^\circ \quad (1.48)$$

Tenglamaning chap tomoni  $RT \ln K$  energiya ( $D_j/\text{mol}$ ) o'lchamiga ega va sistemaning ta'sirlashuvchi moddalar muvozanat konsentratsiyalariga javob beradigan energetik darajasini xarakterlaydi.

Sistema energiyasi o'zgarishi yoki ishi (erkin konsentratsiyadan muvozanatga o'tishda):

$$\Delta G^\circ T = RT \ln K_c \quad (1.49)$$

Bu qiymatni (1.48) tenglamaga solishtirib,  $\Delta N^\circ$  va  $\Delta S^\circ$  ning haroratga bog'liqlik shartini kiritsak:

$$\Delta G^\circ T = \Delta N^\circ - T\Delta S^\circ T \quad (1.50)$$

yoki

$$\Delta G^\circ T = \Delta N^\circ 298 - T\Delta S^\circ 298 = -RT \ln K_c.$$

Bu tenglik termodinamikaning asosiy tenglamasi deyiladi va massalar ta'siri qonuni ( $K$ ), reaksiya issiqlik effekti ( $\Delta S^\circ 298$ ) va harorat ( $T$ ) ni ish kattaligi  $\Delta G^\circ T$  bilan o'zaro bog'laydi.

Kattalik  $G$  bosim o'zgarmas bo'lgan sharoitda kimyoviy reaksiya ish bajarganda energiya darajasini xarakterlaydi va bu kattalik Gibbs energiyasi deyiladi.

O'zgarmas bosimdagi jarayonlar sistema izobar potensialining o'zgarishi bilan amalga oshadi. Bu o'zgarish  $\Delta G$  bilan belgilanadi (1.50) tenglama. Agar biror jarayon borishi mumkin bo'lsa, unda  $\Delta G$  ning o'zgarishi noldan kichik bo'ladi ( $\Delta G < 0$ ) va jarayon o'z-o'zidan borishi mumkin. Ayni sharoitda borishi mumkin bo'lmagan jarayonlar uchun  $G > 0$  dir. (1.50) — tenglama bo'yicha  $\Delta N$  sistemaning tartibsizlik darajasini kamaytirishga,  $T\Delta S$  esa tartibsizlik darajasini oshirishga intiladi.  $G=0$  bo'lganda entalpiya faktori uning entropiya faktoriga to'g'ri keladi:

$$\Delta N = T\Delta S$$

Bunda:  $\Delta N$  va  $T \Delta S$  jarayonga ijobiy ta'sir etadi,  $\Delta N < 0$  va  $\Delta S < 0$  bo'lishi kerak yoki  $\Delta N$  katta manfiy qiymatga ega bo'ladi; yoki  $\Delta N > 0$  bo'lib, entropiya undan ancha yuqori qiymatga ega bo'lishi mumkin.

Sistema o'z energiya zaxirasini kamaytirishga intiladi. Bunday holda  $\Delta N < 0$  bo'ladi. Agar modda bir holatdan ikkinchi holatga o'tganida uning energiya zaxirasi o'zgarmasa, ya'ni  $\Delta N = 0$  bo'lsa,

unda jarayon entropiya o'zgarishiga bog'liq bo'ladi va u entropiya  $\Delta S > 0$  tomonga yo'naladi. Agar tartibsizlik darajasi o'zgarmasa —  $\Delta S = 0$  bo'lsa, jarayon yo'nalishi entalpiya kamayishi —  $\Delta N < 0$  tomon boradi. Kimyoviy jarayonda ham  $\Delta N$ , ham  $\Delta S$  o'zgarishi mumkin.

Bunday hollarda o'zgarmas bosimda jarayonlar sistemaning izobar potentsiali o'zgarishi bilan amalga oshadi.

Termodinamik ikkinchi qonuni birinchisidan —  $Q = \Delta U + A$ , ya'ni energiyaning saqlanish qonunidan kelib chiqadi va energiyaning bir ko'rinishidan ikkinchi ko'rinishga o'tish mazmunini ochib beradi.

Karno teoremasi bo'yichama'lum harorat oralig'ida Karno mashinasi foydali ish koeffitsiyentidan ( $F.i.k. = \eta$ ) yuqori f.i.k. ga ega mashina bo'lmaydi. Karno siklini eslaymiz.

Karno qaytar sikli: izotermik kengayish (ishchi jism  $T_1$  haroratli issiqlik beruvchidan issiqlik  $Q_1$  ni oladi), adiabatik kengayish, izotermik siqilish (ishchi jism  $T_2$  haroratli issiqlik oluvchiga bir qism issiqlik  $Q_2$  ni beradi) va adiabatik siqilish.

Bu Karno to'g'ri (issiq) sikli —  $A = Q_1 - Q_2$  teskari sikl (sovutish) da esa  $Q_1 = Q_2 + A$ .

Karno-Klauzius teoremasi: qaytar sikl bo'yichaish bajarishda mashina foydali ish koeffitsiyenti ishchi jism tabiatiga bog'liq emas, balki ish bajarilishidagi haroratlar o'zgarishi bilan belgilanadi.

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \varphi(T_1, T_2) = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (1.51)$$

$\eta = 1 - (T_2/T_1)$  da  $T_2 = 0$  bo'lsa, ya'ni harorat (Issiqlik) to'la ishga aylansa,  $\eta = 1$  bo'ladi. Bu esa amalda mumkin emas. Chunki ish bajarayotgan issiqlik atrof-muhitga, Karno siklidagi ishlarga va boshqa qaytmas jarayonlarga sarf bo'ladi. Har ganday energiya issiqlikka o'tishga harakat qiladi. Issiqlik harorati yuqori jismdan harorati past jisimga o'tishi qaytmasdir.

Himoyalangan sistemada qaytar jarayonlarda entropiya o'zgarmaydi, qaytmas jarayonlarda esa (o'sadi) ko'tariladi.

Entropiya empirik harorat emas, absolyut harorat bilan bog'liq. Himoyalangan sistemada esa qaytar va qaytmas jarayonlar entropiya kamayishi bilan borishi mumkin.

Termodinamikaning ikkinchi qonunini shunday ifodalash mumkin: ma'lum bir energiya manbaiga tayanib abadiy ishlaydigan dvigatel yaratib bo'lmaydi.

Uning mazmunini quyidagicha tushunish mumkin: Issiqlik yoki boshqa energiyani faqatgina ish bajarishga yoki shu issiqlik yoki energiyani to'la qaytarishga sarflaydigan mashina yaratib bo'lmaydi, ya'ni yopiq izotermik jarayonda ish bajarib sarflaydigan mashina yaratib bo'lmaydi. Bu degani yopiq izotermik jarayonda ish bajarib bo'lmaydi.

Entropiya jarayonning qaytmasligi, ya'ni energiya degidratsiyasi o'lchovi bo'lib, termodinamika ikkinchi qonuni masalalarini yyechishda matematik funksiya sifatida qatnashadi.

Termodinamikaning uchinchi qonuni esa harorat absolyut nolga tomon pasayganda, ya'ni entropiyaning absolyut nol qiymatga intilganda kechadigan jarayonlar mazmunini ochib beradi. (1.47—1.49) tenglamalarda:

$$\Delta Z^{\circ} = -RT \ln K_a = -4,575 T \ln K_a$$

Yuqoridagi tenglama kimyoviy termodinamikaning muhim tenglamasi bo'lib, kimyoviy reaksiya izotermasi deyiladi.

Issiqlik qonuni Bertlo prinsipi adolat ekanligini tasdiqlab, harorat absolyut nol yaqinida faqatgina ekzotermik jarayon amalga oshishi mumkinligini ko'rsatadi. Bu holda reaksiya issiqlik effekti va unga muvofiq izobar potensialining o'zgarishi haroratga bog'liq bo'lmay qoladi. Bu esa issiqlik sig'imi va entropiya bunday sistemada o'zgarmas bo'lishini ko'rsatadi.

$$\text{Jim} \Delta S_r = 0$$

$T \rightarrow 0$  esa absolyut harorat —  $T$  nolga yaqin bo'l-ganda kondensatsiyalangan issiqlik sig'imi reaksiya jarayonida o'zgarmasligini bildiradi.

$$\text{Jim} \Delta S_r = 0$$

$T \rightarrow 0$  esa absolyut harorat nolga yaqinlashganda kondensatsiyalangan faza molyar entropiyasi uni tashkil etgan atomlar entropiyasidan additiv holda tashkil topadi.

Boshgacha qilib aytganda, kondensatsiyalangan sistemada absolyut nol yoki unga yaqin haroratda jarayon entropiya

o'zgarishdan kechadi. Shu sababli,  $T=0$  da adiabat va izoterma o'zaro mos tushadi. Yqoridagilar  $\Delta S = \int \Delta C_p \frac{dT}{T}$  mazmunidan kelib chiqqan.

Masalan, absolyut harorat  $T=0$  bo'lsa, sovutilgan osh tuzi lonlari kristall panjarada o'z o'rinlarini egallab, termodinamik kattaqligi juda kamayadi. Termodinamik mavjudligi minimal qiymatga, ya'ni 1 ga yetadi. Absolyut nolga ideal kristall holatida entropiya nolga intiladi. Bosimning haddan tashqari yuqori bo'lishi ham (ya'ni) entropiyaga shunday ta'sir etadi.

Ayrim tadqiqotchilar bu holatning aniqligi kamroq, deb uqtiradilar. Chunki haddan tashqari katta bosimda modda atomlar tig'iz joylashadi, elektron qobiqlari o'zaro bir-birini qoplaydi va issiqlik ko'tarilishiga olib keladi, degan fikrni bildiradilar.

Aksincha, A.F. Kapustinskiy (1945 й.) fikricha, yangi postuladni ifoda qilish mumkin. U toza kristallik faza «nol hajm»gacha siqilsa, entropiya nolga yaqinlashadi, deydi, ya'ni:

$$\lim_{V \rightarrow 0} S = 0$$

Aniqlanishicha,  $T \rightarrow 0$  va  $R \rightarrow \infty$  da moddalar juda ko'p modifikatsiya o'zgarishlariga uchrar ekanlar, masalan, kamfora  $R=35000$  atm. gacha o'n bitta modifikatsiyani hosil qiladi.

Bu postulatlarni «termodinamikaning uchinchi qonuni»ni tashkil etadi va Plank postulati deb ataladi.

Termodinamikaning birinchi qonuni energiyani, ikkinchi qonuni absolyut temperatura va entropiyaning fundamental ko'rsatkichlarini aniqlash imkonini bersa, uchinchi qonun ulardan birining ahamiyatini cheklaydi.

Buning ma'nosini quyidagicha yozish mumkin:

$$\lim_{T \rightarrow 0} \frac{dZ}{dT} = \lim_{T \rightarrow 0} \left( \frac{dH}{dT} \right) = \lim_{T \rightarrow 0} \left( \frac{dP}{dT} \right)_V = \lim_{T \rightarrow 0} \left( \frac{dS}{dP} \right)_V = \lim_{T \rightarrow 0} \left( \frac{dV}{dT} \right)_P = 0 \quad (1.52)$$

Boshgacha aytganda,  $V=\text{const}$  bo'lganda jism haroratining absolyut nol atrofida o'zgarishi bosim o'zgarishiga,  $R=\text{sonst}$  da esa hajm o'zgarishiga sabab bo'lmaydi, ya'ni kengayish yoki siqilish ishini bajarmaydi.

Demak, kondensatsiyalangan fazaning ko'pgina xossalari (Z, N, O', U, Cp, Sv termik kengayish koeffitsiyenti, elektr o'tkazuvchanlik va boshqalar) harorat absolyut nol yaqinida haroratga bog'liqligini yo'qotadi.

Absolyut nolga yetish mumkin emas ( $0,0034^{\circ}\text{K}$  ga erishilgan), chunki  $T_2=0$  da ( $\eta=1-T_2/T_1$  dan)  $\eta=1$  bo'ladi, ya'ni  $Q=A$  bo'lishi kerak. Bu esa mumkin emas. Jismni absolyut nolgacha sovutish hisobiga ishlaydigan mashina yasab bo'lmaydi.

«Maksimal ish» prinsipiga ko'ra —  $T \rightarrow 0$  da har qanday jarayon ekzotermik bo'lgani uchun absolyut nolga yetib bo'lmaydi.

«Nol entropiya» kvarts shisha uchun  $S^{\circ}=0,9$  e.b.,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  uchun  $=2,6$  e.b., glitserin uchun  $=4,6$  e.b. va boshq. (noldan ancha yuqori).

### *Savollar va topshiriqlar*

1. Texnologiya so'zining ma'nosini tushuntirib bering.
2. Mexanik va kimyoviy texnologiyaning farqi nimada?
3. Kimyoviy texnologiya nazariy asoslari fani predmeti va ahamiyatini tushuntiring.
4. Insoniyat texnologiya bilan qaysi davrlardan boshlab shug'ullangan?
5. Texnologik jarayonlar nazariyasiga qaysi asrlarda asos solindi?
6. Kimyoviy texnologiyaning asosiy yo'nalishlarini tushuntiring.
7. Ishlab chiqarishni loyihalash va modellar (kimyoviy, fizik va matematik) bosqichlarini tushuntiring.
8. Jarayonlar, materiallar balansini tuzing.
9. Jarayonning energetik balansi qanday tuziladi?
10. Iqtisodiy samaradorlik nima va u qanday hisoblanadi?



## **II BOB. KIMYOVIY TEXNOLOGIYA JARAYONLARI ASOSLARI**

### **2.1. Kimyoviy jarayon haqida tushuncha**

Kimyoviy texnologiya kimyo ishlab chiqarish hunari bo'lib, fizik va kimyoviy hodisalarning birligidan iborat. Bu hodisalarning kompleksidan texnologik jarayon vujudga keladi. Kimyoviy texnologik jarayon quyidagi o'zaro bog'liq elementar jarayonlar (bosqichlar) yig'indisidan tashkil topadi:

1) o'zaro ta'sirlashuvchi komponent (tashkil etuvchi) larni reaksiya muhitiga (reaktorga) kiritish; 2) kimyoviy reaksiya; 3) mahsulotlarni reaksiya muhitidan (zonasidan) chiqarish.

Ta'sirlashuvchi komponentlarni reaksiya zonasiga kiritish — molekulyar diffuziya yoki konveksiya yordamida bajariladi. Kuchli (tez) aralashtirish qarish natijasida ta'sirlashuvchi moddalarda konvektiv o'tish turbulent diffuziya deb ham ataladi. Ikki yoki undan ortiq faza sistemalarda ta'sirlashuvchi moddalarni reaksiyaga kiritish qattiq moddalarni suyultirish yoki suyuqliklarda eritish, suyuqliklarni bug'latish yoki qattiq moddalarni haydash (havoga), gaz holdagi moddalarni desorbiylash yoki absorbiylash yo'li bilan bajarish mumkin. Fazaaro o'tish — bu murakkab diffuziya jarayonidan iborat.

*Kimyoviy reaksiya* — bu kimyoviy texnologik jarayonda ikkinchi bosqich hisoblanadi. Ta'sirlashuvchi sistemada, odatda bir necha ketma-ket, gohida parallel kimyoviy reaksiyalar sodir bo'ladi. Natijada asosiy mahsulot bilan birga qo'shimcha moddalar, ya'ni xom ashyoda bo'lgan qo'shimchalar bilan reaksiya uchun qo'klangan moddalar orasida ta'sirlashuv moddalari ham bo'lishi mumkin.

Natijada asosiy mahsulot bilan birga xalq xo'jaligida ishlatish ahamiyatiga ega bo'lgan yoki ahamiyatsiz chiqindilar hosil bo'lishi mumkin.

Ishlab chiqarish jarayonlarini tahlil qilishda barcha jarayon (reaksiya) emas, balki asosiy qiymatga ega bo'lgan mahsulot ishlab chiqarish jarayoni hisobga olinadi.

*Mahsulotlarni reaksiya zonasidan chiqarish* — diffuziya, konvektsiya yoki moddalarni bir fazadan (gaz, suyuq, qattiq) boshqa fazaga o'tkazish yo'li bilan bajariladi.

Texnologik jarayon tezligi ana shu uchta jarayonning eng sekin ketayotgani bilan belgilanadi.

Agar kimyoviy reaksiya jarayoni juda sekin kechsa, u umumiy tezlikni belgilaydi, bunda jarayon kinetik muhitda (sharoitda) kechadi. Bunda texnologlar moddalar konsentratsiyasini, haroratni o'zgartirish, katalizator ishlatish va boshqa reaksiya tezligini oshiruvchi omillardan foydalanadilar.

Agar jarayonning umumiy tezligini komponentlarni reaksiyaga kiritish yoki mahsulotni chiqarish jarayonlari belgilasa, demak, jarayon diffuziya muhitida (sharoitida) ketadi. Bu holatlarda diffuziya tezligini oshirishga harakat qilinadi, ya'ni qorishtirish-aralastirish tezligi oshiriladi, konsentratsiya va harorat oshiriladi yoki fazalar kamaytiriladi.

Agar jarayonning barcha elementlari tezligi o'zaro yaqin bo'lsa, konsentratsiya, harorat (gohida bosim ham), aralastirish tezligi o'zgartirilib, kinetik va diffuziya jarayonlarini tezlatishga harakat qilinadi.

Kimyoviy texnologiyaning asosiy qonuniyatlarini bilish o'tkaziladigan jarayonlar uchun eng samarali sharoit yaratishga, mahsuldorlikni oshirish va mahsulot sifatini yaxshilash, jarayonni intensivlash, uni tahlil qilish va yangi texnologiyalar yaratishda texnologga yordam beradi.

## **2.2. Kimyoviy texnologik jarayonlar sinflari**

Kimyoviy texnologiya jarayonlarida kimyoviy reaksiyalar asosiy o'rin tutadi va kimyoviy, fizik-kimyoviy va fizik o'zgarishlar sodir bo'ladi.

Kimyo-texnologik jarayonlarni sinflashda kimyoviy reaksiyalar oddiy, murakkab-parallel va murakkab ketma-ket sodir bo'lishi hisobga olinadi. Bunda reaksiyalar oksidlanish — qaytarilish (gomoitik) va kislotaga — asosli (geterolitik) bo'lishi, qaytar va qaytmas bo'lishi e'tiborga olinadi.

Kinetik va diffuziya sharoitida o'tadigan jarayonlar chegaralanishi zarur. Ayniqsa, gaz yoki suyuq aralashmalar qattiq moddalarning g'ovak yuzalari bilan ta'sirlashishida, ya'ni geterogen sistemalarni sinflashda qiyinchilik tug'iladi. Bunday jarayonlarda limitlovchi jarayon bosqichiga bog'liq ravishda quyidagi muhit chegara-

larini kuzatish mumkin: tashqi diffuziya, tashqidan ichki diffuziyaga o'tish, ichki diffuziya (qattiq moddalar g'ovaklarida), ichki — o'tuvchi va kinetik. Bu chegaralar, ayniqsa, geterogen-katalitik jarayonlarda muhim ahamiyat kasb etadi.

Agar jarayon mexanizmi murakkab bo'lsa, uning u yoki bu sinfga mansubligini matematik modellash yo'li bilan aniqlash mumkin.

Texnologik jarayonlarni optimallashtirish uchun texnologik tartib (rejim) katta ahamiyatga ega.

Texnologik tartib (rejim) deb, barcha omillar (parametrlar)ning birgalikda jarayon tezligiga, mahsulot hosil bo'lishiga va sifatiga ta'siri aytiladi. Unga ta'sir etadigan asosiy omillar harorat, konsentratsiya, bosim, katalizator va uning aktivligi, reagentlarni qorishtirish usuli va darajasidir.

Kimyoviy texnologiyaning umumiy qonunlarini o'rganishda reaktorlarni jarayonlarga qarab tanlash, ya'ni, ayniqsa, agregat (fazaviy) holatlariga bog'liqligi o'rganiladi.

Agregat holatlariga qarab ta'sirlashuvchi sistemalar bir fazali gomogen va ko'p fazali geterogen jarayonlarga bo'linadi.

Gomogen sistemalarda ta'sirlashuvchi komponentlar bir fazali, ya'ni qattiq (q), suyuq (s) yoki gaz (g) holatida bo'ladi. Bunday sistemalarda reaksiya jarayoni tezroq ketadi va ancha qulay. Shu sababli, ko'pincha qattiq komponentlar suyultiriladi yoki eritiladi, gazlar esa absorbinlanadi yoki kondensatsiyalanadi.

Geterogen sistemalarda esa ikki yoki undan ortiq fazalar mavjud bo'ladi:

a) ikki fazali — gaz-suyuq, gaz-qattiq, suyuq-suyuq (o'zaro aralashmaydigan), suyuq-qattiq, qattiq-qattiq;

b) ko'p fazali sistemalar ham amalda ishlab chiqarishda uchraydi, masalan, G-S-Q, G-Q-Q, S-Q-Q, G-S-Q-Q va hokazo. Jarayonlar G-Q, G-S, S-Q fazalar chegarasida ketishi ham mumkin.

Kimyoviy jarayonlar katalitik va nokatalitik, past va yuqori haroratiga bo'linadi. Vakuum ostida, atmosfera bosimida va yuqori bosimda past yoki yuqori konsentratsiyada o'tkaziladigan jarayonlar mavjud.

Jarayon ketishiga bog'liq ravishda davriy va uzluksiz bo'ladi hamda mos ravishda uzluksiz ishlaydigan reaktorlarni oqimli (potokli) deyiladi va ularda ta'sirlashuvchi moddalar uzluksiz o'tib turadi.

Gidrodinamik tartib (rejim) bo'yicha ham:

- To'la qorishtiruvchi reaktorlar;
- ideal siqib chigaruvchi reaktorlar;
- qarama-qarshi oqimli reaktorlar bo'ladi.

To'la qorishtiruvchi tartibda turbullash shunday kuchliki, uzluksiz reaktorlarda ham reaktorning har bir nuqtasida, butun hajmida reagentlar konsentratsiyasi bir xil bo'ladi.

Ideal siqib chigaruvchi reaktorlarda esa boshlang'ich moddalar mahsulot bilan qorishmaydi, bilaks laminar oqim bilan reaktordan o'tadi.

Qarama-qarshi oqimli reaktorlarda esa boshlang'ich xom ashyo hosil bo'layotgan mahsulotga qarama-qarshi yuradi (absorbsiya va boshq.).

Bu reaktorlarda aralashish darajasi birinchi turdagilardan kam, ikkinchi turdagilardan ko'proq bo'ladi.

Harorat tartibi (rejimi)ga qarab uzluksiz reaktorlar izotermik, adiabatik va politermik sinflarga bo'linadi.

Izotermik reaktorlarda butun reaksiyon hajmida harorat bir xil bo'ladi. Bunday jarayonlar to'la qorishtiruvchi reaktorlarda yoki issiqlik effekti kichik va konsentratsiyasi past reaksiyalarda bo'ladi (ya'ni gazlarni zararli moddalardan tozalash va boshq.).

Adiabatik reaktorlarda issiqlik berilmaydi ham, olinmaydi ham, u ta'sirlashuvchi moddalarga singiydi (akkumulyatsiyalanadi). Ideal adiabatik tartib tashqi muhitdan to'la himoyalangan ideal siqib chigaruvchi reaktorlarda bo'lishi mumkin. Bunda reaktor o'qi bo'yicha oqim harorati modda hosil bo'lishi darajasiga to'g'ri yoki teskari proporsional bo'ladi.

Politermik reaktorlarda bir qism issiqlik reaksiya zonasidan chigariladi yoki u yerga beriladi. Bunday holatda reaktorning bo'yi yoki balandligi bo'yishaharorat har xil bo'ladi.

Reaksiyalar issiqlik effekti qarang ikkiga — ekzo va endotermik jarayonlarga bo'linadi, ya'ni issiqlik chigaradigan va yutiladigan.

Geterojen sistemalarda jarayonlar to'g'ri, qarama-qarshi va chorraha oqimlarga sinflanadi.

Reaksiyalar tartibiga ko'ra sinflanadi, ya'ni bir, ikki, uch va poli bo'ladi. Masalan, reaksiya tezligi  $W = K C_A^n C_B^m$  dagi konsentratsiya ko'rsatkichlari ( $n+m+\dots$ ) yig'indisi reaksiya tartibini (ya'ni  $n+m=R$  tartibli) belgilaydi. Agar A modda me'yorida oshiq berilsa, bunda reaksiya tartibi  $V_m$  ga bog'liq bo'ladi va n ga kamayadi.  $W = K^1 C_B^m$  bo'ladi, bunda  $K^1 = k C_A^n$ .

Yuqoridagi jarayonlar sinfiga bog'liq ravishda reaktorning tuzilishi loyihalasadi.

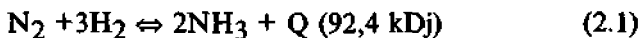
Kimyoviy texnologiya kursida o'rganiladigan soha bu kimyoviy muvozanat va kimyoviy texnologiya jarayonlari tezligidir. Muvozanat va jarayon tezligini boshqaradigan qonuniyatlar gomogen hamda geterogen sistemalardan o'zaro katta farq qiladi.

### 2.3. Texnologik jarayonlarda muvozanat

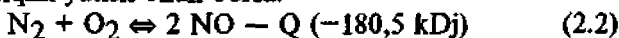
Kimyoviy reaksiyalar qaytar va qaytmas bo'ladi. Ishlab chiqarish jarayonlarida ko'pincha qaytar reaksiyalar uchraydi. Dinamik muvozanat to'g'ri va teskari reaksiyalar tezligi tenglashgach sodir bo'ladi. Sistemaning konsentratsiyasi, harorati yoki bosimi o'zgartirilguncha sistemadagi ta'sirlashuvchi komponentlar miqdorlarining o'zaro nisbati o'zgarishsiz bo'ladi.

Le-Shatelye prinsipiga asosan *muvozanatdagi sistemada muvozanat omillaridan biri (konsentratsiya, harorat yoki bosim) o'zgartirilsa, muvozanat shu ta'sirni susaytirish tomonga siljiydi.*

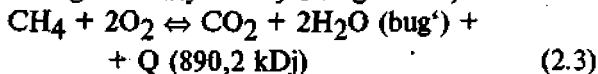
Masalan, qaytar reaksiya issiqlik ajralib chiqishi bilan borsa (ekzotermik):



reaksiyani o'ng tomonga siljitish uchun sistemani sovutish kerak. Agar reaksiya issiqlik yutish bilan borsa:



haroratni oshirish, ya'ni sistemaga issiqlik berish zarur. Agar reaksiya hajm kamayishi bilan borsa (2.1 va 2.2), bosimni oshirish reaksiyani o'ngga siljitadi. Agar reaksiyada hajm o'zgarmasa, masalan:



bo'lsa, bosim muvozanatga ta'sir etmaydi.

Qaytar jarayonlarda reaksiyani oxiriga yetkazish, ya'ni mahsuldorligini oshirish uchun reaktorga kirayotgan moddalardan birining konsentratsiyasi oshirib boriladi yoki reaksiya mahsuloti sistemadan uzluksiz chigarib turiladi.

**Muvozanat konstantasi.** Dinamik (harakatdagi) muvozanatdagi sistema muvozanat konstantasi  $K$  bilan xarakterlanadi (tavsiflanadi). U miqdoriy jihatdan to'g'ri va teskari reaksiyalar tezlik konstantalari bilan aniqlanadi:



Reaksiya uchun to'g'ri reaksiya tezligi:

$$\begin{aligned} &\rightarrow \\ W_1 &= k_1 \cdot [A]^n [B]^m \end{aligned} \quad (2.5)$$

Teskari reaksiya tezligi esa:

$$\begin{aligned} &\leftarrow \\ W_2 &= k_2 [D]^p [F]^q \end{aligned} \quad (2.6)$$

bo'ladi. Bunda  $k_1$  va  $k_2$  — to'g'ri va teskari reaksiyalar tezlik konstantalari,  $[A]$ ,  $[B]$ ,  $[D]$  va  $[F]$  lar esa A, V, D, F moddalar konsentratsiyalari.

Sistema muvozanat holatida  $W_1$  q  $W_2$ , ya'ni:

$$k_1 \cdot [A]^n [B]^m = k_2 [D]^p [F]^q \quad (2.7)$$

bo'ladi.

Bu holda muvozanat konstantasi:

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[A]^n [B]^m}{[D]^p [F]^q} \quad (2.8)$$

Gazlar o'rtasida boradigan reaksiyalarda moddalar konsentratsiyasi o'rniga ularning parsial bosimlarini ishlatish (quyish) mumkin ( $K=K_p$ ):

$$K_p = \frac{pD^p pF^q}{p \cdot A^n pB^m} \quad (2.9)$$

Bunda:  $pA$ ,  $pB$ ,  $pD$ ,  $pF$  lar muvofiq ravishda A, V, D va F газларнинг parsial bosimlari. Bu sistemada muvozanat konstantasi qiymati doimiy bo'lib, aralashma bosimi va komponentlar parsial bosimlariga bog'liq bo'lmay, balki harorat o'zgarishiga bog'liq bo'ladi.

Muvozanat konstantasining, o'zgarmas bosimda, haroratga bog'liqligi Vant-Goffning izobaralar tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad (2.10)$$

Bunda:  $T$  — harorat,  $\Delta H$  — o'zgarmas bosimda reaksiya issiqlik effekti,  $R$  — gazlar doimiyligi.

$\Delta N$  haroratga bog'liq bo'lmagan, ya'ni harorati  $T_1$  da  $T_2$  intervalida juda kichik darajada o'zgarsa, Vant-Goff tenglamasining integral shaklida ko'rinishi:

$$\lg K_p = \frac{\Delta H}{2,3R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (2.11)$$

bo'ladi.

Ammo  $\Delta H$  haroratga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun harorat o'zgarishi katta bo'lsa quyidagi empirik tenglama qo'llanadi:

$$\lg K_p \frac{\Delta H}{2,3RT} + a_1 \lg T + a_2 T + a_3 T^2 \pm K \quad (2.12)$$

yoki

$$\lg K_p = \frac{q_p^\circ}{2,3RT} \pm \frac{\Delta a_0}{R} \lg T \pm \frac{\Delta a_1}{4,6R} T \pm \frac{\Delta a_2}{13,6R} T^2 \pm K_1 \quad (2.13)$$

Bunda:  $a_0, a_1, a_2$  lar Nernst issiqlik tenglamasidagi koeffitsiyentlar, turli reaksiyalar uchun «So'rovnoma» larda keltirilgan.

Amalda hisoblashlarda ko'pincha (2.29) tenglamaga yaqinlashtirilgan:

$$\lg K_p = \frac{\Delta H}{2,3BT} \pm K_1 = +A/T \pm K \quad (2.14)$$

tenglamadan foydalaniladi, Bunda: ekzotermik reaksiyalarda (+), endotermikda esa (-) qiymatga ega bo'ladi.

Demak, geterogen jarayonlardagi muvozanat mahsuldorlikni belgilaydi va u harorat, bosim va konsentratsiyaga bog'liq bo'ladi.

Odatda, muvozanat konsentratsiyalar ko'pincha noma'lum bo'lib, uni «So'rovnoma»lardagi muvozanat konstantasi «K» orqali ishlab chiqiladi yoki tajriba o'tkazish orqali «K» mahsulot chiqishi bilan ifodalanadi.

$A=V \leftrightarrow D$  (2.13) reaksiya uchun tenglama tuzishni ko'rib chiqamiz.

Mahsulot D ni mahsulot chiqish (miqdori) Xr bilan belgilaymiz.

A, V va D moddalarni esa ularning muvozanatdagi gaz aralashmalari parsial bosimlari –  $R_{ax}$ ,  $R_{vx}$  va  $R_{dx}$  bilan belgilaymiz.

Muvozanat holatda reaksiyaga kiritilgan moddalarni stexiometrik nisbatlarida toza gaz aralashmasida umumiy bosimni:

$$R = R_{ax} + R_{vx} + R_{dx} \quad (2.15)$$

holida yozish mumkin.

Mahsulotning muvozanat chiqishi:

$$X_p = G_d/GM = Pdx / P \quad (2.16)$$

Bunda  $G_d$  – mahsulotning amaldagi – haqiqiy miqdori;  $G_m$  – mahsulotning maksimal miqdori.

$$\frac{P_a^x}{P} + \frac{P_p^x}{P} = 1 - X \quad \text{va} \quad \frac{P_a^x}{P} = \frac{P_p^x}{P} = \frac{1 - X_p}{2} \quad (2.17)$$

Muvozanat konstantasi:

$$K = \frac{P_a^x}{P_a^x \cdot P_p^x} \quad (2.18)$$

(2.18) tenglamaga (2.16) va (2.17) tenglamalardagi qiymatlarni qo‘ysak:

$$K = \frac{X_p P}{\left(\frac{1 - X_p}{2}\right)^2 P^2} = \frac{4X_p}{(1 - X_p)^2 P} \quad (2.19)$$

bo‘ladi.

AQVQD modeli holatda yoziladigan reaksiya uchun, masalan, azot ikki oksid dimerini azot (IV) oksidgacha oksidlanishini quyidagicha yozish mumkin:

$$K = \frac{(P_a^x)^2}{P_a^x P_p^x} = \frac{4X_p^2}{(1 - X_p)^2} \quad (2.20)$$

Bunda (2.19) tenglama bo‘yicha mahsulot chiqishi bosim oshishi bilan (2.20) holatda esa bosimga bog‘liq emas.

Bu tenglamalar ideal gazlar yoki ta’sirlashuvchi moddalar nisbati sistemalardagi oddiy reaksiyalar uchun maqbul stexiometrik miqdorda va juda suyultirilgan.

Amaliy sharoitga o‘tishda ta’sirlashuvchi moddalar aktivligi va uchuvchanligini e’tiborga olish kerak.

Stexiometrik koeffitsiyentlarni aniqlashda jarayonning asl mexanizm mohiyatini bilish zarur.

Masalan:



reaksiya uchun

$$\bar{U} = K_1 C_{NO}^2 \cdot C_{O_2} \quad (2.22)$$

yozish mumkin.



Bunda muvozanat konstantasi:

$$K = \frac{[C_{NO_2}]^2}{[C_{NO}]^2 [C_{O_2}]} \quad (2.23)$$

bo'ladi.

Aslida esa jarayon ikki bosqichli bo'lib, ketma-ket sodir bo'ladi:



Ularning har biri ikkinchi tartibdagi tezlik tenglamasi bilan ifodalanadi. Umumiy tezlik ham shu tenglama bilan ifodalanadi.

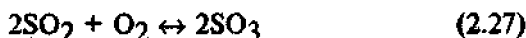
Ishlab chiqarish sharoitida (sanoatda) esa jarayonning umumiy tezligi (2.7) reaksiya muvozanat konstantasi kichik qiymatlari bilan limitlanadi.

Demak, jarayonning muvozanati (2.23) tenglamasi bilan belgilanadi (hisoblanadi):

$$K = \frac{[C_{N_2O_2}]}{[C_{NO}]^2} \quad (2.26)$$

Katalitik jarayonlar uchun reaksiya tartibi kimyoviy tenglamasi molyarligidan deyarli doimo kichik bo'ladi.

Masalan:



Reaksiya tartibi nokatalitik oksidlanishda  $n=3$ , temir oksid katalizator ishtirokida  $n=2.5$ , vanadiy katalizator ishtirokida  $n=1.8$  va platina ishtirokida  $n=1$ . Ammo katalizator muvozanat holatiga ta'sir etmaydi (ikki tomonga ham reaksiya tezlashadi), muvozanat konstantasi stexiometriyaga javob beradi va gomogen nokatalitik jarayonga mos keladi:

$$K = \frac{[C_{SO_3}]^2}{[C_{SO_2}]^2 [C_{O_2}]} \quad (2.28)$$

Reaksiya murakkab bo'lmasa va kimyoviy reaksiya koeffitsiyentlari reaksiya tartibiga mos kelsa reaksiya zonasiga kiritilayotgan komponentning biri ko'proq miqdorda olinadi va kinetik tenglamada uning konsentratsiyasi hisoblanmaydi, chunki sistemada uning ma'lum bir darajadagi miqdori doimiy saqlab turiladi. Mahsulot chiqishi ko'payadi.

$mA + nV \leftrightarrow pD$  modeldagi reaksiyada

$S \rightarrow I$  (mol miqdorda) reaksiya uchun:

$$\bar{U}_1 = k_1 C_1^m \quad \text{va} \quad \bar{U}_2 = k_2 C_2^n \quad (2.29)$$

Bunda: mos ravishda

$$K = k_1 / k_2 = (C_D)^p / (C_A)^m$$

$$K = \frac{[\text{CaCO}_3][\text{NaOH}]^2}{[\text{Ca}(\text{OH})_2]_2 [\text{Na}_2\text{CO}_3]} \quad (2.30)$$

Bu yo'l bilan muvozanat va tezlik konstantasi hisoblanadi, masalan, suv miqdori keragidan ortiq bo'lganda gidroliz, gidratatsiya va kristalogidratlar hosil bo'lishda qattiq-suyuq sistemalar uchun kinetik tenglamada barcha komponentlarni hisobga olish maqsadga muvofiq emas. Agar reaksiya suyuq fazada ketsa-yu, lekin komponentlardan biri kam eruvchan va suyuq hamda qattiq fazada bolsa, reaksiyaga sarf bo'lishi sari eriyveradi va suyuq fazadagi konsentratsiyasi deyarli o'zgarmas bo'ladi va uni hisobga olmaslik mumkin.

Misol:



Reaksiya 80°S haroratda me'yordan ortiq mayda zarrachali ohak suvi Ca(OH)<sub>2</sub> muhitida kechadi. Kaltsiy karbonat – CaCO<sub>3</sub> esa kam eruvchan bo'lib, natriy ishqori – NaOH eritmada 100-130 g/dm<sup>3</sup> ra yetguncha cho'kmaga tushaveradi. Formal kinetik tenglamani quyidagicha yozish kerak edi:

$$K = \frac{[\text{CaCO}_3][\text{NaOH}]^2}{[\text{Ca}(\text{OH})_2]_2 [\text{Na}_2\text{CO}_3]} \quad (2.32)$$

Ammo Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ( ) va NaOH (0→130 g/dm<sup>3</sup>) konsentratsiyalari katta darajada o'zgaradi va Ca(OH)<sub>2</sub> hamda CaCO<sub>3</sub> miqdorlari eritmada kam o'zgaradi, ya'ni:

$$K_2 = \frac{[\text{Ca}(\text{OH})_2]}{[\text{CaCO}_3]} = \text{const}$$

Muvozanat konstantasi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$K_1 = \frac{[\text{NaOH}]^2}{[\text{Na}_2\text{CO}_3]} \quad (2.33)$$

Gaz-qattiq sistemada ham «K» ni aniqlashda tenglamaga shunga o'xshash o'zgartirish kiritiladi.

**GYETEROGEN** jarayonlarda muvozanat mahsulot chiqishga bog'liq ravishda aniqlanadi va harorat, bosim hamda konsen-

tratsiyaga bog'liq bo'ladi. Kimyoviy reaksiya konstantasi har bir fazada (2.4-2.13) tenglamalar asosida hisoblanadi.

Fazolararo muvozanat esa moddalarning taqsimlanish qonuni va fazalar qoidasi asosida aniqlanadi.

**GIBBSNING FAZALAR QOIDASI.** Texnologik jarayonlar parametrlari (ko'rsatkichlari) o'zgarishi qaytar reaksiyalarning siljishiga sabab bo'ladi. Geterogen jarayonlarning kyechishida bog'liq bo'lmagan o'zgaruvchilar miqdori qanchaligi va fazalarni o'zgartirmagan holda qancha omilni (faktorni) o'zgartirishi mumkinligini (erkinlik darajasini) aniqlash kerak. Bu savolga fazalar qoidasi javob beradi. Bu qoida bo'yicha: tashqi (faktorlardan) omillardan faqatgina harorat va bosim ta'sir etadigan muvozanatdagi termodinamik sistema erkinlik darajasi miqdori sistemadagi komponentlar (tashkil etuvchilar) soni, ikki qo'shimchasi va fazalar soni ayirmasiga teng:

$$n = K + 2 - F \quad (2.34)$$

Bunda:  $n$  – erkinlik darajasi soni;  $\kappa$  – komponentlar soni;  $f$  – fazalar soni;  $2$  – o'zgaruvchi parametrlar (harorat va bosim). Masalan, ohak toshini kuydirishda endotermik geterogen reaksiya sodir bo'ladi:



Bu sistemada uchta faza – ikkita qattiq ( $\text{CaCO}_3$  va  $\text{CaO}$ ) va bitta gaz fazasi va ikki komponent bor. Fazalar qoidasi bo'yicha erkinlik darajasi soni quyidagicha bo'ladi:

$$n = 2 + 2 - 3 = 1$$

Sistema bitta erkinlik darajasiga ega bo'lib, fazalar sonini o'zgartirmay sistemaning biror parametrini ma'lum oraliqda (intervalda) o'zgartirishi mumkin.

Bu parametr haroratdir. Harorat darajasi o'zgarishiga  $\text{CO}_2$  ning ma'lum bosimi muvofiq keladi. Harorat ko'tarilishi bilan bosim oshib boradi va muvozanat chapdan o'ngga siljiydi.

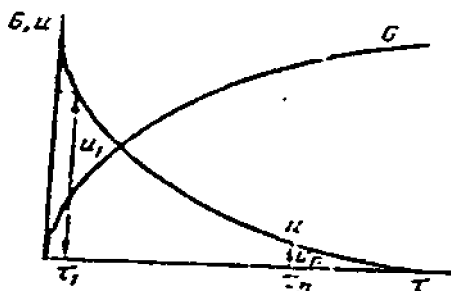
Sistemalarning holat diagrammalari haqida fizik-kimyo fani ma'lumot beradi.

## 2.4. Texnologik jarayonlar tezligi

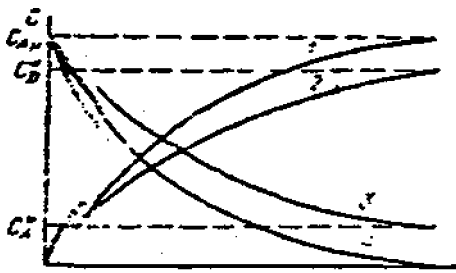
Mahsulot chiqishi bo'yicha texnologik jarayon tezligi to'g'ri, teskari va qo'shimcha reaksiyalar, reaksiya zonasiga kirayotgan

moddalar va undan chiqayotgan mahsulotlarning molekulyar va turbulent diffuziyalari tezliklari natijalaridan iborat bo'ladi. Mushohada qilinadigan muvozanat qonuniyatlarini mahsulotlarning maksimal (nazariy) chiqishini aniqlash imkoniyatini beradi, xolos. Biroq ishlab chiqarish jarayonlarida nazariy mahsulot chiqishi vaqt bo'yichahegaralangan bo'lib, odatda, jarayonga kirayotgan moddalar konsentratsiyalari pasayishi tufayli umumiy tezlik  $U = \bar{U}_1 - U_2$  kamayib boradi. Qaytmas reaksiyalarda, ya'ni  $\bar{U} = 0$  bo'ladi va reaksiyaga kirishayotgan moddalarning biri tugab, tezlik nolga intiladi ( $U \rightarrow 0$ )ga. Qaytar reaksiyalarda, ya'ni muvozanatda  $U \rightarrow 0$  ra intiladi. Massalar ta'sir qonuni bo'yicha himoyalangan sistemada olingan mahsulot miqdori ( $G$ ) oddiy ( $mA + nB \leftrightarrow pD + \Delta H$ ) reaksiya uchun vaqt bo'yicha yuqoriga intiluvchan logarifmik chiziq bo'yicha (2.1-chizma) o'zgaradi. Vaqt birligi ichidagi tezlik esa jarayon boshida  $U_1$  ra,  $\tau_n$  - vaqt o'tgach  $U_n$  ra teng bo'ladi. Muvozanat tiklangan yoki qaytmas jarayonlarda reaksiyaga kirishayotgan moddalar miqdori kamaygach tezlik nolga intiladi. Shu sababli, ishlab chiqarish jarayonlarini bunday tezlikda olib borish maqsadga muvofiq emas ba bu muvozanat holatini buzishga olib keladi.

Davriy (himoyalangan sistemada) ba uzviy (ideal siqib chigaruvchiga yaqin) apparatlarda kechadigan ba har gandanay fazalararo massa almashishi kimyoviy reaksiyalarning vaqt bo'yicha kinetik jarayoni 2.2-chizmada ko'rsatilganday sodir bo'ladi.



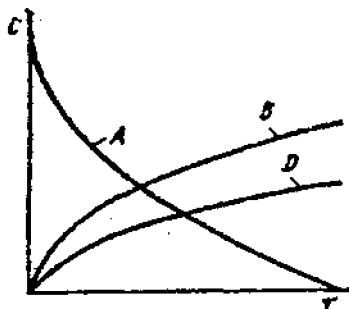
2.1-chizma. Masalalar ta'siri qonuni bo'yicha qaytmas jarayon kinetikasi.  $P, t = \text{const}$ .



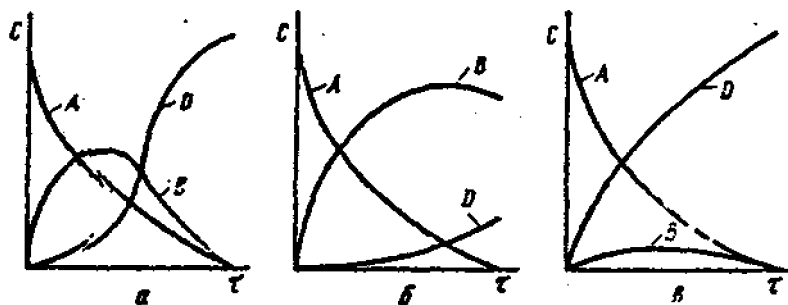
2.2-chizma.  $A \rightarrow D$  tipidagi oddiy reaksiyalarda reagentlar konsentratsiyalarining vaqt bo'yicha o'zgarishi. 1,2-D mahsulot konsentratsiyasi, 3,4-reaksiyaga kirishuvi reagentlar konsentratsiyasi.

Qaytmas jarayonda asosiy modda konsentratsiyasi SA vaqt bo'yichakamayib nolga yaqinlashadi, qaytar jarayonlarda esa muvozanatgacha ( $S_{Ax}$ ) intiladi. Muvofiq ravishda mahsulot konsentratsiyasi qaytmas jarayonlarda o'zgarish darajasi  $X=1$  gacha, qaytar jarayonlarda esa ( $S'_D$  ra)  $X_r$  gacha ko'payadi. Kimyoviy reaksiyalar ko'pincha murakkab bo'lib, bir necha elementlardan tashkil topadi. Murakkab parallel reaksiyalarda siqib chiqaruvchi reaktorlarda sodir bo'ladigan eng oddiy holat uchun reagentlar konsentratsiyasi o'zgarish xarakteri sxemada tezlik konstantasi  $k_1 > k_2$  bolsa, 2.3-chizmadagi holatda bo'ladi.

Murakkab ketma-ket, eng oddiy ( $A \rightarrow B \rightarrow D$ ) reaksiyalar uchun siqib chiqaruvchi reaktorlarda konsentratsiyalar o'zgarish xarakteri 2.4-chizmada ko'rsatilganday bo'ladi.



2.3-chizma. Binar parallel qaytmas  $A \xrightarrow{k_1} B$  reaksiyada  $K_1 > K_2$  bo'lganda  $A \xrightarrow{k_2} D$  konsentratsiyalar o'zgarishi.



2.4-chizma. Qaytmas ketma-ket reaksiyalarda  $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} D$  konsentratsiyalar o'zgarishi: a)  $k_1 \equiv k_2$ ; b)  $k_1 \geq k_2$ ; c)  $k_1 \leq k_2$ .

Ko'pgina organik moddalar ishlab chiqarish texnologiyalarida oraliq V mahsulot maqsadli hisoblanadi. Mahsulot V ning optimal chiqishi uchun faqatgina  $k_1/k_2$  nisbati kattaligi emas, balki jarayonning optimal vaqti ham zarurligi 2.4-chizmada ko'rinib turibdi. Vaqtning oshib borishi V moddaning D ra o'tib borishini ta'minlaydi.

Bunday holat spirtlar, aldegidlar, kislotalar va boshqa kislorodli organik moddalar hamda to'liqsiz gidridlash (masalan,  $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$ ) jarayonlariga o'xshash ko'pgina oksidlanish jarayonlariga taalluqlidir.

Oqimli reaktorlarda jarayon vaqti reaksiyon hajm balandligi (yoki uzunligi) N ning oqimining chiziqli tezligi U ga nisbatiga teng hamda u reaksiyon hajm  $v$  ning aralashma sarfi  $V_a$  nisbati bilan ifodalanadi, ya'ni:

$$\tau = H/U = \omega/c_{0\alpha} \quad (2.36)$$

Bunda berilgan U va  $V_a$  uchun 2.1–2.3-chizmalardagi chiziqlar  $C=f(H)$ ,  $C=f(v)$ ,  $U=f(H)$ ,  $U=f(v)$  va shunga o'xshash bog'liqliklarni ham ifodalaydi. Bu kinetik holatlar oqimli reaktorlardagi davriy va ideal siqib chiqarish jarayonlarini xarakterlaydi.

To'la aralashuvchi gidrodinamik tartibdagi jarayonlarda kinetik holatlar o'zgacha bo'ladi.

Bir xil harorat, bosim va boshlang'ich konsentratsiyalarda (T, R va  $C_0$ ) to'la aralashuvchi tartibda boshlang'ich moddalarning mahsulotga aylanish (o'tish) darajasi:

$$X = \frac{C_{A_2} - C_{A_1}}{C_{A_2}} \quad (2.37)$$

berilgan bir xil vaqtda ( $\tau_B$ ) reagentlar aralashmaydigan jarayonlardan baland bo'ladi. Bu reaktorda aralashtirish natijasida tashqi difuziyaga to'sqinlikni susaytirish natijasidir.

Ishlab chiqarish jarayonlari tezligi apparatlarning mahsuldorligi, o'lchami va sonini belgilaydi.

Jarayon tezligi mahsulotning baqar ( $\tau$ ) birligida chiqishi ( $x$ ) bilan yoki tezlik konstantasi  $K$  bilan hisoblanadi.

Mahsulot chiqishi ( $X_a$ ) deb, amalda olinadigan mahsulot miqdori ( $G_a$ ) ning muvozanat holatda olinishi mumkin bo'ladigan mahsulotning miqdoriga ( $G_M$ ) nisbatiga aytiladi:

$$X_a = (G_a / G_M) \cdot 100 = (G_a / G_{max} X_p) \cdot 100 \quad (2.38)$$

Mahsulot chiqishi doimo nazariy chiqishdan kam bo'ladi va lga intiladi.  $G_M$  o'rniga xom ashyodan mahsulotga to'la o'tish mumkin bo'lgan komponent miqdori  $G_r$  olinadi. Nazariyga nisbatan mahsulot chiqishi ko'pincha apparatning foydali ish koeffitsiyenti (FIK-KPD) deyiladi ( $\eta$ ).

Murakkab reaksiyalarda selektivlik tushunchasi ishlatiladi. Bunda maqsadli mahsulot ( $V$ ) bilan birga qo'shimcha mahsulotlar ( $D, E$ ) hosil bo'ladi. Selektivlik  $S$  maqsadli mahsulot ( $X_M = X_B$ ) ning umumiy va qo'shimcha ( $X_d$  va  $X_e$ ) mahsulotlar miqdoriga nisbati bilan aniqlanadi:

$$S = X_B / (X_B + X_d + X_e) \quad (2.39)$$

Tenglama (2.37) natijasi u yoki bu mahsulot chiqishi haqida tushuncha beradi. Mahsulot chiqishini aniq hisoblash kimyoviy reaksiya yoki jarayon turiga bog'liq ravishda bajariladi. Misol uchun:



reaksiya uchun mahsulot chiqishini hisoblaymiz.

1. Agar  $A$  va  $V$  modda stexiometrik miqdorlarda olingan bo'lsa va reaksiya qaytmas bo'lsa, bunda:

$$G_{D_t} = G_A + G_B \quad (2.40)$$

Nazariy chiqish esa

$$X_v = \frac{G_{D_t}}{G_A + G_B} = 1 \quad (2.41)$$

Nazariyaga nisbatan chiqish esa o'tish darajasiga teng:

$$X = X_s = \frac{G_{D_s}}{G_A + G_B} = \frac{G_{D_s}}{G_{A_0} + G_{B_0} + G_{D_s}} \quad (2.42)$$

Bunda:  $G_A$  va  $G_B$  – reaksiyaga kirishuvchi moddalar miqdori;  $G_{A_0}$  va  $G_{B_0}$  – reaksiyaga kirishgan miqdorlarning reaksiyadan so'ng aralashmada qolgan miqdori (reaktordan chiqishda);  $G_{D_s}$  – mahsulot miqdori.

Gaz yoki suyuq gomogen sistemalarda boshlang'ich va oxirgi (mahsulot) moddalar massa miqdorini emas, konsentratsiyalarini ko'rsatishi mumkin:

$$G_{A_0} = S_{A_0}, G_{B_0} = S_{V_0}, G_{D_s} = S_{D_s}$$

Bunda:

$$X = X_s = \frac{C_{D_s}}{C_{A_0} + C_{B_0} + C_{D_s}} \quad (2.43)$$

2. Qaytar jarayonlarda reaksiya mahsuldorligini oshirish maqsadida tasirlashuvchi moddalarning biri (ya'ni arzonrog'i V) ko'proq olinadi va qimmatbaho xom ashyoning mahsulotga to'la o'tishiga erishiladi. Masalan, metanni konversiya qilishda unga suv bug'i tasir ettirib sintez – gaz ( $mCO+nH_2$ ) olinadi. Bunda, albatta, suv bug'i miqdori oshirib borilaveradi. Spirt, aldegit va ketonlar sintezida ham shunday suv yoki suv bug'i V komponent vazifasini bajaradi. Oltinugurtni kuydirishda, ammiakni oksidlashda, uglevodorodlarni oksidlashda ham V modda (kislorod) miqdori oshirib boriladi.

V moddaning ortiqcha miqdori A modda bo'yichamahsulot chiqish ma'lum miqdorgacha davom etadi, ya'ni  $X_s \rightarrow X_{\max}$   $X < X_{\max}$ .

Mahsulot chiqishi:

$$X_A = X_{s_A} = \frac{G_{D_s}}{G_A + G_B^I} \quad \text{ba} \quad X_B = X_{s_B} = \frac{G_{D_s}}{G_A^I + G_B} \quad (2.44)$$

Bunda:  $G_A^I$  – B moddaning amaliy sarfiga nisbatan hisoblangan A modda stexiometrik miqdori,  $G_B^I$  esa A modda amaliy sarflanayotgan miqdoriga nisbatan V modda stexiometrik miqdori.



Agar reaksiyada gazlar ishtirok etsa, formulada massalar o'rniga parsial bosimlar yoki gazlarning hajmiy konsentratsiyasi ishlatiladi.

3. Reaksiya qaytar bo'lsa va A, V modda sistemaga stexiometrik miqdorlarda kiritilgan bo'lsa (masalan,  $N_2$  va  $N_2$  dan ammiak sintezida):

$$G_{Dp} < G_A + G_B \text{ ba } X_s = \frac{G_{Dp}}{G_{Dp}} = \frac{G_{Dp}}{(G_A + G_B)X_p} \quad (2.45)$$

Mahsulot chiqishi qanchalik 1 ga yaqin bo'lsa, bu jarayon mukammal va iqtisodiy samarador hisoblanadi.

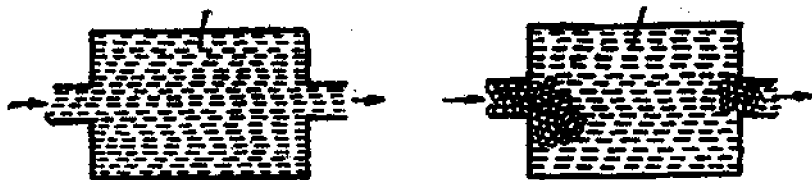
## 2.5. Kimyoviy jarayonlar tezligining asosiy formulalari

Yuqorida ko'rib o'tilgan mahsulot chiqishini oshiruvchi termodinamik ma'lumotlar ko'pincha jarayon kinetikasiga javob bermasligi mumkin. Shuning uchun optimal texnologik sharoitni o'rnatish (yaratish) uchun bir vaqtda ham termodinamik ham kinetik omillarni e'tiborga olish zarur. Masalan, termodinamik nuqtai nazardan katalizator ishtirokida ammiak sintezi yoki oltin-gugurt angidridini oksidlash past haroratda olib borilishi maqsadga muvofiq. Chunki bu holda o'tish darajasi oshadi. Biroq harorat pasayishi natijasida reaksiya tezligi pasayadi. Shu sababli, amalda vaqt birligida maksimal mahsulot chiqishini, ya'ni maksimal intensivlikni ta'minlash uchun optimal harorat tanlanadi.

### *Mikro va makrokinetika haqida tushuncha*

Gaz va suyuqliklarda kechadigan jarayonlarni o'rganishda odatda, ikki nuqtai nazar e'tiborga olinadi.

Yolg'iz molekulalarning ta'sirlashish jarayoni – mikrodarajada va molekulalar agregatlari ta'sirlashuvi – makrodarajada sodir bo'ladi. Mikrodarajadagi sistemada suyuqlik harakatdagi molekulalar bilan to'qnashadigan va aralashadigan individual molekulalardan iborat. Makrodarajadagi sistemada esa suyuqlik go'yo qobiq ichidagi ko'p miqdordagi globul, ya'ni molekulalar guruhlari jamligidan iborat. Bu sirtqi qobiq kimyoviy inert deb faraz qilinadi va uning yolg'iz vazifasi har bir globulning individualligini saqlashdir. Suyuqlik oqimlarining mikro va makro holatlari o'ta shartli ravishda 2.5-chizmada ko'rsatilgan.



2.5-chizma. Mikro va makro holatdagi ideallashtirilgan suyuqliklar oqimi:  
1 – mikro holatdagi suyuqlik; 2 – makro holatdagi suyuqlik.

Mikro va makro holat mazmunini suyuqliklarni aralashtirishda kuzatish mumkin: aralashuvchi suyuqliklarning qovushqoqligi (vyaznost) qanchalik yuqori bo'lsa, unda makro holat yaqqolroq ko'rinadi. Masalan, aralashtirgichli idishga kamgovushqoq suyuqlik (suv) quyib, unga yana kamgovushqoq (etil spirti) quyib aralashtiramiz. Bu suyuqliklar oson aralashadi va tezda bir jinsli bo'ladi, aralashish mikrodarajada bo'ladi.

Agar bu idishga suv va glitserin quyib aralashtirsak (aralashtirish chastotasi kamaytirilsa), glitserin mayda tomchilarga (globullar) parchalanadi va suyuqlik bir jinsli bo'lguncha uzoq vaqt o'tadi. Shartli ravishda aralashish makrodarajada o'tadi deb qabul qilish mumkin.

Real aralashma u yoki bu darajada oraliq xossani ifoda qiladi. U suyuqlik xossasi va sistemaga bog'liq.

Fizik-kimyoda o'rganiladigan barcha masalalar – kimyoviy muvozanat, kimyoviy reaksiya kinetikasi va boshqalar mikrodarajada, ya'ni alohida molekula darajasida o'rganiladi.

Ishlab chiqarish sharoitida esa ko'p kimyoviy jarayonlarni o'rganishda sistema makro holatidagi fizik jarayonlarni e'tiborga olish zarur. Eng muhimlari:

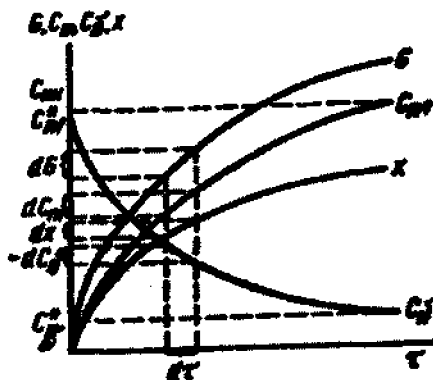
a) boshlang'ich moddalarning reaksiya zonasiga va reaksiya mahsulotlarining u zonadan diffuziyasi;

b) issiqlik chiqishi va tarqalishi.

Bu ikki jarayonga aerodinamik sharoitlar (ya'ni gaz yoki suyuqlik harakat xarakteri) kuchli ta'sir etadi, chunki issiqlikning konvektiv ko'chishi va diffuziya ularga bog'liq.

Shunday qilib, real kimyoviy-texnologik jarayonlarni o'rganishda diffuziya, issiq almashish va konveksiya e'tiborga olinishi zarur, ya'ni jarayonga makrodarajada yondashiladi.

Oddiy qaytar jarayonlar uchun (ideal siqib chiqarish tartibiga yaqin) mahsulot miqdori  $G$  tasirlashuvchi aralashmadagi, mahsulot konsentratsiyasi  $S_m$ , boshlang'ich modda konsentratsiyasi  $S_b$  va o'tish darajasi  $X$  ning vaqt bo'yicha o'zgarishi 2.6-chizmada ko'rsatilgan.



2.6-chizma. Ideal siqib chiqarish tartibiga yaqin oddiy qaytar reaksiya uchun jarayonlarning kinetik xarakteristikalarining (ko'rsatkichlarining) o'zgarishi.

Jarayon tezligini ifoda etadigan kattaliklar (mahsulot miqdori —  $G$ , mahsulot konsentratsiyasi —  $S_m$ , reaksiyaga kirishuvchi modda boshlang'ich konsentratsiyasi —  $S_b$  va o'tish darajasi —  $X$ ) vaqt birligi  $dt$  ichida  $dG$ ,  $dS_m$  —  $dS_b$ ,  $dX$  ga o'zgaradi, ya'ni jarayon tezligini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$U = \frac{dG}{dt}; \quad \frac{dG_m}{dt}; \quad -\frac{dG_s}{dt}; \quad \frac{dX}{dt} \quad (2.46)$$

Jarayon tezligining bunday ifodalanishi davriy ishlaydigan reaktorlarni modellashtirish va loyihalashtirishda ham qo'llaniladi. Bunda vaqt jarayon boshlanishidan hisoblanadi. Harorat va bosim o'zgarib turishi mumkin.

Uzviy (oqib o'tuvchi) reaktorlarda jarayon vaqti tasirlashuvchi aralashmalarning ma'lum sarfida  $V_a$  ( $m^3/s$ ), reaktor hajmi  $n$  ga proporsionaldir:

$$t = n / V_a \quad (2.47)$$

Shuning uchun (2.46)dagi ifodalarni quyidagicha yozish mumkin:

$$U = V_s \frac{dG}{dv}; V_s \frac{dC_M}{dv}; -V_s \frac{dC_s}{dv}; V_s \frac{dX}{dv} \quad (2.48)$$

Reagentlarning bir tekis oqimida (2.48) ifodalarda ko'pincha  $V_d$  tashlab yuboriladi. Bunga muvofiq ravishda tezlik konstantasi qiymati o'zgaradi, ammo 2.6-chizmadagi jarayon tezligini ifodalovchi chiziqlar mohiyati o'zgarmaydi.

Reaktorning ma'lum doimiy qirqimi (odatda tik silindr) da jarayon vaqti reaktor balandligi  $N$  ga proporsional. Agar reagentlar oqimi tezligi  $w$  doim bir xil bo'lsa, ya'ni:

$$t = N / \omega \quad (2.49)$$

jarayon tezligini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$U = \omega \frac{dG}{dH}; \omega \frac{dC_M}{dH} \quad (2.50)$$

va hokazo.

Bir tekis oqimda (harorat rejimida) (2.49) dagi  $\omega$  tashlab yuboriladi. Kinetik tenglamalarda (2.47 – 2.49) qaysi parametrlar ( $G$ ,  $C$ ,  $X$ ,  $t$ ,  $n$ ,  $H$ ) ni hisoblash yoki o'lchash qulay bo'lsa, unga bog'liq ravishda u yoki bu ifoda qo'llaniladi.

Ishlab chiqarishni yoki biror reaktorni loyihalashda aniqlanuvchi kattalik reaksiyon hajm  $n$  yoki vaqt  $t$  bo'ladi.

Tajriba ko'rsatkichlariga asosan hisoblashlarda reaksiyon aralashmalardagi ishchi harorat va bosimdagi haqiqiy reaksiyon hajm olinadi.

Bunda jarayon kechadigan haqiqiy vaqt aniqlanadi:

$$t_x = V_x / V_a (t, p) \quad (2.51)$$

So'rovnomalarda reaksiyon aralashmalar hajmi normal sharoitga keltirilgan bo'ladi. Bunda:

$$t_x (n, sh) = V_x / V_a (n, sh) \quad (2.52)$$

bo'ladi.

Hisoblashlarda ko'pincha haqiqiy emas, umumiy fiktiv reaksiyon hajm  $V_{um}$  ishlatiladi. U apparatning ichki qismlari, ya'ni qattiq katalizatorlar hajmi, suyuqli reaktorlarda suyuqlik ustidagi bo'sh hajm yoki to'ldirgichlar va boshqalarni o'z ichiga oladi.

Bu holda ishchi yoki normal sharoitdagi jarayonning fiktiv vaqti hisoblanadi:

$$t_f = n_{um} / V_a (t, \rho) \quad (2.53)$$

$$t(n, sh) = V_{um} V_a(n, sh) \quad (2.54)$$

Qo'lda bo'yicha qiyin hisoblanadigan omillar uchun vaqt taqriban g ishlatiladi:

$$t = g(n/V_a) \quad (2.55)$$

Jarayonning tezligi tenglamasidan tezlik konstantasi  $k$ , jarayonning harakatlantiruvchi kuch  $\Delta S$  hamda reaksiyon hajm  $n$  aniqlovchi kattaliklar bo'lishi mumkin.

$$U = \frac{dG}{d\tau} = kv\Delta C \quad (2.56)$$

$$U = \frac{dG}{d\tau} = kv\Delta C \quad (2.57)$$

$$U = dC_m/d\tau = k\Delta C$$

$$U = dX/d\tau = k\Delta C \quad (2.58)$$

$\Delta S$  — o'lchovsiz kattalik, masalan,  $G$  kg da;  $v$  —  $m^3$  da,  $\Delta S$  va  $S_m$   $kg/m^3$  da bo'ladi ( $\tau$  — soat yoki sekund,  $k$  — esa  $s^{-1}$  yoki  $sek^{-1}$ ).

Geterogen jarayonlarda massa almashish, ya'ni moddalarning fazo o'tishlarida jarayon tezligi tenglamasi Nyutonning issiq almashish (issiq o'tkazish) tenglamasiga o'xshash yoziladi:

$$U = dG/dt = kF\Delta C \quad (2.59)$$

Bunda:  $k$  — massa almashish koeffitsienti,  $F$  — fazalar tutashish yuzasi.

Reagentlarning reaksiya mahsulotlari bilan to'la aralashish holatiga yaqin tartib (rejim)dagi jarayonlar uchun barcha reagentlar konsentratsiyalari va o'tish darajasi reaksiyon hajm bo'yichabir xil (o'zgarmas), ya'ni  $v$ ,  $H$ ,  $\tau$  — o'zgarmasdir (2.7-chizma). Shuning uchun tezlik konstantasi —  $k$  o'zgarmas bo'lganda jarayon tezligi quyidagicha ifodalanadi:

$$U = G/\tau; C_m/\tau; -(C_s/\tau); x/\tau; \quad (2.60)$$

$$V_s(G/v), V_s(C_s/\tau) \quad \text{va hokazo.}$$

Ko'p bosqichli va issiklik jarayonlar uchun to'la aralashishda:

$$U = \frac{G_{n-1} - G_n}{\tau}, \text{ yoki } U = \frac{G_{n-1} - G_n \beta}{\tau}$$

$$\text{yoki } U = \frac{G_n - G_{n-1}}{\tau}$$

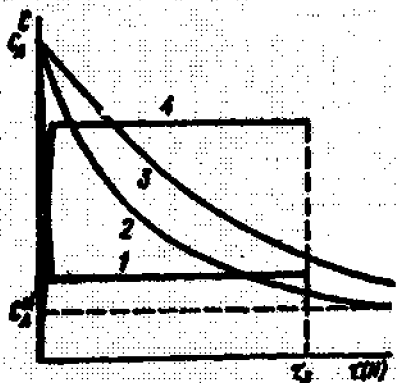
(2.61)

Bunda:  $b$  — boshlang'ich konsentratsiya  $C_{b, m}$  ni oxirgi aralashma hajmiga hisoblash koeffitsienti.

2.47 va 2.49 ifodalardan kelib chiqqan holdagi variantlar bo'lishi mumkin.

Masalan:

$$U = (V_s/v)(C_{ox,m} - C_{s,m}\beta) \quad (2.62)$$



2.7-chizma. Oddiy qaytar reaksiya uchun vaqt bo'yicha konsentratsiyaning o'zgarishi: 1 — boshlang'ich modda konsentratsiyasi  $C_A$  ning to'la aralashish tartibida (rejimida) gi jarayonda o'zgarishi. 2 —  $C_A$  ning siqib chiqarish tartibidagi jarayonda kinetik chegarasi o'zgarishi. 3 —  $C_A$  ning shunday jarayonda diffuziya chegarasi o'zgarishi. 4 — mahsulot  $C_D$  konsentratsiyasining to'la aralashishi tartibidagi jarayonda o'zgarishi.

2.7-chizmadan ko'rinadiki, aralashish tartibida (rejimida) reagentlarning o'rtacha konsentratsiyasi oxirgiga teng:  $C_{o'r} = S_{ox}$  demak, harakatlantiruvchi kuch ham:

$$\Delta S_{o'r} = \Delta S_{ox}$$

Shunday qilib, aralashish tartibi (rejimi) uchun jarayon tezligi to'la tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$G/t = kn\Delta C_{ox} \quad (2.63)$$

$$X/t = k\Delta C_{ox} \quad (2.64)$$

va hokazo.

Jarayonning tezlik koeffitsienti yoki konstantasi —  $K$  murakkab kattalik bo'lib, faqatgina reagentlar kimyoviy xossalari emas, balki fizik xossalariga, apparat tuzilishiga, oqim tezligiga, aralashish darajasi,

to'g'ri va teskari jarayonlar tezlik konstantasi, diffuziya va boshqalarga bog'liq bo'ladi. Ko'pgina jarayonlar uchun so'rovnomalarda beriladi, ko'pincha tajribalar yordamida aniqlanadi. Texnolog tadqiqotchi teskari omillarni hisobga olmay, har bir jarayon tartibi va holati uchun xarakterli muhim omillarni hisobga oladi.

Jarayonni harakatlantiruvchi kuch  $\Delta S$  — gomogen reaksiyalar uchun massalar ta'siri qonuni bo'yicha muayyan vaqtda ta'sirlashuvchi moddalar konsentratsiyalari ko'paytmasidir.  $nA \rightarrow pA$  reaksiya uchun  $\Delta S = S^n$  va ideal siqib chiqarishda:

$$U = \frac{dC_A}{dt} = kC_A^n \quad (2.65)$$

(n — reaksiya tartibi)

$mA + nB = pA - \Delta H$  uchun:

$$U = \frac{dC_A}{\tau} = k\Delta C = kC_A^m C_B^n \quad (2.66)$$

$$U = \frac{dC_A}{d\tau} = k\Delta C = k(C_A - C_A^*)^m (C_B - C_B^*) \quad (2.67)$$

Bunda:  $S_a$ ,  $S_v$  va  $S_d$  — haqiqiy konsentratsiyalar, — muvozanat konsentratsiyalar.

Shu sharoit uchun:

$$U = \bar{U}_1 - \bar{U}_2 = \frac{dC_A}{d\tau} = k_1 \underbrace{C_A^m \cdot C_B^n}_{\Delta C_1} - k_2 \underbrace{C_A^m}_{\Delta C_2} \quad (2.68)$$

(2.65)–(2.67)-tenglamalarda muayyan vaqtdagi konsentratsiyalar ifodalangan bo'lib, reaksiya davomida u uzluksiz va chiziqli bo'lmagan holatda o'zgarib turadi. Bu formulalar jarayon mexanizmini tahlil qilish uchun qulay. Reaksiya tezligini hisoblashda jarayonni harakatlantiruvchi kuch ta'sirlashuvchi moddalarning boshlang'ich konsentratsiyalari va o'tish darajasi bilan ifodalanadi.

Massa almashishda muayyan vaqtda harakatlantiruvchi kuch quyidagicha yoziladi:

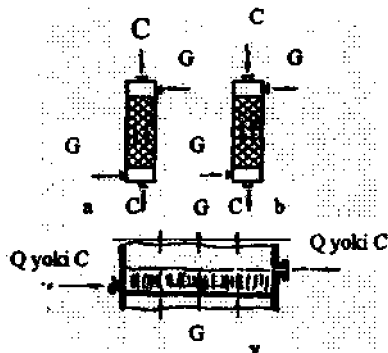
$$\Delta S = S_d - S_X \quad (2.69)$$

Bunda:  $S_d$  — ayni shu dagigada o'tuvchi fazadagi komponentning haqiqiy konsentratsiyasi, masalan, absorbsiyada gaz fazasida;  $S_X$  esa o'tuvchi fazadagi muvozanat konsentratsiyasi, masalan, absorbsiyada — suyuqlik ustidagi yutilayotgan komponentning parsial bosimi.

Davriy va oqib o'tuvshan (ideal siqib chigaruvchiga yaqin) tartibda ishlaydigan apparatlarda (2.50) tenglama faqatgina harakatlantiruvchi kuchning sifat ko'rsatkichini aniqlashga yaroqli, xolos. Chunki ularda  $S_d$ ,  $S$  va  $S_x$  jarayon davomida uzluksiz logarifmik qonun bo'yicha o'zgaradi.

Massa almashish geterogen jarayonlar uchun komponentlar konsentratsiyasi o'zgarishi to'g'ri oqim, qarama-qarshi oqim va shorraha (kesishuvchi) oqim jarayonlarida turlicha bo'ladi. O'rtacha harakatlantiruvchi kuchni hisoblash turlicha bo'ladi.

Gaz-suyuqlik geterogen sistemada ta'sirlashuvchi fazalarning apparatdagi harakati yo'nalishi 2.8-chizmada ko'rsatilgan.



**2.8-chizma.** Ikki fazali G-S sistemada oqimlar harakati yo'nalishi: a — to'ldirgichli minorada to'g'ri oqim (parallel); b — to'ldirgichli minorada qarama-qarshi oqim; v — muallaq (qaynovchi) qatlamli apparatda suyuqlik yoki qattiq (mayda) modda bilan gazning chorrahali (kesishuvchi) oqimi.

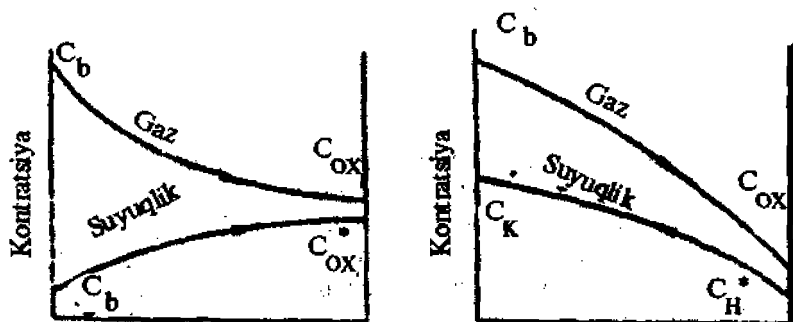
Ideal siqib chigaruvchi tartibga yaqin to'g'ri va qarama-qarshi oqimli jarayonlarda harakatlantiruvchi kuchning o'zgarish xarakteri 2.9-chizmada ko'rsatilgan. Bunda  $S_b$  va  $S_{ox}$  — gazda absorb lanadigan (yutiladigan) komponentning boshlang'ich va oxirgi konsentratsiyalari; va — yutiluvchi komponentning suyuqlikdagi eritmasi yuzasidagi boshlang'ich va oxirgi parsial bosimlari.

Bu konsentratsiya va parsial bosimlar turli birliklarda ifoda etilishi mumkin:  $g/m^3$ ,  $mol/m^3$ , Pa va hokazo.

Jarayonning harakatlantiruvchi kuchi  $\Delta S$  to'g'ri (parallel) oqimda vaqt bo'yicha bir xil bo'lmaydi va apparatda barcha harakatlanayotgan reagentlar o'tgan masofa bilan aniqlanadi. Ayni holat uchun reagentlarning apparatda mavjud bo'lish vaqti minora to'ldiruvchisi balandligi



$N$  bilan aniqlanadi (vaqt apparat balandligiga proporsionaldir).  $\Delta S$  apparatga kirishda katta miqdor, chiqishda esa nolga intiladi. Demak, jarayon tezligi apparatning turli nuqtalarida turlicha bo'ladi.



2.9-chizma. To'ldirgichli minorada gaz aralashmasidagi komponentning suyuqlikda absorpsiyalanish (yutilish) dagi konsentratsiyalarining o'zgarishi: a – to'g'ri oqimda, b – qarama-qarshi oqimda.

Qarama-qarshi oqimda esa  $\Delta S$  yo'nalish bo'yicha kam o'zgaradi. To'g'ri oqimda  $S_{OX}^X < S_b$  bo'lsa (2.9-chizma), qarama-qarshi oqimda esa  $S_{OX}^X > S_b$  bo'ladi. Demak, ikkinchi holda mahsulot chiqishi yuqori bo'ladi. Amalda bu usul ko'p qo'llaniladi. To'g'ri oqim esa ayrim hollarda majburan qo'llanadi, masalan, yengil yonuvchan moddalarning gazlar bilan ta'sirlashuvi, sulfat kislota olishda, neft mahsulotlari krekingi va boshqalarda.

Bu ikki holatdagi jarayonda tasirlashuvchi reagentlar konsentratsiyalari logarifmik chiziq bo'yicha o'zgaradi. Muvofiq ravishda o'rtacha  $S_{ur}$  ham  $S_b$  va  $S_{OX}$  ning o'rtacha logarifmik qiymati sifatida hisoblanadi:

$$\Delta C_{ur} = \frac{\Delta C_b - \Delta C_{ox}}{2,3 \lg \frac{\Delta C_b}{\Delta C_{ox}}} \quad (2.70)$$

To'g'ri oqimda absorpsiya jarayoni uchun quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\Downarrow \Delta C_{Ur} = \frac{(C_b - C_b^x) - (C_{ox} - C_{ox}^x)}{2,3 \lg \frac{C_b - C_{ox}^x}{C_{ox} - C_{ox}^x}} \quad (2.71)$$

Qarama-qarshi oqimda esa:

$$\Downarrow \Delta C_{Ur} = \frac{(C_b - C_{ox}^x) - (C_{ox} - C_b^x)}{2,3 \lg \frac{C_b - C_{ox}^x}{C_{ox} - C_b^x}} \quad (2.72)$$

Kesishuvchi oqimda absorbsiyalanish fazasida konsentratsiya logarifmik qonun bo'yicha o'zgaradi, gazdagi konsentratsiya esa apparatning kesimi va balandligi bo'yicha o'zgaradi. Shuning uchun kesishuvchi oqimda harakatlantiruvchi kuchlar o'zgarish qonuniyatlari juda murakkab va aniqlikka yaqinlashtirilgan formulalar bilan aniqlanishi mumkin.

Masalan, absorbsiya uchun:

$$\Delta C_{Ur} = \frac{(C_b - C_b^x) - (C_b - C_{ox}^x) - \frac{C_b - C_{ox}}{2}}{2,3 \lg \frac{C_b - C_b^x}{C_b - C_{ox}^x}} \quad (2.73)$$

Biroq, muhandislik amaliyotida, odatda kesishuvchi oqimda (2.72) formulasiga asosan nisbiy DS aniqlanadi. Bunda natija (2.73)da aniqlanganidan kam bo'ladi, ammo nisbiy massa uzatish koeffitsienti  $k$  (tajriba natijalariga asoslanib (2.59) formulasi bilan aniqlangan) esa shuncha marta ko'p bo'ladi. Shunday qilib, loyihalashda jarayon tezligi yoki mahsulot miqdorini aniqlashda aniq natija olinadi. (2.70) tenglik desorbsiya uchun ham ishlatiladi. Desorbsiya uchun  $S^X > S$  shart bo'ladi. Shuning uchun (2.71), (2.73) ga o'xshash formulalardan muvofiq ravishda farq  $S^X - S$  bo'ladi.

$G - Q$ ,  $G - S$  va  $S - S$  sistemalarda massa uzatish  $S$  ni hisoblash formulalari (2.70), (2.73) ga o'xshash bo'ladi.

Ko'p tokchali apparatlarda (muallaq qatlamli) va barbotaj kallonlarda apparat balandligi bo'yishahar bir tokchada kesishuvchi va qarama-qarshi oqim kombinatsiyalangan bo'ladi. Bunda  $\Delta S$  (2.74) tenglama bilan hisoblanadi.

Ko'p tokchali apparatlarda (kesishuvchi oqim) odatda jarayonning yuksak intensivligini ta'minlaydi. Natijada  $\Delta S$ ,  $F$  va  $k$  qarama-qarshi oqimdagidan yuqori bo'ladi.

To'la aralashish tartibiga (rejimiga) yaqin holatda (2.74-chizma) reagentlar konsentratsiyasi uzviy oqimli reaktorlarda vaqt va fazo bo'yichabir xil. Demak, qaytmas reaksiya modeli uchun:

$$\Delta C_{ur} = \Delta C_{ox} = C_{Aox}^n \cdot C_{Box}^m \quad (2.74)$$

va qaytar reaksiya uchun:

$$\Delta C_{ur} = \Delta C_{ox} = (C_{Aox} - C_A^*)^n (C_{Box} - C_B^*)^m \quad (2.75)$$

bo'ladi.

Ko'p qo'llanmalarda jarayon tezligi va harakatlantiruvchi kuch asosiy A moddaning (boshqa moddaga) o'tish darajasi X bilan ifodalanadi.

$n=0$  tartibda reaksiyada tezlik U harakatlantiruvchi kuch  $\Delta C$  ga bog'liq emas:

$$U = \frac{dX_A}{d\tau} = k \quad (2.76)$$

$$n=1 \text{ uchun: } U = \frac{dX_A}{d\tau} = k(1 - X_A) \quad (2.77)$$

$$n = 2 \text{ uchun: } U = \frac{dX_A}{d\tau} = k(1 - X_A)^2 \quad (2.78)$$

## 2.6. Kimyoviy jarayonlar tezligiga ta'sir etuvchi omillar

Har ganday kimyoviy jarayonning maqsadi xom ashyodan maqsadli mahsulot olish, uning tannarxini pasaytirish va sifatini oshirishdan iborat. Buning uchun elektroenergiya, suv, siqilgan havo, yog'ilg'i va boshqa sarf-xarajatlarni kamaytirishga harakat qiladi.

Xom ashyo sarfi koeffitsientini kamaytirish uchun jarayonni shunday o'tkazish kerakki, o'tish darajasi X, maqsadli mahsulot chiqishi va selektivlik  $\theta$  (murakkab reaksiyalarda) yuqori bo'lishi va jarayon tezligi yuqori darajada bo'lishi kerak. Tezlik esa intensivlikni belgilaydi. Intensivlik esa kimyoviy ishlab chiqarishning samaradorligini aniqlovchi asosiy ko'rsatkichlardan hisoblanadi.

Tezlik ko'p hollarda suyuqliklar va suyuq-qattiq fazolararo reaksiyalarda konsentratsiya va haroratga, gazlarda bosimga, katalitik jarayonlarda katalizator aktivligiga va boshqa omillarga (faktorlarga) bog'liq, ya'ni ( $U=f(C, T, P, \text{kat.})$ )

Reaksiya tezligini oshirish uchun jarayonning harakatlantiruvchi kuchi -  $\Delta S$  ni oshirish kerak.

1. Konsentratsiya o'zgarishining  $\Delta S$  ga ta'sirini 2.5-bo'limda ko'rib chiqdik. Bundan tashqari  $\Delta S$  ni oshirish uchun o'zaro tasirlashuvchi moddalar konsentratsiyasini xom ashyoda ko'paytirish zarur. Bu esa xom ashyo agregat holatiga bog'liq.

Qattiq xom ashyolarda foydali moddalar konsentratsiyalarini oshirish, ya'ni boyitish kerak. Suyuq moddalar esa uning konsentratsiyasi tarkibidagi suv yoki boshqa uchuvchan qo'shimchalarni bug'latish yo'li bilan yoki boshqa usul bilan oshiriladi. Gazlarda esa ko'pincha bosim oshiriladi.

Demak,  $\Delta S$  ni oshirish uchun tasirlashuvchi moddalar konsentratsiyalarini oshirish, bosimni oshirish, jarayon haroratini boshqarish, katalizatorlar ishlatish va reaksiya mahsulotlarini ta'sirlashuv zonasidan chigarib turish zarur.

2. Bosimni oshirish jarayon tezligiga va muvozanat holatiga ta'sir etadi. Bosim ta'sirining samaradorligi reagentlarning agregat holatiga bog'liq. Gaz fazasida yoki gaz-suyuqlik va gaz-qattiq fazalarda kechadigan jarayonlarga bosim kuchli ta'sir etadi. Suyuq va qattiq fazalardagi jarayonlarga esa kamroq ta'sir etadi.

Gaz fazasida kechadigan gomogen jarayonlarda yoki gazlar qatnashadigan getrogen jarayonlarda bosimning ko'tarilishi gaz fazasi hajmini kamaytiradi va muvofiq ravishda tasirlashuvchi moddalar konsentratsiyasini ko'paytiradi. Demak, bosim oshishi komponentlar konsentratsiyasini oshiradi demakdir. Bosimning ta'siri kinetik tenglamalar bilan aniqlanadi. Tenglama (2.58) ga o'xshash gaz fazasida gomogen jarayon tezligini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$U = \frac{dP_m}{dt} = k\Delta P \quad (2.79)$$

Bunda:  $P_m$  — gazlar aralashmasida mahsulotning parsial bosimi;  $DP$  — jarayonni harakatga keltiruvchi kuch,  $m_1 m_1 A + n_1 B \rightarrow p_1 D$  modeldagi qaytmaz jarayon uchun:

$$\Delta P = P_1^{m_1} \cdot P_2^{n_1} \quad (2.80)$$

Bunda: reaksiyaning umumiy tartibi  $n = m_1 + n_1$ . Har bir komponentning parsial bosimi umumiy bosim  $P$  ga proporsionaldir.

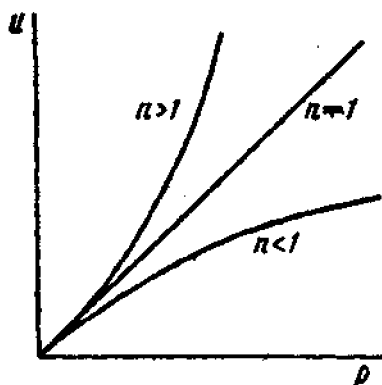
$P_a = aP$  va  $R_v = vR$ , demak:

$$U = \frac{dP_M}{dt} = \beta P^n \quad (2.81)$$

Bunda,  $\beta$  — reaksiya tezligi va harakatlantiruvchi kuchga bog'liq koeffitsient;  $R$  — o'lcamsiz bosim, ya'ni jarayon bosimining normal bosimga nisbati.

Demak, gaz komponentlari reaksiya tezligi reaksiya tartibi ( $n$ ) darajali bosimga proporsional ekan.

Bosim yuqori tartibdagi reaksiyalarni yanada kuchliroq intensivlaydi (2.10-chizma). Biroq bosimning oshishi reaksiya tartibi ( $n$ ) ni o'zgartirishi va  $K$  ni kamaytirishi mumkin.



2.10-chizma. Turli tartibdagi gazlar reaksiyalari tezligiga bosimning ta'siri.

Absorbsiya, absorbsiya kondensatsiya va boshqa jarayonlarda gaz komponentini suyuq yoki qattiq fazaga o'tishida (2.58) tenglamaga o'xshash tezlik bo'ladi.

$$U = \frac{dG}{dt} = kF\Delta p \quad (2.82)$$

Agar jarayon qaytmas bo'lsa, bunda  $\Delta p = R_g$ , bunda  $R_g$  — gaz fazasidagi komponentning haqiqiy konsentratsiyasi. Demak,  $n = 1$  va (2.80) formulaga o'xshash (2.81.) ni o'zgartirib, quyidagicha yozish mumkin;

$$U = \frac{dG}{dt} = k_1 F P, \quad (2.83)$$

ya'ni bu jarayonlar tezligi bosimga to'g'ri proporsionaldir.

Shuning uchun sanoatda absorbsiyani tezlatish va komponentning suyuqlikdagi konsentratsiyasini oshirish uchun bosim oshiriladi.

Gazlarni desorbsiyalash va suyuqliklarni bug'latishda jarayonni tezlatish uchun bosim pasaytiriladi, vakuumda olib boriladi.

Qaytar jarayonlarda (gaz fazasidagi)  $mA+nB \rightleftharpoons p\Delta - \Delta H$  modeliga muvofiq keladigan (2.78) tenglamada harakatlantiruvchi kuch:

$$\Delta P = (P_1 - P_1^*)^{n_1} (P_2 - P_2^*)^{n_2} \quad (2.84)$$

bo'ladi.

Komponentlarning muvozanat parsial bosimlari (konsentratsiyalari) berilgan gaz aralashmalari uchun ma'lum muvozanat konstantalari bo'yicha hisoblanadi.

Muvozanat konstantalari bosimga bog'liqligi molyar miqdorlarda quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi:

$$K_N = K_p R^{-\Delta N} \quad (2.85)$$

Yuqoridagi modeldagi reaksiya uchun:

$$\Delta N = P_1 - (m_1 + n_1) \quad (2.86)$$

$$K = K_0 e^{\frac{E}{RT}} \quad (2.87)$$

tenglama Le Shatlye prinsipining miqdoriy ifodasi bo'lib, hajm kamayishi ( $\Delta N$  manfiy kattalik) bilan boradigan reaksiyalarda bosim  $R$  oshishi bilan muvozanat konstantasi yuqori bo'ladi. Bunda ta'sirlanuvchi komponentlarning muvozanat konsentratsiyalari (parsial bosimlari) ga muvofiq ravishda kamayadi. Hajm oshishi bilan boradigan reaksiyalarda esa bosim oshishi bilan teskari holat yuz beradi.

Turli jarayonlar uchun ratsional (optimal) bosim birdan to yuzlab atmosferani tashkil etadi va reaksiya xarakteriga, uning tartibi  $n$  ga va talab etiladigan o'tish darajasi  $X$  ga bog'liq bo'ladi.

Sanoatda ammiak sintezi, metanol, og'ir yonilg'idan benzin olish va metan konversiyasida, polimerlash jarayonlarida, ko'mirdan olmos olish va boshqalarda yuqori bosimda ishlanadi. Bunday jarayonlar haqida maxsus soha fanlari ma'lumot beradi.

3. Harakatlantiruvchi kuchni oshirishning yana bir usuli jarayon haroratini boshqarishdan iborat. Bu usul asosan absorbsiya va desorbsiya jarayonlarida qo'llanadi. Kimyoviy reaksiyalarda haroratning oshishi tezlik konstantasining oshishiga sabab bo'ladi (keyinroq ko'rib o'tamiz).

Absorbsiya, adsorbsiya, kondensatsiya jarayonlarida harakatlantiruvchi kuch  $\Delta C = C - C^X$ . Suyuq faza haroratini pasaytirish yo'li bilan uning yuzasidagi gaz (bug') komponenti parsial bosimi  $S^X$  kamaytiriladi, ya'ni mos ravishda  $\Delta C$  oshiriladi. Natijada umumiy tezlik  $U$  oshiriladi.

Desorbsiya va bug'lanishda harakatlantiruvchi kuch  $\Delta C = C^X - C$  bo'ladi. Muvozanatni siljitish va tezlikni oshirish uchun suyuqliq harorati oshiriladi.

Bu ikki jarayonni mo'tadillash uchun sovutgichlar va isitgichlar ishlatiladi, apparatlar tuzilishi ham o'ziga xos bo'ladi.

1. Mahsulotlarni reaksiya zonasidan uzluksiz chigarib turish ham qaytar jarayonlar tezligini (mahsulot olish tomonga) oshiradi.

Geterogen jarayonlarda harakatlantiruvchi kuch  $\Delta C = C - C^X$  oshiriladi, ya'ni  $C^X$  kamaytiriladi. Agar reaksiya gaz fazasida ketsa, mahsulotni suyuq (yoki qattiq) fazaga yuttirish  $C^X$  ning kamayishini ifodalaydi. Gaz fazasidan mahsulot kondensatsiya, absorbsiya yoki absorbsiyaa yo'li bilan ajratib olinadi. Ko'p hollarda gaz aralashmasi apparatdan chigarilib, mahsulot ajratilib, qolgani yana apparatga yuboriladi. Bu aylanma – siklik (yopiq) jarayon deb aytiladi (ammiak, etanol sintezlari va boshqalar).

Muvozanatni maqsadli mahsulot olish tomonga siljitish uchun reaksiyaga kirishayotgan moddalarning biri (serobroq va arzonrog'i) ning miqdori oshirib boriladi va qimmatbaho xom ashyodan to'la foydalaniladi.

Jarayon tezlik konstantasini oshirish sistema haroratini oshirish, katalizator qo'llash va ta'sirlashuvchi massalarni qorishtirishni tezlatish (turbulizatsiya) yordamida amalga oshiriladi.

1. Haroratning oshishi reaksiya tezligi konstantasi va diffuziya koeffitsientini oshiradi. Natijada har qanday reaksiya tezligi ma'lum chegarada oshadi, aniqrog'i, teskari va qo'shimcha mahsulot hosil bo'lishi ham tezlashadi.

Haroratning reaksiya tezlik konstantasiga ta'siri Arrenius formulasi bilan aniqlanadi:

$$K = K_0 e^{-\frac{E}{R}} \quad (2.88)$$

Bunda:  $K_0$  — eksponentsional ko'paytirgich;  $E$  — ta'sirlanuvchi moddalar aktivlanish energiyasi;  $R$  — universal konstanta, gaz molyar doimiysi, 8,3 Dj/mol.  $K$  — harorat;  $e$  — natural logarifm asosi.

Bu qiymatning tezlik tenglamasi

$$U = \frac{dC}{d\tau} = KC^n$$

ga kiritsak:

$$U = K_0 e^{-\frac{E}{RT}} C^n \quad (2.89)$$

bo'ladi.

Bunda:  $S$  — mahsulot konsentratsiyasi (miqdoriy),  $n$  — reaksiya tartibi.

Tenglamadan reaksiya tezligi harorat va konsentratsiyaga g'oyatda kuchli bog'liqligi ko'rinadi.

Hisoblashlarda (2.68) tenglama logarifmlanadi:

$$2,3 \lg \frac{k_2}{k_1} = \frac{E}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (2.90)$$

Bunda:  $k_1$ ,  $k_2$  — absolyut haroratga muvofiq reaksiya tezligi konstantalari.

Bu tenglamadan foydalanib  $E$ ,  $k_1$  va  $T_1$  ma'lum bo'lsa, har qanday  $T_2$  haroratda  $k_2$  ni aniqlash va so'ngra tezlik harorat koefitsienti  $\beta$  ni hisoblash mumkin:

$$\beta = K_{T+10} / K_T \quad (2.91)$$

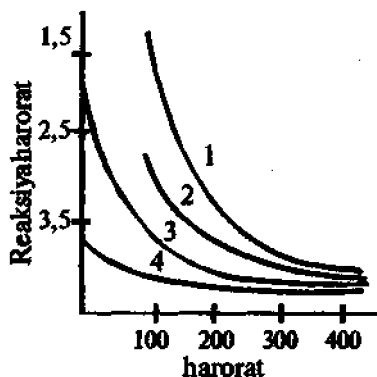
Vant-Goff qoidasi bo'yishaharorat koefitsienti 2-4 ga teng, ya'ni 10°C ga ko'tarilganda tezlik 2-4 barobar oshadi. Biroq bu qoida aktivlanish energiyasi 60 000-120 000 Dj/mol oralig'ida bo'lganda o'rtacha haroratlar (10-400°C) chegarasida qo'llanishi mumkin:

Reaksiya tezligi harorat koefitsienti —  $\beta$  aktivlanish energiyasi —  $E$  pasayishi va harorat —  $t$  oshishi bilan kamayadi (2.11-chizma).



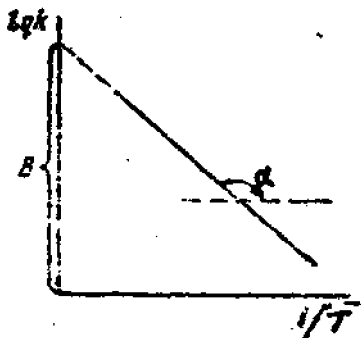
Arrenius tenglamasini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\lg K = B - \frac{A}{T} \quad (2.92)$$



2.11-chizma. Reaksiya tezligi harakat koeffitsienti -  $\beta$  ning harorat -  $t$  va aktivlanish energiyasi -  $E$  ga bog'liqligi. 1 - 2334 Dj/mol; 2 - 25000 Dj/mol; 3 - 167000 Dj/mol; 4 - 83500 Dj/mol.

Koeffitsient  $B = \lg K_0$  eksperimental yo'l bilan,  $A = E/2,3R$  hisoblanadi yoki eksperimental yo'l bilan aniqlanadi. Aktivlanish energiyasini aniqlash uchun eksperiment natijalari asosida  $\lg K = f(1/T)$  grafigi tuziladi. Bunda  $tga = -E/2,3R$  (2.12-chizma).



2.12-chizma. Tezlik konstantasi logarifmning haroratga bog'liqligi.

Diffuziya muhitida kinetik muhitga nisbatan haroratning jarayon tezligiga ta'siri kamroq bo'ladi. Gazlar uchun diffuziya koeffitsientining haroratga bog'liqligini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$D_r = B^1 \frac{T^a}{P} \quad (2.93)$$

Bunda:  $V$  – diffuziyalanuvchi modda molekulyar massasiga bog'liq koeffitsient;  $R$  – gazning umumiy bosimi;  $a$  – 1,5-2,0 orasida o'zgaradi.  $D$  – gazlar uchun diffuziya koeffitsient 0,1-1  $\text{sm}^2/\text{sek}$  orasida o'zgaradi. Suyuqliklarda diffuziya sekinroq kechadi ( $10^{-4}$ - $10^{-5}\text{sm}^2/\text{sek}$ ) va qovushqoqlik (vyazost) m ga bog'liq bo'ladi:

$$D_c = B^1 \frac{T}{\mu} \quad (2.94)$$

Qattiq moddalarda diffuziya yana ham sekinroq bo'ladi –  $\text{sm}^2/\text{yil}$ - $\text{sm}^2/\text{asr}$ . Harorat ko'tarilsa, atomlarning kristallarda tebranish amplitudasi va tezligini oshiradi. Uglarodning temirda diffuziyalanishi (metalni haroratli ishlashda) 900 – 1000°S da soatlarni tashkil qiladi.

–(2.93) – (2.94) tenglamalardan ko'rinadiki, harorat oshishi bilan go'yoki to'g'ri reaksiya tezligi oshib boraverishi kerak. Biroq ishlab chiqarish amaliyotida ko'pgina sabablar tufayli haroratga bog'liq jarayonning intensivlashishi cheklanadi.

Barcha qaytar ekzotermik jarayonlarida ( $-\Delta N$ ) harorat ko'tarilishi bilan quyidagi tenglamalarga muvofiq ravishda muvozanat konstantasi kamayadi, mahsulot chiqishi pasayadi va haroratning bir oz ko'tarilishi jarayon kinetikasi bilan uning termodinamikasi orasida nomuvofiqlikni keltirib chiqaradi. Tezlikning ko'tarilishiga qaramasdan muvozanat sababli mahsulot chiqishi cheklanadi (2.13-chizma). Past haroratda

haqiqiy chiqish  $X$  to'g'ri jarayon tezligi  $\bar{U}(k_1)$  kinetikasi bilan aniqlanadi va harorat  $t$  ko'tarilishi bilan ko'payadi; yuqori haroratda esa

teskari jarayon tezligi  $\bar{U}_2(k_2)$  kuchliroq bo'la boshlaydi, muvozanat bilan cheklangan mahsulot chiqishi  $X_r$  harorat ko'tarilishi bilan kamayadi. Bu holat uchun, ya'ni  $\tau P, CA_0, CBo = \text{sonst}$  ( $SA_0$ , va  $CV_0$  boshlang'ich moddalar konsentratsiyasi) optimal texnologik harorat  $t_{opt}$  to'g'ri keladi. Unga yuqori tezlik va mahsulotning maksimal chiqishi  $X_{max}$  to'g'ri keladi.

Muvozanat konstantasi  $K$  ni hisoblashda ko'pincha «texnik so'rovnomalar»dagi standart jadvallardan foydalaniladi. Ularda, odatda hosil bo'lish issiqligi (issiqlik tutishi — ichki issiqlik o'zgarishi)  $q_p$  yoki  $\Delta N$  (Dj/mol), hosil bo'lish izobar-izotermik potensial  $\Delta Z$  va absolyut entropiya  $S$  standart holatda, ya'ni  $25^\circ\text{C}$  va  $10^5$  Pa (1 atm) beriladi.

$$\lg K = -\frac{\Delta Z}{2,3RT} \quad (2.95)$$

Demak,  $2,3R = 2,3 \text{ Ch } 8,32 = 19,1$ ,  $\Delta Z = \Delta N - TDS$ ,  
 ya'ni  $\lg K = (T\Delta S - \Delta H)/19,1 T$  (2.96)

Biroq, (2.95) va (2.96) tenglamalari orqali hisoblash uchun jarayon mexanizmini aniqlash zarur, ya'ni jamlangan (summa) emas, balki reaksiyaning haqiqiy batafsil tenglamasi zarur.

Muvozanat konstantasi —  $K$  ning haroratga bog'liqligi izobarlar tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{q_p}{RT^2} \quad (2.97)$$

Bu tenglama o'zgarmas bosimda reaksiyaning ma'lum issiqlik effektida, ma'lum  $K_{p1}$  va harorat  $T_1$  da noma'lum muvozanat konstantasi  $K_{p2}$  ni harorat  $T_2$  da aniqlashda quyidagi ko'rinishda qo'llaniladi:

$$\lg \frac{K_{p1}}{K_{p2}} = \frac{q_p}{2,3R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (2.98)$$

Bunda,  $R=8,32$  Dj/mol. K) — molyar gaz doimiysi. Uning qiymatini (2.97) tenglamaga qo'ysak:

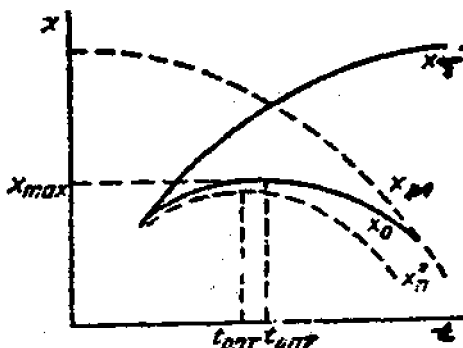
$$\lg \frac{K_{p1}}{K_{p2}} = \frac{q_p(T_2 - T_1)}{19,1T_1 \cdot T_2} \quad (2.99)$$

bo'ladi.

(2.98) va (2.99) tenglamalar (2.97) tenglamani  $q_p$  ning o'zgarish qiymati (ma'lum  $T_1$ ) da integrallash yo'li bilan keltirib chiqarilgan va  $q_p$  ning kichik o'zgarishlariga muvofiq harorat oralig'larida qo'llaniladi.

Haroratning katta o'zgarishlarida esa  $K$  quyidagi ko'rinishdagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$\lg K_p = \frac{q_p^0}{2,3RT} \pm \frac{\Delta a_0}{R} \lg T \pm \frac{\Delta a_1}{4,6R} T \pm \frac{\Delta a_2}{13,8R} \pm K_1 \quad (2.100)$$



2.13-chizma. Ekzotermik jarayonlar uchun mahsulot chiqishining haroratga bog'liqligi.  $x_m$  — mahsulot muvozanat chiqishi;  $x_0$  — qo'shimcha reaksiyalarsiz mahsulot chiqishi;  $x_1$  — qo'shimcha reaksiyali mahsulot chiqishi;  $x_2$  — qaytmas reaksiyalarda mahsulot chiqishi.

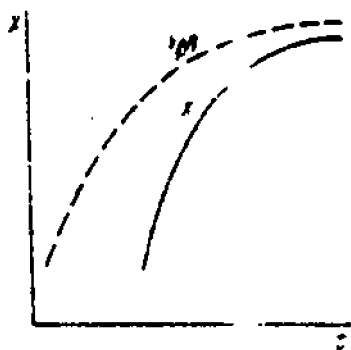
Bunda,  $\Delta a_0$ ,  $\Delta a_1$ ,  $\Delta a_2$  — Herrest issiqlik tenglamalari koeffitsientlari (turli reaksiyalar uchun «So'rovnoma»larda beriladi). Koeffitsientlar  $\Delta a_i$  qiymatlari juda kichik bo'lgani uchun tenglamadan tushirib qoldiriladi va texnik hisoblashlarda quyidagi qisqartirilgan formula ishlatiladi:

$$\lg K_{\text{muv}} = \frac{a}{T} \pm K_1 \quad (2.101)$$

Bunda:  $a = y_{p'} / 2,3R$  («+» ekzotermik, «-» endotermik reaksiyalar uchun).

Endotermik jarayonlar uchun ekzotermikka nisbatan yuqori haroratlar ancha ijobiy ta'sir etadi. Harorat ko'tarilishi bilan tezlik konstantasi (2.86) va muvozanat konstantasi (2.97-2.100) ko'tariladi. Biroq bu holda ham mahsulot chiqishi so'nadigan chiziq (2.14-chizma) bo'yicha ko'tariladi. Demak, haroratning cheksiz ko'tarilishi maqsadga muvofiq emas.

Ko'pgina jarayonlarda, ayniqsa organik moddalar texnologiyasida katta harorat koeffitsientiga ega bo'lgan qo'shimcha reaksiyalar sodir bo'lishi tufayli haroratning ko'tarilishi cheklanadi. Bunda mahsulot chiqishi (2.13-chizma) X<sup>1</sup> chiziq bo'yicha muvozanat holatga etguncha pasayishi mumkin.



2.14-chizma. Endotermik qaytar reaksiyalar uchun mahsulot chiqishining haroratga bog'liqligi ( $T, P, C_{AO}, C_{BO} = \text{const}$ ).

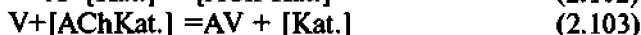
Metanol, yuqori molekullari spirtlar va boshqa organik sintez jarayonlari shunday xarakterga ega.

Haroratning kuchli ko'tarilishi ko'pchilik hollarda zararli. Masalan, suyuq reaksiyon muhitda komponentlar desorbsiyasi, qattiq moddalar zarrachalarining aglomeratlarga qotib qolishi sababli gazlar bilan tutashish yuzasi kamayadi va hokazo. Shunday qilib, haroratni boshqarish tezlik konstantasi «K» va jarayonni harakatlantiruvchi kuch  $\Delta S$  ni ko'tarish uchun zarur (2.56) – (2.57).

Jarayonning optimal harorati reagentlar tabiati va konsentratsiyasi, boshlang'ich moddalar mahsulotga o'zgarish darajasi, bosim, fazalar tutashuv (to'qnashuv) yuzasi, qorishtirish intensivligi, ko'p jarayonlar uchun katalizatorlar aktivligiga bog'liq.

2. Katalizatorlar ishlatish jarayonning harakatlantiruvchi kuchini o'zgartirmasdan tezlik konstantasini oshirish imkonini beradi.

Katta aktivlanish energiyasining talab qiladigan bir bosqichli (stadiyali) jarayonlarni ikki va undan ortiq bosqichlar bilan, ya'ni kam ( $e_1 + e_2 + \dots < E$ ) aktivlanish energiyasini talab qiladigan jarayonlarga almashtirish orqali katalizatorlar kimyoviy reaksiyalarni tezlatadi. Masalan, katalizatorlarsiz  $A + V \rightarrow AV$  reaksiya bir bosqichda sekin ketadi va katta  $E$  ni talab qiladi. Katalizator ishtirokida esa ketma-ket kechadigan va kamroq  $e_1$  va  $e_2$  talab qiladigan ikkita tezroq kechadigan bosqichga bo'linadi:



Katalizatorlar diffuziya jarayonini tezlatmaydi, shuning uchun ularni faqatgina kinetik muhitlarda ketadigan jarayonlarda ishlatish maqsadga muvofiq. Ularni qo'llash ko'larni o'ta yuqori yoki past haroratda, yoki asosiy xom ashyodagi qo'shimchalarning salbiy ta'siri natijasida aktivligining pasayishi sababli cheklangan.

3. Qorish (aralashtirish) komponentlar ta'sirlashuviga xalaqit beradigan diffuziya qarshiligini kamaytirib, molekulyar diffuziyani konvektivga aylantirib massaalmashish koeffitsienti yoki jarayon tezligi konstantasini oshiradi.

Diffuziya muhitida kechadigan jarayonlarda ta'sirlashuvchi moddalarning jarayon tezligi umumiy konstantasi  $K$ ,  $[K = (k_1, k_2, k_p^q, k_p^r \dots D_1, D_2, \dots D_1^1, D_2^1 \dots$  yoki  $K = (k_1, k_2, k_k^I, \dots$  yoki  $K = f(D_1, D_2, \dots D_1^I, D_2^I, \dots$  yoki  $K = D_1/b]$  omillardan diffuziya koeffitsienti  $D$  ga bog'liq bo'lmaydigan darajagacha tez qorishtirish maqsadga muvofiq, ya'ni jarayonni diffuziya muhitidan kinetik muhitga o'tkazish zarur.  $K$  esa  $K = f(k_1, k_2, k_g^I, k_g^{II}, \dots)$  bilan aniqlanadi. Kinetik muhitda kechadigan qaytmas jarayonlarda  $K = k_1$ , kinetik muhitdan diffuziya muhitga o'tishda  $K = k_1 \text{ChD} / (kb + D)$ . Bunda  $b$  – diffuziya qatlami qalinligi,  $D$  – diffuziya koeffitsienti.

Me'yordan ortiq tez qorishtirish ham oqimli apparatlarda jarayonni harakatlantiruvchi kuchni va reaksiya tezligini pasaytiradi. Har bir jarayon uchun qorish me'yori tanlanadi.

Gomogen sistemalarda qorish komponentlarning hajmi bo'yicha teng tarqalishini va to'qnashishlar sonini oshiradi. G-S,

**G-Q, S-Q, S-S, getoregen sistemalarda fazalar qorishtirilmaganda massa almashish to'la diffuziya tezligi bilan aniqlanadi. Qorishtirilmaganda sekin kechayotgan molekulyar diffuziya tez kechadigan turbulent diffuziyaga almashadi. Qorishtirish ta'sirlashuvchi yuzani oshiradi.**

Ko'rib o'tilgan uchta usuldan qaysinisi ma'qul bo'lsa, jarayonda o'sha usul qo'llaniladi.

**Fazalar tutashuv yuzasini oshirish** getoregen sistemalarda turlicha hal etiladi. U sistemalar turi: G-S, G-Q, S-Q, S-S (aralashmaydigan), Q-Q; jarayon tartibi, qo'llanayotgan bosim, harorat, reagentlar konsentratsiyasi, katalizatorlar va boshqalarga bog'liq bo'ladi. Yuzani oshirish usullari turli agregat sistemalar uchun apparatlar loyihalashda zarur bo'ladi.

Barcha hollarda ham og'irroq, zishroq fazaning yuzasini oshirishga harakat qilinadi. S-Q, G-Q da qattiq faza, G-S da suyuq faza yuzasi oshiriladi va barcha apparatlarda engil faza og'ir faza yuzini yuvib o'tadi.

I. Gaz-suyuqlik (G-S) sistemada yuzani oshirish usullari va apparat tuzilishi prinsipini to'rtta sinfga ajratish mumkin:

1. Suyuqlik faza apparatlar reaksion hajmiga joylashtirilgan to'ldirgich materiallar yuzasiga parash qatlamda sepiladi. Bu apparatlar to'ldirgichli minora yoki kalonna deyiladi. Gaz bilan suyuqlik tutashadigan yuzaga to'ldirgichlar yuzasi  $F$  hisoblanadi.

2. Suyuqlikni disperslash, ya'ni kamera yoki minorada gaz oqimiga soshish. Apparatlar suyuqlik soshiladigan minora yoki kamera deb ataladi.

3. Gazlarni suyuqlik hajmida disperslash, ya'ni gaz fazasi suyuqlik qatlamidan (teshikli tokchalar yoki qalpoqshali tarelkalar o'rnatilgan kalonnalarda) o'tkaziladi (Barbotaj).

4. Tashqi qatlamda ko'pik hosil qilish, natijada gaz pastdan yuqoriga apparat panjarasidan (tarelka va boshq.) o'tganda suyuqlik yuzasida ko'pik hosil bo'ladi. Bunday apparatlar ko'pikli deb ataladi va yuqori samara beradi. Massa almashish koeffitsienti yuqori bo'ladi.

II. Gaz-qattiq (G-Q) va suyuq-qattiq (S-Q) sistemalarda fazalar tutashish yuzasini oshirish uchun qattiq modda maydalaniladi yoki g'ovakli parchalar va donachalar ishlatiladi. G'ovaklar yuzaga nisbatan bir necha yuz barobar ortiqroq yuzaga ega bo'ladi.

Yuzani oshirishni to'rtta sinfga ajratish mumkin:

1. Yuqoridan gaz yoki suyuqlik bilan yuviladigan maydalangan qattiq materialni qorishtirish kerak. Hisoblash uchun yuza hisobida apparatdagi tokchalar yuzasi olinadi.

2. Pnevmatik qurilma yordamida gaz yoki suyuqlikni hajmiga sepish. Suyuq-qattiqda esa ularni aralashtirgichli reaktorlarda qorishtiriladi.

3. Gaz yoki suyuqlikni qattiq modda qatlamidan o'tkazish. Bunday apparatlar filtrlovchi, deyiladi.

4. Muallaq qatlamda qorishtirish, ya'ni apparat panjarasi (reshyotkasiga) joylashtirilgan qattiq materiallar ostidan gaz yoki suyuq faza yuboriladi. U qattiq modda zarrachalarini shunday ko'taradiki (o'shiradi), go'yo qatlam qaynayotganday bo'ladi. Oqim tezligi shunga moslanadi. Bunday apparatlar «qaynaydigan qatlamli», deb ataladi.

Ikki aralashmaydigan suyuqliklarda ham xuddi shunday jarayon kechadi. Qatlamda og'irroq suyuqlik, ostidan esa yengilroq suyuq faza yuboriladi. Og'ir suyuqlik donalari aralashib qaynaganday bo'ladi. Barbotajga o'xshash jarayon kechadi.

Yuzani oshirish ko'pincha mexanik yoki pnevmatik aralashtirgichlarda bajariladi.

III. Qattiq-qattiq sistemalarda yuzani oshirish mexanik va pnevmatik qorishtirgichlarda hamda aylanuvchi barabanlarda bajariladi. Aylanuvchi barabanlar G-Q, S-Q va G-S sistemalarni qorishtirish uchun ham keng miqyosda ishlatiladi.

### *Savol va topshiriqlar*

1. Kimyoviy jarayon nima?
2. Kimyoviy jarayonlar sinflarini tushuntiring.
3. Kimyoviy jarayonlarda muvozanat nima?
4. Muvozanat konstantasini ishlab chiqing.
5. Le-Shatelye prinsipini tushuntirib bering.
6. Vant-Goff izobarlar tenglamasini yozing.
7. Gomogen va geterogen sistemalarni izohlang.
8. Gibbsning fazalar qoidasini tushuntiring.
9. G-Q, G-S va S-S sistemalarida massa uzatishni hisoblash tenglamalarini yozing.
10. Jarayonning harakatlantiruvchi kuchi nima?



11. Kimyoviy reaksiya tezligi va tezlik konstantasini ifodalash tenglamalarini yozing. Tezlik qanday oshiriladi?
12. Reaksiya tartibini tushuntiring.
13. Diffuziya koeffitsientini haroratga bog'liqligini tushuntiring.
14. Katalizatorlar kimyoviy muvozanatga ta'sir etadimi?
15. Fazalar tutashuv yuzasini oshirish usullarini tushuntirib bering.
16. Geterogen sistemalarda reaksiya tezligiga ta'sir etuvchi omillari nima?
17. Reaktorda qanday oqimlar bo'ladi?

### **III BOB. KIMYOVIY REAKTORLAR**

#### **3.1. Reaktorlar haqida umumiy tushunchalar**

Kimyoviy reaktor – bu kimyoviy ishlab chiqarishning asosiy apparati (qurilmasi)dir. Iqtisodiy va ekologik samara ko'p hollarda uning tuzilishi va ishlash ko'rsatkichlariga bog'liq.

Kimyoviy reaktorlar nazariyasi – bu kimyoviy texnologiyaning shunday bo'limiki, bunda kimyoviy reaksiyalarni muvofiqlashtirish masalalari ko'rib chiqiladi.

Bu sohaning vazifasi reaktorlarni hisoblash usullari va ular asosida reaktorlarni loyihalashdir.

Optimal-muvofiq sharoitlarni tanlash uchun quyidagi masalalarni yechish shart:

1. Ganday reaktorlar foydali?
2. Reaktorlarning qanday o'lchamlari zarur?
3. Ish jarayoni sharoitini tanlash.

Bu masalalarni yechishda loyihalovchi muhandis quyidagi vazifalarga duch keladi:

1. Ishlab chiqarish hajmi – soatli yoki sutkali.
2. Reaksiya kinetikasi.
3. Loyihalashga ta'sir etuvchi faktorlardan biri iqtisoddir.
4. Ishlab chiqarishda ahamiyatga ega bo'lgan ekologik, mehnatni muhofaza qiluvchi va estetik faktorlardir.

**Kimyoviy reaktorlar sinflari.** Kimyoviy reaktorlarni sinflarga bo'lishda quyidagilar ahamiyat kasb etadi:

1. Reaktorda kechadigan jaryonlar:  
a) davriy; b) uzluksiz; v) yarim uzlukli.
2. Ta'sirlanuvchining harakat tartibi:  
a) Ideal siqib chiqaruvchi reaktorlar. b) Ideal aralashtiruvchi reaktorlar.

Siqib chiqaruvchi reaktorlar ko'pincha quvurli reaktorlar deb ataladi, chunki ularning tuzilishi – shakli quvurga o'xshaydi.

Aralashtiruvchi reaktorlar esa ma'lum hajmga ega bo'ladi, ba'zan ular kubli reaktorlar deyiladi.

2. Issiqlik tartibi (rejim)ga ko'ra quyidagicha turlanadi:

a) adiabatik tartibda ishlaydigan reaktorlarda tashqaridan issiqlik almashish jarayoni sodir etmaydi, kimyoviy reaksiya issiqligi kimyoviy reaksiya uchun xizmat qiladi.

b) Izotermik tartib — bu reaktorlarda issiqlikni berish yoki pasaytirish (sovutish) yordamida doimiy haroratni saqlab turadi.

v) Politropik tartib — bu reaktorlarda harorat doimiy emas, bunda bir qism issiqlik beriladi yoki olib turiladi.

3. Reagentlarning (ta'sir etuvchilarning) fazaviy holatiga bog'liq ravishda turli reaktorlar ishlatiladi:

a) Gomogen jarayonlar reaktorlari.

b) Geterogen nokatalitik jarayonlar reaktorlari (G-K, S-Q, G-S va S-S).

v) Geterogen-katalitik jarayonlar uchun reaktorlar.

**Reaktorlarni hisoblash uchun ma'lumotlar.** Reaktorlarni yasash jarayoni gidrodinamik modelni ishlashdan boshlanadi. So'ngra kimyoviy reaksiya kinetikasi, issiq almashish va massa almashish jarayoni o'rganiladi.

Differensial shakldagi kinetik tenglamalar reaktorining borliq hajmi bo'yichaintegrallashtiriladi. Bu holatda ko'pincha qiyinchilikka duch kelinadi, chunki tarkib va reaksiya aralashmasi harorati reaksiyaning termodinamik holatiga hamda tashqi issiqlik almashishiga, moddalarning reaktor hajmi bo'yicha taqsimlanishiga — reaktorda suyuqlik harakatiga va reaktorning geometrik tuzilishiga bog'liq bo'ladi.

Shuning uchun reaktorning o'lchamini va tuzilishini aniqlashda ko'p holat va sharoitlarni e'tiborga olish zarur, jumladan:

1. Kimyoviy reaksiya, massa almashish va issiqlik almashish jarayonlari tezligi va boshqa faktorlarning aniq o'lchamlari.

2. Tashqi omillar — reaktorning gidrodinamik holatini belgilaydigan reaktor modeli.

Kimyoviy jarayon tezligiga massa almashish hamda issiqlik almashish ta'sir etadi.

Reaktorlarga nisbatan quyidagi talablar joriy qilingan:

1. Reaksiyon hajmi birligi bo'yicha yuqori mahsuldorlik.

2. Eng kam energetik xarajat.

3. Murakkab jarayonlarda yuqori selektivlik (ajratib olish).

4. Ishlatishda soddalik.

5. Tayyorlashning osonligi va texnika xavfsizligi.

6. Boshqarishning osonligi va texnologik jarayonlarning turg'oqligi.

7. Mahsulot tannarxining pastligi – arzonligi.

Reaktorlarni loyihalashda oqibatdagi samaradorlikni ta'minlovchi yo'l tutiladi.

Reaktor ishlashining eng muhim ko'rsatkichi, bu uning intensivligi (tezkorligi) bo'lib, u reaktorning hajm birligidan vaqt birligida ishlab chiqargan mahsulot birligi bilan belgilanadi.

Shuning uchun reaktorlarda kechadigan jarayonlarni o'rganishda eng muhim masala reagentlarning reaktorda bo'lish vaqtini har xil sharoitlarga funksional bog'liqligini aniqlashdan iborat:

$$t = f(x, s, u) \quad (3.1)$$

Bu erda:  $x$  – reagentning o'zgarish darajasi;  $s$  – reagentning boshlang'ich konsentratsiyasi (miqdori);  $u$  – kimyoviy reaksiya tezligi.

Berilgan (3.1) tenglama reaktorlar ishini belgilovchi to'rt faktorni bog'lovchi tenglamadir.

**Jarayonning material balansi.** Reaktor ishini belgilovchi faktorlarni asoslab, tenglamani yechib chiqishda bir komponent (tashkil etuvchi)ga nisbatan hisoblab chiqilgan material balans asosiy hisoblandi.

Qaytmas reaksiya uchun «A» modda ishtirok etgan oddiy material balansni tuzib chigamiz:



Umumiy ko'rinishda material balans tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$G_{A \text{ kirish}} = G_{A \text{ sarf}} \quad (3.3)$$

Bunda:  $G_{A \text{ kirish}}$  – reaksiya ketayotgan hajmga (reaktorga) vaqt birligi ichida kirayotgan «A» modda miqdori.

$G_{A \text{ sarf}}$  – vaqt birligi ishida reaksiya hajmida sarf bo'layotgan «A» modda miqdori.

Reaktorga kirayotgan «A» modda ush yo'nalishda sarf bo'ladi, masalan:

$$G_{Asarl} = G_{AK}^r + G_A \text{ chiq} + G_A \text{ yig} \quad (3.4)$$

Bunda  $G_{AK}^r$  – vaqt birligi ichida kimyoviy reaksiyaga kirishgan «A» modda miqdori.  $G_{A \text{ chiq}}$  – vaqt birligi ichida reaktordan chiqib ketgan «A» modda miqdori.  $G_A \text{ yig}$  – vaqt birligi ichida reaktorda o'zgarishsiz yig'ilib qolgan «A» modda miqdori.

(3.3) va (3.4) tenglamalar asosida quyidagilarni yozish mumkin:

$$G_{A \text{ kirish}} = G_{AK}^r + G_A \text{ chiq} + G_A \text{ yig} \quad (3.5)$$

Vaqt birligi ichida reaktorga kirayotgan «A» modda miqdori va chigayotgan modda miqdori konvektiv oqim deyiladi:

$$G_{A \text{ konv}} = G_{A \text{ kirish}} - G_A \text{ chiqish} \quad (3.6)$$

Buni hisobga olib yana boshqa shaklda yozish mumkin:

$$G_A \text{ yig} = G_{A \text{ konv}} - G_{A. K. R.} \quad (3.7)$$

Har bir aniq holatda material balans tenglamasi o'ziga xos shaklga ega bo'ladi.

Balans reaktorning cheksiz kichik yoki umumiy hajmi massa birligida tuziladi. Bunda vaqt birligi ichida hajmdan o'tgan material oqimga yoki shu oqimdagi biror kiruvchi moddaning bir moliga hisoblanishi mumkin.

Umumiy holda, agar tarkib, harorat va boshqa ko'rsatkichlar (faktorlar) reaktorning har nuqtalarida doimiy bir xil bo'lmasa, yoki vaqt birligi ichida bir xil bo'lmasa, elementar hajm bo'yicha material balans differensial shaklda yoziladi. Natijada kimyoviy reaksiya jarayonning kechishini belgilovchi  $U_A$  qo'shimchasini hisobga oluvchi konvektiv massa almashuv tenglamasi kelib chiqadi:

$$\begin{aligned} \frac{dC_A}{d\tau} = & -W_x \frac{\partial C_A}{\partial x} - W_y \frac{\partial C_A}{\partial y} - W_z \frac{\partial C_A}{\partial z} + \\ & + D \left( \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right) + U_A \end{aligned} \quad (3.8)$$

Bunda:  $S_A$  – reaksiyon hajmdagi aralashmadagi A modda konsentratsiyasi.  $x, u, z$  – fazoviy koordinatalar.  $D$  – molekulyar va tubulent diffuziya koeffitsienti.  $U_A$  – kimyoviy reaksiya tezligi.  $W_x, W_y, W_z$  – koordinat o‘qlari bo‘yicha oqim tezligini tashkil etuvchilar.

$$\frac{\partial C_A}{\partial x}, \frac{\partial C_A}{\partial y}, \frac{\partial C_A}{\partial z} \quad - \quad \text{koordinat o'qlari}$$

bo‘yichakonsentratsiya gradientlari.

Tenglama (3.8) dagi birinchi guruh tashkil etuvchilar:

$$W_x \frac{\partial C_A}{\partial x} + W_y \frac{\partial C_A}{\partial y} + W_z \frac{\partial C_A}{\partial z}$$

– umumiy oqimga mos ravishda, muhit o‘tayotgan elementar hajmdagi A moddaning konsentratsiyasi.

Ikkinchi guruh tashkil etuvchilar:

$$D \left( \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right)$$

– A moddaning elementar hajmda diffuziya yo‘li bilan o‘tayotgan konsentratsiyasi miqdorini aks ettiradi.

Harakatdagi oqimda o‘tayotgan moddaning konvektiv va diffuziya yo‘li bilan jami o‘tishi (3.7) tenglamadagi  $G_{A, \text{konv}}$  miqdorini tashkil etadi.

Oqibatda tashkil etuvchi  $U_A$  elementar hajmda A modda konsentratsiyasini kimyoviy reaksiya hisobiga o‘zgarishini ko‘rsatadi va (3.7) tenglamada  $G_{A, X, R}$  miqdori unga muvofiq keladi.

Reaktorning tuzilishi va ishlash tartibi (rejimi)ga bog‘liq ravishda material balans differensial tenglamasi (3.8) qisqaradi va uni yechish ancha osonlashadi:

Jarayon ko‘rsatkichlari (parametrlari) reaktorning butun hajmi va vaqt bo‘yichabir xil bo‘lgan holatda balansni differensial holda tuzish shart emas. Balans oxirgi natija asosida reaktorga kirish va chiqishdagi ko‘rsatkichlar qiymatlarining farqi hisobga olinadi.

Material balans-massalar saqlanishi qonunining moddaviy ifodalanishi bo‘lib, har qanday yopiq sistemada o‘zaro ta’sirlanuvchi moddalar miqdori ta’sirlanishda hosil bo‘lgan moddalar miqdoriga teng bo‘ladi.

**Statsionar (turg‘oq) va nostatsionar (o‘zgaruvchan) holatlar**  
Kimyoviy reaktorlarda barcha jarayonlar statsionar (turg‘oq) va nostatsionar (o‘zgaruvchan)ga bo‘linadi. Statsionar jarayonlarda

**parametr** (ko'rsatkich)lar vaqt bo'yichao'zgarmaydi (konstanta), harorat o'zgarmas). Shu tufayli bunday reaktorlarda **modda** (issiqlik ham) yig'ilib qolmaydi, A moddaning yig'ilishi:

$$G_{A_{\text{net}}} = \frac{\partial C_A}{\partial \tau} = 0 \quad (3.9)$$

Nostatsionar tartibda esa parametrlar (ko'rsatkichlar) vaqt bo'yichao'zgaradi va doimo modda (issiqlik) yig'ilib qoladi:

$$G_{A_{\text{net}}} = \frac{\partial C_A}{\partial \tau} \neq 0 \quad (3.10)$$

Barcha tipdagi reaktorlarni hisoblashda material balans boshlovchi bo'ladi. Biroq u haroratning jarayon statika va kinetikasiga ta'sirini va reaktordagi issiqlik tartibini hisobga olmaydi. Shuning uchun reaktorda optimal tartibni tanlash va uni boshqarish uchun material balans issiqlik balans bilan birgalikda hisoblanadi. Bunda reaksiya kinetik tenglamalari hamda Arrenius tenglamasi bog'lovchi bo'g'in bo'lib hisoblandi.

Davriy jarayonlarda reagentlar tarkibi o'zgarishi vaqtning funksiyasidir, ya'ni u vaqt bo'yichao'zgarib boradi. Termodinamik muvozanat tiklanguncha (yoki jarayon oxiriga etguncha) sistema o'zgarib boradi.

Uzluksiz reaktorlarda reagentlar tarkibining o'zgarishi sistemaning har qanday qismida vaqt bo'yichao'zgarmas, ammo bir zonadan ikkinchi zonaga o'tganda, ya'ni aralastiruvchi reaktorlarda bosqichlar orasida, siqib chigaruvchi reaktorlarda qo'shni ko'ndalang kesimlar orasida tarkib farqi bo'ladi. Tartib o'zgarmas bo'lishi uchun reagentlarni, issiqlikning sistemaga kirishi, mahsulotni va issiqlikni chiqarish va boshqalar doimo bir xil bo'lishi zarur. Sistema statsionar holati bu muvozanat emas, oqib o'tuvchi sistemalar uchun «statsionar» holat termini eng qulaydir. U termodinamik ma'noda muvozanat bo'lmasligini xarakterlaydi.

Termodinamik muvozanat mos keladigan moddaning o'zgarish darajasi oqmas davriy sistemalarda kuzatiladi. Oqib o'tuvchi sistemalarda esa statsionar holat termodinamik muvozanat minimumi

(ya'ni erkin energiya minimumi) emas, uning o'ng yoki chap tomonida bo'ladi.

### 3.2. Muhit harakati tartibi turli reaktorlar

Izotermik sharoitdagi reaktorlarni ko'rib o'tamiz.

a) Davriy ishlaydigan reaktorlar.

Ularda jarayon ush bosqichni tashkil etadi: xom ashyoni kiritish, uni qayta ishlash (kimyoviy o'zgarish) va mahsulotni chiqarish.

Bir sikl vaqti:

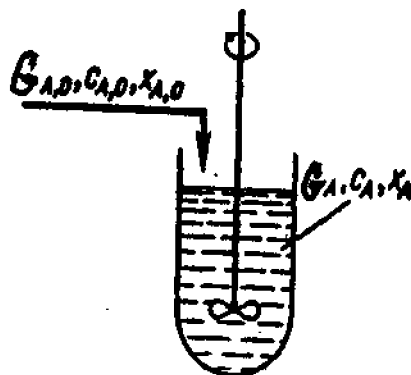
$$t_t = t + t_k \quad (3.11)$$

Bunda:  $t_t$ —siklning to'la vaqti;  $t$ —ishchi vaqt (kimyoviy reaksiya vaqti);  $t_k$ —qo'shimcha ishlar vaqti.

Davriy ravishda xom ashyo kiritiladigan va mahsulot chiqaradigan qorishtirgichli apparatlar ideal aralashtiruvchi (qorishtiruvchi) davriy reaktorlar (IAR-D) deyiladi (3.1-chizma).

Bunday reaktorda qorishtirish intensivligi shunday darajadagi, reaktorning hajmi bo'yichareagentlar konsentratsiyasi muayyan vaqtda bir xil bo'ladi, faqatgina kimyoviy reaksiyalar kyechishiga bog'liq ravishda vaqt bo'yichao'zgaradi.

Davriy jarayonlar tabiatan doimo nostatsionar bo'ladi, ya'ni kimyoviy reaksiya kyechish natijasida jarayon parametrlari (masalan, moddalar konsentratsiyasi) vaqt bo'yichao'zgarib boradi, ya'ni moddalar (mahsulot) yig'ilib boradi. 3.1-chizmada IAR-D ko'rsatilgan.



3.1-chizma. Davriy ideal aralashtiruvchi reaktor.



Bu reaktor xarakteristika tenglamasini tuzish uchun boshlang'ich bo'lib material balans tenglamasi (3.8) xizmat qiladi, ya'ni tenglama o'ng qismidagi birinchi va ikkinchi guruh natijalari nolga teng. Demak,

$$-\frac{dC_A}{dt} = U_A \quad (3.12)$$

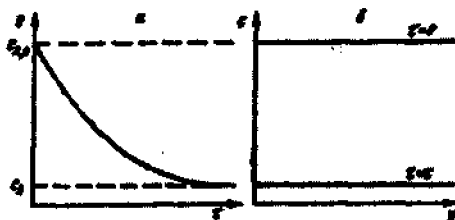
Tenglamadagi «minus» ishorasi jarayonda ham, tasirlashuvchi moddalar konsentratsiyasida ham tezlik kamayib borishini (3.2-chizma) ko'rsatadi.

3.1 va 3.2-chizmalarda:  $G_{A0}$  – reagent A ning reaktorga kirishdagi miqdori;  $S_{A0}$  – reaksiya aralashmasidagi reagent A ning konsentratsiyasi (boshlang'ich);  $X_{A0}$  – A ning boshlang'ich o'zgarish (o'tish) darajasi;  $G_A$ ,  $C_A$ ,  $X_A$  – xuddi shu ko'rsatkichlar jarayon oxirida;  $t$  – vaqt;  $u$  – fazoviy koordinatalar.

A modda muayyan konsentratsiyasi quyidagi tenglama bo'yicha aniqlanadi:

$$C_A = \frac{G_A}{V} = \frac{G_{A0}(1-X_A)}{V} \quad (3.13)$$

Bunda:  $V$  – reaksiya aralashmasi hajmi.



3.2-chizma. Ideal aralashtiruvchi davriy reaktorda reagentlar konsentratsiyalari tarqalishi: a – vaqt bo'yicha; b – hajm bo'yicha.

Barcha reaksiyalar reaksiya aralashmasi hajmi o'zgarimasdan yoki o'zgarishi bilan kechadi. Birinchi tartibli ( $v=\text{sonst}$ ) reaksiya uchun A modda muayyan konsentratsiyasi

$$C_A = \frac{G_{A0}(1-X_A)}{V} = C_{A0}(1-X_A) \quad (3.14)$$

ga teng.

$S_A$  qiymatini (3.12) tenglamaga kiritsak,

$$\frac{d[C_{A_0}(1-X_A)]}{d\tau} = \frac{G_{A_0}dX_A}{d\tau} = -U_A \quad (3.15)$$

$$d\tau = C_{A_0} \cdot \frac{dX_A}{-U_A} \quad (3.16)$$

bo'ladi.

Vaqtning 0 dan  $t$  gacha va o'zgarish (o'tish) darajasini 0 dan  $X_A$  gacha o'zgarishida (3.16) tenglamani integrallab reaksiya aralashmasi hajmi o'zgarish holat uchun IAR-D ning xarakterlovchi tenglamasini keltirib chigaramiz:

$$\tau = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{-U_A} \quad (3.17)$$

Bu tenglamaning ayrim xususiy holatini ko'rib chigamiz:

a) «n» tartibdagi qaytmas jarayon uchun reaksiya tezligi quyidagicha ifodalanadi:

$$-U_A = kC_A^n = kChC_{A_0}^n(1-X_A)^n \quad (3.18)$$

Bu  $(-U_A)$  qiymatni (3.17) tenglamaga kiritsak va tezlik konstantasi ( $k$ ) izotermik sharoitda o'zgarish kattalik ekanligini e'tiborga olsak:

$$\tau = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{kC_{A_0}^n(1-X_A)^n} = \frac{1}{k \cdot C_{A_0}^{n-1}} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(1-X_A)^n} \quad (3.19)$$

b) «0» tartibdagi qaytmas jarayon uchun:

$$-U_A = kChC_A^0 = k \quad (3.20)$$

Shu sababli (3.17) tenglamadan

$$\tau_0 = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{k} = \frac{C_{A_0} \cdot X_A}{k} \quad (3.21)$$

kelib chiqadi.

v) Birinchi tartibdagi qaytmas jarayon uchun:

$$(-U_A) = kChC_A = kChC_{A_0}(1-X_A) \quad (3.22)$$

Shuning uchun bu qiymatni (3.17) tenglamaga kiritdik quyidagi tenglama kelib chiqadi:

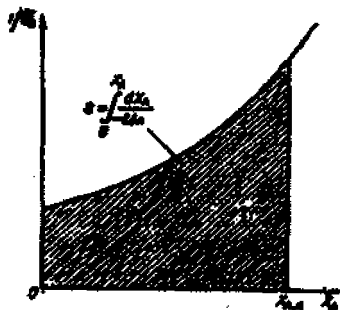
$$\tau = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{k \cdot C_{A_0} (1 - X_A)} = \frac{1}{k} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{1 - X_A} = -\frac{1}{k} \ln(1 - X_A), \quad (3.23)$$

yoki

$$\tau = \frac{1}{k} \ln \frac{1}{1 - X_A} \quad (3.24)$$

Agar (3.17) tenglamani integrallash qiyinchilik tug'dirsa, unda vaqt «t» grafik integrallash usuli bilan aniqlanadi (3.3-chizma). Buning uchun  $1/u_A$  ni  $X$  ga bog'lovchi grafik tuziladi va chiziq ostidagi  $X_{A0}$  va  $X_A$  (boshlang'ich va oxirgi o'zgarish) (o'tish darajasi) oraliqdagi yuza (maydon) hisoblab chiqiladi.  $X_{A0}=0$  uchun izlanayotgan yuza quyidagicha ifodalanadi:

$$S = \int_0^{X_A} \frac{1}{-U_A} dX_A \quad (3.25)$$



3.3-chizma. Davriy ideal aralashtiruvchi reaktor grafik hisobi (IAP-D sxemasi).

Olingan  $S$  qiymatini (3.17) tenglamaga kiritdik:

$$\tau = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{-U_A} = C_{A_0} \cdot S \quad (3.26)$$

IAP-D sxemasi o'z o'rnida reaktorning fizik modeli hamdir.

Agar bunday reaktorni kichik o'lchamda (modeli) tayyorlansa, ish jarayonida sanoat reaktorlarini loyihalash uchun asosiy ko'rsatkichlarni aniqlash mumkin.

Tajriba natijalari turli fizik ko'rsatkichlar va chiziqli o'lchamlar kombinatsiyalaridan tashkil topgan o'lchamsiz komplekslar bog'liqligi shaklida ifodalanadi. Tajriba natijalarining bunday shaklda ifodalanishi topilgan bog'liqliklarni o'lchamsiz komplekslarning doimiylikni xarakterlaydigan hodisalarni o'zaro o'xshash guruhlariga ajratish imkonini beradi yoki o'xshashlik kriteriyalari (Reynolds, Frud, Arximed, Pekle, Prandtl, Nusselt va boshq.)ni beradi. Shuning uchun fizik modellash shu modeldagi o'xshashlik kriteriyalarini belgilaydigan doimiylikni keltirib chiqarish uchun qo'llanadi.

IAR-D ning matematik modeli (3.17) tenglamadir. Bu tenglama orqali reaktor o'lchamini aniqlash hamda xarakteristik tenglamada qatnashadigan barcha parametrlarning optimal qiymatlarini aniqlash uchun bu modelni tadqiq qilish mumkin.

Matematik modelni tadqiq qilish elektron hisoblash mashinalari (EHM) da olib boriladi. Agar laboratoriya sharoitida (qurilmalarda) jarayon kinetikasini to'la-to'kis o'rganish mumkin bo'lsa, tajriba qurilmasida tadqiqotlar o'tkazmay ham ishlab chiqarish reaktorlarini loyihalash mumkin. Davriy ishlaydigan reaktorlar tuzilishi jihatidan oddiy bo'lib, katta bo'lmagan qo'shimcha qurilmalar talab etadi. Shuning uchun ular kimyoviy kinetikani o'rganishda tajriba ishlarini o'tkazish uchun juda o'ng'ay. Sanoatda kichik hajmli, nisbatan qimmatbaho kimyoviy mahsulotlar ishlab chiqarishda qo'llanadi. Ko'pchilik ishlab chiqarish jarayonlari esa uzluksiz tartibda ishlaydigan reaktorlarda olib boriladi.

#### b) Uzluksiz ishlaydigan reaktorlar.

Bu reaktorlarda xom ashyo kirishi va mahsulot chiqishi uzluksiz davom etadi. Turg'oq holga kelgan tartibda parametrlar vaqt bo'yichao'zgar olmaydi. Bu reaktorlar uchun reagentlarning sistemada «nisbiy bo'lish vaqti» kontakt vaqti tushunchasidan foydalaniladi. U esa quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$\tau = \frac{V}{V_0} \quad (3.27)$$

Bunda:  $n_p$  - reaktor hajmi;  $V_0$  - vaqt birligi ichida reaktorga kirayotgan aralashma (reagentlarning hajmiy sarfi) hajmi, ya'ni:

$$G_{A_0} = C_{A_0} ChV_0 \quad (3.28)$$

$G_{Ao}$  – reagentlarning model sarfi, bunda:

$$\tau = \frac{v_p \cdot C_{A_0}}{G_{A_0}} \quad (3.29)$$

Bu reaktorlar ularda moddalar aralashishining turli xarakteri (gidrodinamik holat) bilan farqlanadilar. Bu reaktorlar ideal siqib chigaruvchi va ideal aralashtiruvchi deb ataluvchi turlarga bo'linadi.

### 3.3. Siqib chigaruvchi va aralashtiruvchi reaktorlar

#### a. Siqib chigaruvchi reaktorlar

Ideal siqib chigaruvchi model. Ideal siqib chiqarish tartibida, ya'ni oqim holati ideallashtirilganda:

a) Suyuqlikning normal harakatida, xohlagan ko'ndalang kesimda hajmiy tezlik va suyuqlik xossalari (bosim, harorat, tarkib) bir xil.

b) Hajmiy tezlikka nisbatan diffuziya e'tiborga olinmaydigan darajada kam.

Birinchi shart shundan iboratki, muhitning barcha elementlari reaktordan bir xil vaqtda o'tadi va R, T va S o'zgarishi ham shunday ketma-ketlikka uchraydi.

Ikkinchi shartda esa reagentlar va mahsulotlar molekulari reaktorda o'tishda muhitning bir elementidan ikkinchisiga diffuziyalanmaydi (elementlar kichik o'tuvchi qobiqlar).

Har bir elementda o'zgarish darajasi bir xil.

Shuning uchun bu elementlarni sistema bo'ylab harakatlanadigan davriy ishlaydigan miniatyur reaktorlar deb qarash mumkin.

Shunday qilib, siqib chigaruvchi reaktorni elementning siqib chigaruvchi reaktordan o'tish vaqtiga teng reaksiya davomiyligiga ega davriy ishlaydigan sistema parametrlariga ega deb xarakterlash mumkin. Harorat va bosimning o'zgarish ketma-ketligiga ham o'xshash deb qarash mumkin. Biroq shu bilan birga muhit elementi hajmi har vaqt ham o'zgarmas bo'lib qolmasligiga e'tibor berish kerak.

Ideal siqib chigaruvchi reaktor (ISCHR) quvurga o'xshash apparat bo'lib, uzunligi diametriga nisbatan katta o'lchamga ega (3.4-chizma). Reaktorga uzluksiz boshlang'ich reagentlar beriladi va u reaktor uzunligi bo'ylab harakat davrida reaksiya mahsulotlariga aylanib (o'tib) boradi. Masalan, reagent A uzunlik bo'yicha o'zgarib

boshlang'ich  $S_{A0}$  konsentratsiyadan, oxirgi  $S_A$  miqdorgacha o'zgaradi (kamayadi).

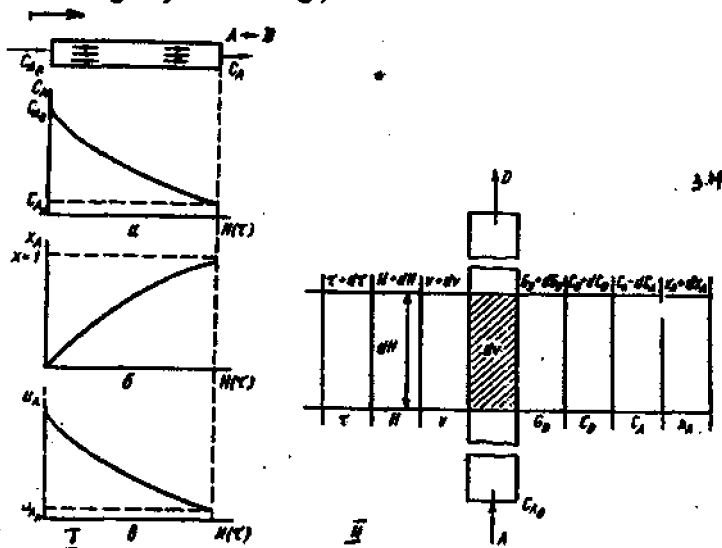
ISCHR ning matematik ifodasini yozish uchun reaktorning yuqorida aytilgan xususiyatlariga (a, b) mos ravishda material balans (3.8)ga o'zgartirish kiritiladi.

Reaktorda reaksiya aralashmasi faqat ( $l$  bo'yicha) bir tamonga ( $x$  o'qi bo'yicha) harakatlangani uchun (3.8) tenglama o'ng qismi birinchi guruhini tashkil etuvchilari uchun quyidagilarni yozish mumkin:

$$-W_y \frac{\partial C_A}{\partial y} = 0; \quad -W_z = \frac{\partial C_A}{\partial z} = 0 \quad \text{Re}$$

$$-W_x \frac{\partial C_A}{\partial x} = W \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad \text{(b)}$$

Bunda:  $W$  — reaksiya aralashmasining reaktordagi chiziqli tezligi;  $l$  — uzunlik (reaksiya aralashmasidagi hajm elementining reaktorda o'tgan yo'li uzunligi).



3.4-chizma. I — Ideal siqib chiqaruvchi reaktorda reagentlar konsentratsiyasi (a), o'tish darajasi (b) va reaksiya tezligi ( $v$ ) ning o'zgarishi.

II — Reaktorning elementar hajmida jarayon parametrlarining o'zgarishi sxemasi).

(b) Shart bo'yicha ideal reaktorda hajm elementlari aralashmaydi, radial aralashirish yo'q, diffuziya yo'q (molyar diffuziya oz), bunda (3.8) tenglama o'ng qismi ikkinchi guruhi tashkil etuvchilari ta'siri yo'q:

$$\Delta \left( \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (v)$$

Bularni hisobga olganda, (3.8) tenglama ideal siqib chigaruvchi reaktorlar uchun quyidagicha ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{\partial C_A}{\partial \tau} = -W \frac{\partial C_A}{\partial \ell} + U_A \quad (3.30)$$

Bu material balans tenglamasi nostatsionar rejimda (jarayon parametrlari reaktor uzunligi bo'ylab va vaqt bo'yichaham o'zgaradi) ideal siqib chigaruvchi reaktorlarda reagentlar oqimining matematik ifodasidir. Bunday tartib reaktorni ishga tushirish va to'xtatish davri uchun xarakterlidir.

$dC_A/d\tau$  reaktorning muayyan nuqtasida A modda konsentratsiyasining vaqt bo'yicha o'zgarishini xarakterlaydi.

Statsionar (turg'oq) tartibda esa reaksiya hajmining har bir nuqtasida parametrlar vaqt bo'yichao'zgar olmaydi ( $dC_A/d\tau = 0$ ).

Bu holda (3.30) tenglama quyidagicha bo'ladi:

$$W \frac{\partial C_A}{\partial \ell} = U_A \quad (3.31)$$

Jarayon davomida reaksiya aralashmasi o'zgar massasa,  $C_A = C_{A0}$  ( $1 - X_A$ ) tenglamasiga mos keladi. Uni differensiallasak:

$$dC_A = -C_{A0} dX_A \quad (g)$$

Ammo xohlagan muayyan vaqt t:

$$dl/dt = w \quad (d)$$

yoki

$$dl = wd t \quad (e)$$

Olingan qiymatlarni (3.31) tenglamaga kiritsak:

$$d\tau = C_{A0} \frac{dX_A}{-UA} \quad (3.32)$$

bo'ladi.

Bu tenglamani 0 dan  $X_A$  gacha o'zgarish (o'tish) darajasi orasida integrallasak:

$$\tau = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{-U_A} \quad (3.33)$$

Bundan ko'rinadiki, umumiy ko'rinishda IAR (3.19 – 3.24) va ISCHR uchun n ning turli qiymatlarida quyidagicha yozish mumkin:

$$\tau_{n=n} = \frac{1}{kC_{A_0}^{n-1}} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(1-X_A)^n} \quad (3.34)$$

$$\tau_{n=0} = \frac{C_{A_0} X_A}{k} \quad (3.35)$$

$$\tau_{n=1} = \frac{1}{k} \ln \frac{1}{1-X_A} \quad (3.36)$$

Tartibi 0 № n № 1 reaksiyalar uchun esa IAR larda yozilgan grafik usul (3.3-chizma) dan foydalaniladi. Bunda:

$$\tau = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{1}{-U_A} dX_A = C_{A_0} S \quad (3.37)$$

$$S = \int_0^{X_A} \frac{1}{-U_A} dX_A = \frac{\tau}{C_{A_0}} \quad (3.38)$$

Tenglamalarda IAR – D uchun t kattalik – boshlang'ich reagentning reaktorga berilishidan mahsulotni chiqarishgacha reaksiya kechgan vaqt, ISCHR uchun esa reaktorning kirishidan chiqishgacha reaksiya aralashmasi harakatlangan vaqt.

Agar reaksiya jarayonida reaksiya aralashmasi hajmi o'zgarsa (3.32) va (3.33) tenglamaga hajm o'zgarishini hisobga olgan

$$X_A = \frac{C_{A_0} - C_A}{C_{A_0} + C_A \varepsilon_A}$$

tenglamaga muvofiq holda reaksiya tezligi qiymatini kiritish kerak:

$$-U_A = kC_A^n \left( \frac{1-X_A}{1+\varepsilon_A X_A} \right)^n \quad (3.39)$$

Bunda ISCHR tenglamasi quyidagicha bo'ladi:



$$\tau = \frac{1}{kC_{A_0}^{n-1}} \int_0^{X_A} \frac{(1 + \varepsilon_A X_A)^n}{(1 - X_A)^n} dX_A \quad (3.40)$$

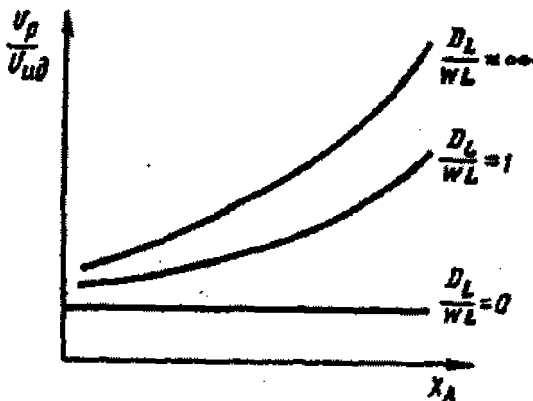
Bunda:  $\varepsilon_A$  – sistema hajmining nisbiy o'zgarishi.

Real reaktordagi gidrodinamik holat ideal reaktordagidan farqlanadi. Masalan, asosiy oqimning to'g'ri yo'nalishidan tashqari ko'ndalang va radial yo'nalishda aralashishi mumkin:

$$\frac{\partial C_A}{\partial \tau} = -W \frac{\partial C_A}{\partial \ell} + D_L \frac{\partial^2 C_A}{\partial \ell^2} + U_A \quad (3.41)$$

Reaktorning bunday modeli bir parametrlilik diffuziyali model deyiladi. Chunki bunday bitta diffuziya parametri – uzunlik bo'yicha aralashishi hisobga olinadi.

Bunday reaktorning ideal reaktorga nisbatan ko'rsatkichlari chetlanishi darajasi uchta kattalikka bog'liq: uzunlik bo'yicha aralashish koeffitsienti (konvektiv diffuziya)  $D_L$ , oqim chiziqi tezligi  $W$  va reaktor uzunligi  $l$ . Bu kattaliklar o'lchamsiz kompleks  $D_L/(WL)$  ga keltirilgan. Chetlanish darajasi shu kompleks qiymatiga bog'liq bo'lib, bir xil o'tish (o'zgarish) darajasi  $X_A$  ga erishish uchun zarur bo'lgan real  $V_p$  va ideal  $V_{id}$  reaktorlar hajmlari nisbatlari bilan ifodalanishi mumkin (3.5-chizma).



3.5-chizma. Real siqib chiqaruvchi reaktor hajmining ideal siqib chiqaruvchi reaktor hajmiga nisbatining o'tish (o'zgarish) darajasi  $X_A$  va  $DL/WL$  ga bog'liqligi.

Agar  $\frac{D_L}{WL} = 0$  bo'lsa, ideal siqib chiqarish tartibi (rejimi) kuzatiladi; bunda  $V_r/V_{id} = 1$ ,  $V_r/V_{id}$  bog'liqligi  $X_A$  dan boshlab absissa o'qiga parallel to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi (3.5-chizma). Agar  $\frac{DL}{WL} > 0$  bo'lsa, bunda  $V_r/V_{id} > 1$ ; bu holda  $X_A$  oshib borishi bilan  $V_r/V_{id}$  qiymati ham oshib boradi.

Shunday qilib,  $V_r/V_{id}$  nisbati va  $X_A$  larga bog'liq bo'lib, umumiy holda quyidagi tenglama holatda ifodalanadi:

$$V_r / V_{uz} = f\left(\frac{DL}{WL}, X_A\right) \quad (3.42)$$

qanchalik yuqori bo'lsa, real reaktordagi gidrodinamik tartib (rejim)ning ideal rektordagiga nisbatan cheklanishi shuncha katta bo'ladi va bu farq  $X_A$  qiymati oshgan sari o'sib boradi. Real reaktornlarni hisoblashda bu e'tiborga olinadi.

Reaktordagi faqatgina uzunlik bo'yichaemas, balki radial aralashishni ham hisobga olishda tenglamadagi ikkinchi guruh tashkil etuvchilari ( $v$ ) ni ham saqlab qoladi. Bunda tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\frac{\partial C_A}{\partial \tau} = -w \frac{\partial C_A}{\partial \ell} + D_L \frac{\partial^2 C_A}{\partial \ell^2} + D_R \frac{\partial^2 C_A}{\partial R^2} + U_A \quad (3.43)$$

Bunda:  $DR$  – radial aralashish koeffitsienti;  $R$  – reaktor quvuri radiusi.

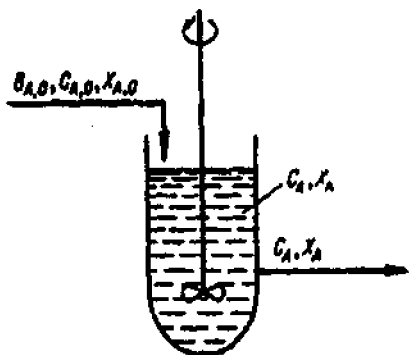
Bunday model ikki parametrlil diffuziyali model deyiladi. Chunki unda ikkita diffuziya parametri hisobga olinadi.

### ***b. Uzlüksiz ideal aralashtiruvchi reaktor***

Uzlüksiz ideal aralashtiruvchi reaktor (IAP-U) qorishtirgichli reaktor bo'lib, reagentning unga kirishi va mahsulot chiqishi uzluksizdir (3.6-chizma).

IAP-Uga reagent tushishi bilan reaksiyon massa bilan reaksiyaga tez kirishib konsentratsiyasi o'zgaradi. Chunki aralashmada uning konsentratsiyasi kamayib qolgan bo'ladi.

Tez qorishtirish natijasida hajmi bo'yichamoddalar konsentratsiyasi bir xil bo'ladi va boshlang'ich moddalar konsentratsiyasi vaqt o'tishi bilan kamayib boradi. Xajmi bo'yichareaksiya tezligi va o'tish (o'zgarish) darajasi ham bir xil bo'ladi.



3.6-chizma. Uzlüksiz ideal aralashtiruvchi reaktor (IAR-U).

Shunday qilib, IAP-U uchun vaqt hamda hajm bo'yichaparametrlar gradienti bo'lmisligi xarakterlidir. Shuning uchun material balans tenglamasini birdaniga butun reaktor bo'yichatuziladi. Differensial shakldagi parametrlar gradientlari o'rini reaktorga kirishdagi va undan chiqishdagi qiymatlar farqi egallaydi. Bu xususiyatlarni e'tiborga olgan holda turg'oq tartib (rejim) uchun quyidagi tenglamani yozish mumkin:

$$B_A(\text{kr}) = B_A(\text{konv}) \quad (3.44)$$

Bunda:  $B_A(\text{kr})$  — reaksiya hajmda vaqt birligi ishida reaksiyaga kirishayotgan A modda miqdori;  $B_A(\text{konv})$  — konvektiv oqim bilan vaqt birligi ishida o'tgan A modda miqdori:

Ammo  $B_A(\text{kr}) = (-U_A) V_r$  va  $B_A(\text{konv}) = V(C_{A0} - C_A)$ , shuning uchun bu qiymatlarni (3.57) tenglamaga qo'ysak:

yoki

$$\tau = \frac{C_{A_0} - C_A}{-U_A} = \frac{C_{A_0} \cdot X_A}{-U_A} \quad (3.45)$$

n tartibdagi oddiy qaytmas reaksiya uchun (3.44 — 3.45) tenglamalarni e'tiborga olganda tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\tau_{n=0} = \frac{C_{A_0} - X_A}{kC_A^n} = \frac{C_{A_0} X_A}{kC_{A_0}^n (1 - X_A)^n} = \frac{X_A}{kC_{A_0}^{n-1} (1 - X_A)^n} \quad (3.46)$$

Nolinshi tartibdagi reaksiya uchun:

$$\tau_{n=0} = \frac{C_{A_0} X_A}{k C_{A_0}^0} = \frac{C_{A_0} X_A}{k} = \frac{C_{A_0} - C_A}{k} \quad (3.47)$$

Birinchi tartibli reaksiya uchun:

$$\tau_{n=1} = \frac{C_{A_0} X_A}{k C_A} = \frac{C_{A_0} X_A}{k C_{A_0} (1 - X_A)} = \frac{X_A}{k C_{A_0} (1 - X_A)^2} \quad (3.48)$$

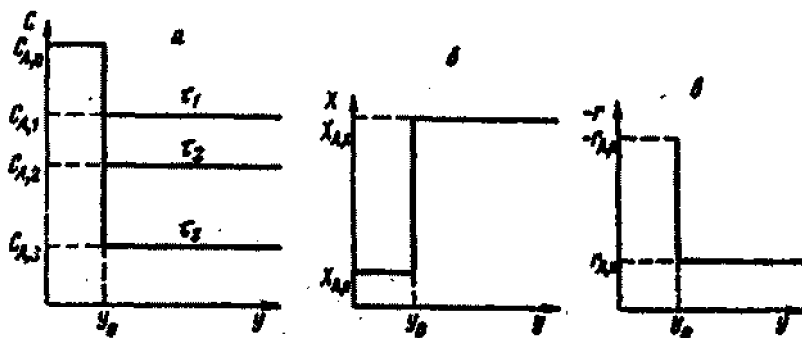
Agar reaksiya jarayonida aralashma hajmi o'zgarsa, (3.46) tenglamaga qiymatini qo'yish kerak:

$$\tau = \frac{C_{A_0} X_A}{k C_A} = \frac{C_{A_0} X_A}{k C_{A_0} \left( \frac{1 - X_A}{1 + \epsilon X_A} \right)^2} = \frac{(1 - \epsilon X_A)^2}{k C_{A_0} (1 - X_A)^2} \quad (3.49)$$

*Real aralashtiruvchi reaktorlarda* boshlang'ich reagentlar reaksiya aralashmasi bilan aralashtiriladi, sistema IAR-U lardagiday tez emas, balki asta-sekin aralashadi. Shuning uchun reaktor hajmi bo'yichaboshlang'ich reagent konsentratsiyasi bir xil emas va demak,  $S_A = f(y)$  bog'liqlik 3.7-chizmadagiday to'g'ri chiziqli bo'lmaydi.

Ideal reaktorlardan real reaktorlarning chetlanishini quyidagicha tenglama bilan ifodalash mumkin:

$$t_r/t_{id} = d > 1 \quad (3.50)$$

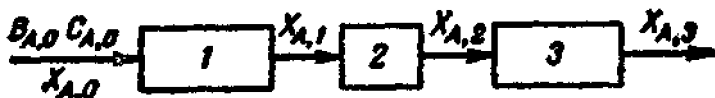


3.7-chizma. IAR-U da jarayon parametrlari o'zgarishi: a – reagent konsentratsiyasi  $C_A$ ; b – o'tish (o'zgarish) darajasi  $X_A$ ; c – reaksiya tezligi  $U_A$ .

Bunda:  $t_r$ ,  $t_{id}$  – berilgan o'tish darajasi  $X_A$  ga etish uchun real va ideal aralashtiruvchi reaktorlarda aralashmaning bo'lish nisbiy vaqtlari;  $\xi$  – real reaktorning idealdan cheklanish koeffitsienti.

### v. Reaktorlar kaskadi

Bir necha reaktor ketma-ket ulansa uni reaktorlar kaskadi deyiladi. 3.8-chizmada ideal siqib chiqaruvchi reaktorlar kaskadi ko'rsatilgan.



3.8-chizma. Ideal siqib chiqaruvchi reaktorlar kaskadi.  $X_{A,1}$ ,  $X_{A,2}$ ,  $X_{A,3}$ , – A reagentining reaktorlardan chiqishdagi o'tish (o'zgarish) darajalari.

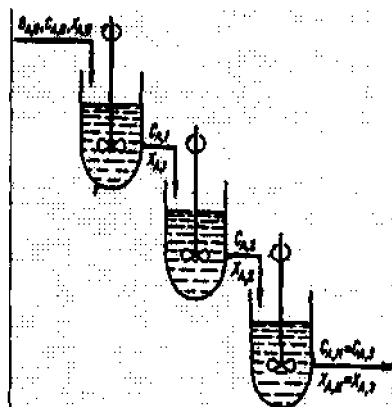
Birinchi, ikkinchi va hokazo  $m$  – reaktorlarda A modda o'tish darajasini  $X_{A,1}$ ,  $X_{A,2}, \dots, X_{A,m-1}$ ,  $X_{A,m}$  bilan belgilaymiz.  $m$  – reaktor uchun (3.33) tenglamaga muvofiq quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{\tau_m}{C_{A,0}} = \int_{X_{m-1}}^{X_m} \frac{dX_A}{-U_A} \quad (a)$$

Ketma-ket ulangan reaktorlar uchun tenglamalarni birlashtirib eshsak:

$$\begin{aligned} \frac{\tau_{or}}{C_{A,0}} &= \frac{V_p}{C_{A,0} V_0} = \sum_{i=1}^m \frac{V_{R,i}}{C_{A,0} V_0} = \frac{V_{R,1} + V_{R,2} + \dots + V_{R,m}}{C_{A,0} V_0} = \\ &= \int_{X_{A,0}}^{X_{A,1}} \frac{dX_A}{-U_A} + \int_{X_{A,1}}^{X_{A,2}} \frac{dX_A}{-U_A} + \dots + \int_{X_{A,m-1}}^{X_{A,m}} \frac{dX_A}{-U_A} = \int_{X_{A,0}}^{X_{A,m}} \frac{dX_A}{-U_A} \end{aligned} \quad (b)$$

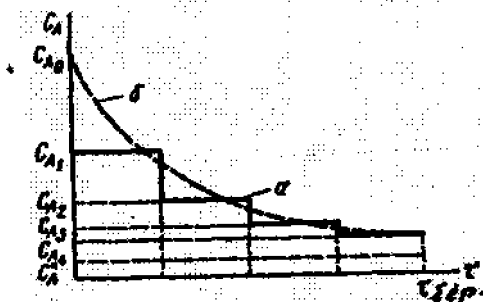
Demak, umumiy hajmi  $V_p$  ga teng bo'lgan reaktor shunday hajmga ega bo'lgan bitta reaktordagi boshlang'ich reagentlar o'tish darajasini ta'minlaydi.



3.9-chizma. Ideal aralashtiruvchi reaktorlar kaskadi sxemasi.

Bir bosqichli reaktorlarda reaksiya tezligiga bog'liq ravishda boshlang'ich reagentlar konsentratsiyalari pasayib ketadi va jarayon past konsentratsiya sharoitida boradi. Ko'p hollarda kamroq vaqt ichida yuqori o'tish darajasiga ega bo'lish uchun hamda sistemaning kimyoviy va fizik-kimyoviy xususiyatlardan kelib chiqqan holda reagentlarning birortasi konsentratsiyani yuqoriroq tutish uchun yoki kristallarni o'stirish va boshqa ijobiy natijalarga erishish uchun ketma-ket ulangan uzluksiz ideal reaktorlar ishlatiladi (3.9-chizma).

Bunda boshlang'ich reagent konsentratsiyasi  $S_A$  tezdin emas, bosqichlarda reaktordan reaktorga asta-sekin o'zgarib boradi (3.10-chizma).



3.10-chizma. To'la aralashtiruvchi reaktorlarda (a), ideal siqib chiqaruvchi reaktorlarda (b) reaktor kaskadlari bosqichlarida boshlang'ich reagentning konsentratsiyasi.

Reaktorlar kaskadida reaksiya aralashmasi tarkibi biridan ikkinchisiga o'tishda o'zgarib boradi. Har bir reaktor uchun hajm bo'yichakonsentratsiya bir xil tutiladi. Bosqichlarning nazariy miqdorlarini aniqlash uchun analitik (algebraik) va grafik hisob usullari qo'llaniladi.

**ANALITIK (ALGEBRAIK) hisoblash usuli.** Qaytmas reaksiyalar (birinchi tartibli) va diffuziyali to'sqinlik bo'lmaganda kaskadning birinchi bosqichi uchun material balans:

$$S_{A_0} V_a = S_{A_1} n_a + k S_{A_1} n = S_{A_1} (V_a + kn) \quad (3.51)$$

( $V_a$  – reaksiya aralashmasi hajmi,  $n$  – reaktor hajmi)

Bunda:

$$C_{A_1} = \frac{C_{A_0} V_a}{V_a + kv} = \frac{C_{A_0} V_a}{V_a \left(1 + \frac{v}{V_a}\right)} = \frac{C_{A_0}}{1 + k\tau} \quad (3.52)$$

Ikkinchi bosqich material balans:

$$S_{A_1} V_a = S_{A_2} V_a + k S_{A_2} n \quad (3.53)$$

Demak,

$$C_{A_2} = \frac{C_{A_1}}{1 + k\tau} = \frac{C_{A_0}}{1 + (k\tau)^2} \quad (3.54)$$

Har bir reaktor uchun ularning reaksiya hajmlari tengligida va o'zgarmas haroratda material balans hisoblanadi va quyidagi xulosaga erishiladi:

$$C_{A_m} = \frac{C_{A_0}}{(1 + k\tau)^m} \quad (3.55)$$

Bu tenglama xohlagan reaktordan chigayotgan reagentlar konsentratsiyasini aniqlash imkoniyatini yaratadi va butun kaskad hajmi bo'yichakonsentratsiya yoki o'tish darajasi o'zgarishi ma'lum bo'lsa, ketma-ket ulangan reaktorlar sonini aniqlash imkonini beradi:

$$m = \frac{\lg(C_{A_0} / C_{A_m})}{\lg(1 + k\tau)} \quad (3.56)$$

Yuqori tartibli reaksiyalarda reagentlar konsentratsiyasi  $S_{Am}$  ni  $S_{AO}$  orqali aniqlash juda murakkab bo'lgani uchun bunday hollarda aniqligi kamroq, lekin osonroq grafik usuli qo'llanadi.

**GRAFIK USUL.** Bu usul (3.45) tenglamaning o'zgartirilgan ko'rinishiga asoslanadi:

$$U_{Am} = -\frac{C_{Am}}{\tau} + \frac{C_{Am-1}}{\tau} = -\frac{1}{\tau}C_{Am} + \frac{C_{Am-1}}{\tau} \quad (3.57)$$

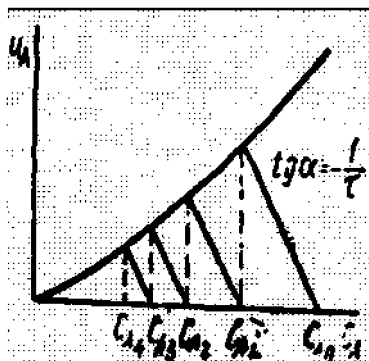
Bunda:  $U_{Am}$  –  $m$  – reaktordagi reaksiya tezligi.

Bu tenglama  $m$  – reaktor chiqishidagi modda konsentratsiyasi  $S_{Am}$  ning reaksiya tezligi  $U_{Am}$  ga bog'liqligini ko'rsatadi. Kaskaddagi reaktorlar hajmi bir xil bo'lsa, ya'ni aralashmaning bo'lish vaqti bir xil bo'lsa,  $S_{Am-1}/t$  o'zgarmas – doimiydir. Bunda tezlik tenglamasi:

$$U_{Am} = k(C_{Am}) \quad (3.58)$$

qoniqtiradi. Grafikdagi  $U_{Am}$  va  $C_{Am}$  qiymatlari yaroqli hisoblanadi.

Shunday qilib, reaksiya tezligi va konsentratsiyani bog'lovchi chiziqni kesib o'tib tangens burchagi  $tga = -1/\tau$  ga ega bo'lgan to'g'ri chiziq kaskadning  $m$  bosqichi reaktordagi konsentratsiya  $C_{Am}$  qiymatini beradi (3.11-chizma).



3.11-chizma. To'la aralashtiruvchi reaktorlar kaskadini grafik yo'l bilan hisoblash.



Istalayotgan bosqichdagi reaktorda konsentratsiya qiymatini topish uchun  $S_{A_0}$  nuqtadan holat chizig'iga perpendikulyar ravishda to'g'ri chiziq o'tkaziladi va kesishgan nuqtadan absissa o'qiga perpendikulyar tushiriladi va hokazo istalgan reaktor bosqichi konsentratsiyasigacha har bir bosqichda reagentlarning bo'lish vaqti teng bo'lgani uchun (3.57) tenglama orqali aniqlangan to'g'ri chiziqlar o'zaro parallel bo'ladi. Kaskaddagi reaktorlar soniga qarab kaskad hajmi va reagentlarning ularda bo'lish vaqti aniqlanadi.

Kaskaddagi reaktorlar miqdorining oshib borishi bir xil o'tish darajasiga etish uchun vaqtni va umumiy hajmi kamaytirishga olib keladi.

### 3.4. Reaktorlarni solishtirish

Kimyoviy jarayonning samaradorligini belgilovchi reaktor ishining eng muhim ko'rsatkichlari quyidagilar:

1. Jarayon intensivligini belgilovchi reaktor o'lchami.
2. Reaktorda kechadigan jarayonning tanlanishi, ya'ni selektivligi.

3. Mahsulot chiqishi (xom ashyodan foydalanish foizi).

Har bir reaktor harorat, bosim, aralashtirish darajasi va boshqalar bilan farqlanadi.

Farqlanish omillaridan biri jarayonni harakatlantiruvchi kuch (reagentlar konsentratsiyasi) ning reaktor mahsuldorligiga ta'siridir.

Bunga asoslanib jarayonning boshqa parametrlari aniqlanadi.

Reaktor tiplari (turlari) va (xarakteristika) xususiyatlari 3.1-jadvalda ko'rsatilgan.

**Ideal siqib chigaruvchi va to'la aralashtiruvchi reaktorlar** Jarayon tezligi va boshqa parametrlar o'zgarmas holda reaksiya aralashmasi reaktordan o'tganda boshlang'ich reagent konsentratsiyasi  $S_{A_0}$  reaktor uzunligi (balandligi) bo'yicha o'zgaradi va unga muvofiq ravishda harakatlantiruvchi kuch kamayadi.

Bunday tipdagi (turdagi) reaktorlar uchun boshlang'ich reagentlar (harakatlantiruvchi kuchi) o'rtacha konsentratsiyasi logarifmik formula bilan aniqlanadi:

$$C_{o'rt} = \frac{C_{A_0} - C_{A_n}}{2,3lg(C_{A_0}/C_{A_n})} \quad (3.59)$$

Reagentlarning to'la aralashtiruvchi reaktorlardan o'tishida  $S_a = S_{Aox}$  bo'ladi. Demak, uzluksiz ishlovchi aralashtiruvchi reaktorlarda davriy va siqib chigaruvchi reaktorlarga nisbatan o'rtacha harakatlantiruvchi kuch  $\Delta S$  doimo kam bo'ladi.

Bu farq o'tish darajasi va reaksiya tartibi qancha yuqori bo'lsa, shuncha ko'proq bo'ladi.

Tenglamalar (3.37) va (3.45) ni ularga muvofiq keladigan grafiklar (3.1-jadval) bilan solishtirsak uzluksiz aralashtiruvchi reaktorlar ishlatilganda bir xil sharoitda berilgan o'tish darajasiga etish uchun ko'proq vaqt talab qilinishi ko'rinadi. Biroq izotermik tartib va diffuziya to'sqinligini yo'qotish tufayli, odatda aralashtiruvchi reaktorlar ishlatilganda bir xil sharoitda berilgan o'tish darajasiga etish uchun ko'proq vaqt talab qilinishi ko'rinadi. Biroq izotermik tartib va diffuziya to'sqinligini yo'qotish tufayli, odatda aralashtiruvchi reaktorlarda siqib chigaruvchi reaktorlarga nisbatan jarayon tezlik konstantasi anchagina yuqori bo'ladi. Kuchli qorishtirish tufayli getorogen sistemalarda fazalar tutashish (to'qnashish) yuzasi ko'payadi.

3.1-jadval.

Reaktor turi	Sxema	A → B reaksiya tartibi		C ning o'zgarishi
		1- tartib	2- tartib	
IAR-D		$\frac{1}{k_1} \left( \frac{C_A}{C_{A0}} \right)^2$	$\frac{1}{k_2} \left( \frac{C_A}{C_{A0}} \right)$	
ISR		$\frac{1}{k_1} \left( \frac{C_A}{C_{A0}} \right)^2$	$\frac{1}{k_2} \left( \frac{C_A}{C_{A0}} \right)$	
IAR-U		$\frac{1}{k_1} \left( \frac{C_A}{C_{A0}} \right)^2$	$\frac{1}{k_2} \left( \frac{C_A}{C_{A0}} \right)$	
IAR		$\frac{1}{k_1} \left( \frac{C_A}{C_{A0}} \right)^2$	$\frac{1}{k_2} \left( \frac{C_A}{C_{A0}} \right)$	

Reaktorlar turlari va xarakteristikasi ( $T = \text{sonst}$ )

Kinetik tenglamalar asosida jarayonning umumiy tezligini solishtirishda  $K$  va  $U_A$  ning qiymati aralash tiruvchi reaktorlarda,  $\Delta S$  e'tibor s'qib chiqaruvchi reaktorlarda katta ekanligini hisobga olish kerak.

Reaktorlarni solishtirishda faqatgina jarayon tezligini e'tiborga olib hamilik qiladi. Aralash tiruvchi reaktorlarda hajm bo'yicha harorat va konsentratsiya o'zgarishligi reaktor ishini boshqarish va avtomatlashtirishni osonlashtirishini hisobga olish kerak.

Siqib chiqarish tartibidan ko'ra aralash tiruvchi reaktorlarda reaksiyalarning yechishi samaraliroq bo'ladi. Intensiv qorishtirish ishqilik almashish sharoitini yaxshilaydi.

Ta'sirlashuvchi sistema issiqligini olish yoki sistemaga issiqlik berish — ishqilik almashish yuzasi kamayadi.

Ikkinchi tomondan qorishtirish apparatlar erroziyasiga, mayda zarracha yoki tomchilarni reaktordan chiqib ketishiga sabab bo'lishi mumkin. Energetik sarf ham ko'proq bo'lishi mumkin.

Demak, reaktor modelini tanlashda barcha ijobiy va salbiy omillarni e'tiborga olib, eng samarali tipi (turi) tanlab olinadi.

To'la aralash tiruvchi yakka va reaktorlar kaskadi Konsentratsiyalarning hajmlari teng yakka va kaskadli reaktorlarda tarqalishi (bo'linishi)ni solishtirish 3.1-jadvalda ko'rsatilgan.

Reaktorlar kaskadida yakka reaktorlarga nisbatan harakatlantiruvchi kuch —  $\Delta S$  katta (ko'p) bo'ladi. Uning farqi kaskaddagi reaktorlar soni ko'paygan sari ortadi. Reaktorlar soni cheksiz ko'paygan sari  $\Delta C$  ideal siqib chiqaruvchi reaktor DC sig'a yaqinlashadi. Izotermik tartibda kaskadning har bir bosqichida kechadigan jarayon kinetikasi quyidagicha yoziladi

$$U = G/t = kn\Delta C_{ox} \quad (3.60)$$

Kaskad bosqichi ko'proq bo'lsa (odatda  $m > y$ ) hisoblash uchun barcha bosqichlar uchun umumiy bo'lgan va siqib chiqaruvchi reaktorlarga muvofiq keladigan quyidagi tenglamadan foydalaniladi:

$$U = dG/dt = kChmn\Delta C_{ox} \quad (3.61)$$

Bular (3.60 — 3.61) da  $n$  — bir bosqichning reaksiya hajmi;  $DS_{ox}$  — shu bosqich oxiridagi harakatlantiruvchi kuch (aralash-

tiruvchi model bo'yicha);  $DS_{o'rt}$  — barcha bosqichlarda o'rtacha harakatlantiruvchi kuch siqib chigaruvchi modeli bo'yicha,  $m$  — bosqichlar (reaktorlar) soni.

Qaytmas jarayonlar o'tish darajasi  $kt$  ga bog'liq ravishda o'zgarishi kaskaddagi reaktorlar uchun ko'rsatilgan. Ko'rinadiki, reaktorlar soni qancha ko'p bo'lsa, berilgan (ma'lum bir) o'tish darajasiga erishish uchun  $kt$ - qiymati, ya'ni sistema reaksion hajmi shuncha kichik bo'ladi.

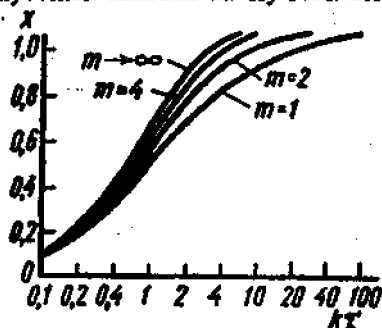
Agar kiruvchi va chiquvchi konsentratsiyalar kaskadining turli sonidagi reaktorlarida bir xil bo'lsa, bu holda misol uchun  $x=0,9$  qiymatda  $kt$  ning qiymatlari quyidagicha bo'ladi:

$$m \dots 1 \ 2 \ 3$$

$$kt \dots 9,0; 4,3; 3,1$$

Bundan ko'rinadiki, agar harakat, bosim va o'tish darajasi doimiy (o'zgarmas) saqlansa, kaskadning umumiy hajmi yakka reaktor hajmiga nisbatan ikkita reaktor ishlatilsa 2 marta va 3 ta reaktor ishlatilsa, deyarli 3 marta kamaytirish mumkin ekan (3.12-chizma).

**Davriy va uzluksiz ishlaydigan reaktorlar.** Davriy ishlaydigan reaktorlar nostatsionar texnologik tartibda ishlaydi. Ta'sirlanuvchi massani qorishtirish darajasidan qat'i nazar konsentratsiya, harorat, bosim va muvofiq ravishda jarayon tezlik konstantasi ham vaqt bo'yicha o'zgarib boradi. Agar to'la aralashtirish tartibida ishlasa, unda berilgan o'tish darajasiga erishish uchun sarflanadigan vaqt (3.37) tenglama bilan hisoblanadi va ideal siqib chigaruvchi reaktor xarakteristik (xususiyat) tenglamasiga ham mos keladi. Demak, jarayon o'tadigan sharoitlar bir xil bo'lsa, davriy va siqib chigaruvchi reaktorlar hajmi teng bo'ladi. Biroq sanoatdagi uzluksiz reaktorlarda jarayonlar kyechish sharoiti davriy reaktorlardan yaxshiroq.



3.12-chizma. Kaskaddagi reaktorlar soniga o'tish darajasining bog'liqligi.

Bundan tashqari, davriy reaktorlarga nisbatan uzluksiz ideal siqib chigaruvchi reaktorlar mahsuldorligi yuqori bo'ladi. Chunki davriy reaktorlarga xom ashyo kiritish – kimyoviy o'zgarish (o'tish) – mahsulot chiqarish bosqichlar uchun vaqt talab qilinadi. Jarayon esa davriy ravishda qaytadan boshlanadi. Bularda o'rtadagisi uchungina jarayon vaqti hisoblanadi.

Mahsuldorlik esa davriy reaktorlarda barcha bosqichlar davomiylikiga bog'liq:

$$M = G/t = G (t_{k.j} + t_{qo'sh}) \quad (3.62)$$

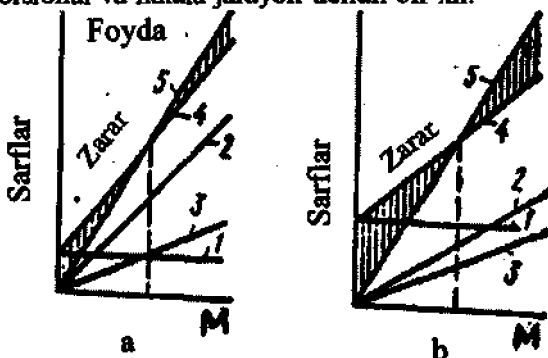
Bunda  $G$  – mahsulot massasi,  $t$  – siklning to'la vaqti,  $t_{k.j}$  – kimyoviy jarayon vaqti,  $t_{qo'sh} = t_1 + t_2$  – qo'shimcha ishlar vaqti.

Davriy reaktorlar samaradorligi reaktor ish vaqtidan foydalanish koeffitsienti yoki darajasi bilan xarakterlanadi:

$$h = t_{k.j} / (t_{k.j} + t_{qo'sh}) \quad (3.63)$$

Jarayonni davriy yoki uzluksiz reaktorlarda o'tkazishni taqqoslash kriteriyasi, bu ularning iqtisodiy ko'rsatkichlari, jumladan, apparatning mahsuldorligiga bog'liq bo'lgan mahsulot tan-narxidir. 3.13-chizmada iqtisodiy diagrammalar ko'rsatilgan.

Doimiy (sarf) xarajat; amortizatsiya, reaktorni ishlatish sarflari, nazorat, ish haqi va boshq. (1-chiziq) – mahsuldorlikka bog'liq emas. Davriyga nisbatan uzviy jarayonlarda u ko'proq o'zgaruvchi sarflar; elektroenergiya bug', suv va boshq. (2-chiziq) – mahsul-dorlikka proporsional. Bu sarflar davriy jarayonda uzluksizga nis-batan ko'proq. Xom ashyo qiymati bahosi (3-chiziq) – mahsuldor-likka proporsional va ikkala jarayon uchun bir xil.



3.13-chizma. Davriy (a) va uzluksiz (b) jarayonlar iqtisodiy diagrammasi.

Ishlab chiqarish umumiy qiymati (bahosi); doimiy, o'zgaruvchan xarajatlar va xom ashyo qiymati (4-chiziq). Mahsulot sotish bahosi (5-chiziq) davriy va uzluksiz jarayonlar uchun bir xil. Ishlab chiqarish qiymati bilan mahsulot bahosi o'rtasidagi farq reaktor ishining foydasi yoki zararini tashkil etadi. Chizmadan ko'rinadiki, uzviy reaktorda zarar ko'proq. Ammo yuqori mahsuldorlikda esa aksinsha, doimiyda zarar ko'proq, uzviyda foyda ko'proq bo'ladi.

Shunday qilib davriy reaktorlarda oz tannarxi, masalan, reaktivlar, ba'zi katalizatorlar, farmatsevtik va bo'yog' mahsulotlar ishlab chiqarish uzviy reaktorlarda esa ko'p tanlash, masalan, rudalarni qayta ishlash, sement, ohak kuydirish va boshqa jarayonlarni o'tkazish maqsadga muvofiq.

Yarim uzviylik ham bo'ladi, masalan, donna pechida qattiq shixta to'xtovsiz kiritiladi, cho'yan davriy chigariladi. Ohaktoshni kuydirishda ohaktosh va ko'mir pechga davriy kiritiladi, reaksiya mahsuloti ( $\text{SaO}$  va  $\text{SO}_2$ ) uzluksiz chigariladi va hokazo.

### 3.5. Reaktorlarning harorat tartibi

Harorat kimyoviy jarayonga ta'sir etuvchi omillardan eng muhimi hisoblanadi. Reaktorda optimal harorat sharoitini vujudga keltirish uchun reaksiya issiqlik effekti, issiqlik berish va olish. Ta'sirlashuvchi moddalar, issiqlik fizik xossalari, reaktorga kirish va chiqish haroratlar hamda gidrodinamik holatlar hisobga olinishi zarur.

Harorat tartibi bo'yichareaktorlar uchta tip (tur) ga bo'linadi: adiabatik, izotermik va politermik reaktorlar.

**Adiabatik reaktorlar** — ideal siqib chiqaruvchi reaktorlar bo'lib, issiqlik berilmaydi va atrof-muhitga yoki issiqlik almashtirgich orqali sistemadan chigarilmaydi. Ajralib chiquvchi (yoki yutiluvchi) barcha issiqlik reaktordagi reaksiya aralashmasiga akkumulatsiyalanadi.

**Izotermik reaktorlarda** jarayon reaktorning butun hajmi bo'yichao'zgarimas haroratda kechadi. Izotermiklik reagentlarni kuchli qorishtirish yo'li bilan, reaktorga issiqlik berish yoki uni sovitish orqali tutib turiladi. Siqib chiqaruvchi reaktorlarda ham kam issiqlik effektiga ega jarayonlarda yoki juda past konsentratsiyali reagentlar ishlatilganda izotermik tartibga yaqin sharoit bo'lishi mumkin.

**Politermik reaktorlarda** bir qism issiqlik olinishi yoki berilishi, reaktor uzunligiga yoki balandligi bo'yishaharorat o'zgartirilishi mumkin, issiqlik almashtirgichsiz to'la aralashtiruvchi reaktorlar ham bir paytda izotermik va integral-adiabatik (reaktorlar kaskadining turli bosqichlarida) bo'lishi mumkin.

Reaktordagi jarayonni o'rganish va baholash uchun issiqlik balansi (3.1-bo'lim)dan foydalaniladi.

*Adibatik tartibdagi jarayon va reaktorlar.* Adibatik tartibda reaktorda harorat o'zgarishi  $\Delta t$  o'tish (o'zgarish) darajasi  $x$  ga, asosiy reagent konsentratsiyasi  $C_{A0}$ ga va reaksiya issiqlik effekti  $q_p$  ga to'g'ri proporsionaldir. Harorat farqi  $Dt$  reaksiya aralashmasi issiqlik sig'imiga ( $C_T$ ) teskari proporsionaldir.

Adibatik jarayon tenglamasi issiqlik balansidan keltirib chigari-ladi:

$$EQ_{kir} = EQ_{sarf} \quad (3.64)$$

Jarayonga kiruvchi issiqlik miqdori uchun reagentlar bilan reaktorga kirgan ( $Q_b$ ) va reaksiya issiqlik effektini ( $Q_p$ ) olamiz, bunda:

$$EQ_{kir} = Q_b + Q_p \quad (3.65)$$

Adibatik jarayonda atrof (tashqi) muhit bilan issiqlik almashinishi bo'lmaydi va barcha issiqlik massasi  $G$  bo'lgan mahsulot bilan chiqib ketadi. O'rtacha issiqlik sig'imi  $S_r$  va chiqish harorati  $t_{ox}$  bo'lgan reaksiya aralashmasi (mahsulot) bilan chiqadi, ya'ni:

$$EQ_{sarf} = G s_p t_{ox} \quad (3.66)$$

Additivlik prinsipi bo'yichareaktorga kiruvchi va chiquvchi reaksiya massasi o'rtacha massa issiqlik sig'imini  $s$ =sonst deb olsak, unda:

$$Q_b = G C_p t_b \quad (3.67)$$

Oddiy reaksiyalarda reaktorda ajralib shiqgan yoki yo'qotilgan (endotermik jarayonlarga) issiqlik  $Q_p$  chigayotgan aralashma massa konsentratsiyasi  $C_T$  ga yoki kirayotgan asosiy modda konsen-tratsiyasi va uning o'tish (o'zgarish) darajasiga  $C_{A0} X$  proporsional bo'ladi:

$$Q_p = G q_p C_T = G q_p C_{A0} X, \quad (3.68)$$

Bunda:  $q_p$  – mahsulot massa birligida (mol) reaksiya issiqligi.

Shunday qilib,  $A \rightarrow V$  reaksiya uchun issiqlik balansi tenglamasi:

$$G C_p t_b \pm G q_p C_{A0} X = G C_p t_{ox} \quad (3.69)$$

Tenglamani o'zgartirib  $A \rightarrow V$  reaksiya uchun adiabatning xarakteristik tenglamasini chigaramiz:

$$t_{ox} = t_g \pm \frac{q_p C_{A_0} X}{c} \quad (3.70)$$

yoki

$$\pm q_p C_{A_0} X = C_p (t_{ox} - t_b) \quad (3.71)$$

$t_{ox} - t_b$  - farqi haroratning adiabatik o'zgarishi deyiladi.

$mA + nB \rightarrow dD + rR$  - tipidagi koeffitsienti e'tiborga olinadi. U maqsadli mahsulot o'tish darajasi hisoblanayotgan asosiy modda A ning massasiga bo'lgan nisbati bilan ifodalanadi, ya'ni  $\beta = G_D / G_A$ :

$$t_{ox} = t_g \pm \beta \frac{C_{A_0} X}{C_p} \quad (3.72)$$

Tenglama (3.81) ni e'tiborga olib, ayrim hollarda adiabata tenglamasi quyidagi shaklda ishlatiladi:

$$t_{ox} = t_g \pm \frac{Q_r}{GC_p} = t_g \pm \beta \frac{q_p C_D}{C_p} \quad (3.73)$$

Bunda:  $Q_p$  - reaksiya issiqligi miqdori.

Ba'zan haroratning adiabatik o'zgarishini aniqlashda hisoblashlarda issiqlik  $Q_p^1 = Q_p / X$  ni qo'llash oson bo'ladi. Bu esa asosiy moddani mahsulotga to'la o'tishida, ya'ni  $X=1$  da yoki yutilishi mumkin bo'lar edi.

$$t_{ox} - t_g = \pm \frac{Q_p}{GC_p} X \quad (3.74)$$

Adiabatalar tenglamasidan ko'rinadiki, ideal siqib chigaradigan reaktorlarda oqim o'qi bo'yichaxohlagan qismida harorat o'zgarishi o'tish darajasiga proporsionaldir:



$$Dt = t_{ox} - t_b = \gamma_0 l X \quad (3.75)$$

Bunda:

$$\lambda = \frac{q_p C_{A0} \beta}{C_p} = \frac{q_p C_D}{C_p X} = \frac{Q_p}{GC_p X} = \frac{Q'_p}{GC_p} \quad (3.76)$$

1 – haroratning adiabatik o'zgarishi koeffitsienti.

Ba'zan uni adiabatik harorat deb ataydi va  $t_2$  holda yoziladi.

Agar kaskad reaktorlaridan birida yoki ko'p tokchali reaktorning tokchalaridan birida hamda siklik texnologik sxema bo'yicha ishlayotgan reaktorda harorat o'zgarishi hisoblansa, bunda  $x_b \neq 0$  va

$$Dt = t_{ox} - t_b = \pm l(x_{ox} - x_b) \quad (3.77)$$

Siqib chiqaruvchi adiabatik reaktorda balandlikning elementar qismi dH issiqlik balansini tuzamiz:

Reaksiya aralashmasi massa birligida ( $G=1$ ) issiqlik kirishi reaktor ichidagi har qanday qism uchun:

$$Q_{kir} = q_p C_A dX_A \quad (3.78)$$

Shu qismdan mahsulot bilan chiqib ketayotgan issiqlik:

$$Q_{sur} = \overline{C_p} dt \quad (3.79)$$

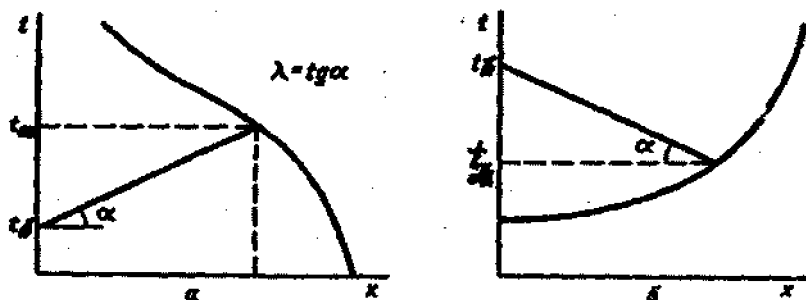
Issiqlik balansi tenglamasi:

$$\pm q_p C_A dX_A = \overline{C_p} dt \quad (3.80)$$

bo'ladi.

Siqib chiqaruvchi adiabatik reaktor modeli bo'yicha katalizatorli filtr qatlami bo'lgan kontakt apparatlari hisoblanadi. Bu modelni gomogen reaksiyalar kechuvchi kamerali reaktorlarni hisoblashda qo'llash mumkin, masalan, xlor vodorod sintez pech-lari uchun sochilgan suyuqlik tomchilari bilan parallel yuqoridan pastga gazlar harakatlanadigan tashqi muhitdan himoyalangan (izolyatsiyalovchi futirovkali) to'g'ri oqimli absorberlar ham harorat tartibi bo'yicha adiabataga yaqin.

Adiabata tenglamalari grafik ko'rinishi 3.14-chizmada ko'rsatilgan.



3.14-chizma. Ideal siqilib chiquvchi adiabatik reaktorlarda o'tish darajasi oshishi bilan haroratning o'zgarishi: a — ekzotermik jarayon; b — endotermik jarayon (qaytar reaksiyalar).

To'la aralashtiruvchi to'g'ri oqimli integral — adiabatik reaktor issiqlik balansi quyidagilardan ( $G=1$  da) tashkil topadi.

Vaqt birligi ishida issiqlik kirishi (ekzotermik reaksiya):

$$Q_{kir} = C_p t_b + q_p C_{A0} X_A \quad (3.81)$$

Vaqt birligi ichida issiqlik sarfi:

$$Q_{sarf} = C_p t_{ox} \quad (3.82)$$

Issiqlik berish va olish o'zaro teng, demak:

$$\overline{C_p} t_b + q_p C_{A_0} X_A = \overline{C_p} t_{ox} \quad (3.83)$$

Yoki o'zgarmas issiqlik sig'rimida:

$$q_p C_{A_0} X_A = \overline{C_p} (t_{ox} - t_b) \quad (3.84)$$

Agar reaktorda endo va ekzotermik reaksiya sodir bo'lsa, to'la aralashtiruvchi to'g'ri oqimli (промочный) reaktorlar uchun issiqlik balansi umumiy tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\pm q_p C_{A_0} X_A = \overline{C_p} (t_{ox} - t_b) \quad (3.85)$$

## Izotermik tartibdagi jarayon va reaktorlar

Izotermik reaksiyalar amalda faqat uzluksiz ishlaydigan reaktorlarda bajariladi. Bu sharoitda reaktorga issiqlik berish yoki sovitish yo'li bilan harorat doimo bir xil tutib turiladi.

Reaksiya aralashmasi harorati reaktorga kirishda va chiqishda teng bo'lsa, (ya'ni  $T=T_0$ ) ISCHR-I va IAR-U-I uchun  $C^1_T dT=0$  va  $C^1_T (T-T_0)=0$ .

Izotermik tartibda ishlaydigan reaktorlar material balansi:  
ISCHR-I uchun:

$$\Delta H dX_A = \frac{FK\Delta T d\ell}{G_A} \quad (3.86)$$

(ISCHR-I – ideal siqib chigaruvchi izotermik reaktor)  
IAR-U-I uchun:

$$\Delta H X_A = \frac{FK\Delta T}{G_A} \quad (3.87)$$

Bunda DN – reaksiya issiqlik effekti;  $X_A$  – o'tish (o'zgarish darajasi); F – reaktordagi issiq almashish umumiy yuzasi;  
– reaktor uzunligi birligiga hisoblangan yuzi.

$$DT = T - T_s$$

Bunda: T – reaksiya aralashmasi harorati;  $T_s$  – sovituvchi modda harorati; K – issiqlik almashinish koeffitsienti;  $G_A$  – reagent sarfi (miqdori) ( $=C_A V$ ).

Adiabat tenglamalarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, aralashuvchi izotermik reaktorlardan tashqari kichik  $q_p$ ,  $C_A$  yoki X qiyamatga ega bo'lgan va katta issiqlik o'zgaruvchan reaksiya aralashmali reaktorlar izotermik tartibga yaqinlashadi. Jumladan, past konsentrlangan ( $S_A \rightarrow 0$ ) gazlarni qayta ishlash reaktorlari hamda ekzo va endotermik jarayonlar amalda bir-birini qoplaydigan sistema reaktorlar amalda izotermik. Ularda reaksiya davomida oqib o'tuvchi reaktorlarda reaktorning uzunasi yoki balandligi bo'yishaharakat o'zgarimas (bir xil) bo'ladi:  $t_{o'rt} = t_{ox} = \text{sonst}$ .

Sanoat reaktorlarini modellashda barcha suyuqlik (S, S-S, S-K) reaktorlar izotermikdir. Ularda mexanik, pnevmatik va oqim-sirkulyar qorishtiruvchi mexanizmlar bo'ladi. Kichik o'lehamli ko'pikli va barbotaj apparatlar tokcha (tarelka)larida hamda qattiq

modda zarrachalari erkin muallaq («qaynovshi») qatlamli apparatlarda izotermik tartib kuzatiladi.

Yonmaydigan gazlarni oz konsentratsiyali zararli qo'shimchalardan tozalovchi absorpsion va adsorpsion apparatlarda ham tartib izotermikka yaqin. Umuman jarayon issiqlik effekti  $q_p$  sezilarli katta bo'lmagan jarayonlarni hisoblashda  $\Delta t$  ni e'tiborga olish mumkin.

### Politermik tartibdagi jarayon va reaktorlar

Bunday jarayonlarda reaksiyaning turli bosqichlarida yoki kaskadning turli reaktorlarida harorat turlicha bo'lishi mumkin.

Issiqlik balansi tenglamasi orqali harorat o'zgarishini hisoblashda reagent bilan kirgan issiqlik, reaksiya issiqligi, atrof-muhit bilan issiqlik almashishi va mahsulot bilan chiqib ketgan issiqlik hisobga olinadi. *Integral-politermik aralashtiruvchi reaktor* issiqlik balansi quyidagilardan tashkil topadi:

$$\sum Q_{kir} = C_{CP} t_{\delta} \pm G q_p C_{A0} X_A \quad (3.88)$$

$$\sum Q_{surf} = G \bar{C}_p t_{ox} \pm K_{in} \Delta t_{ur} \tau_{in} \quad (3.89)$$

Bunda:  $K_{in}$ , issiqlik uzatish koeffitsienti,  $F$  — issiqlik uzatish yuzasi,  $Dt_{ur}$  — issiqlik uzatish o'rtacha harakatlantiruvchi kuchi,  $t$  — gaz (suyuqlik)ning issiqlik uzatish yuzasi —  $F$  bilan kontakti (to'qnashish) vaqti.

Demak, turg'oq tartib va o'zgarmas massa issiqlik sig'imida:

$$\pm G q_p C_{A_0} X_A = G \bar{C}_p (t_{ox} - t_{\delta}) \pm K_{in} F \Delta t_{ur} \tau_{in} \quad (3.90)$$

Tenglamaning shap qismi — o'tish darajasi  $X$  gacha reaksiya natijasida hosil bo'lgan issiqlik, o'ng qismi esa reaktor devori orqali olingan yoki berilgan issiqlik va mahsulot bilan chiqib ketgan issiqlik miqdorlari. Reaktorda harorat o'zgarish quyidagicha aniqlanadi:

$$t_{ox} - t_{\delta} = \pm \frac{q_p C_{A_0} X_A}{\bar{C}_p} \pm \frac{K_{in} F \Delta t_{ur} \tau_{in}}{G \bar{C}_p} \quad (3.91)$$

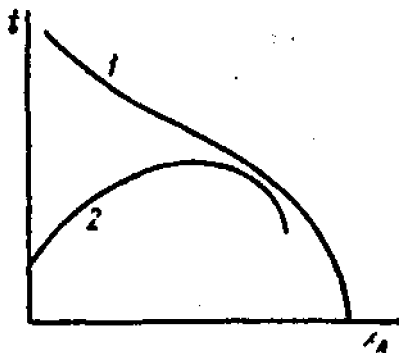
O'tish darajasi:

$$X_A = \pm \frac{\bar{c}_p (t_{ox} - t_s)}{q_p C_{A_s}} \pm \frac{K_{in} F \Delta t \tau_{in}}{G q_p \Delta C_{A_s}} \quad (3.92)$$

Issiqlik uzatish yuzasi:

$$F = \frac{\pm G \bar{q}_p C_{A_s} X_A \pm G \bar{c}_p' (t_{ox} - t_s)}{K_{in} \Delta t \tau_{in}} \quad (3.93)$$

Siqib chiqaruvchi quvurli (qobiq quvurli – кожухотрубной) reaktorlarda ekzotermik jarayonlar uchun o'tish darajasining haroratga bog'liqligi 3.15-chizmada ko'rsatilgan.



3.15-chizma. Quvurli politermik reaktorda o'tish darajasining haroratga bog'liqligi (qaytar ekzotermik reaksiya): 1 – muvozanat chizig'i; 2 – reaktordagi jarayon chizig'i.

### Ideal siqib chiqaruvchi politermik reaktor issiqlik balansi

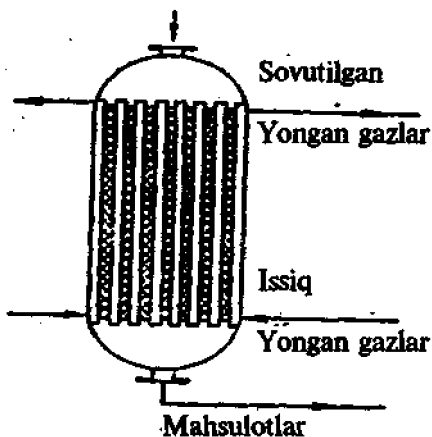
Bunday reaktorlarda (3.16-chizma) harorat uzunlik (yoki balandlik) bo'yicha o'zgaradi. Issiqlik balansi reaktorning elementar qismi  $dH$  ga tuziladi. Oqim tezligi  $W$  bo'lganda:

$$G_p C_{A_s} dX_A = G \bar{c}_p dt \pm K_{in} F (t - t_r) \frac{dH}{W} \quad (3.94)$$

Bunda:  $t$  – reaktor elementar qismidagi harorat,  $t_k$  – issiqlik almashuvchi ko'ylakdagi harorat.

Tenglama harorat va o'tish darajasi o'zgarishi va issiqlik uzatish yuzasini aniqlash imkonini beradi.

Reaktorga murakkab issiqlik almashtirgich qurilma o'rnatilsa, issiqlik almashtiruvchi yuza  $F$  uzunligi bo'yishaharorat to'g'ri, issiq o'tkazish koeffitsienti va boshqa parametrlar chiziqsiz (notekis) o'zgaradi.



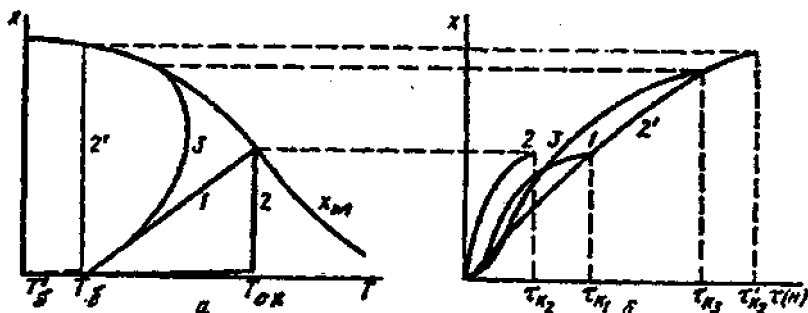
3.16-chizma. Endotermik reaksiyalar uchun katalitik quvurti reaktor.

Bu holda alohida elementar qismlar uchun (3.88) va (3.89) tenglamalari orqali ko'p marta hisoblash kerak bo'ladi. Notekis, ammo parametrlar monoton o'zgarsa differensial issiq almashish tenglamasini qo'llash mumkin:

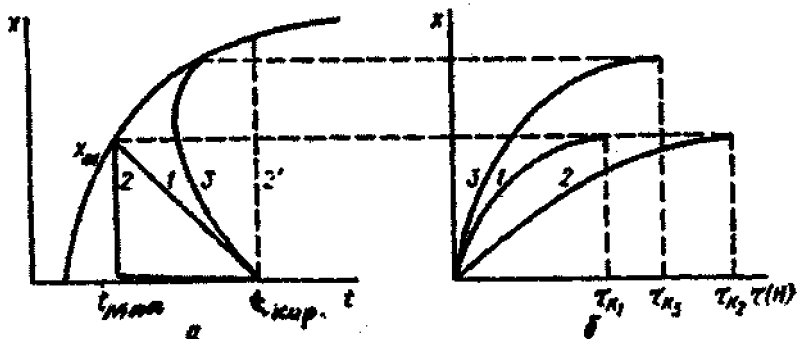
$$dQ/dt = K_{uy} Ch F D t \quad (3.95)$$

Politermik tartib asosiy issiqlik effekti yog'p qisman qo'shimcha reaksiyalar yoki fizik jarayonlarning teskari ishorali issiqlik bilan kompensatsiyalanganda ham kuzatiladi. Masalan, shaxta pechlarida, domna pechlari, ohak kuydiruvchi pechlarida, sorbsiya va desorbsiya jarayonlari (G-S) da ham murakkab politermik tartib kuzatiladi.

Quyidagi (3.17, 3.18) chizmalarda adiabatik, izotermik va poli-termik jarayonlar xarakteristikalari solishtirilgan.



3.17-chizma. Qaytar ekzotermik reaksiyalarda o'tish darajasining harorati (a) va vaqtga (b) bog'liqligi: 1 – siqib chiqaruvchi diabatik reaktor; 2 – aralashtiruvchi izotermik reaktor; 3 – siqib chiqaruvchi politermik reaktor.

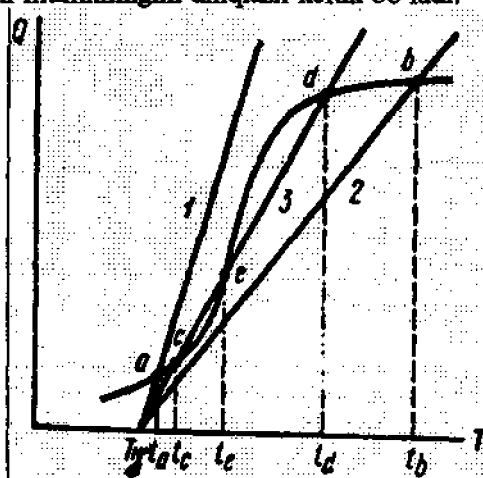


3.18-chizma. Qaytar endotermik reaksiya o'tish darajasining harorat (a) va vaqtga (b) bog'liqligi: 1 – siqib chiqaruvchi adiabatik reaktor; 2 – aralashtiruvchi izotermik reaktor; 3 – siqib chiqaruvchi politermik reaktor.

### 3.6. Reaktorlarning mo'tadil ishlashi va dinamik xarakteristikasi

*Reaktorning mo'tadil ishlashi.* Reaktorning ishlash tartibining (chidamliligi) mo'tadilligi jarayonga biror qo'zg'ovchi omil ta'sir etsa, bu omil bartaraf etilganda u o'z holatiga qaytishini belgilaydi. Ya'ni sistema mo'tadilligi uning qo'zg'ovchi ta'siriga bo'lgan reaksiyasini belgilaydi. Statsionar tartibdagi reaktorning barcha parametri vaqt bo'yicha o'zgarmaydi, ya'ni qo'zg'ovchisiz ishlaydi. Lekin amalda doimo oz bo'lsa-da, reagentlar konsentratsiyasi,

harorat, qorishtirish darajasi yoki katalizator aktivligi o'zgarishi mumkin. Bu esa tartibni o'zgartirishi mumkin. Shuning uchun reaktor ish qobiliyatini baholashda qaysi omil uning mo'tadil ishlashini buzishi mumkinligini aniqlash kerak bo'ladi.



3.19-chizma. Qaytmas ekzotermik reaksiya uchun temperaturaga bog'liq ravishda reaksiya issiqlik chiqishi.

Integral – adiabatik tartibda ishlaydigan to'la aralashtiruvchi reaktorda qaytmas ekzotermik reaksiya misolida harorat mo'tadilligini ko'rib chigamiz.

Haroratga bog'liq ravishda reaksiya issiqligi 3.19-chizmada ko'rsatilgan.  $S$  – ko'rinishidagi chiziq harorat va konsentratsiya-ning issiqlik chiqish tezligiga ta'sirini ko'rsatadi. Past haroratda reaksiya tezligi kam, chigayotgan issiqlik ham kam.

Harorat oshishi bilan Arrenius tenglamasi bo'yichareaksiya tezligi oshadi, muvofiq ravishda issiqlik chiqish tezligi ham ko'tariladi. Bunda reagentlar konsentratsiyasi tez kamayib ketadi. Reaksiya sekinlashadi, o'tish darajasi birga yoki muvozanatga yaqinlashgash, reaksiya tezligi va issiqlik chiqish nolga intiladi.

3.19-chizmada adiabatik reaktorda reaksiya aralashmasi oqimi bilan chigarilayotgan issiqlik  $Q_{\text{surf}}$  ning haroratga chiziqli bog'liqligi ko'rsatilgan (3.87-tenglama o'ng qismi). Boshqa sharoitlar bir xil bo'lganda issiqlik chiqarish to'g'ri chiziqlari  $a$  ga teng qiyalik burchagiga ega bo'lishi mumkin va absissa o'qida  $T_b$  qismini qirqib o'tadi.



To'g'ri chiziqlarni S kesib o'tgan nuqtalar a, b, s, d, e jarayon issiqlik balansiga, ya'ni  $Q_{kir} = Q_{sarf}$  holatga muvofiq keladi. Bu nuqtalarda jarayon statsionar va ularning holati 1.16-tenglama o'ng qismidagi qiymatlarga bog'liq. Shunday qilib, bir necha statsionar holat mavjud bo'lishi mumkin.

3.19-chizmani tahlil qilish issiqlik berish (kirish) va issiqlik olish (chiqish) chiziqlarining o'zaro qay holda joylashishida reaktorda mo'tadil harorat tartibini o'rnatish mumkinligini aniqlash imkonini beradi.

Issiqlik tartibiga muvofiq issiqlik berish (chiqish) va uni olish / harorat  $t_a$  da a nuqtada sodir bo'ladi deb faraz qilamiz. Gandaydir tashqi ta'sir natijasida harorat ko'tarilsa, issiqlikni olish tezligi issiqlik berishidan yuqori bo'ladi. Demak, sistemaning statsionar holatiga javob beradigan  $t_a$  dan past bo'lsa, sistemaga issiqlik berish tezligi undan olish tezligiga nisbatan yuqori bo'ladi va harorat ko'tariladi. Sistema statsionar holatga keladi. Boshqa nuqtalarda ham shunday.

Demak, bunday jarayonlarda harorat tartibini mo'tadil saqlash choralari ko'rilganda jarayon mo'tadil kechadi.

### Parametrik sezgirlik

Bu xususiyat jarayonga kirish va chiqish, ya'ni sabab va oqibat nisbatlaridan kelib chiqadi:

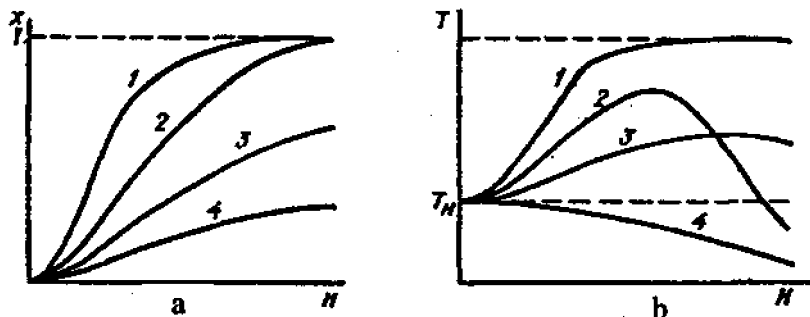
$$P = dy/dx \quad (3.94)$$

Bunda: x – kiruvchi kattalik jarayonga ta'sir etuvchi ~~parametr~~ harorat, reagent sarfi, konsentratsiya va boshq. y – chiquvchi kattalik, jarayon natijasini xarakterlaydigan parametr-o'tish darajasi, harorat, reaksiya vaqti, jarayon konstantasi va boshqalar.

Parametrik sezgirlik jarayonning kiruvchi omillarning chiquvchi (hosil bo'luvchi) omillarga ta'sirini ko'rsatadi. Bu sezgirlik qancha yuqori bo'lsa, kiruvchi parametrlar shunchalik katta ta'sir etadi.

$X_a$  balandlik bo'yicha o'zgarishi uchun turli issiqlik chiqarish tezligida haroratning balandlik bo'ylab o'zgarishini aniqlash mumkin. 3.20-chizmada ekzotermik reaksiyada reaktorning harorat tartibida o'tish darajasi va haroratning balandlik bo'ylab o'zgarishi ko'rsatilgan.

Adiabatik jarayonda reaktorda harorat tez ko'tariladi (1-chiziq) va uzunlik (balandlik)ning kichik bir qismida boshlang'ich moddaning yuqori o'tish darajasiga erishiladi.



3.20-chizma. Ideal siqib chiqaruvchi reaktorning parametrik sezgirliigi: issiqlik almashish devori haroratining o'tish darajasi o'zgarishiga (a) va reaktor uzunligi bo'yicha (b) haroratga ta'siri.

Politermik reaktorda issiqlikni olish (chiqarish) turli tezlikda bajarilishi mumkin. Unga bog'liq ravishda uzunlik (balandlik) bo'yishaharorat va o'tish darajasi o'zgaradi. Masalan, reaksiya massasi biroz sovitilsa (2-chiziq),  $Q_{kir} > Q_{sarf}$  hisobiga harorat osha boshlaydi (reaksiya issiqligi), lekin adiabatik jarayondan pastroq bo'ladi. O'tish darajasi ko'tarilishi ham reaksiya tezligini pasaytiradi. Natijada issiqlik olish (devor orqali) tezligi reaksiyada issiqlik chiqishda yuqori bo'ladi va harorat reaktor uzunligi (balandligi) bo'yichapasaya  $Q_{sarf}$  hisobiga o'zgaradi. 2-chiziqi ekstremal xarakterga ega bo'ladi va u maksimal haroratga muvofiq keladi.

Chizmadagi 3-chiziq 2-jarayonga nisbatan ko'proq sovitilayotgan jarayonni xarakterlaydi. Bunda o'tish darajasiga uncha katta emas, ammo reaksiya tezligi 2 ga nisbatan ma'lum vaqtda oshishi mumkin. Bu esa reaktorda haroratni, 2-chiziqdagi jarayondagiga nisbatan, oshirishi mumkin. Kuchli sovitilganda (4-chiziq) esa issiqlik olish (sovitish) tezligi uning chiqish (reaksiyada) tezligidan oshib ketadi – reaktorda harorat  $T_b$  dan ham kamayib ketishi mumkin. O'tish darajasi past, ya'ni bunday tartib yaroqsiz hisoblanadi.

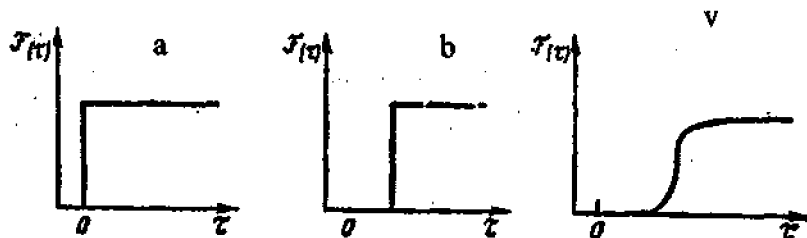
## Reaktorlarning dinamik xarakteristikasi

Ideal reaktorlar haqida biz o'rganib chiqqan sharoitlar asosida, aytish mumkinki, real sharoitda berilgan o'tish darajasi reagentlarni reaktorda uzoq vaqt bo'lishi tufayligina erishiladi. Real siqib chigaruvchi reaktorlarda bu holat uzunasiga va ko'ndalangiga aralashishi tufayli sodir bo'ladi,  $D_L$  va  $D_R$  koeffitsientlarida aks etadi. Real aralashtiruvchi reaktorlarda chetlashish tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Buning uchun suyuqlik yoki gazga reaktorga kirishda indikator qo'shiladi va chiqishda konsentratsiyasi aniqlanadi. Olingan natijasi asosida grafik (nishona chizig'i) shiziladi. Ularni tahlil qilish natijasida uzunasiga va radial aralashish koeffitsiyentlari  $D_L$  va  $D_R$ , suyuqlik element hajmining reaktordagi minimal, maksimal va o'rtacha bo'lish vaqti va boshqalar aniqlanadi.

Indikator kiritishda ikkita usul — bosqichli va impulsli usul qo'llanadi.

Indikatorni bosqichli kiritish usuli amalda ko'proq qo'llanadi. Muayyan  $t_0$  vaqtda reaktorga kirishda oz miqdorda to'xtovsiz indikator (bo'yog' va boshq.) qo'shiladi. So'ng reaktordan chiqishda vaqt bo'yichainikator konsentratsiyasi aniqlanadi. Natijalar asosida  $S_{in}(t)$  — nishona chizig'i grafigi tuziladi.

Ideal siqib chigaruvchi reaktorlarda nishona chiziqlari kirish va chiqishda o'xshash bo'ladi (3.21-chizma, a va b).



3.21-chizma. Indikatorni bosqichli kiritishda nishona chiziqlari:

a — reaktorga kirishda; b — ideal reaktordan chiqishda;

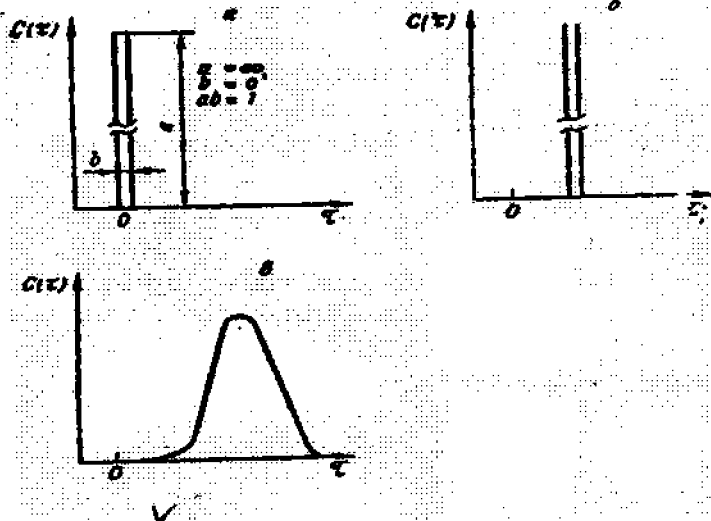
v — real reaktordan chiqishda.

Real reaktorlarda esa nishona chizig'i  $S$  ko'rinishida bo'ladi (3.21-chizma, v), chunki reaktorlarda uzunasiga aralashish yuz

beradi va bir qism indikator oldinroq, bir qismi keyinroq chiqadi. Indikatorning o'zgarmas konsentratsiyasi real reaktorda idealga nisbatan uzoqroq vaqtda kuzatiladi.

Indikator kiritishning impulsli usulida reaktorga tushayotgan suyuqlikka indikator bir marta (impuls) tashlanadi va chiqishda aniqlanadi. Impulsli usulda grafikni S – chiqish chizig'i deyiladi

Ideal siqib chiqaruvchi reaktordagi elementar hajmda joylashgan indikator o'zgarishsiz chiqadi (3.22-chizma, a va b).



3.22-chizma. Indikatorni impul'sli kiritish va nishona chiziq-lari:

a – reaktorga kirishda; b – ideal siqib chiqaruvchi reaktordan chiqishda;  
 v – real reaktordan chiqishda.

Real reaktorda esa uzunasiga va radial aralashish bo'lgani uchun S – chiqish chizig'i minimum va maksimumga ega (3.22-chizma, v).

«N» oqimining o'q bo'yichadiffuziya jarayoni ko'p holatlarda FIK qonuniga bo'ysunadi va shuning uchun modul quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{\partial C_A}{\partial \tau} = -W \frac{\partial C_A}{\partial H} + D_e \frac{\partial^2 C_A}{\partial H^2} - U_A \quad (3.97)$$

$D_e (d^2C_A/dH^2)$ — uzunasiga aralashishini e'tiborga olgan ko'rsatkich.  $D_e$  — uzunasiga aralashish koeffitsienti. Reaktor o'qi bo'yichaoqimning aralashish darajasini xarakterlaydi.

Uzunasiga diffuziya ta'sirida aralashish reagentlarning o'rtacha konsentratsiyasini (harakatlantiruvchi kuchni) kamaytiradi.

Biroq aralashish diffuziya to'sig'ini kamaytirib, jarayon tezlik konstantasini oshiradi.

Radial aralashish doimo foydali, ammo u o'q bo'yicha aralashishga bog'liq bo'ladi. Radial diffuziya harorat, reagentlar tezligini boshqarib, zarrachalarni reaktorda bo'lish vaqtini o'zaro yaqinlashtiradi.

Pekle diffuziya kriteriyasi ( $ReDe/WN$ ) o'q bo'yicha aralashishni xarakterlaydigan parametrdir. Pekle kriteriyasi ideal siqib chigaruvchi reaktorlarda cheksizlikkasha, to'la aralashtiruvchi reaktorlarda nolgacha o'zgarishi mumkin. Birinchi tartibli reaksiyalarda oqimi diffuzion model reaktor hajmi ug ning ideal siqib chigaruvchi reaktor hajmi u s. ga nisbati bir xil o'tish darajasida ikkala apparatda ham quyidagi tenglama bilan hisoblanishi mumkin:

$$\frac{v_s}{v_{s,1}} = 1 + k\tau \frac{D_e}{WN} \quad (3.98)$$

Bunda reaksiya tezligi konstantasi  $K$  yordamida reaksiya kinetikasini, o'q bo'yicha aralashish koeffitsienti  $D_e$  orqali gidrodinamik holatni, oqim tezligi  $W$  va reaktor balandligi  $T$  e'tiborga oluvchi korrektilovchi omil (faktor)dir. Tenglama (3.111) ideal siqib chigaruvchi moduldan bir oz cheklanish hollaridagina yaroqli.

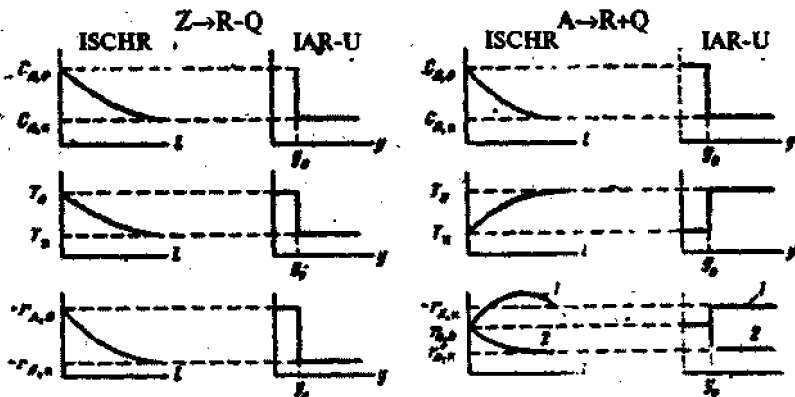
### 3.7. Issiqlik tartibi bo'yicha reaktor tiplarini tanlash

Reaktor tiplarini tanlashda, birinchi navbatda, aniqlangan optimal (harorat) reaksiya tartibidan mukammal foydalanish ko'zlanadi. U esa kimyoviy reaksiya xarakteri bilan belgilanadi. Tanlashga ta'sir etadigan omillar bo'lib oddiy reaksiyalar uchun olingan darajasiga ega bo'lishi, murakkab reaksiyalarda esa undan tashqari maqsadli mahsulotga selektivlik ham o'rin tutadi.

Kimyoviy reaksiya tezligi boshlang'ich reagentlar konsentratsiyasi va jarayon haroratiga bog'liqligini, ya'ni —  $U_A = f(T)$  ;  $(C_A)$  ni e'tiborga olib, turli tipdagi reaktorlarda kechadigan oddiy reaksiyalar misolida boshlang'ich reagentlarning mahsulotga aylan-

ish jarayonida bu parametrlarning o'zgarish xarakterini adiabatik tartibda ko'rib chigamiz. Bu hollarda reaktorni tanlash faqatgina jarayon kinetikasi bilan belgilanadi.

Endotermik reaksiyada ( $A \rightarrow R-Q$ ) boshlang'ich komponentlar konsentratsiyasining pasayishi reaksiya muhiti harorati pasayishiga sabab bo'ladi (3.23-chizma).



3.23-chizma. Bir o'tish darajasida ideal siqib chiqaruvchi (ISCHR) va ideal aralashtiruvchi uzviy (IAR-U) reaktorlarda ( $A \rightarrow R+Q$ ) reaksiyada parametrlarning o'zgarishi.

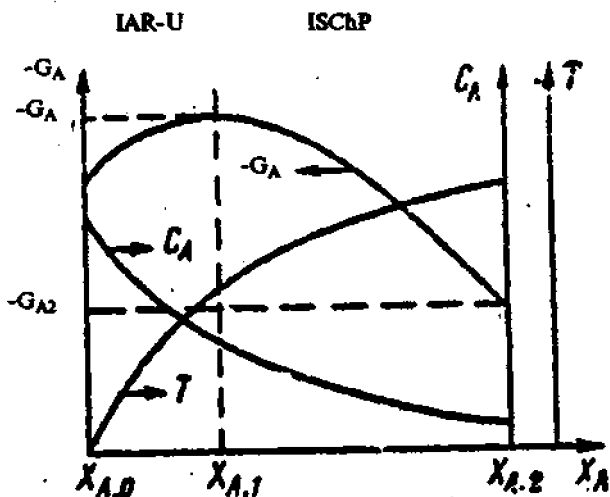
Ideal siqib chiqaruvchi reaktorlarda (ISCHR) parametrlarning bir tekis o'zgarish xarakteri reaksiyaning yuqori tezligini, ayniqsa, yuqori o'tish darajasida ta'minlaydi.

Ekzotermik reaksiyalarda ( $A \rightarrow R-Q$ ) jarayon tezligining o'zgarishi konsentratsiya va harorat omillariga bog'liq bo'lib, vaqt o'tishi bilan o'tish darajasi  $X_A$  oshishi bilan harorat oshib, konsentratsiya pasayadi.

Birinchi holda harorat oshishiga bog'liq. Reaksiya tezligi konsentratsiyaning kamayib borishiga bog'liq bo'lgan shu reaksiya tezligidan ustunroq turadi. So'ngra esa birinchisi ikkinchisini (konsentratsiya kamayishi sababli) reaksiya issiqligi hisobiga kompensatsiyalay olmaydi. Demak, o'tish darajasi oshib borishi bilan reaksiya tezligi kamayadi (endotermik uchun ham).

Reaktorlarni tanlashda o'rtacha tezlik qabul qilinadi.

Bu holatlar 3.24 va 3.25-chizmalarda ko'rsatilgan. Boshlanishda (3.24-chizma)  $X_{A,0}$  dan  $X_{A,1}$  gacha (reaksiya tezligi maksimal qiymat —  $U_{A,1}$  ga erishadi) jarayonni IAR-U da o'tkazish ma'qul.



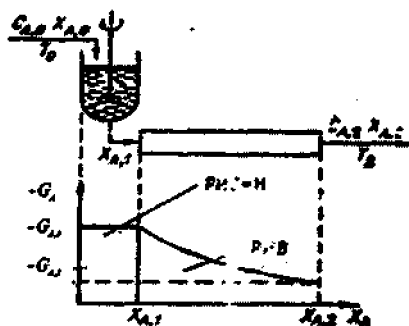
3.24-chizma. Turli reaktorlar qo'llash chegaralari.

Chunki bu reaktorda jarayon eng yuqori qiymatga ega bo'lgan, o'zgaras —  $U_{A,1}$  tezlikda kechadi. So'ngra  $X_{A,1}$  dan  $X_{A,2}$  oraliqda jarayonni IARU da o'tkazish ma'qul emas, chunki bu oraliqda jarayon ( $S_{A,2}$  va  $T_2$  da) eng kam —  $U_{A,2}$  tezlikda kechadi.

ISChR larda esa bu oraliqda jarayon tezligi bir tekisda —  $U_{A,1}$  dan  $U_{A,2}$  ga o'zgaradi, ya'ni o'rtacha tezlik yuqori bo'ladi.

Shuning uchun bunday jarayonlarni optimallashtirishda reaktorlarni universallashtirish (3.25-chizma) mumkin. Ko'pincha har bir reaktor tipida optimal holatni ta'minlovchi tartib (ya'ni o'rtacha tezlik) tanlab olinadi.

Qaytar va murakkab reaksiyalarda yuqori selektivlikni va maqsadli mahsulotning yuqori chiqish darajasini ta'minlovchi qo'shimcha talablar qo'yiladi.

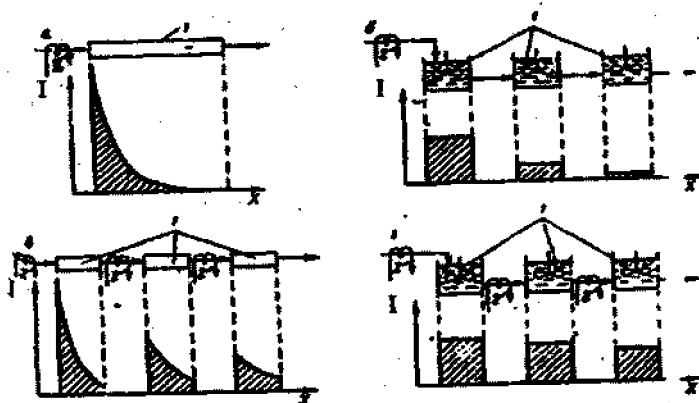


3.25-chizma. Jarayonning optimal sharoitini ta'minlash uchun IAR-U va ISChR ni universallashtirish (ketma-ket ishlatish).

### 3.8. Reaktorlarda optimal issiqlik tartibini ta'minlash

Reaktorlarda optimal zaruriy haroratni ta'minlashda unga issiqlik berish yoki undan issiqlik olish (sovitish) katta ahamiyatga ega.

Izotermik va politermik tartibda reaktorga tashqaridan issiqlik beriladi yoki sovitiladi. Bu esa reaktorda nazariy aniqlangan harorat tartibini ta'minlaydi.

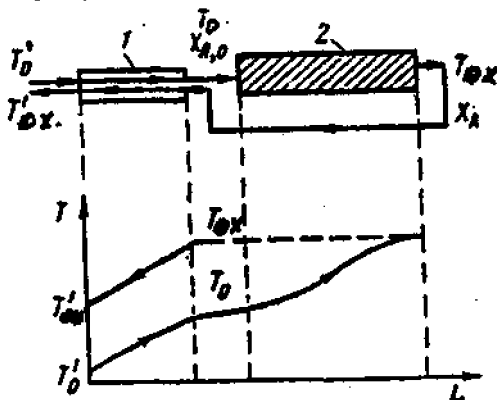


3.26-chizma. Kombinatsiyalangan siqib chiqaruvchi va aralashtiruvchi reaktorlarda endotermik reaksiya tezligining o'tish darajasiga bog'liqligi: 1 – adiabatik jarayon; 2 – issiqlik berish; a – siqib chiqaruvchi reaktor; b – aralashtiruvchi reaktorlar kaskadi; v, g – oraliq isitgichli siqib chiqaruvchi va aralashtiruvchi reaktorlar kaskadi.



Adiabatik tartibdagi reaktorlarda esa harorat talab qilinganidan katta farq qilishi mumkin. Bunda kaskad reaktorlari (yoki seksiyalar) oraliq'ida issiqlik almashtirgichlar ishlatiladi. Bunday reaktorlarda endotermik reaksiyalarni o'tkazishda reaksiya tezligini etarli darajada ta'minlab turish uchun reagentlarni reaktorga kiritishdan oldin qizdiriladi. Bu holda reaktorlar va issiqlik almashtirgichlar kombinatsiyalanadi, ya'ni jarayon oqib o'tuvchi reaktorlar (kaskad) da olib boriladi va ular oraliq'ida issiqlik almashtiruvchi qurilmalar ishlatiladi (3.26-chizma).

Ekzotermik reaksiyalarda ajralib shiqqan issiqlik boshlang'ich reagentlarni reaksiya boshlanishi uchun etarli darajada qizdira olsa, bu holda reagentlarni reaksiya issiqligi bilan isitish sharoiti yaratiladi. Bu issiqlik etarli bo'lib, tashqaridan boshqa issiqlik manbaidan foydalanilmasa, jarayon avtotermik deb ataladi (3.27-chizma).



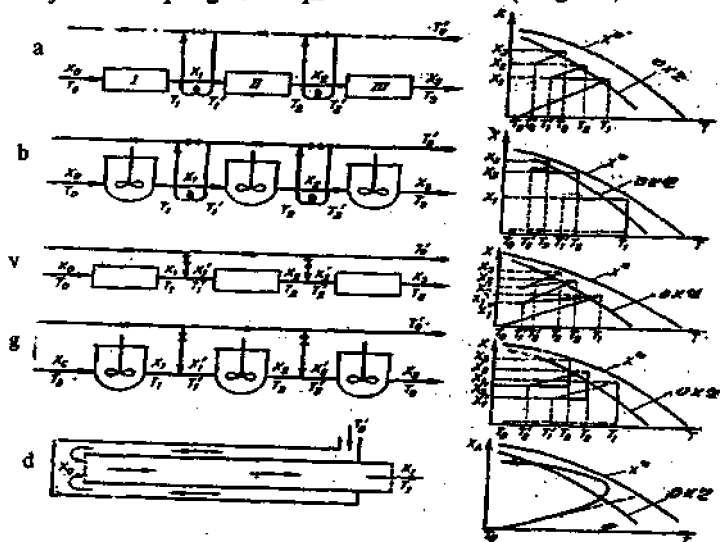
3.27-chizma. Avtotermik tartibdagi siqib chiqaruvchi adiabatik reaktor sxemasi: 1 – issiq almashtirgich; 2 – reaktor.

Qaytar jarayonlarda optimal harorat tartibini tutib turish ancha mushkulroq.

Bunday hollarda gandaydir bir harorat ko'rsatkichi optimal bo'lib hisoblanmaydi. Jarayonni optimal harorat chizig'i ( $oxr$ ) ga yaqinlashtirish kerak, ya'ni yuqori haroratda boshlab, so'ngra o'tish darajasi  $X$  ko'tarilgach, haroratni pasaytirish kerak.

Amalda bir necha usullar qo'llanadi. Ulardan birida har bir bosqichda adiabatik tartib tutiladi va har bir bosqichdan so'ng

reaksiya aralashmasi sovitiladi. Ikkinchi usulda esa reaksiya natijasida ajralib chiqadigan issiqlik uzluksiz olib (chigarib) turiladi.



3.28-chizma. Ekzotermik qaytar reaksiyalarda ( $A \leftarrow R + Q$ ) sxemani tashkil etish: a, b – ideal siqib chiqaruvchi va aralastiruvchi reaktorlar kaskadi; v, g – sovuq boshlang'ich reagentlarni bosqichlar oralig'ida kiritish sxemasi; d – uzluksiz issiqligi chiqarib (sovitib) turiladigan siqib chiqaruvchi quvurli reaktor.

3.28-a chizmada siqib chiqaruvchi reaktorlar kaskadida jarayonlar oralig'ida issiqlik almashtirish ko'rsatilgan. Sxema shunday tuzilganki, isitish uchun ma'lum miqdordagi boshlang'ich reagent berish mumkin. Bu esa har bir reaktorga kirishda reagentlarning haroratini zaruriy darajaga o'zgartirish imkonini beradi. Har bir reaktorda adiabatik qizish, issiqlik almash-tirgichlarda esa aralashmaning sovish jarayoni kechadi.

3.28-b chizmada aralastiruvchi reaktorlar kaskadi ko'rsatilgan. O'ng tomonda pog'onali xarakterga ega bo'lgan  $x-f(T)$  bog'lanish ko'rsatilgan. Aralastiruvchi reaktorlarda harorat sakrab o'zgaradi.

3.28-v va g reaktor sovuq reagentlar kirishi bilan farqlanadi. Bu holda reaksiya aralashmasi sovishi harorat o'zgarishi va tarkibining o'zgarishi bilan birga sodir bo'ladi. Bu sxemaning afzalligi uning soddaligi, ya'ni issiqlik almashtirgichlar ishlatilmaydi. Kamchiligi esa boshlang'ich reagentni reaksiya aralashmasiga qo'shish paytida

o'tish darajasi  $x_1$  dan  $x'_1$ ;  $x_2$  dan  $x'_2$  gacha va hokazo kamayadi. Shuning uchun bu axemada oldingisiga nisbatan optimal o'tish darajasiga etguncha ko'proq vaqt talab qilinadi.

3.28-d chizmada reaktor uzunligi bo'yicha issiqlik almashadigan ideal oqib chiqaruvchi reaktor tasvirlangan. Sovuq reagentlar oraliq bo'shliqqa kirib, harakat davomida  $T_0$  dan  $T_1$  gacha isiydi va reaktor (markaziy quvur)ga kiradi.

Boshlanishida reaktorda boshlang'ich reagentlar konsentratsiyasi ko'pligi sababli harorat tez ko'tariladi. Jarayon tezligi baland bo'ladi.

Keyinshalik esa o'tish darajasi  $X_A$  ko'tarilgan sari boshlang'ich reagentlar konsentratsiyasi kamayib, harorat ham pasayadi. Shu sababli  $X_A = f(T)$  chizig'i murakkab xarakterga ega bo'ladi. Boshda bu chiziq adiabataga yaqin joylashadi (uzilgan chiziqshalar), so'ng *oxir* dan o'ngga chiqadi, jarayon so'ngida esa *oxir* ning shap tomoniga suriladi (reaktorning bu qismida intensiv issiq almashish sodir bo'ladi).

Barcha ko'rib o'tilgan holatlarda haqiqiy harorat *oxir* ga yaqin bo'ladi va kaskadda bosqichlar qancha ko'p bo'lsa shuncha yaqin bo'ladi. 3.28-a, b, v, d da avtotermiklik ta'minlanadi.

## **IV BOB. NOKATALITIK JARAYONLAR VA REAKTORLARNING TUZILISHI**

Kimyo sanoati korxonalarida ishlatiladigan reaktorlar tuzilish jihatidan turlicha bo'ladi.

Reaktorlarda faqatgina kimyoviy emas, balki fizik jarayonlar ham: reagentlarning bir fazadan ikkinchisiga o'tishi, issiqlik almashish bilan bog'liq turli usullar bilan aralashtirish va boshqa jarayonlar sodir bo'ladi.

Reaktorlarning turlligi va gidrodinamik holati ularni sinflashda qiyinchilik tug'diradi.

Sinflash kriteriyasi har doim ham maqsadga muvofiq kelavermaydi. Bir reaktorni turli sinfga bo'lish mumkin. Biroq reaktorlarni sinflashda ba'zi bir kriteriyalar va belgilardan foydalanish mumkin. Bunday belgilarga reaktor tuzilishi, reagentlar va mahsulotlar agregat holatlari, davriylik yoki uzviylik xarakteri, reaktorda gidrodinamik tartib va issiqlik holatlarini kiritish mumkin.

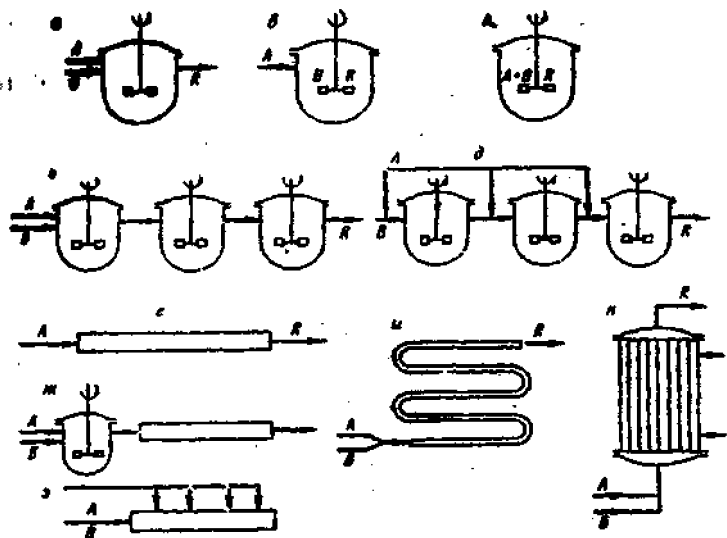
Gomogen, geterogen va geterogen-katalitik jarayonlar o'tkazishga muvofiqlashtirilgan reaktorlar turlari (tiplari)ni ko'rib chigamiz. Bunda eng muhim ko'rsatkichlar reaktordagi gidrodinamik tartib va issiqlik holatlari e'tiborga olinadi.

Odatdagiday barcha mulohazalar ekzotermik sharoitga taalluqli bo'lib, olinadigan natijalar endotermik jarayonlarga ham taalluqli bo'ladi.

### **4.1. Gomogen jarayonlar reaktorlari**

Davriy gomogen jarayonlar rezervuar, kub va atvoklavlarda o'tkaziladi. Ularda reaksiya aralashmasi turli usullarda qorishtiriladi. Bunday reaktorlarga ideal aralashtiruvchi davriy reaktorlar (IAR-D) misol bo'la oladi.

Uzviy jarayonlar o'tkazish uchun esa ideal siqib chigaruvchi reaktorlar (ISCHR) yoki ideal aralashtiruvchi uzviy reaktorlar (IAR-U) hamda ular kombinatsiyasi ishlatiladi.



**4.1-chizma.** Gomogen reaksiyalar (jarayonlar) o'tkazish uchun reaktorlarning asosiy turlari va reaktorlar sistemasi ayrim shakllari: a) uzluksiz ishlaydigan qoritgichli kub reaktor; b) yariin davriy ishlaydigan qoritgichli kub reaktor; v) davriy ishlaydigan qoritgichli kub reaktor; g) uzluksiz kub reaktorlar kaskadi; d) bu ham uzluksiz, ammo reagentlar taqsimlanadi; ye) uzluksiz quvurli reaktor; j) bu ham, ammo xom ashyo oqimi oldidan aralashtiriladi; z) uzluksiz quvurli reaktor — xom ashyo ko'ndalang taqsimlanadi; i) sovitiladigan bir quvurli (ilon izi) reaktor; k) issiq almashuvchi ko'p quvurli reaktor.

Gomogen jarayonlar uchun ko'pincha uzviy ishlaydigan sovitiladigan, quvurli siqib chigaruvchi reaktorlar qo'llanadi (4.1-chizma). U avval ko'rib o'tgan ISCHR reaktorning boshqasharoq ko'rinishiga ega. Reaktor ilon iziga o'xshash bo'lib, tashqi issiq almashishga ega.

Quvurlarning katta yuzasi reaksiya issiqlik effekti juda yuqori bo'lganda uni sovitish imkonini beradi.

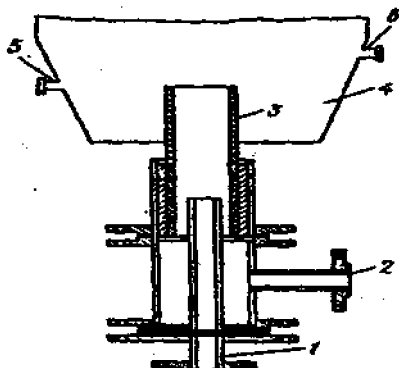
Chizmada aralashtiruvchi reaktorlar kaskadlarida reagentning reaktorlardan ketma-ket o'tish va kaskad (kub reaktorlar)larga taqsimlanishi ko'rsatilgan.

Gaz fazasida kechadigan gomogen jarayonlar uchun asosan kamerali va quvurli reaktorlar ishlatiladi. Gazlarni aralashtirish

uchun esa sopl, ejetor, markazdan qoshma labirint, kaskadli aralashtirgich va boshqalar ishlatiladi.

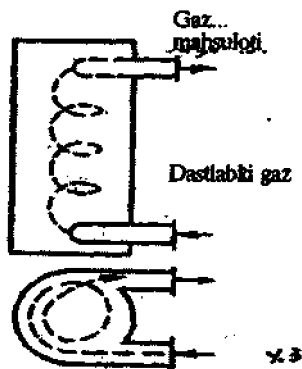
Gaz fazasida quyidagi apparatlar keng qo'llaniladi:

1. Gaz va bug'larni ejetorli aralashtirgichga ega kamerali reaktorlar, masalan, vodorod xlorid sintezi pechi (4.2-chizma); oltin-gugurt yoqiladigan forsunkali pech va boshqalar.



4.2-chizma. Vodorod xlorid sintezlash pechi yondirgichi sxemasi:

- 1 – xlor kiritish quvurchasi; 2 – vodorod kiritish quvurchasi;
- 3 – yondirgich uchi; 4 – pech kamerasi; 5 – yondirgich lyuki;
- 6 – kvarts shishali nazorat shtutseri.

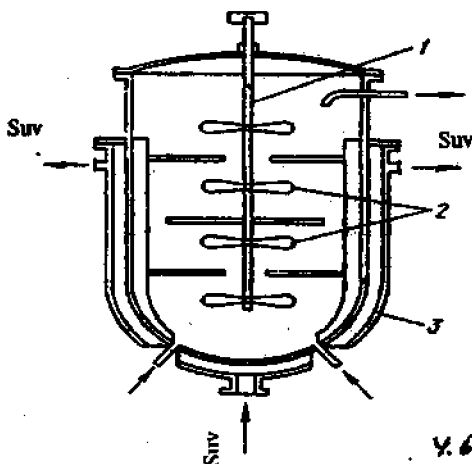


4.3-chizma. Gaz aralashmasini markazdan qochma qorishtiruvchi reaktor kamerasi.

2. Gaz aralashmasini markazdan qoshma qorishtiruvchi reaktor (4.3-chizma). Ishlash tartibi bo'yichato'la almashtiruvchi va izotermik tip (tur)ga yaqin.

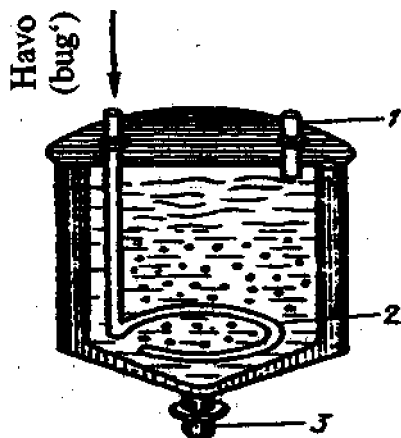
3. Issiq almashtirgichli qobiq quvurti reaktor (4.1-k chizma). Bu reaktor politermik tartibda bo'lib, ikki xil haroratdagi gazlar oqimi o'rtasida issiq almashadi va siqib chigaruvchi tartibda ishlaydi.

4. Suv yoki boshqa suyuqlik bilan isitiluvchi yoki sovitiluvchi «quvur-quvur» tipi (turi)dagi reaktor (4.1-i chizma). Bu reaktorlar ideal siqib chiqarish tartibida ishlaydi, politermik va yuqori issiqlik effekti reaksiyalar uchun qo'llanadi. Ustma-ust joylashgan quvurlar 15 ta va undan ortiq seksiyani tashkil qilishi mumkin. Katta quvvatdagi reaktorlar parallel ishlaydigan o'nlab seksiyali bo'ladi.



4.4-chizma. Propeller qorishtirgichli reaktor: 1 — val;  
2 — qorishtirgich; 3 — suv ko'ylagi.

Suyuq gomogen sistemalar uchun mexanik va pnevmatik qoritgichli reaktorlar ishlatiladi. Foydali ish koeffitsienti (FIK)ni oshirish uchun katta uzunlikdagi to'g'ri oqimli apparatlar, bir necha reaktorli batareyalar hamda ko'p seksiyali apparatlar ishlatiladi. Ular issiq almashtirgichlar bilan ta'minlangan. Misol uchun propeller qorishtirgichli aralashtiruvchi reaktor (4.4-chizma), pnevmatik qorishtirgichli reaktorlarni (4.5-chizma) ko'rsatish mumkin.



4.5-chizma. Pnevmatik qorishtirgichli reaktor: 1 – gaz chiqish va suyuqlik quyish quvurchasi; 2 – barbat yor; 3– mahsulot chiqish quvurchasi.

Foydalanuvchi ish koeffitsienti (FIK) ni ko‘tarish uchun oqim-ejektor qorishtirgichli yoki reaktorlar kaskadi yoki reaktorlar seksiyasi hamda to‘siqli – kolonnali reaktorlar ishlatiladi.

Bosim ostida boradigan jarayonlar uchun avtoklavlar ishlatiladi. Avtoklavlar davriy tartibda ishlaydi.

#### 4.2. Gomogen kimyoviy jarayonlar (xarakteristikasi) xususiyatlari va qonuniyatlari

Toza gomogen sistema bo‘lishi juda qiyin. Masalan, 1 ml toza distillangan suvda ham 20 000 dan 30 000 gacha chang zarrasi bo‘ladi.

Ammo katta hajmdagi gazlar, suyuqliklar va qattiq fazalarni alohida-alohida nisbiy ravishda amalda gomogen deb qabul qilinadi. Chunki katta hajmdagi gaz fazadagi yoki suyuqlikdagi zarralar, xuddi shunday qattiq modda g‘ovaklariga shimilgan gaz (havo) yoki namlik katta jarayonlar ko‘rsatkichlariga deyarli ta‘sir etmasligi mumkin.

Oksidlanish, yonish va boshqa jarayonlar uchun havo gomogen muhit hisoblansa, nozik bo‘lgan platina katalizatorida o‘tadigan ammiakning oksidlanish jarayoni uchun esa havo chang va namlik bo‘lgani uchun geterogen sistema hisoblanadi.



Eritmalar dispersligi ush xil baholanadi: qo'pol dispers sistema (suspenziya, emulsiya) geterogen bo'lib, zarrachalar o'lchami 1 mkm.dan kattaroq (loyqa suv, ohak suvi, suvdagi mayda yog' tomchilar va boshq.) bo'ladi; kolloid sistema — zarrachalar o'lchami 1,0 — 0,1 mkm orasida bo'lib, mikrogeterogen sistema hisoblanadi, ammo zarra o'lchami kichiklashgan sari (molekulagacha) maksimal yuzasi ko'payib gomogen hisoblanadi; toza eritmalar (molekulyar — va monodispers sistema) gomogen sistema (shunga o'xshashlar suvdagi eritmaları) hisoblanib, zarralar o'lchami 0,1 mkm dan kichik bo'ladi.

Gomogen sistemada geterogen sistemaga nisbatan reagentlarning o'zaro ta'siri qulayroq kechadi. Shuning uchun jarayonlar ko'pincha gaz yoki suyuq fazada olib boriladi. Ya'ni gaz fazalarini suyuqlikka yutqizib, ularni kondensatsiyalab, qattiq materiallarni suyultirib (eritib) yoki suyuqliklarni bug'latib reaksiyani suyuq yoki gaz fazada olib boriladi. Bu usulda ko'pchilik sintez reaksiyalari: assotsatsiya, poliomerlash, almashish, birlashtirish, almashtirish, parchalash, depolimerlash, kreking va boshqalar sodir etiladi.

*Assotsatsiya* deb, bir necha sondagi bir xil molekullarni yirik-roq zarrachaga birlashtirishga aytiladi:

$\text{NO}_2 + \text{NO}_2 = \text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COOH} \ll (\text{CH}_3\text{COOH})_2$  (bular gaz holatida);

$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} + \text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} \ll (\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})_2$  (benzol kislotasi eritmada).

*Polimerlash* — ko'p miqdor monomer molekullarini bitta katta molekulaga birlashtirish jarayoni:  $n\text{CH}_2=\text{CH}_2 \ll (-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$ .

*Depolimerizatsiya* — makromolekulasidan monomerlarni ajratish.

*Piroliz* — bu yonuvchi materiallarni 400-1500°C da havosiz termik qayta ishlash (quruq haydash).

*Kreking* — pirolizning gaz va suyuqliklar uchun xususiy holati bo'lib, destruktiv qayta ishlash usuli.

Uglevodorod krekingi, polimerlanish va shunga o'xshash reaksiyalar zanjirli mexanizm bo'yichasodir bo'ladi. Zanjir hosil bo'lishi, ya'ni radikallar hosil bo'lishida initsiator sifatida yuqori aktiv moddalar, nur, radiatsion nurlanish, yuqori harorat va boshqalar qatnashadi. Boshlangan jarayon o'z-o'zidan (yangi radikal yoki atomlar ta'sirida — avtokataliz) davom etaveradi. Oddiy zanjirli reaksiya tezligi quyidagicha ifodalanadi:

$$U_z = nn \quad (4.1)$$

Bunda:  $n$  – hosil bo'lgan erkin radikallar miqdori;  $n$  – zanjir bo'limlari (zveno) miqdori, ya'ni uning uzunligi.

Yonish tez zanjirli reaksiya bo'lsa, portlash oniy. Uglevod-odrodlar oksidlanishi sekin kechadigan jarayonlardir. Zanjir uzilgach yoki radikallar erkin valentliklari to'yingach yoki boshqaruvchi-shklovchilar ta'sirida reaksiya so'nadi.

Eritmalarda suyuq fazali polimerli ba'zi smola va bo'yog'lar ishlab chiqarishda qo'llanadi. Zanjirning o'sishi quyidagicha ifodalanadi:

$$U = \sum_{i=1}^n K_i [R_i] [M] \quad (4.2)$$

Bunda:  $k_i$  – polimerlanish darajasi  $n=i$  bo'lganda mo-nomerni radikalga bog'lanish tezligi konstantasi;  $[R_i]$  – radikal konsentratsiyasi;  $[M]$  – monomer konsentratsiyasi.

Katta molekulyar massali polimer hosil bo'lganda ( $n \geq 4$ da)  $k$  polimerlanish darajasiga bog'liq bo'lmaydi, deb qabul qilish mumkin.

Unda:

$$U = k [R] [M] \quad (4.3)$$

bo'ladi.

Bunda:  $[R]$  – barcha o'suvchi reaksiyalar – mono, bir va uchmolekulyar va tartib bo'yicha – birinchi, ikkinchi, uchinchi va drobli tartibli bo'ladi.

1. Monomolekulyar (bir molekulyar): a) molekulyar ichra qayta guruhlashish:  $A \rightarrow D$  (masalan, izomerlanish, inversiya, va boshq.) parchalanish-ajralish reaksiyalari:  $A \rightarrow D + D'$  ga bo'linadi.

2. Bir molekulyar (ikki molekulyar) elementar birlashish ikki bir xil ( $2A$ ) yoki ikki xil ( $A+V$ ) molekularlar orasida sodir bo'ladi.

3. Uch molekulyar reaksiyalar uch molekula orasida birlashishi, almashinish va rekombinatsiya jarayonlarida sodir bo'ladi:  $3A \rightarrow D$ ,  $2A+V \rightarrow D+D'$ ,  $A+V+V \rightarrow D+D'$  va hokazo.

Reaksiya tezligi uning tartibiga ham bog'liq. Oddiy reaksiyalarda, bir yo'nalishda va bir bosqichli bo'lsa, reaksiya tartibi uning molyarligiga mos keladi.

Reaksiyaga kirishuvchi reagentlar konsentratsiyasi oshishi bilan reaksiya tartibi qanchalik yuqori bo'lsa, tezlik shuncha oshadi.

Birinchi tartibdagi qaytmas reaksiya tezligi ta'sirlashuvchi reagentlar konsentratsiyasiga proporsionaldir.

A, V, V' moddalar boshlang'ich konsentratsiyalari a, v, v' bo'lsa, x<sub>1</sub> - ular konsentratsiyasining t vaqt ichida kamayishi va reaksiya tezlik konstantasi k bo'lganda, birinchi tartibdagi reaksiya tezligi:

$$I = dx_1/dt = k_1(a-x_1) \quad (4.4)$$

bo'ladi.

Integrallasak:

$$K_1 = \frac{2,3}{\tau} \lg \frac{a}{a-x_1} \quad (4.5)$$

Texnologik hisoblashlarda tezlikni asosiy boshlang'ich komponentning o'tish darajasi x bilan ifodalash qulayroq:

$$u = dx/dt = k(1-x) \quad (4.6)$$

$$K = \frac{2,3}{\tau} \lg \frac{1}{1-x} \quad (4.7)$$

Ikkinchi tartibdagi reaksiya tezligi:

$$u = dx_1/dt = k_1(a-x_1)(v-x_1), \quad (4.8)$$

Bundan:

$$K = \frac{2,3}{\tau(a-v)} \lg \frac{a(v-x_1)}{v(a-x_1)} \quad (4.9)$$

A, V reagentlar konsentratsiyalari a=v bo'lsa (ekvimolekulyar miqdorlarda bo'lsa), (4,8 - 4,9) quyidagicha bo'ladi:

$$u = dx_1/dt = k_1(a-x_1)^2 \quad (4.10)$$

$$K_1 = \frac{1}{\tau a} \frac{x_1}{a-x_1} \quad (4.11)$$

Jarayon tezligini o'tish darajasida (x) ifodalasak:

$$u = dx/dt = k(1-x)^2 \quad (4.12)$$

va

$$K = \frac{1}{\tau} \frac{1}{1-x} \quad (4.13)$$

bo'ladi.

Parallel ( ) reaksiyalarda o'tish tezligi:

$$K = \frac{1}{\tau} \frac{1}{1-x} \quad (4.14)$$

V va D mahsulotlari hosil bo'lish tezliklari:

$$I_V = dC_V/dt = k_1 S_A \quad (4.15)$$

$$I_D = dC_D/dt = k_2 S_A \quad (4.16)$$

Bu ikki tenglama asosida quyidagicha bo'ladi:

$$I_V/I_D = dC_V/dC_D = k_1/k_2 \quad (4.17)$$

Masalan, metil spirti sintezida. Asosiy reaksiya:



Parallel reaksiyalar:



Harorat va qorishtirishning reaksiya tezligiga, ya'ni ichki energiyasi oshishi va tashqi diffuziya qarshiligi kamayishi haqida oldinroq to'la ma'lumot berdik. Bosim to'g'ri va teskari reaksiya tezligiga tasirlashuvchi moddalar konsentratsiyalariga proporsional ravishda ta'sir etadi.

Agar reaksiya hajmi kamayish bilan borsa, bosim ijobiy ta'sir etadi. Agar reaksiyani muvozanat belgilamasa, bosim reaksiya tartibiga bog'liq bo'ladi:

$$U = b\text{Chr}^n \quad (4.18)$$

Bunda:  $b$  – ta'sirlashuvchi moddalar konsentratsiyasiga va reaksiya tezlik konstantasiga bog'liq koeffitsiyent;  $r$  – jarayon bosimining normal (0,1 MPa) bosimga nisbati;  $n$  – reaksiya tartibi. Demak, birinchi tartibdagi reaksiya uchun:

$$U = b\text{Chr} \quad (4.19)$$

va ikkinchi tartibdagi uchun esa:

$$U = b\text{Chr}^2 \quad (4.20)$$

bo'ladi.

Demak, reaksiya tartibi qancha katta bo'lsa, bosim ishlatish shunchalik foydali ekan. Bosim ishlatishning yana foydali tomoni quvurlar, apparatlar va boshqalar hajmini, o'lchamini kamaytirish mumkin. Ammo devor qalinligini oshirishga to'g'ri keladi. Bosim ko'pincha gaz fazalardagi jarayonlarda qo'llanadi.

Bosim suyuqliklardagi reaksiya tezligiga juda kam ta'sir etadi. Ammo bosim oshishi bilan suyuqlik qovushqoqligi (вязкость) oshadi. Reaksiya kinetik sharoitdan diffuziya muhitiga o'tishi mumkin.

### 4.3. Geterogen nokatalitik jarayonlar reaktorlari

Geterogen jarayonlarni o'tkazish uchun reaktorlar yaratishda (konstruksiyasi) tuzilishini murakkablashtiruvchi omillar inobatga olinadi. Birinchidan, geterogen sistemalar turli fazalarda bo'ladi, shu sababli ulardagi jarayon fazalar tutashuvchi yuzada modda almashish bilan bog'liq. Bu holda jarayon tezligiga fizik omillar katta ta'sir etadi, ya'ni fazalar yuzasi o'lchami va holati, moddalarning bir fazadan ular chegara yuzasiga va ikkinchi faza hajmiga diffuziyasi hamda hosil bo'lgan mahsulotning qaytar diffuziyasi va boshqalar. Shuning uchun reaktor tuzilishi massa almashish sharoitini ta'minlashi, bundan tashqari, iloji borisha ko'proq (kengroq) fazalar to'qnashish yuzasi tashkil qila olishi kerak. Ko'p hollarda apparat tuzilishida fazalar tutashish yuzasi hosil qiladigan to'ldirgichlar almashtirib turilishi ko'zda tutiladi.

Gomogen sistemadan farqli geterogen sistemada har bir komponent o'z harakat tartibiga ega. Sistemada turli fazalar oqimi mavjud: to'g'ri harakatdagi, qarama-qarshi harakatdagi va kesishuvchi harakatdagi oqimlar bo'ladi.

G-Q sistema reaktorlari G-S sistemadagi reaktorlardan farqlanadi va hokazo.

Albatta, har bir jarayon uchun optimal tuzilishga va ishlash prinsipiga ega bo'lgan reaktorlar tanlab olinadi.

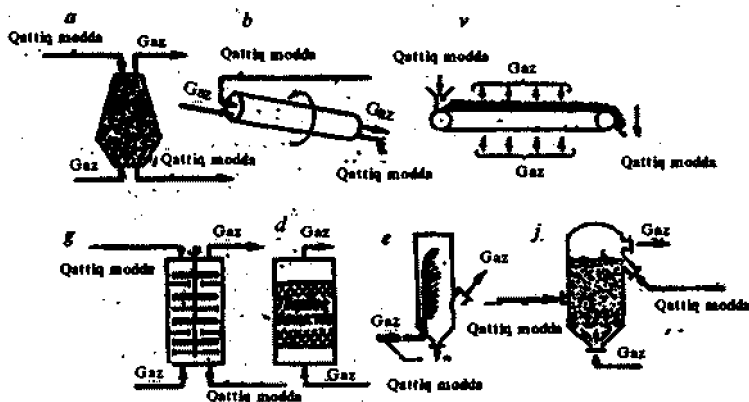
#### Gaz-qattiq va suyuq-qattiq sistemalar reaktorlari

Ishlab chiqarishda qo'llanadigan reaktorlar ko'rsatkichlari bo'yichareaksiyon aralashmalar ideal harakat tartibiga deyarli yaqin. Shuning uchun ideal reaktorlar real reaktorlarni hisoblash va tadqiq qilishda model sifatida xizmat qiladi. Shuning uchun G-Q va S-Q geterogen jarayonlar kechadigan reaktorlar aniqlikda reaksiya aralashmasi holati siqib chigaruvchi va aralashtiruvchi reaktorlardagiga yaqin bo'ladi.

4.6-a chizmada reagentlar qarama-qarshi oqimda siqib chigaruvchi tartib hosil qilinadi. Bunga domna pechi va kalsiy karbonatni kuydirish pechi misol bo'ladi. 4.6-b chizmada ham aylanuvchi barabanda siqib chigaruvchi tartib, ammo reagentlar oqimlari qarama-qarshi harakatlanadi. Bunday apparatlar moddalarni quritish uchun ishlatiladi.

Kesuvchi oqimda bug' qozonlari o'shog'i ishlaydi. Xarakatlanuvchi panjara ustida qattiq yog'ilg'i bo'ladi, orasidan havo yuboriladi (4.6-v chizma).

Qattiq xom ashyoni kuydirish uchun (4.6-g chizma) oqimlarining aralash harakati qo'llangan. Bu apparat siqib chiqarish tartibida ishlaydi, ammo qattiq faza qorishtirib turiladi.



4.6-chizma. Gaz-qattiq va suyuq-qattiq sistemalarda nokatalitik reaksiyalar o'tkazish uchun ishlatiladigan apparatlar prinsipial sxemasi: a) siqib chiqaruvchi tartibda ishlaydigan qarama-qarshi oqimli apparat; b) siqib chiqarish tartibidagi parallel oqimli apparat; v) siqib chiqarish tartibidagi kesishuvchi oqimli apparat; g) siqib chiqaruvchi (mexanik qorishtirgichli) tartibdagi aralash oqimli reaktor; d) yarim davriy reaktor, gaz siqib chiqarish tartibida; ye) qattiq-gaz sistemasi reaktori, qattiq faza aralashtirish tartibida, gaz esa aralashtirish va siqib chiqarish oraliq tartibida; j) muallaq qattqli reaktor, qattiq faza aralashtirish tartibida, gaz-oraliq tartibida.

Siqib chiqaruvchi reaktorlarning kamchiligi fazalar etarli qorishtirilmasligi (4.6-a va g chizma) yoki fazalar kontakt yuzasi yangilanmasligi (4.6-d chizma). Tashqi diffuziya kechadigan jarayonlarda bunday reaktorlar ishlatish unsha foydali emas. Bunda qattiq material aralashish tartibida bo'lgani ma'qul (2-guruh reaktorlari).

Tuzilish jihatidan 2-guruh reaktorlari ikki xil bo'ladi: birinchisi qattiq material kamerada gaz oqimi yordamida qorishtiriladi (masalan, chang holiday kolchedanni kuydiruvchi pechlar, (4.6-e

chizma). Mayda material kameraga forsunka orqali purkaladi, gaz (havo kislorodi) bilan aralashib ta'sirlashadi. Ikkinchi variantda esa qattiq material muallaq qatlami hosil qilinadi. Bunda panjaradagi qattiq modda qatlami ostidan gaz (havo) beriladi. Natijada go'yoki «qaynovshi» qatlam hosil bo'ladi (4.6-j chizma). Gaz bosimi va tezligi «qaynash» tartibida mo'tadil saqlanadi. Reaksiya mahsuloti uzluksiz chigarib turiladi, oqimlar aralashish, kesishish va siqib chiqarish, ya'ni murakkab tartibda bo'ladi. Bu apparatlarda massa almashish yuqori va issiqlikni zonadan chiqarish ham oson kechadi.

### A. Gaz-qattiq sistemalar reaktorlari

*Reaktorlarni loyihalash* — gaz-qattiq sistemalarda: a) kinetik qonuniyatlar, ya'ni qattiq zarrachalar yuzasidagi reaksiya tezligi; b) ikkala fazaning reaktordagi gidrodinamik tartibi; v) material qatlamida zarralar o'lchamining tarqalishi; g) harorat tarqalishi va shunga o'xshashlar asos bo'lib xizmat qiladi.

Yuqori haroratli jarayonlar kuydirgich(pech) larda olib boriladi.

*Sanoat (pech) kuydirgichlari* — qattiq moddalarni haroratli ishlashda foydalanadigan issiqlik barpo qilinadi. Ularda yog'ilg'i yonishi yoki ekzotermik reaksiyalar yoki elektr energiyasi hisobiga issiqlik hosil qilinadi.

Issiqlik energiyasi manbai bo'yichakuydirgichlar quyidagilarga bo'linadi:

1. Yog'ilg'ili kuydirgich — qattiq, chang, suyuq va gaz holdagi yog'ilg'i ishlatiladi.

2. Elektr kuydirgichlarida issiqlik manbai elektr energiyasidir.

3. Kimyoviy energiya kuydirgichlarida zaruriy harorat reaksiya hisobiga hosil bo'ladi (oltinugurt rudalarini kuydirishda, domna kuydirgichlarida, metall quyish konvertorlari va shunga o'xshashlarda).

*Qizitish usuli* bo'yichato'g'ridan-to'g'ri qizdiriluvchi sement kuydirgichlari, elektrdugali, kimyoviy energiyali, issiq havo yoki yog'ilg'i gazlari, yongan qattiq modda nurlanishi hisobiga kuydirgichlar va devor orqali qizdiriluvchi (koklash, retortalar, tigellar, mufel va quvurli) kuydirgichlarga bo'linadi.

To'g'ridan-to'g'ri qizdiriluvchi kuydirgichlar uchun issiqlik uzatish umumiy tenglamasi:

$$Q = aF Dt \quad (4. 21)$$

bo'ladi. Bunda,  $Q$  — vaqt birligi ishida berilgan issiqlik;  $t$  — issiqlik beruvchi va isitiluvchi material haroratlari o'rtacha farqi;  $F$  — materialning isiydigan yuzasi;  $a$  — issiqlik berish koeffitsienti (apparat tuzilishi va qattiq modda fizik va fizik-kimyoviy xossasiga bog'liq bo'ladi).

Devor orqali qizdiriladigan kuydirgichlar uchun:

$$Q = K_{is} F Dt \quad (4.22)$$

Bunda,  $K_{is}$  — issiqlik uzatish koeffitsienti. Umumiy holatda

$$K_{is} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.23)$$

bo'ladi. Bunda,  $a_1$  — issiqlik tashuvchidan devorga berilish koeffitsienti;  $a_2$  — devordan qizdiriluvchiga issiqlik berilish koeffitsienti;  $d$  — devor qalinligi;  $l$  — devor issiqlik o'tkazuvchanligi.

Texnologik funksiyasi bo'yicha: quritgichlar, qizdiruvchilar, suyultiruvchi, yondiruvchi, piroliz kuydirgichlar va boshqa nomlar bilan ataladi.

Tuzilishi bo'yicha: shaxta (domna), tokchali mexanik, tunnel, kamerali, vannali, quvurli, elektrik, aylanuvchi baraban, chang holatda yondiruvchi va «qaynovshi» qatlamli kuydirgichlardan iborat bo'ladi.

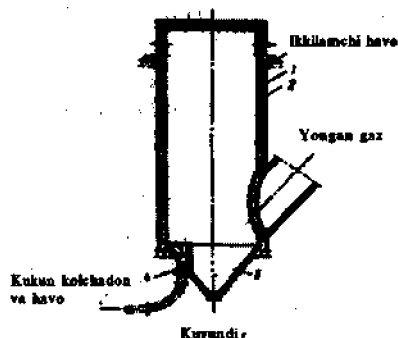
Misol uchun chang holatida yondiruvchi va «qaynoq» qatlamli pechlarni ko'rib chigamiz.

*Chang holida yondiruvchi kuydirgichlar reagentlarning to'g'ri oqimi harakatiga asoslangan bo'lib, nozik maydalangan yondiriluvchi materialni havo oqimi yordamida soshish prinsipida ishlaydi (4.7-chizma). Bu to'g'ridan-to'g'ri qizdiriluvchi kuydirgich bo'lib, ekzotermik reaksiya issiqligidan foydalaniladi. Fazalar tutashish yuzasi zarrachalari yuzasi bilan o'lsanadi. Bu kuydirgich shamot g'ichtlar bilan o'ralgan po'lat silindrdan iborat bo'lib, materialni soshish uchun forsunka, gazni (yoki havoni) kiritish va chiqarish shtutseri va qattiq qoldiqni chiqarish shtutseridan tashkil topgan.*

Kolchedanni kuydirishda xom ashyo havo yordamida forsunka orqali qizdirilgan kuydirgich ichiga purkaladi. Zarrachalar apparat yuqorisida ikkinchi havo oqimi bilan to'qnashadi va intensiv jarayon yuzaga keladi.

Ikkala fazaning ham gidrodinamik tartibi to'la amalastirishga yaqin.

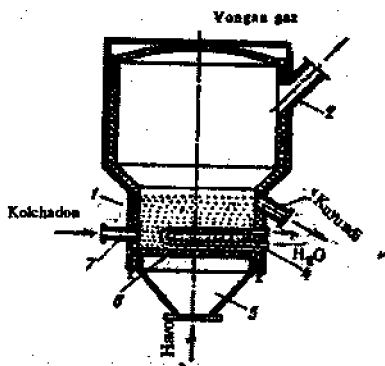




4.7-chizma. Chang holdida yondirish kuydirgichi: 1 – tashqi qobiq; 2 – himoya qatlami; 3 – bunker; 4 – forsunka;

Yuqori haroratli ( $1000^{\circ}\text{C}$ ) gaz apparat yonidagi shtutserdan chiqib so'ndirish qozoniga, so'ng chang tozalagichga boradi. Kuyindi esa apparatning konussimon qismiga tushadi va chigarib yuboriladi.

Bunday apparatlarning ishlash intensivligi yuqori bo'ladi. Tuzilish jihatidan sodda, ammo gaz bilan yonuvchi material va kukunning bir qismi chiqib ketishi va tartibning unsha turg'oq emasligi uring kamchilik tomonidir.



4.8-chizma. «Qaynoq» qatlamda yondirish kuydirgichi:

- 1 – yonish kamerasi; 2 – yondiruvchi gaz chiqarish quvurehasi;
- 3 – kuyindi chiqarish quvurchasi; 4 – sovitkich; 5 – bunker;
- 6 – panjara; 7 – qattiq modda uzatadigan shnek.

«Qaynoq» (muallaq) qatlam (QQ) kuydirgichida (4.8-chizma) nozik maydalangan kuydiriluvchi material (masalan, kolchedan, 0,01-0,5 mm o'lchamli) panjaraga uzluksiz uzatib turiladi. Ostidan «qaynoq» qatlam hosil qilish tezligida havo beriladi. Zarrachalar uzluksiz pulsatsion harakatlanishi bilan barcha panjara bo'ylab harakatlanadi (oqadi) va intensiv yonish jarayoni kechadi.

Apparat to'la aralashtirish tartibiga yaqin ishlaydi.

«Qaynash» kritik tezligi, ya'ni yonuvchi modda «qaynoq» holatda bo'lishi muallaqlik haqiqiy tezligi  $W_{\text{haq}}$  orqali aniqlanadi:

$$W_{\text{haq}} = r_k d^2 / 10^2 r_g v \quad (4.24)$$

Bunda:  $r_k$  va  $r_g$  — qattiq modda va gaz zichligi, kg / m<sup>3</sup>; d — zarrachaning o'rtacha o'lchami, m; n — qovushqoqlik kinematik koeffitsienti, m<sup>2</sup>/sek.

Zarrachalarning muallaqligiga erisha boshlash tezligi, ya'ni fikтив muallaqlik tezligi (apparatning to'la kesimiga hisoblangan):

$$W_m = E_0 W_{\text{haq}} \quad (4.25)$$

Bunda:  $E_0$  — zarracha egallamagan hajm hissasi. Flotatsion kolchedan uchun  $E_0 = 0,4$ .

QQ kuydirgichlarida yonuvchi qattiq zarrachalar yuzasi (fazalar kontakt yuzasiga ekvivalent) maksimal bo'lib, gaz bilan to'la yuiviladi. Diffuziya qarshiligi kam va ikki faza muhiti turbulenti yuqori bo'lib, massa va issiqlik uzatish yuqori bo'ladi.

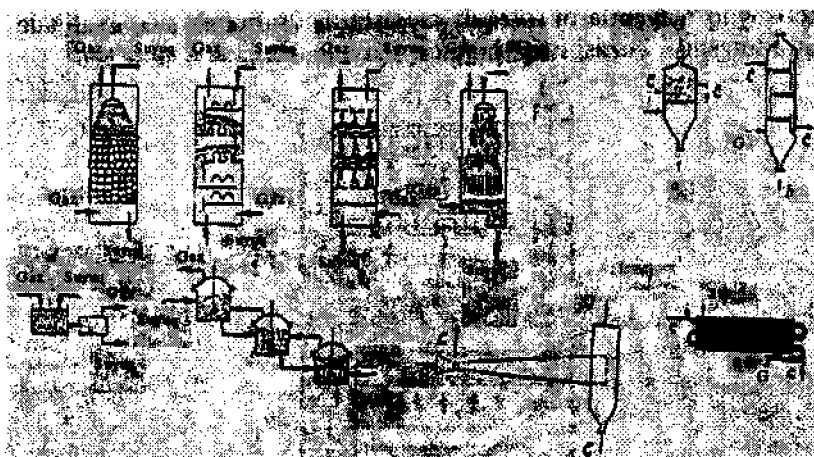
Chorraha oqim tufayli yuqori harakatlantiruvchi kuch ta'minlanadi, jarayon kyechish darajasi yuqori va foydali ish koeffitsienti ham maksimal bo'ladi.

QQ kuydirgichlarda kontakt vaqt bir necha sekund bo'lib, mexanik tokchali apparatlardan 1,5–2,0 marta intensivroq ishlaydi. Ularda harorat izotermik bo'lib, jarayonni boshqarish engillashadi. Gaz bilan chiqib ketgan zarrachalarni siklonda tutib, apparatga qaytarish sxemasida ishlaydigan apparatlar esa eng yuqori intensivlikka ega.

## B. Gaz-suyuqlik va suyuq-suyuq sistemalar reaktorlari

Bunday reaktorlar ko'p hollarda uzviy ishlaydigan absorbsiyalovchi apparatlar prinsipidagi tuzilishga ega bo'ladi. Gaz fazasi bilan uzluksiz ta'minlanadigan yarim davriy reaktorlar (ko'pincha S-S sistemalar uchun) esa yana ham kamroq qo'llaniladi.

Ko'proq tarqalgan tuzilishdagi reaktorlar: 4.9-chizmada ko'rsatilgan to'ldirgichli skrubber va ichi bo'sh minoralar (a va g). Ular G-S sistemasida kechadigan turli-tuman jarayonlarga moslangan. Bunday minoralarda gaz holatdagi reagent quyidan yuqoriga, sochilayotgan suyuqlikka qarama-qarshi harakatlanadi. To'ldirgichli minoralarda (4.10-chizma) suyuqlik to'ldirgich yuzasini qoplaydi. Bunda fazalar tutashish yuzasi ko'payadi. Ichi bo'sh minoralarda esa (4.11-chizma) fazalar to'qnashishi suyuqlik tomchilari yuzasida yuz beradi. Bunday reaktorlarning afzalligi, tuzilishining soddaligi, gidravlik qarshilikning kamligi va boshqarishning osonligidir. Kamchiligi esa intensivligi pastligi va o'lchami kattaligidir.

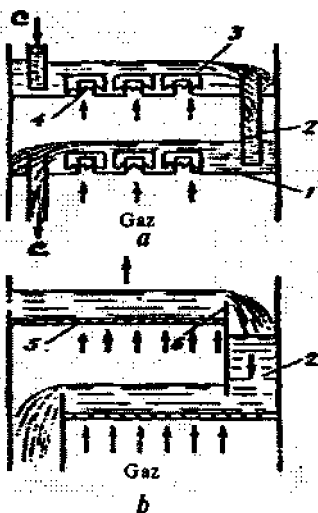


4.9-chizma. Gaz-suyuqlik va o'zaro qiyin eriydigan suyuqliklar o'rtasida kechadigan reaksiyalar uchun apparatlarning prinsipial sxemasi: a – to'ldirgichli kolonna; b – qalpoqchali taretkali barbotaj kolonnasi (siqib chiqarish tartibi); v – turli taretkali barbotaj kolonnasi (siqib chiqarish tartibi); g – taqsimlovchi (sochuvchi) kolonna (siqib chiqarish tartibi); d – ideal aralashtiruvchi reaktor (seperator bilan) fazalar bir bosqichli kontakti; ye – aralashtiruvchi reaktorlar kaskadi, qarama-qarshi oqimli sistema; j – suyuqlik sochuvchi reaktor – Venturi quvuri (to'la aralashtiruvchi tartib); z – ko'pikli reaktorlar (to'la aralashtiruvchi tartib); i – quvurli reaktor (ideal siqib chiqarish tartibi). Bunday minoralarda qarama-qarshi hamda parallel oqimlar tashkil qilinadi.

Barbotaj kolonnalar (4.9-chizma: b va v) kimyoviy va boshqa sohalar sanoatlarida keng qo'llaniladi. Bunday reaktorlarda (4.10-chizma) gaz fazasi katta tezlikda turli tarelkalar teshiklari yoki qalpoqchali tarelkalar qalpoqchalari orqali o'tadi va suyuqlik qatlami-dan o'tishda pufakchalar hosil qiladi. Suyuqlik esa yuqori tarelka-dan quyisiga oqib o'tadi.

Bunday reaktorlar minoralardan murakkabroq tuzilishga va yuqori gidravlik qarshilikka ega. Lekin gaz oqimining katta tezligi tu-fayli tashqi diffuziya qarshiligi kamayadi. Ularning texnologik sxemalar tashkil qilishda keng miqyosda qo'llanishi ana shu afzalligiga bog'liq.

Qorishtirgichli idishlarda (4.9-chizma, d) gaz va suyuq yoki ik-kita suyuq reagentlarni intensiv aralashtirish ta'minlanadi. Natijada katta tutashish yuzasi hosil bo'ladi.

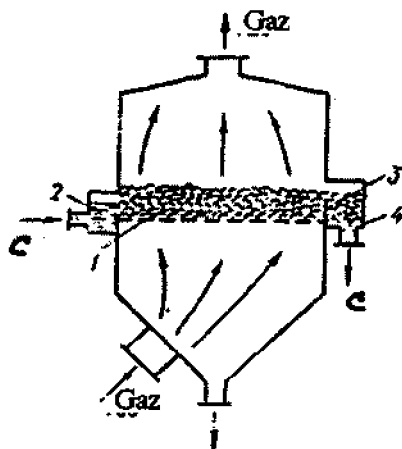


4.10-chizma. Qalpoqchali tarelkali (a) va panjarali tarelkali (b) reaktorlar tuzilish sxemasi: 1 – qalpoqchali tarelka; 2 – oqib o'tuvchi quvur; 3 – qalpoqcha; 4 – gaz uchun quvurcha; 5 – to'rtli tarelka, 6 – oqib o'tuvchi to'siq.

Biroq bu apparatlar tuzilishi ancha murakkab va kam mahsul-dor bo'ladi. Shuning uchun ular kam tonnali va qimmatbaho ki-myoviy mahsulotlar ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

Venturi quvurida (4.9-chizma, j) esa gaz holdagi reagent oqimida suyuqlik purkaladi. Gaz tezligi juda yuqori bo'ladi. Natijada suyuqlikni juda ham kichik tomchilarga parchalaydigan gaz oqimida kuchli turbulent pulsatsiya hosil bo'ladi. Katta tutashish yuzasi hosil bo'ladi, tashqi diffuziya qarshiligi kamayadi va oqimlarning intensiv aralashishi yuzaga keladi. Bunday reaktorning afzalligi — yuqori intensiv jarayon yaratilishidir. Kamchiligi esa katta gidravlik qarshilik va gaz bilan chiqib ketayotgan suyuqlik tomchilarini tutib qolish uchun maxsus apparat qo'llanishidir.

Ko'pikli apparatlarda ham (4.9-chizma, z) jarayonning yuqori intensivligi ta'minlanadi. Ulardagi panjara ustidagi suyuqlik qatlami ostidan gaz oqimi shunday tezlikda beriladiki, gaz oqimi va pufakshalar to'la aralashib, harakatlanuvchi qatlam, oqim va suyuqlik tomchisi holida harakatlanuvchi ko'pik qatlami hosil bo'ladi (4.11-chizma).



4.11-chizma. Ko'pikli apparat: 1 — panjara (to'r); 2 — kiruvchi quticha; 3 — oqib o'tuvchi to'siq; 4 — ko'pikni parchalovchi quticha.

Gaz tezligi pasaysa, ko'pikli tartib barbotajga o'tadi, kuchaysa harakatdagi muallaq ko'pik qatlami parchalanib, tomchi holida ucha boshlaydi. Bu apparatlarda gaz va suyuqlik tutashuvchi yuza ko'payadi va doimo yangilanib turishi natijasida jarayon intensivligi oshadi. Tuzilishi sodda va intensivligi yuqori bo'lganligi sababli sanoatda bir tokchali va ko'p tokchali apparatlarda keng qo'llaniladi.

## V. Suyuq-qattiq sistema reaktori

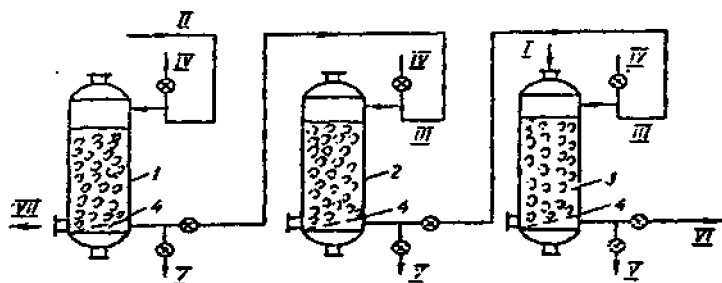
*Suyuq-qattiq sistema jarayonlari reaktori o'ziga xos tuzilishga ega bo'lib, ularda fizik (fizik erish, ekstraksiyalash, kristallizatsiyalash) va kimyoviy jarayonlar o'tkaziladi.*

Ularda kimyoviy jarayonlar ko'pincha diffuziya muhitida kechadi. Shuning uchun reaktorlarda tutashish yuzasini oshirishning turli usullari qo'llaniladi. Bunda suyuqlikning qattiq modda qatlami filtrllovchi yoki muallaq qatlamlari orqali o'tkaziladi, turli qorishtirish usullari qo'llaniladi.

Sanoat reaktorlarining real ish tartibi ideal aralashtiruvchilar modeliga yaqin keladi.

Filtrlovchi qatlamlı reaktorlar, odatda, ichi bo'sh silindrdan iborat bo'lib, ostki qismida to'rsimon yoki qalpoqchali tarelka qiyalab yoki gorizontaal joylashtiriladi.

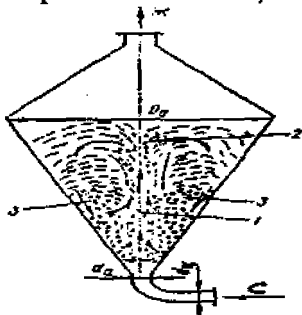
Tarelka ustida g'ovakli qattiq material (adsorbent va boshqa) qatlami joylashtiriladi. Suyuqlik filtr orqali o'tadi. Fazalarda yuza qattiq material g'ovakligiga bog'liq. G'ovaklar yuzasi tashqi yuzadan yuz va ming martalab ko'proq bo'ladi. Suyuq reagent diffuziyasiga qarshilik g'ovaklar ichidagi naychalarda bo'ladi, ya'ni jarayon ichki diffuziya muhitida kechadi. Suyuqlik yo'nalishi va tezligi zarralar (granul — donalar) o'lchami va qatlam balandligiga bog'liq. Ko'p hollarda suyuqlik yuqoridan beriladi. Unda turli absorbsiyaa (ionalmashish, tuz, ishqorlar olish va boshqalar) jarayonlari kechadi (4.12-chizmada S-Q sistema reaktori ko'rsatilgan).



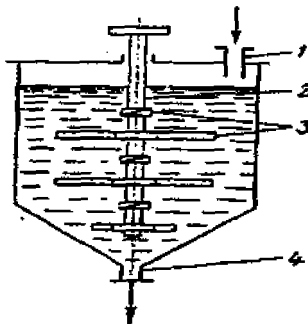
4.12-chizma. Diffuzorlar batareyasi: 1-3 — diffuzorlar; 4 — gorizontaal' yoki qiya panjaralar; I — qattiq modda kiritish; II — suyuq modda kiritish, III — suyuq moddaning ketma-ket kirishi, VI — konsentrlangan eritma chiqishi; VII — qoldiqning chiqishi.

Bunday reaktorlar qarama-qarshi oqimda ishlaydi va intensivligi past bo'lib, ko'p hollarda uzluksiz ishlaydigan «qaynoq» qatlamli reaktorlar qo'llanilmoqda (4.8-chizma).

Bunday apparatlar suyuqlik va qattiq material zishliklari katta farq qilsa va zarralar yirik bo'lgan hollarda qo'llanadi. Agar zishlik farqi kam va qattiq modda zarralari mayda bo'lsa, favvora qatlamli (4.13-chizma) reaktorlar ishlatiladi. Bu apparatning intensivligi yuqori bo'lib, agar qaynoq qatlam reaktorlarida chiziqli tezlik bir necha mm/sek bo'lsa, favvorali qatlamda o'nlab sm/sek ni tashkil qiladi.



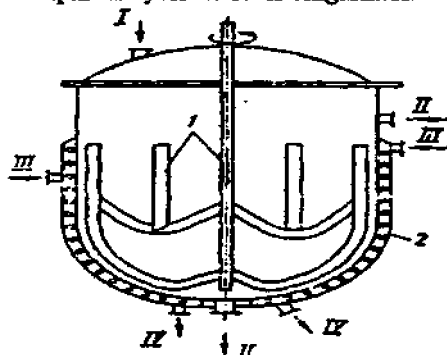
4.13-chizma. Favvora qatlamli reaktor: 1 – favvora yadrosi; 2 – favvora; 3 – zich tushuvchi qatlam;  $D_a$  – favvora zonasida reaktor diametri;  $d_a$  – reaktorning ostki bo'g'zi diametri;  $d_k$  – quvur diametri.



4.14-chizma. Kaftsimon (lappak) qorishtirgichli reaktor: 1 – reagentlarni kiritish; 2 – o'q; 3 – lappaklar; 4 – mahsulotni chiqarish.

Favvorali qatlamni tashkil qilish uchun reaktor ostki qismi diametri  $d_a$  quvur diametri  $d_k$  dan katta bo'lmali kerak. Favvorada esa reaktor diametri quvur diametridan anchagina katta bo'ladi. Bunday reaktorlarda ion almashish jarayonlarini o'tkazsa bo'ladi.

Suyuq-qattiq sistemalarda, jumladan, eritish, ekstraksiyalash, tuz va ishqorlar olish, polimerlash, gidrometallurgiya va organik sintezda mexanik qorishtirgichli (4.4-chizma) va pnevmatik qorishtirgichli (4.5-chizma) reaktorlar qoʻllanadi. Bunda S-K faza yuqoridan berilib, mahsulot apparat biqinidan yoki ostidan chigariladi.



4.15-chizma. Yakor qorishtirgichli reaktor: 1-qorishtirgich; 2-isitish koʻylagi; I reagentlar kiritish, II mahsulot chiqarish, III bugʻ chiqarish, IV kondensat chiqarish nuqtalari.

Qorishtirgich tuzilishi reaksiya muhiti qovushqoqligiga bogʻliq ishlanadi. Qovushqoqligi kam suyuqliklarda propellar qorishtirgichli reaktorlar (4.4-chizma) pnevmatik va oqim sirkulyatsiyasi qorishtirgichli reaktorlar (4.5-chizma) ishlatiladi. Oʻrtacha qovushqoqlikdagi suyuqliklarda kaftsimon yoki spiral turidagi qorishtirgich ishlatiladi (4.14-chizma). Agar qovushqoqligi juda yuqori boʻlsa, bu holda yakorsimon qorishtirgichli reaktorlar (4.15-chizma) tokchali qorishtirgichli va shnekli reaktorlar ishlatiladi.

Qorishtirgichli yakka reaktorlar davriy va uzviy tartibda ishlashi mumkin. Uzlüksizlikni taʼminlash va oʻtish darajasini oshirish maqsadida ketma-ket ulangan reaktorlar kaskadi, batareyalar ishlatiladi. Ularda komponentlar tarqalishi ideal siqib chigaruvchilarga yaqin boʻladi.

#### 4.4. Geterogen nokatalitik jarayonlar xususiyatlari va qonuniyatlari

##### a) Gaz-suyuqlik sistemalar

Kimyo sanoatida gaz va suyuq reagentlar oʻrtasida kechadigan jarayonlar keng qoʻllanadi.



G-S sistemalarda absorbsiya va desorbsiya jarayonlari muhim ahamiyatga ega.

*Absorbsiya* — gaz yoki gaz aralashmasidagi komponentni suyuqlikda yutilib, eritma hosil qilishidir. Absorbsiya suyuq fazada kimyoviy reaksiya kyechishi bilan borsa, u xemosorbtsiya deyiladi.

*Desorbsiya* — absorbsiyaga teskari bo'lib, suyuqlikda erigan gazlarning ajralib chiqishidir. Desorbsiya haydash deb ham ataladi. Bunda gaz eritmani qizdirish, inert gaz yoki suv bug'i yordamida haydaladi.

Bu ikki jarayonda ham tezligi va reaktor o'lchamlari fizik diffuziya bosqichini belgilaydi.

Diffuziya muhitidagi jarayonlar kinetik tenglamasi umumiy holda quyidagicha yoziladi:

$$U = K_g F (P - P') \quad (4.26)$$

$$U = K_s F (C' - C) \quad (4.27)$$

Bunda:  $R$  — yutiluvchi komponent porsial bosimi, Pa;  $P^I$  — suyuqlik bilan muvozanatdagi komponent porsial bosimi, Pa;  $S$  — suyuqlikda erigan gaz konsentratsiyasi, mol;  $C'$  — gaz bilan muvozanatdagi suyuqlikda erigan gaz konsentratsiyasi, mol;  $K_g$  va  $K_s$  — porsial bosim yoki suyuq faza konsentratsiyasi birligida ifodalanadigan massa almashish koeffitsienti.

Absorbsiya-desorbsiya jarayonlarini modellashtirishda hisoblash tenglamalari, odatda, kriterial shaklga ega bo'ladi va aniqlanuvchi qiymat bo'lib massa almashish koeffitsienti qiymati hisoblanadi.

**Masalan,**

$$Nu = f(Re, Ga, Pr, G) \quad (4.28)$$

Bunda,  $Nu = kl/D$  — Nusselt diffuziya kriteriyasi;  $Re = Wl/v$  — Reynolds gidrodinamik kriteriyasi;  $Ga = gl^3/v^2$  — Galiley kriteriyasi;  $Pr = \nu/D$  — Prantl diffuziya kriteriyasi;  $G$  — geometrik o'xshashlik simpleksi.

Bularda  $k$  — massa almashinish koeffitsienti;  $l$  — chiziqli o'lcham;  $D$  — diffuziya koeffitsienti;  $W$  — oqimning chiziqli tezligi;  $\nu$  — qovushqoqlik kinetik koeffitsienti.

Turbulent tartibda massa almashishda Margulis kontakt kriteriyasidan foydalanish ancha o'ng'ayroq:  $Ma = K / W$ .

Bu kattalik suyuqliklarda gazlarni erish tezligini xarakterlaydi. Agar absorbsiya turbulent tartibda kechsa, tez eriydigan gazlar uchun  $Ma > 1$ , yomon eruvchilar uchun  $Ma < 1$ , o'rtacha eruvchi gazlarda  $0,1 < Ma < 1$  bo'ladi.

Ko'pikli tartibda massa almashishda kriterial tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$Ma = ARE^m Pr^n HP_{con} Ar \eta^q g^s \quad (4.29)$$

Bunda,  $A$  – koeffitsient;  $Ar = E/RT$  – Arrenius kriteriyasi;  $E$  – aktivlanish energiyasi;  $R$  – gaz molyar doimiyligi;  $T$  – harorat,  $H_{son} = H/h_o$  – ko'pik qatlami solishtirma balandligi;  $H$  – ko'pik qatlami balandligi;  $G = \eta/d_e$  – geometrik o'xshashlik simpleksi;  $\eta_o$  – tarelkadagi suyuqlikning boshlang'ich balandligi;  $d_e$  – ekvivalent diametri.

Massa almashish va apparatlarning ishlash samaradorligi « $K$ » dan tashqari foydali ish koeffitsienti  $FK$  « $n$ » bilan xarakterlanadi. « $K$ » va « $n$ » o'zaro bog'lanishda bo'ladi. Suyuqlik va gaz oqimlari chorraha yo'nalishida bo'lgandagi absorbsiya uchun:

$$\eta = 2K_a / (2W_g + K_a) \quad (4.30)$$

Xemosorbsiya jarayonlarini o'rganishda massa almashish va kimyoviy kinetika qonuniyatlari birgalikda ko'rib chiqiladi.

Qaytar kimyoviy jarayonlar bilan kechadigan absorbsiyaning murakkab holatini ko'rib chigamiz. Agar absorbsiyaning harakatlantiruvchi kuchini

$$\rho^* = \frac{X}{K\phi(1-X)} \quad (4.31)$$

bilan ifodalasak, bunda,  $K$  – suyuqlikdagi reaksiya muvozanati konstantasi;  $\phi$  – Genri koeffitsienti;  $X$  – absorbentning yutiluvchi komponent bilan to'yinish darajasi.

Bu holda:

$$U = K_s F \left( p - \frac{X}{K\psi(1-X)} \right) \quad (4.32)$$

Fizik absorbsiyaga nisbatan xemosorbsiya tezligining o'zgarishini harakatlantiruvchi kuchni fizik absorbsiya harakatlantiruvchi kuchiga ekvivalent deb qabul qilib, suyuq fazada massa almashish koeffitsientini ko'tarilishi bo'yicha hisoblash mumkin:

$$U = K_s a F DC \quad (4.33)$$

**Bunda,  $a$**  — reaksiya natijasida suyuq fazada absorbsiya tezlanishi koeffitsienti;  $K_s$  — suyuq faza konsentratsiyasi birligida ifodalangan absorbsiya koeffitsienti. Kattalik  $a$  xemosorbsiya jarayoni modeliga bog'liq turli parametrlar funksiyasi bo'lib, turlicha ifodalanadi:

$$a = f(K_1, K_2, r_1, r_i, C, D_1, D_2, t_0) \quad (4.34)$$

va hokazo

Fazalar orasidagi yuza  $F$  og'irroq suyuqlik yuzasi, reaktor kesim yuzasi, to'ldirgich yuzasi, tokchalar yuzasi yoki hajm-reaksiya hajmi, suyuq faza hajmi bilan aniqlanishi mumkin.

Masalan, ideal siqib chiqarish tartibiga yaqin bo'lgan uzluksiz ishlaydigan reaktor — to'ldirgichli absorbsiya kolonnasida fazalar tutashish yuzasini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$F = G_r \int_{p_0}^{p^*} \frac{dp}{U} \quad (4.35)$$

Diffuziya muhitidagi jarayonlarda kolonnani seksiyaga bo'lib, ularda  $U$  +sonst deb, aniqlikka yaqin yuza o'lchamini aniqlash mumkin:

$$F = G_g D_r / U_0 r \quad (4.36)$$

Bunda,  $D_r$  — kirish va chiqishdagi gazning porsial bosimlari farqi;  $U_0 r$  — jarayon tezligining o'rtacha umumiy qiymati.

### **b) Gaz-qattiq sistemalar**

**Gaz-qattiq sistemalarda qattiq moddalarni kuydirish va adsorb-sion jarayonlar eng xarakterli hisoblanadi.**

Kuydirish — bu qattiq va gaz holiday reagentlar ishtirokidagi yuqori haroratli kimyoviy texnologik jarayonlardir.

Qattiq materiallarni kuydirishda turli jarayonlar yuzaga keladi: materiallarning suyulishi (suyuq faza hosil bo'lishi), haydalish, pi-roliz, dissotsatsiya, kalsinatsiya va boshqa jarayonlar sodir bo'lib, qattiq va gaz holiday moddalar qattiq yoki gaz fazada ta'sirlashadi.

Absorbsiya — qattiq yoki suyuq jismlar (sorbentlar)da gaz, bug' yoki eritmalarda erigan moddalarning yutilishidir.

Absorbsiya yuza hodisalari bilan bog'liq, ya'ni adsorbent yuza birligi, adsorbent-gaz (yoki adsorbent-suyuqlik) chegaralari sirt tarangligi, gaz yoki suyuqlik absorbsiyalanuvchi qatlami yuzasida molekulalar orientatsiyasi va boshqalarga bog'liq.

Fizik va kimyoviy adsorbsiyalar bo'ladi. Gazlar va bug'lar adsorbsiyasi. Ko'pincha adsorbentni regeneratsiya qilish uchun va adsorbsiyalangan gazni toza holda olish uchun desorbsiya bilan dam-badam olib boriladi.

Turli ishlab chiqarishlarda gazlarni zararli qo'shimchalardan nozik tozalashda adsorbsiyaa jarayonlari muhim ahamiyatga ega. Adsorbsiya muvozanati adsorbsiya izotermasi tenglamasi bilan karakterlanadi:

$$G_a = f(p^*) \quad (4.37)$$

Adsorbsiya izotermasining eng oddiylaridan biri Lengmyur izotermasi hisoblanadi:

$$G_a = AVr^*/1 + A p^* \quad (4.38)$$

Bunda, A, V — yutuvchi va yutiluvchi moddalar xossasiga bog'liq konstantalar;  $G_a$  — adsorbentning massa birligidagi yutilgan modda miqdori;  $r^*$  — adsorbsiyalanuvchi gaz muvozanat partial bosimi.

Gaz mollari soni o'zgarishi bilan kechadigan qattiq va gaz holidagi moddalar ta'sirlashuvida muvozanat Le-Shatalye prinsipiga ko'ra bosimga ham bog'liq bo'ladi.

Masalan, gazgenerator va domna pechlarida kechadigan jarayonlarda:

$S_{(q)} + SO_2(g) = 2SO(g) - 167,5 \text{ kDj}$ , SO ning chiqishi harorat oshishi va bosimning pasayishi bilan ko'payib boradi.

Mahsulot SO ning chiqishi gaz aralashmasi va muvozanatdagi tarkibi bilan aniqlanadi va o'zgarmas bosimdagi muvozanat konstantasi bilan hisoblanadi:

$$K_m = \frac{(P_{CO_2}^*)^2}{P_{CO_2}^*} \quad (4.39)$$

bo'lgani uchun:

$$K = \frac{X_m^2 P^2}{(1 - X_m) P} = \frac{X_m^2 P}{1 - X_m} \quad (4.40)$$

bo'ladi.

Ko'pchlik yuqori haroratli endotermik kuydirish jarayonlarida va qattiq moddalarni gazlashtirishda muvozanat amalda to'la maqsadli mahsulot tomonga surilgan bo'lib, faqatgina kinetik qonuniyatlarni o'rganish kifoya qiladi.

**Gaz-qattiq sistemadagi jarayonlar kinetikasini muhokama qilishda ta'sirlashmagan yadroli sferik zarrachani model sifatida qabul qilish mumkin.**

Bu modelda reaksiya avval qattiq yuzada sodir bo'ladi va reaksiya zonasi asta-sekin zarracha ichiga kirib boradi. Natijada gaz holda va g'ovak qattiq mahsulot hosil bo'ladi. Zarracha markazida ta'sirlashmagan yadro qoladi. Bu modelni tahlil qilishda quyidagi elementar jarayon bosqichlariga bo'lish mumkin:

1. Gaz holdidagi reagentning gaz oqimidan qattiq yuzaga diffuziyasi.
2. Gaz reagentining reaksiya qattiq mahsulotlari qatlami orqali diffuziyasi.
3. Qattiq reagent yuzasidagi kimyoviy reaksiya.
4. Reaksiya gaz mahsulotlarining reaksiya qattiq mahsulotlari orqali diffuziyasi.
5. Gaz holdidagi mahsulotlarning gaz oqimi yadrosiga diffuziyasi.

G-Q sistemadagi ta'sirlashishning umumiy kinetik tenglamasini reaksiyaning zarracha markazigacha surish uchun zarur bo'lgan vaqt ichidagi jarayon o'rtacha tezligini aniqlash orqali tuziladi:

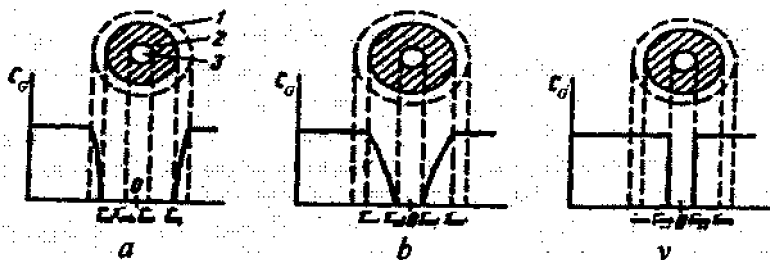
$$U = \kappa FAC = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3}} \quad (4.41)$$

Bunda,  $K_g$  – massa almashish koeffitsienti, m/s;  $K_t$  – kimyoviy reaksiya tezlik konstantasi (qattiq yuza birligida), m/s;  $1/K_z = r/2\Delta$  – o'rtacha qalinligi zarra radiusi yarmiga teng bo'lgan reaksiya mahsulotlari qatlami qarshiligi;  $\Delta$  – reaksiya mahsulotlari g'ovaklarida gazning diffuziya koeffitsienti;  $\Delta C$  – jarayonni harakatlantiruvchi kuchi;  $\Delta C = S_r - C^*$ .

Diffuziya muhiti va kinetik muhitdagi birinchi tartibdagi reaksiyalar uchun  $DS = S_G$ , ya'ni harakatlantiruvchi kuch gaz fazasida gaz reagent konsentratsiyasiga ekvivalent holatda bo'ladi.

Reaksiya davomida gaz holatdagi reagent A ( $S_G$ ) konsentratsiyasi o'zgarishi:  $A_{(g)} + B_{(k)} \rightarrow$  mahsulotlar 4.16-chizmada ko'rsatilgan.

Gaz-qattiq fazalarning barcha elementar bosqichlaridagi ta'sirlashishi ketma-ket bo'lgani uchun jarayonning umumiy tezligi eng sekin (limitlovchi) bosqich tezligi bilan aniqlanadi.



4.16-chizma. Qattiq zarracha bilan ta'sirlanish jarayonida gaz holdagi reagent konsentratsiyasi  $S_r$  ning o'zgarishi: 1 – gaz lominar pardasi; 2 – reaksiya mahsulotlari qatlarni; 3 – ta'sirlashmagan yadro. Limitlovchi bosqichlar: a) tashqi diffuziya; v) ichki diffuziya; v) kimyoviy reaksiya.

Limitlovchi bosqich – tashqi diffuziya, ya'ni gaz chegara pardasi orqali diffuziya (4.16-chizma, a). Massa uzatish tezligiga teng jarayon tezligi:

$$U = -\frac{1}{F_z} \frac{dG_A}{d\tau} = -\frac{1}{F_z} \frac{dG_B}{bd\tau} = K_r C_s \quad (4.42)$$

Bunda,  $G_A$  va  $G_B$  – reagentlar miqdori, mol yoki Kg;  $v$  – 1 mol (yoki kg) qattiq modda bilan ta'sirlashuvchi gaz miqdori, mol.

Boshlang'ich fazalararo yuza  $F_z$  zarra yuzasiga ekvivalent bo'lgani uchun:  
va

$$U = \frac{1}{4\pi r_t^2} \frac{dG_B}{bd\tau} = K_r C_s \quad (4.43)$$

Bunda,  $G_B = r_t v$ ;  $r_t$  – zarracha zichligi;  $n$  – uning hajmi.

Ta'sirlashuvchi A va V moddalar miqdori ta'sirlashmagan zarracha yadrosi radiusi yoki hajmning kamayishiga ekvivalent bo'ladi, ya'ni:

$$-dq_B = -vdq_A = r_t dn = r_t d(4/3\pi r_{ya}^3) = 4\pi r_{ya}^2 r_t dr_{ya} \quad (4.44)$$

Bunda,  $r_{ya}$  – ta'sirlashmagan yadro radiusi.

(4.44) ni (4.43) ga kiritsak:

$$-\frac{1}{F_z} \frac{dG_B}{d\tau} = \frac{\rho_T r_{yo}^2}{r_z^2} \frac{dr}{dz} = BK_K C_g \quad (4.45)$$

Tenglamani o'zgartirib va integrallab, ta'sirlashmagan yadro massasining vaqt bo'yicha o'zgarishini xarakterlovchi tenglama keltirib chiqariladi:

$$-\frac{\rho_T}{r_z^2} \int_{r_z}^{r_{yo}} r_{yo}^2 dr_{yo} = BK_K C_g \int_0^{\tau} d\tau \quad (4.46)$$

Bundan zarracha radiusi  $r_z$  dan  $r_{yo}$  gacha o'zgarish vaqti aniqlanadi:

$$\tau = \frac{\rho_T r_z}{3BK_K C_g} \left[ 1 + \left( \frac{r_{yo}}{r_z} \right)^3 \right] \quad (4.47)$$

Zarrachaning (mahsulotga) to'la o'tish ( $r_{yo} = 0$ ) vaqti:

$$\tau' = \beta_{r_z} / 3BK_K C_g \quad (4.48)$$

$$t/t' = 1 - (r_{yo}/r_z)^3 = X_k \quad (4.49)$$

Nisbat qattiq zarracha o'tish darajasi « $X_k$ » ni xarakterlaydi. Boshqa limitlovchi bosqichlar uchun ham ( $t$  va  $x$  ni) xuddi shunday hisoblash mumkin.

*Limitlovchi bosqich*— reaksiya mahsulotlari orqali gaz reagentining ichki diffuziyasi (4.16-chizma, b).

A reagentining reaksiya mahsulotlari orqali diffuziya tezligi Filqonuniga asosan quyidagicha bo'ladi:

$$U = -\frac{dG_A}{d\tau} = 4\pi r_1^2 D \frac{dC_G}{dr_1} \quad (4.51)$$

Bunda,  $r_1$  — muayyan vaqtda ( $t_j$  vaqtda) ta'sirlashmagan yadro radiusi;  $D$  — gaz diffuziya koeffitsiyenti.

Bu daqiqada yadro yuzasi  $F_1 = 4\pi r_1^2$  — o'zgarmas.

Tenglamani integrallasak, reaksiya mahsulotlari qatlami qalinligi bo'yicha:

$$-\frac{dG_A}{d\tau} = \int_{r_z}^{r_{ya}} \frac{dr_i}{r_i^2} = 4\pi D \int_C dC, \quad (4.51)$$

yoki

$$-\frac{dG_A}{dr} \left( \frac{1}{r_{ya}} - \frac{1}{r_z} \right) = 4\pi DC_g \quad (4.52)$$

bo'ladi.

(4.44) tenglamadagi  $dQ_A$  qiymatini (4.47) qa kiritsak:

$$-\rho_T \int_{r_z}^{r_{ya}} \left( \frac{1}{r_{ya}} - \frac{1}{r_z} \right) r_{ya}^2 dr_{ya} = DC_g \int_0^\tau d\tau \quad (4.53)$$

bo'ladi.

Integrallasak,

$$\tau = \frac{\rho_T r_z^2}{6D C_g} \left[ 1 - 3 \left( \frac{r_{ya}}{r_z} \right)^2 \right] \quad (4.54)$$

bo'ladi.

To'la ta'sirlashgan zarracha uchun  $r_{ya} = 0$  da:

$$t = r_k r_z^2 / 6\nu DS_q \quad (4.55)$$

(4.49) va (4.50) dan

$$t/t = 1 - 3(r_{ya}/r_z)^2 + 2(r_{ya}/r_z)^3 \quad (4.56)$$

kelib chiqadi.

Buni qattiq modda o'tish darajasi ( $X_q$ ) qa o'tkazsak,

$$\tau/\tau' = 1 - 3(1 - X_x)^{2/3} + 2(1 - X_x) \quad (4.57)$$

bo'ladi.

*Limitlovchi bosqich* — kimyoviy reaksiya (4.16-chizma, v). Birinchi tartibdagi konsentratsiyasi reaksiya tezligini aniqlovchi gaz holdagi A modda bo'yicha:

$$\begin{aligned} U = U_{kr} &= -\frac{1}{F_{ya}} \frac{dG_a}{d\tau} = -\frac{1}{F_{ya} B d\tau} = -\frac{1}{4\pi r_{ya}^2 B d\tau} \\ &= -\frac{1}{4\pi r_{ya}^2 B d\tau} = K_1 K_g \end{aligned} \quad (4.58)$$



Tenglama (4.44) dagi  $dQ_v$  qiymatini (4.58) ga kiritsak:

$$-\frac{\rho_k 4\pi r_{ya}^2 dr_{ya}}{4\pi r_{ya}^2 d\tau} = -\rho_k \frac{dr_{ya}}{d\tau} = {}_B K_k C_x \quad (4.59)$$

bo'ladi.  $r_z - r_{ya}$  oralig'ida integrallab reagentlar ta'sirlashish vaqtini aniqlaymiz:

$$\tau = \frac{\rho_k}{{}_B K_k C_x} (r_z - r_{ya}) \quad (4.60)$$

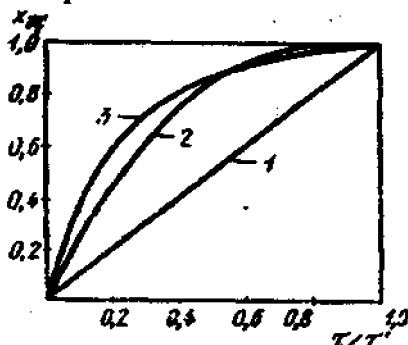
Zarrachaning to'la (mahsulotga) o'tishi uchun zarur bo'lgan vaqt:

$$\tau = \rho_k r_z / {}_B K_k C_x \quad (4.61)$$

(4.60) va (4.61)ni kombinatsiyalab, zarrachaning to'la o'tish vaqti bilan o'tish darajasi orasidagi bog'lanishni aniqlaymiz:

$$\frac{\tau'}{\tau} = 1 - \frac{r_{ya}}{r_z} = 1 - (1 - X_q)^{1/3} \quad (4.62)$$

Tajriba yo'li bilan aniqlangan ko'rsatkichlar bog'liqligi chiziqlarni 4.17-chizmada ifodalangan nazariy hisoblangan chiziq'larga solishtirish muchohada qilinayotgan jarayonning limitlovchi bosqichini aniqlash imkonini beradi.



4.17-chizma. O'tish darajasi  $X_q$  ning nisbiy kontakt vaqtiga bog'liqligi (nazariy qiymatlar asosida).

### V) Suyuq-qattiq sistemalar

Suyuq va qattiq reagentlar qatnashuvchi jarayonlar kimyo sanoatining ko'pgina ishlab chiqarishlari asosini tashkil etadi.

Bunday jarayonlarga qattiq moddalar erishi, eritmalaridan kristallanishi, ekstraksiya, suyulishi, polimerlanish, koagulyatsiya, disperslanish, adsorbsiya va desorbsiya, ion almashish (smolalarda), kataliz va shunga o'xshashlar kiradi.

Erish jarayonini fizik va kimyoviyga ajratish mumkin. Fizik erish faqat kristallik panjarasining emirilishi (albatta, erituvchining fizik-kimyoviy ta'sirida) mumkin va qaytar bo'lib, kristallanishi mumkin. Kimyoviy erish esa qaytmas bo'lib, bunda moddaning kimyoviy tabiati o'zgaradi va kristallanib o'z holiga qaytmaydi.

*Ekstraksiya* — qattiq yoki suyuq aralashmalarni erituvchi yordamida ajratishdir. Ekstraksiya organik erituvchilar, mineral kislotalar, ishqorlar va suv yordamida olib boriladi.

*Kristallash* — eritmadan moddalarni qattiq holatga keltirib, ajratib olishdir. Kristallanish politermik va izotermikka bo'linadi.

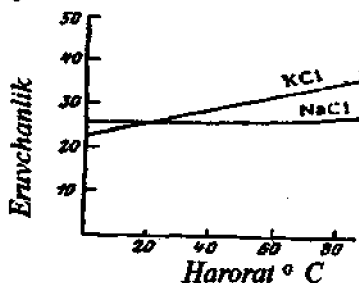
Politermik kristallash moddalar erish haroratlaridan pastroqda sovitish yo'li bilan olib boriladi.

Izotermik kristallash — eritmalaridan bir xil haroratda suvni bug'latish yo'li bilan olib boriladi.

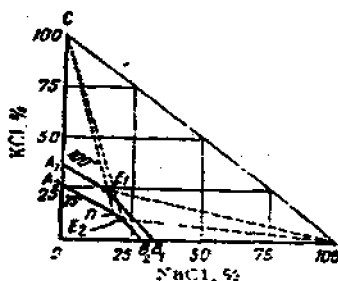
*S-Q sistemada muvozanat*— bu fazalar qonuniga asoslanib, murakkab moddalardagi tashkil etuvchilar (komponentlar) ularning biror erituvchida eruvchanlik farqi yordamida yoki harorat ta'sirida suyulish haroratining farqiga asoslanib va boshqa xossalari ta'yanib, bir-birlaridan ajratib olinadi.

Moddalar aralashmalarining bunday xususiyatlarini ifodalash uchun fazalar holat diagrammasi tuziladi (4.18 va 4.19-chizmalar).

Fizik-kimyofanida turli fazali sistemalar holat diagrammasi haqida to'la ma'lumot beriladi.



4.18-chizma. Kaliy va natriy xloridlarning harorat ta'sirida eruvchanligi (suyulishi).



4.19-chizma. KCl — NaCl — H<sub>2</sub>O sistemada eruvchanlik diagrammasi (t q 25°C va 100°C).

Odatda, erish jarayoni diffuziya yoki o'tish muhitida kechadi. Fizik erish tezligi asosan diffuziya qonuni va fazalar tutashgan yuzasi bilan aniqlanadi. Erish tezligi – M eruvchi modda konsentratsiyasi – S ning suyuq fazada ko'payishi bilan logarifmik qonuniyat asosida pasayadi:

$$U = K F (S_{\text{su}} - S) \quad (4.63)$$

Bunda, K – diffuziya tezligi va kristall panjara emirilishiga bog'liq muvozanat tezligi koeffitsiyenti. U ba'zan quyidagicha ifodalanadi:

$$K = D/d \quad (4.64)$$

bunda, D – erigan modda diffuziya koeffitsiyenti; d – chegara diffuziya qatlami nisbiy qalinligi.

Fizik erish tezligi o'xshashlik nazariyasi yordamida quyidagi kriterial bog'lanishlardan foydalanib ifodalaniladi:

$$Nu = f(Re, Pr, Ar). \quad (4.65)$$

Ya'ni tuzlarning muallaq kristallari erish tezligi kriteriyasi tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{Kl}{D} = A \left( \frac{\nu}{D} \frac{gl^3}{\nu^2} \frac{P_k - P_c}{P_c} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.66)$$

bunda, l – zarracha o'rtacha chiziqi o'lchami; n – suyuqlik qovushqoqligi (вязкость) kinetik koeffitsiyenti;  $r_k$  va  $r_s$  – qattiq zarracha va suyuqlik zichligi; A – doimiy koeffitsiyent.

Qorishtirgichli reaktorlar uchun massa uzatish koeffitsiyenti «K», kmol/(m<sup>2</sup>s) da quyidagi tenglama bilan aniqlanishi mumkin:

$$kd/D = A (n/D)^{-0,5} V (n d^2/n), \quad (4.67)$$

bunda, A va V – qorishtirgich turi (tipi)ni xarakterlovchi koeffitsiyentlar (masalan, propeller (ganotli) qorishtirgich uchun A=0,13; V=0,58); n – qorishtirgich aylanish soni, marta /S.

Kimyoviy reaksiyalar bilan kechadigan erish esa bir vaqtda kechadigan ikki bosqichdan iborat: 1) fizik-kimyoviy va kimyoviy parametrlarga bog'liq bo'lgan qattiq modda yuzasidagi jarayonlar; 2) diffuziya jarayoni, ya'ni erigan zarrachalarning va mahsulotlarning qattiq modda yuzasidan suyuq fazaga o'tishi. Absorbsiya – desorbsiya jarayoniga o'xshash konsentratsiyalar bilan farqlanadigan chegara qatlami bo'ladi deb hisoblanadi.

Kimyoviy erish tezligi kimyoviy reaksiya tezligi konstantasi (qattiq modda yuzasida yoki eritmada), diffuziya qatlami qalinligi, diffuziya koeffitsiyenti, kristall panjara energiyasi va boshqalarga bog'liq ravishda turlicha ifodalanadi. Bunda bu ta'sirlar (fizik-kimyoviy va kimyoviy parametrlar ta'siri) qiymati «K» bilan hisoblanadi:

$$K = \frac{K_1 D / \delta}{K_1 + D / \delta} = \frac{K_1 D}{K_1 \delta + D} \quad (4.68)$$

bunda,  $K_1$  — fazalar chegarasi yuzasidagi kimyoviy jarayonlar tezlik konstantasi. Arrenius tenglamasi bo'yishaharorat ko'tarilishi bilan o'zgaradi. Kinetik sharoit (muhit) da  $K=K_1$ .

Agar qattiq modda yuzasida shiddatli reaksiya kechsa va eritmaga faqat mahsulotlar diffuziyalansa, harakatlantiruvchi kuch erituvchi aktiv moddasi konsentratsiyasi (Se) S hisoblanadi:

$$U = K F S_e \quad (4.69)$$

Bu kinetik tenglama metallar, metall oksidlari yoki karbonatlarning kislotalarda erishini xarakterlaydi. Erish murakkabroq kyechishi mumkin, masalan, minerallarning kislotalarda parchalanishida (fosforitning sulfat kislotada) qattiq modda yuzasida reaksiya mahsulotlari kristallari po'stlog'i (kalsiy sulfat) hosil bo'lishi reaksiya ketishiga xalaqit beradi.

Suyuq-qattiq kechadigan kimyoviy reaksiyalar ( $A_{(q)} + V_{(q)} \rightarrow$  mahsulotlar) uchun jarayonlar kinetikasini matematik ifodalash uchun (4.42–4.62) tenglamalar bilan xarakterlanadigan, ta'sirlashmagan yadroli qattiq zarracha modelidan va kinetik tenglamalardan foydalaniladi.

#### q) Binar qattiq, suyuq va ko'p fazali sistemalar

Qattiq moddalarni kuydirish (qizdirish) yo'li bilan pishirish jarayonida faqat qattiq fazalar (Q-Q) qatnashadi.

*Pishirish*— kукun va chanq holidagi mayda zarrali qattiq moddalardan yuqori haroratda (suyulish haroratidan pastroq) qattiq va g'ovak parcha (yoki biror shaklda)lar olishdir. Qattiq materiallar aralashmasini qizdirishda bu moddalar o'rtasida yoki ular bilan gaz, qo'shimcha komponentlar (chixtalar) yoki ularning suyulishi natijasida hosil bo'lgan fazalar bilan ta'sirlashishi (reaksiya) kechishi mumkin. Gaz yoki suyuq moddalar qatnashmasa, qattiq moddalar o'rtasida tutashish yuzasi kamligi va reagentlar diffuziyasi tezligi pastligi natijasida reaksiya sekin kechadi.

Amalda qattiq moddalar aralashmasi jarayonlari: pishirish, aglommerlash, qovushqoq moddalar olish, keramika va issiqqa chidamli moddalar olish suyuq yoki gaz fazalar ishtirokida olib boriladi.

Ikki yoki undan ortiq suyuq (s-s) fazali reagentlar o'rtasida bo'radigan jarayonlar — *ekstraksiyalash*, *emulsiyalash* va *deemulsiyalashdir*.

*Ekstraksiyalash* — alohida bir komponent uchun tanlangan erituvchi bilan suyuq aralashmasiga ishlov berib, u komponentni ajratib olish jarayonidir.

Agar aralashma komponentlari qaynash haroratlari yaqin yoki haroratga chidamsiz bo'lib rektifikatsiya yo'li bilan ularni ajratib bo'lmasa, ekstraksiyalash usuli qo'llaniladi. Masalan, u neft mahsulotlarini tozalashda, kokslashda, smola va oqava suvlardan fenol ajratib olishda, suv eritmalaridan yod, brom, anilin ajratib olishda, kapron ishlab chiqarishda, organik suyuqliklarni kislota va ishqorlardan suv bilan tozalashda, kam tarqalgan metallarni suyultirilgan eritmalaridan ajratib olish va boshqa jarayonlarda qo'llaniladi.

*Emulsiyalash* — bu emulsiya hosil qilish jarayoni bo'lib, biri ikkinchisida mayda tomchilar holida tarqalgan o'zaro aralashmaydigan suyuqliklardan dispers sistema hosil qilishdir.

Deemulsiyalash — bu emulsiyalashga teskari bo'lib, aralashgan emulsiyalarni boshlang'ich holiga ajratish (qatlamlash) jarayonidir. Bu jarayon oziq-ovqat, bo'yoqlar, pigmentlar, polimerlar, dorilar va boshqalar ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Neftni suvsizlantirishda uning suvdagi emulsiyasi ultratovush yordamida ajratiladi.

Bunday jarayonlarni o'tkazish uchun qorishtirgichli, issiq almashtirgichli uzluksiz va davriy reaktorlar ishlatiladi. Ekstraksiyalash uchun to'ldirgichli va boshqa kolonnalar (qarama-qarshi oqimli) ishlatiladi. Ularda og'irroq suyuqlik yuqoridan pastqa, yengilrog'i pastdan yuqoriga harakatlanadi.

Ko'p fazali jarayonlar — cho'yan va po'lat eritib olish (qattiq, suyuq va gaz fazalar), soda sanoatida ammiak-tuz eritmasini karbonlash (gaz va suyuq fazada qattiq-gidrokarbonat natriy hosil bo'ladi), suyuq uglevodorodlar pirolizi, sovitganda gaz va qattiq moddalar ajralishi (koks gazini tozalashda) va shunga o'xshashlardir.

Ko'p fazali jarayonlar tezligini aniqlashda eng sekin kechadigan ikki faza orasidagi ta'sirlashish hisobga olinadi.

## *Uch komponentli sistemalar holat diagrammasi*

Sistemalar tarkibi, holati va xossalari orasidagi bog'liqlik fizik-kimyoviy diagrammalarda yaqqol ifodalanadi. Bularga sistema xossalari uning tarkibiga bog'liqligini ifodalovchi «tarkib-xossa» diagrammasi, fazalar tarkibining holat parametrlari (harorat, bosim va boshq.)ga bog'liqligini ifodalovchi «holat diagrammasi» yoki «fazalar diagrammasi» misol bo'ladi.

Qattiq moddalarning haroratda suyulishi (erishi) yoki ularning kristallanishini ifodalovchi holat diagrammalari «suyulish diagrammasi» deyiladi.

Sistemada suyuq faza bo'lsa fazalar diagrammasi «eruvchanlik diagrammasi» deyiladi.

Gibbsning fazalar qonuni — muvozanatdagi sistemaning fazalar soni summasi «F» va termodinamik erkinlik darajasi «S» sistemani tashkil qilgan komponentlar «K» dan «n» miqdorga ko'p (ya'ni sistemaning holatini belgilovchi parametrlar  $K+n$  ga teng):  $F+S=K+n$ .

Ko'pincha kimyoviy sistema holati faqatgina harorat va bosimga ( $n=2$ ) bog'liq bo'ladi. Bunda  $S=K-F+2$  bo'ladi.

Eruvchanlikning haroratga bog'liqligini ifodalovchi diagrammalarni «eruvchanlik politermik diagrammasi», qisqa «politerma» deyiladi.

Amaliy maqsadlarda, odatda, politerma proeksiyalaridan emas, balki uning izotermik kesimlaridan foydalaniladi.

Muvozanat politermalari yuzalari chiziqlari ma'lum harorat darajasida gorizontaal yuzani kesib o'tganda tekis uchburchak ichida yotadigan egri (har xil shaklda bo'lishi mumkin) chiziq hosil bo'ladi.

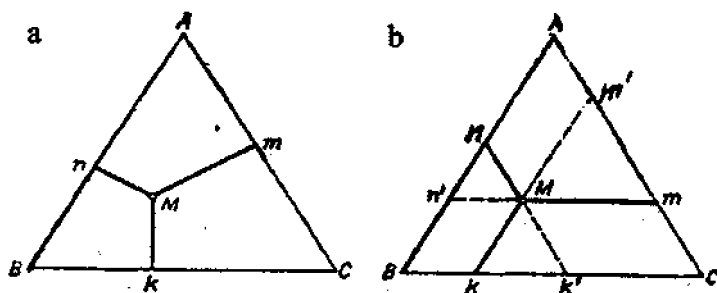
Uchta komponentdan (suv va ikkita tuz) tashkil topgan sistema uchun uning holatini belgilovchi mustaqil parametrlar to'rtta bo'ladi: ikkita konsentratsiya, harorat va bug' bosimi. Fazalar qonuni bo'yicha uchta sistemada ko'pi bilan beshta faza bo'lishi mumkin (chunki,  $F=K+2-S$ , bunda,  $K=3$  va  $S=0$ , ya'ni sistemaning invariantlik sharoitida,  $F=5$ ) chunki suvlik sistemada bitta faza doimiy bug', bunda sistemadagi suyuq fazada bir yo'la uchta qattiq fazadan ortiq komponent bo'lmaydi.

Uch komponentli sistema holatini to'rt komponent bo'yicha ifodalash uchun to'rt o'lchamli diagramma tuzish talab etilgan

bo'lardi. Amalda esa bug' bosimi aks etmagan uch o'lchamli fazoviy diagrammalarni ifodalash bilan cheklaniladi. Ko'pincha esa haroratni ham aks ettirmagan ikki o'lchamli diagrammalar bilan cheklaniladi.

Uch komponentli sistemalar tarkibini tasvirlashning bir necha usullari qo'llaniladi. Ulardan birida uchburchakli koordinatalar sistemasidan foydalaniladi.

Tog'ri uchburchakning (AVS) uchlarida (4.20-chizma) sistemaning toza komponentlari A, V va S ning nuqtalari yotadi. Uchburchak yon tomonlarida ikki komponentli aralashmalar tarkibi aniqlanadi.

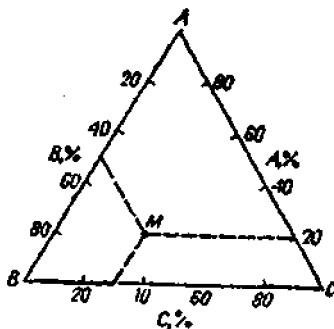


4.20-chizma. Uch komponentli aralashma tarkibi ifodasi.

Gibbs usuli bo'yicha uchlik aralashma tarkibini hisoblashda uchburchak balandligi 100% deb qabul qilinadi. Uchburchak ichidagi har qanday nuqtadan to'g'ri uchburchak tomonlariga tushirilgan perpendikulyarlar uzunligi yig'indisi (summasi) uchburchak balandligiga teng. Shuning uchun esa bir komponentning aralashmadagi (M dagi) miqdori shu komponent belgilangan nuqta (A, V yoki S) tomonidan qarshisida turgan tomonga tushirilgan perpendikulyar uzunligi bilan ifodalanadi. Masalan, «M» nuqta bilan ifodalangan sistemada A komponent «Mk»%, V – «Mm»% va S – «Mn» %;  $M_k + M_m + M_n = 100\%$  (4.20-chizma, a).

Ko'pincha Rozeborn usulidan foydalaniladi. Bunda uchburchak tomonlari 100% deb qabul qilinadi. Chunki uchburchak ichidagi har qanday nuqtadan uning tomonlariga parallel ravishda boshqa tomoni bilan kesishguncha o'tkazilgan chiziqlar uzunligi (kesimlar) yig'indisi (summasi) uchburchak tomoni uzunligiga teng. Har bir chiziq muvofiq ravishda sistemadagi komponent miqdorini

ifodalaydi. Masalan, «M» nuqta bilan ifodalangan sistemada (4.20-chizma, b). «Mk» kesim — V komponentni va «Mn» kesim esa — S komponent miqdorini aniqlaydi (belgilaydi).



4.21-chizma. Aralashma tarkibini hisoblash usuli.

Agar aralashmada A komponent miqdori SA tomonda, V — AV tomonda va S — VS tomonda hisoblansa (4.21-chizma.),  $M_k$ ,  $M_m$  va  $M_n$  o'rniga  $M_k^1$ ,  $M_m^1$  va  $M_n^1$  kesimlarini olish mumkin. «M» nuqtada aralashma 20% A, 50% V va 30% S komponentlar mavjud. To'g'ri uchburchakning tomonlari ular balandligiga to'g'ri proporsional bo'lgani uchun hisoblash usuli turli (4.20-chizma, a yoki b) bo'lishidan qat'i nazar uch komponentli aralashma tarkibi uchburchakning ma'lum bir xil nuqtasida ifodalanadi.

### Savol va topshiriqlar

1. Gomogen sistemalar va jarayonlar mazmunini tushuntiring.
2. Assotsiatsiya, polimerlanish, depolimerlanish, kreking va piroliz tushunchalari ma'nosini tushuntirib bering.
3. Gaz fazada gomogen jarayonlar qanday?
4. Suyuq fazada gomogen jarayonlarni tushuntirib bering.
5. Bir molekulyar, ikki molekulyar va uch molekulyar reaksiyalarni tushuntirib bering.
6. Reaksiyaga konsentratsiya, harorat va bosim ta'sirini tushuntiring.
7. Gaz fazali gomogen jarayonlar reaktorlarini tushuntiring.
8. Suyuq fazali gomogen jarayonlar reaktorlarini tushuntiring.
9. Markazdan qochma aralashtirgichli kamerali reaktorni chizing va tushuntiring.



10. Quvur-quvur reaktorni chizing.
11. Parrak aralash tirgichli reaktorni chizing.
12. Pnevmatik aralash tirgichli reaktorni chizing.
13. Sirkulyatsiya-oqimli qurilmanni chizing va tushuntiring.
14. To'sqichli reaktorni chizing.
15. Avtoklav nima?
16. Qaynoq qatlam nima va reaktori qanday prinsipda ishlaydi?
17. Geterogen sistemalar va jarayonlarini izohlang.
18. Geterogen jarayonlarda muvozanatni tushuntiring.
19. Fazalar qonunini tushuntiring.
20. Geterogen reaksiyalar tezligini izohlang.
21. Harakatlantiruvchi kuch nima?
22. Qanday geterogen fazalar bo'ladi?
23. Fazalar yuzasi kontakti nima va u tezlikka qanday ta'sir etadi?
24. Adsorbsiya va desorbsiyani tushuntiring.
25. Tashqi va ichki adsorbsiya mohiyatini izohlang.
26. Diffuziya jarayoni nima?
27. Tezlikka konsentratsiya, harorat va bosim ta'sirini izohlang.
28. To'ldirgichli minorani chizing va tushuntiring.
29. Barbotaj reaktorlarini chizing va tushuntiring.
30. Ko'pikli apparat nima?
31. Gaz-qattiq, gaz-suyuq, suyuq-qattiq, suyuq-suyuq, fazalar va jarayonlarni tushuntiring.
32. Adsorbsion muvozanatni ayting.
33. Gaz-qattiq sistema kinetikasini tushuntiring.
34. Reaktorlar qanday loyihalanadi?
35. Pechlar turlarini ayting.
36. «Qaynoq qatlamli» pechni chizing va tushuntiring.
37. Aylanma barabanli pechni chizing va tushuntiring.
38. Suyuq-qattiq sistema muvozanatini tushuntiring.
39. Izotermik va politermik kristallanishni izohlang.
40. Kaliy xlorid va natriy xlorid eruvchanligining haroratga bog'liqlik grafisini chizing.
41. Suyuq-qattiq sistema kinetikasi nima, tezlikni aniqlash formulasini yozing.
42. Eruvchanlik koeffitsiyenti formulasini yozing.
43. Suyuq-qattiq sistema reaktorlarini tushuntiring.
44. Qattiq reagent filtrli reaktorni chizing.

45. «Qaynoq qatlamli» reaktorni chizing.
46. Reaktor kaskadi nima? Chizib ko'rsating va ishlash prinsipini izohlang.
47. Oqim aralashtirgichli reaktorni chizing.
48. Diffuzorlar batareyasini chizing, ishlash prinsipini izohlang.
49. Favvora qatlamli reaktorni chizing.
50. Yakor aralashtirgichli reaktorni chizing.
51. Shnekli, elektr isitgichli reaktor nima?
52. Ko'p fazali jarayonlarni ayting.

## V BOB. KATALITIK JARAYONLAR VA REAKTORLAR

*Kataliz* — kimyoviy jarayonda qatnashib, tarkibi o'zgarmay qoladigan moddalar ta'sirida kimyoviy reaksiya tezligining o'zgarishidir.

Agar katalizator reaksiyani tezlatasa ijobiy (musbat), sekinlatasa salbiy (manfiy) kataliz deyiladi. Katalizator reaksiya tezligini pasaytirsam, ular ingibitor deb ham ataladi.

Katalitik jarayonlar hozirqi zamonda kimyoviy texnologiyaning asosini tashkil etadi. Kimyo sanoatida 90 foiz atrofidagi jarayonlarda katalizatorlar ishlatiladi. Kataliz eng muhim noorganik moddalar: vodorod, ammiak, sulfat va azot kislotalari va boshqalar, organik sintezda: stirol, butadien, metil, etil va boshqa spirtlar, asetaldegit, efirlar, fenol, fenolformaldegit smolalari, benzin, izobutan, polietilen, polliizobutilen va boshqalar ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

Katalizatorlar yordamida ayrim reaksiyalar tezligi minq, hatto million marta oshib ketadi.

Katalizatorlar uch xil fazada bo'lishi mumkin. Qattiq katalizatorlar asosan metallar va ularning oksidlaridir. Masalan, ammiak sintezida temir (Fe), ammiakning oksidlanishida platina (Pt), SO<sub>2</sub> ning oksidlanishida vannadiy oksidi (V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), neft mahsulotlari krekingida alyuminiy oksidi (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) va boshqalar.

Suyuq katalizatorlar asosan kislota va asoslardir, masalan, sulfat kislota (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) va ortafosfat kislota (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) aromatik uqlevodorodlarni alkillashda, n-butilenni izobutilenga izomerlash jarayonida va boshqalarda qo'llaniladi.

Gaz holdagi katalizatorlarga ayrim uqlevodorodlarni poli-merlash jarayonida qo'llaniladigan bor floridni (BF<sub>3</sub>) misol keltirish mumkin.

Katalitik jarayonlarni ikki guruhga bo'lish mumkin: gomogen va geterogen.

Gomogen katalitik jarayonlarda ta'sirlashuvchi moddalar va katalizator bir xil fazani tashkil etadi, geterogen katalitik jarayonlarda esa ular har xil fazalarda bo'ladi.

Mikrogeterogen va fermentativ katalitik jarayonlar maxsus guruhga ajratilgan.

Mikrogeterogen kataliz suyuq fazada sodir bo'lib, katalizator sifatida metallarning kolloid zarrachalari ishtirok etadi.

Fermentativ kataliz esa murakkab komplekslar (ko'pincha oqsil tabiatli) ishtirokida (fermentlar) biologik sistemalarda sodir bo'ladi.

Kataliz haqidagi ta'limot bilimning jozibali va juda qiziq jabhasi bo'lib, juda katta amaliy ahamiyatga ega.

### 5.1. Katalitik reaksiyalarning umumiy qonuniyatlari

Katalitik reaksiyalar kimyo va termodinamikaning umumiy qonunlari asosida kechadi, ammo uning o'ziga xosligi jarayonlarda katalizatorning qatnashishidir. Katalizatorning reaksiyaga ta'siri harorat, bosim va boshqalar ta'siridan tanoman o'zgacha bo'ladi.

Harorat ta'sirida ta'sirlashuvchi molekulalar energetik darajasi ko'tariladi, ya'ni ular aktivligi oshib, sistemaning ichki energiyasi oshib, muvozanat holati o'zgaradi.

Katalizator esa kimyoviy reaksiya muvozanatiga ham va boshqa termodinamik xarakteristikalariga ham ta'sir etmaydi. U to'g'ri va teskari reaksiyalarni bir xil darajada o'zgartirib, muayyan sharoitda muvozanat tiklanish tezligini oshiradi.

Katalitik jarayonlar nazariyasi hozirgi zamon fizik-kimyosining murakkab va to'la-to'kis o'rganilmagan jabhasi hisoblanadi.

Hozirda turli moddalarning-u yoki bu kimyoviy reaksiyalarga katalitik ta'sirini to'la tahlil qiladigan umumiy nazariya ishlab chiqilmagan.

Katalizatorlarning reaksiya tezligiga ta'siri mexanizmini tushuntiruvchi bir necha nazariyalar bor. Bulardan keng tarqalgani o'rtalik moddalar hosil bo'lish nazariyasidir.

Bu nazariyaga asosan ta'sirlashuvchi moddalar o'rtasidagi sekin kechadigan reaksiyalarni katalizator ishtirokida ikki yoki undan ortiq tez kechadigan reaksiyalarga o'tkazish mumkin. Bunda reaksiya reagentlari bilan katalizator mustahkam bog'lanishda bo'lmagan o'rtalik birikma hosil qiladi. Katalizatorlarning tezlashtirish ta'siri hosil bo'ladigan o'rtalik birikmalar reaksiya aktivlashish

energiyasini pasaytirishdan iborat bo'lib, reaksiya tezligiga juda katta ta'sir etadi. Chunki Arrenius tenglamasida aktivlashish energiyasi – E daraja ko'rsatkichida bo'ladi:

$$K = K_0 e^{-E/RT}, \quad (5.1)$$

bunda,  $K_0$  – eksponensial ko'paytqich.

$$\lg K = \lg K_0 - \frac{E}{RT} \lg e = \lg K_0 - \frac{0,4E}{R T} \quad (5.2)$$

bunda,  $K_0$ , E, R – doimiy qiymatlar, tenglama to'g'ri chiziqli (2.12-chizmaga qarang):

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{0,4E}{R} \quad (5.3)$$

Juda yuqori haroratda:

$$\frac{0,4E}{R T} \approx 0 \quad \text{bo'ladi deyish mumkin.}$$

Bu holda:  $K=K_0$  bo'ladi.

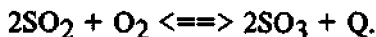
Amalda qo'llaniladigan katalizatorlarning aktivligi, yondirish harorati, mahsuldorligi, selektivligi, zaharlanishi, mustahkamligi va boshqa xarakteristikasi katta ahamiyatga ega.

Katalizatorning eng muhim xarakteristikalaridan biri uning aktivligidir. Aktivlik quyidagicha aniqlanadi:

$$A = \frac{K_a}{K} = \frac{K_0 e^{-\frac{E_a}{RT}}}{K_0 e^{-\frac{E}{RT}}} = e^{\frac{E-E_a}{RT}} = e^{\frac{\Delta E}{RT}} \quad (5.4)$$

bunda, A – katalizator aktivligi;  $K$ ,  $K_k$  – katalizatorsiz va katalizatorli reaksiya tezligi konstantalari;  $\Delta E$  – katalizator ta'sirida aktivlanish energiyasining pasayishi (kamayishi).

Oltinugurt anqidridi oksidlanishida katalizatorning tezlashtirish ta'sirini quramiz:



Katalizatorsiz jarayon juda sekin kechadi, ya'ni 420°C da yoki 693 K da aktivlanish energiyasi 420000 dJ/ mol atrofida. Bu jarayonni vannadiy katalizatori ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) ishtirokida o'tkazilsa,

$E_k = 268\ 000$  dJ/molchK bo'ladi. Bu qiymatlarni (5.4) tenglamaga qo'ysak va  $R = 8,3$  dJ/ mol K ligini hisobga olsak:

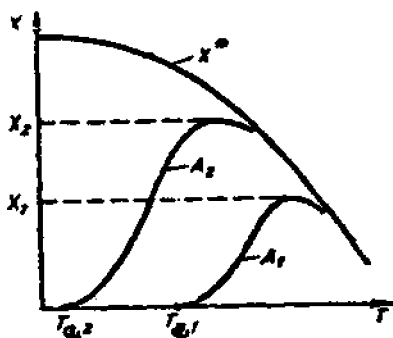
$$A = K_k/K = e^{D E/RT} = e^{420000 - 68000/8,3693} = e^{26,4} = 310^{11}$$

bo'ldi. Demak, reaksiya tezligi yuz milliardlab marta ortib ketar ekan.

*Yondirish harorati* — bu reaksiya jarayoni etarli tezlikda kecha boshlashi uchun zarur bo'lgan ta'sirlashuvchi aralashmaning minimal haroratidir. Katalizator qanchalik aktiv bo'lsa, yondirish harorati shunchalik past bo'ldi. Bu, ayniqsa, ekzotermik jarayonlar uchun muhimdir. Chunki harorat pasayishi bilan o'tish darajasi oshadi.



reaksiya uchun bu holat 5.1-chizmada ko'rsatilgan.



5.1-chizma.  $A_1 < A_2$  da turli aktivlikdagi katalizatorlar uchun ekzotermik qaytar reaksiyalarda o'tish darajasi  $X$  ning harorat  $T$  ga bog'liqligi.

Jarayonda katalizator  $A_1$  qatnashsa, yondirish harorati  $T_{yo,1}$  da o'tish darajasi maksimal  $X_1$ ga etadi. Aktivroq, yondirish harorati  $T_{yo,2}$  pastroq katalizatorlarda esa maksimal o'tish darajasi  $X_2$  yuqoriroq bo'ldi.

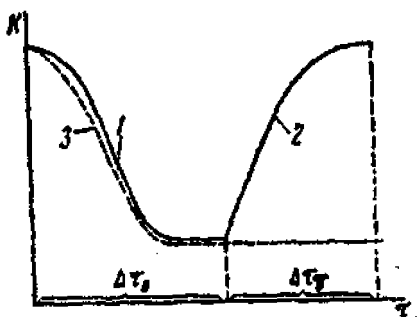
Yondirish harorati qancha past bo'lsa katalitik jarayonni tashkil etish osonroq, harorat ishchi intervali ( $T_{yo}$  bilan max. harorat orasida) kengayadi, reagentlarni oldindan qizitish kamayadi va texnologik tartib mo'tadil va turg'unroq bo'ldi.

*Katalizatorning zaharlanishi* — bu yot qo'shimchalar — «kontakt zaharlari» ta'sirida katalizator aktivligining qisman yoki to'la yo'qolishidir.

Zaharlanish qaytar yoki qaytmas bo'lishi mumkin. Qaytar zaharlanishda yot qo'shimchalarning aktivligini vaqtincha kataliz zonasida pasaytiradi va zaharlar yo'qotilgach katalizator aktivligi tiklanadi. Qaytmas zaharlanishda esa kontakt zaharlari reaksiya (zonasi) muhitidan chiqarilganda ham katalizator aktivligi tiklanmaydi.

Katalizator aktivligi (u qattiq material bo'lsa) aktivlik yuzasi harorat, yuzada reaksiya mahsulotlari cho'kishidan, mexanik emirilish va boshqa jarayonlar natijasida pasayib ketadi. Zonadan chigarib tozalanadi.

5.2-chizmada qaytar 1- va qaytmas 3-jarayonlar ko'rsatilgan. Katalizator aktivligini tiklash 2-chiziq orqali ifoda etilgan.



5.2-chizma. Katalitik jarayonlarda reaksiya tezligi konstantasining vaqt bo'yicha o'zgarishi: 1 – qaytar zaharlanishda; 2 – aktivlik tiklanishda; 3 – qaytmas zaharlanishda;  $D\tau_0$  – zaharlanish davri;  $D\tau_1$  – aktivlik tiklanish davri (aralashmada zahar yo'q).

Katalizator zaharlanishini zaharlangan katalizatorlarda reaksiya tezligi konstantasi ( $K_{zax}$ ) ning aktivligi o'zgarmaydigan katalizatoridagi reaksiya tezligi konstantasiga ( $K$ ) nisbati bilan ( $\alpha = K_{zax}/K$ ) aniqlash mumkin.

Zaharlarning ta'siri katalizator turi va katalitik reaksiya xossaligiga (xususiyatlariga) bog'liq. Ayniqsa, nodir metallar zaharlanishga moyil bo'ladi. Oksidlanish jarayonlarida keng qo'llaniladigan platina katalizatori uchun vodorod sulfid va boshqa oltingugurt birikmalari, mishyak birikmalari,  $Pb^{2+}$ ,  $Su^{2+}$ ,  $Sn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  va boshqa metall ionlari zaharlovchi hisoblanadi.

Metall katalizatorlar — temir, kobalt, nikel, palladiy va platina uchun vodorod sulfid, ammiak, kislorod, metall bug'leri zaharlovchi hisoblanadi.

Yarimo'tkazgich katalizatorlar kam zaharlanadi. Vannadiy katalizatori ( $V_2O_5$ ) uchun mishyak va selen birikmalari zaharli hisoblanadi.

Katalizatorlarni zaharlanishdan saqlash uchun reaksiya aralashmasi oldindan kontakt zaharlaridan tozalanadi (absorbsiya, kondensatsiya, mexanik va elektrofiltrlarda tutish va boshqalar).

Katalizator *selektivligi* (*tanlovchanligi*) eng muhim xususiyatdir. Katalizator ma'lum bir reaksiyaga ijobiy ta'sir etadi. Murakkab (parallel yoki ketma-ket) reaksiyalarda, ya'ni bir necha moddalar hosil bo'lsa, katalizator maqsadli reaksiyani tezlatish imkonini beradi.

Selektivlik tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

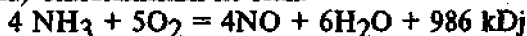
$$\varphi = f\left(\frac{K'_0}{K''_0} e^{\frac{E_2 - E_1}{RT}}\right) \quad (5.5)$$

Tenglamadan ko'rinadiki, ma'lum bir T haroratda katalizatorni tanlash orqali  $E_2 - E_1$  farqini o'zgartirish mumkin va maqsadli mahsulot olish sharoitini tiklash mumkin.

Umumiy (integral) selektivlikning miqdorini quyidagicha aniqlash mumkin:

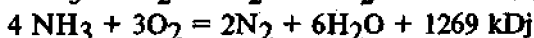
$$J_{kat} = \frac{G_m}{G} = \frac{G_m}{G_m + G_k} \quad (5.6)$$

bunda,  $G_m$  — mahsulotga o'tgan asosiy modda miqdori, mol;  $G_k$  — qo'shimcha mahsulotga o'tgan asosiy modda, mol;  $G$  — asosiy boshlang'ich modda umumiy miqdori, mol. Masalan, katalizatorning tanlovchanligi (selektivligi)qa  $NH_3$  ning  $NO$  gacha (platina katalizatorida) oksidlanishini ko'rsak:



Reaksiya sekundning o'n mingdan bir bo'lagida, ya'ni oniy tezlikda sodir bo'ladi.

Shu bilan birga ikkita parallel reaksiya ( $N_2O$  va  $N_2$  hosil bo'lich) sodir bo'ladi.





Bu reaksiyalarda katta miqdor issiqlik ajralib chiqqani uchun termodinamik qulay, biroq platina katalizatori ishtirokida bu reaksiyalar tezligi juda ham kam bo'ladi, amalda deyarli sodir bo'lmaydi.

Geterogen — katalizdan farqli gomogen katalizning kamchiligi reaksiya mahsulotidan katalizatorni ajratib olishning qiyinligi. Natijada bir qism katalizator yo'qoladi va mahsulot ifloslanadi. Ulardan kengroq va qulayroq foydalanish yo'llari qidirilmoqda.

*Avtokatalitik* reaksiyalarda katalizator sifatida oraliq yoki mahsulot birikmalari ishtirok etadi. Masalan, zanjirli reaksiyalarda erkin radikallar avtokatalizator vazifasini o'taydi. Ayrim portlovchi moddalar parchalanish reaksiyalari, yonish, polimerlanish va boshqalar avtokatalitik reaksiyalar jumlasiga kiradi. Mis va nikelni ular oksidlaridan vodorod yordamida qaytarilishida shu metallar katalizatorlik qiladi. Bunday jarayonlar boshlang'ich tezligi (induksiya davri) kam, so'ngroq ko'tarilib ketadi. Zanjirli reaksiyalarni qo'zg'ash uchun aralashmaga, odatda, initsiatorlar qo'shiladi. Ular boshlang'ich moddalar bilan ta'sirlashib, erkin radikallar hosil qiladi. Ularning katalizatorlardan farqi chunki, ular reaksiya jarayonida sarflanadi.

## 5.2. Gomogen va geterogen kataliz

*Gomogen kataliz* gaz yoki suyuq fazalarda sodir bo'lib, reagentlar va katalizator ta'sirlashishi natijasida beqaror moddalar hosil bo'ladi, reaksiya tezligini oshiradi va u parchalangan katalizatorida regeneratsiyalanadi.

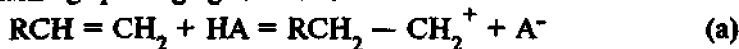
Geterogen katalizda eritmalarda vodorod, gidroksil va metall ionlari hamda erkin radikal hosil qiluvchi moddalar katalizator vazifasini bajarishi mumkin.

Gomogen kataliz jarayonlari reagent va katalizator o'rtasidagi o'zaro ta'sir turiga qarab sinflanadi: oksidlanish-qaytarilish va kislota-asosli ta'sirlanish bo'ladi.

Eritmalarda kislota-asosli (ionli) kataliz mexanizmi ichki molekulyar o'zgarish bilan kechadigan reagent va katalizator o'rtasidagi proton almashishdan iborat. Kislotali katalizda proton (yoki musbat ion) avval katalizatoridan reagent molekulasiga o'tadi, asosli katalizda esa katalizator ta'sirlashuvchi molekulaga avval proton akseptori yoki anion donori vazifasini bajaradi. Keyingi bosqichlarda proton teskari siljiydi va katalizator o'z tarkibini tiklaydi.

Katalizator aktivligi kislota-asosli ta'sirlanishda reagentga protonni berish (kislotali kataliz) yoki reagentdan vodorodni uzib olish (asosli kataliz) xossasiga bog'liq. Kislota va asos katalizatorlarining aktivligi asosan ularning dissitsiatsiya konstantasi o'zgarishiga to'g'ri proporsionaldir.

Bunday turda eritmalarda gidratlanish, degidratlanish, gidroliz, eterifikatsiya va polikondensatlanish reaksiyalari sodir bo'ladi. Olefinlarning spirtlarga gidratlanishida:



(a) bosqichda katalizator donor vazifasini bajaradi; (v) bosqichda katalizator o'z holiga qaytadi (regeneratsiya).

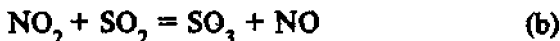
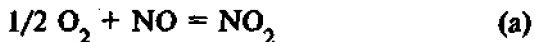
Oksidlanish darajasi o'zgaruvchi metallar ionlari ( $\text{Su}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) tezlashtiradigan, eritmalarda kechadigan oksidlanish-qaytarilish katalitik reaksiyalar ham ionli kataliz turiga kiradi.

Bunga temir sulfat eritmasida  $\text{SO}_2$  ni  $\text{SO}_3$  ga o'tishida  $\text{Fe}^{+3}$  ionining tezlashtiruvchi ta'siri misol bo'ladi. Eritma orqali  $\text{SO}_2$  va havo o'tkazilsa, sulfat kislota hosil bo'ladi.

Gaz fazalarida kechadigan gomogen kataliz juda kam qo'llanadi. Azot oksidlari ishtirokida metanni havo bilan formal degidga oksidlanishi, suv bug'i ishtirokida uglerod oksidni dioksidga oksidlanishi va shunga o'xshashlar shular jumlasidandir.

*Molekulyar mexanizm* bo'yicha katalitik reaksiyalar katalizator va reagentlar o'rtasida atomlar almashadi.

Oltinugurt dioksidning azot oksidlari ishtirokida oksidlanishi bunga misol bo'ladi:

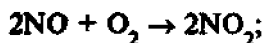


Gomogen katalizning *radikal mexanizmi* gaz hamda suyuq fazalarda bo'lishi mumkin. Reaksiyaning zanjirli mexanizm yo'nalishida katalizator initsiatorlik qiladi.

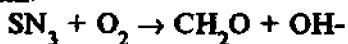
Masalan, metanning azot oksidlari bilan ta'sirlashishi zanjirli reaksiya jarayonini qo'zg'aydi:

a) zanjir paydo bo'lishi:

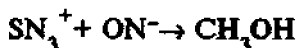




b) zanjir davom etishi:



v) zanjir uzilishi:



Bu formaldegit hosil bo'lishining to'g'ri va maqsadli yo'nalishini azot oksidi tezlatadi.

Gomogen katalitik reaksiyalar tezligi katalizator aktivligi va konsentratsiyasiga, ta'sirlashuvchi reagentlar konsentratsiyasiga, harorat, bosim va reagentlarni aralashish darajasiga bog'liq bo'ladi hamda kimyoviy kinetika umumiy qonunlari asosida hisoblanadi.

Gomogen katalizning kamchiligi katalizatorni reaksiya mahsulotidan ajratib olish qiyinligidir.

*Geterogen katalizda* qattiq katalizatorni gaz yoki suyuq reaksiya aralashmasidan ajratib olish oson. Geterogen katalizda oraliq birikma alohida faza hosil qilmay, balki katalizator yuzasida hosil bo'ladi va kimyoviy tahlil bilan aniqlab bo'lmaydi.

Katalizning turli xili mavjud; o'zaro aralashmaydigan suyuqliklar o'rtasida, suyuq-gaz o'rtasida kechadigan reaksiyalarni tezlatuvchi suyuq va qattiq katalizatorlar bo'ladi. Ko'pchilik katalitik reaksiyalar — bu gaz holdagi reagentlarning qattiq katalizatorlar ixtirokidagi jarayonlaridan iborat. Turli bog'lanishda molekulyar, atom va ionli mexanizmdagi jarayonlar mavjud.

Oksidlanish-qaytarilish (elektronli) katalizda elektr o'tkazuvchi — metallar va yarimo'tkazgichlar (asosan metall oksidlari) katalizator vazifasini o'taydi. Ular asosan davriy sistemaning I, VI, VII va VIII guruh metallari: mis, kumush, xrom, molibden, volfram, uran, temir, kobalt, nikel, platina, palladiy va boshqalar. Bu metallar o'tuvchi elementlar bo'lib, d — qobig'i to'yinmagan va katalitik aktivlikka moyil ko'p xossalarga: o'zgaruvchi oksidlanish darajasiga; kompleks hosil qilishga moyillikka, elektron chiqish ishi (energiyasi) yuqori emasligiga va shunga o'xshash xossalarga ega. Ayniqsa, metall bog'lanishda qatnashadigan elektronlar soniga nisbatan d va s elektronlari ko'proq metallar katalitik aktivligi yuqori bo'ladi. Chunki d va s orbitallardagi juftlashmagan elektronlarning ko'pchiligi yuza ta'sirlanishlar uchun juda qo'l keladi. Metallarda kataliz reagentlarni katalizator yuzasida aktiv adsorblanish (xemo-

sorbsiya) ga asoslangan. Bu jarayon reaksiya turlariga bog'liq ravishda elektronlarning metall d qobig'iga donor-akseptor o'tishi va teskari yo'nalishi bilan sodir bo'ladi. Katalitik jarayon mazmuni bundan ham chuqurroq.

Yarimo'tkazgich katalizatorlari strukturasi metallarnikidan energetik uzilishi (taqiqlangan zona) borligi bilan farqlanadi. Bu zona elektronlar bilan to'la pastki valent zonani ustki to'lmagan o'tkazuvchi zonadan ajratib turadi.

Energetik uzilish uncha katta emas va valent zonadan o'tkazuvchi zonaga elektron o'tishi yuzaga keladi.

Elektronning bunday o'tishida valent zonasidagi energetik darajada kristallning energetik spektrida «teshik» hosil bo'ladi.

Katalizning elektron nazariyasi bo'yicha erkin elektronlar va «teshik»lar reagentlar bilan yuza kimyoviy ta'sirlashishda qatnashadigan qattiq katalizatorning erkin valentligi sifatida mulohaza qilinadi.

Yarimo'tkazgich yuzasida adsorblangan molekular kristall panjaraning tartibli davriy tuzilishini buzuvchi, ammo u bilan yagona sistemani tashkil etuvchi qo'shimcha hisoblanadi. Chunki molekular va panjara to'liqlik funksiyalar o'zaro qoplanadi.

Molekular adsorbsiyasida quyidagilar bo'lishi mumkin:

a) elektron va «teshik» ishtirokisiz kuchsiz bog'lanish. Bu holda molekula neytral qoladi, ammo elektron qobiq deformatsiyalanadi; b) elektronlar va «teshik»lar ishtirokida mustahkam bog'lanish. Mustahkam bog'lanish energiyasi 1eV gacha etadi (kuchsiz fizik adsorbsiyada esa 0,01-0,1 eV bo'ladi).

Sorbsiyalangan zarracha panjaraning erkin elektronini birlashtirganda akseptor bog'lanish yuzaga keladi va bu zarracha manfiy zaryadlanadi. Elektronni berganda («teshik»ni egallaganda) donor bog'lanish yuzaga keladi va adsorblangan zarracha musbat zaryadga ega bo'ladi.

Kislota-asosli (ionli) katalizda katalizator sifatida g'ovak materiallarga shimdirilgan kam uchuvchan kislotalar ( $N_3RO_4$ ,  $H_2SO_4$ ), quruq asoslar, alyumosilikatlar, metall galogenidlari va boshqalar ishlatiladi. Asosli katalizatorlar sifatida ishqoriy va ishqoriy-er metallari oksidlari va gidroksidlari, ularning kuchsiz kislota (karbonat va boshqa)lari tuzlari ishlatiladi.

Ionli geterogen kataliz mexanizmi gomogen kislota-asosli katalizga o'xshash, ya'ni katalizator va ta'sirlashuvchi reagentlar mole-

kulasi bilan proton yoki ion (kation yoki anion) almashish bilan kechadi.

Katalizator aktivligi uning kimyoviy tarkibi, g'ovakli strukturaliga va umumiy yuzasiga bog'liq.

Qattiq katalizatorlarda quyidagi jarayonlar yuz beradi:

a) reagentlarning oqim yadrosidan katalizator yuzasiga diffuziyasi; b) g'ovaklardagi diffuziya; v) katalizator yuzasidagi adsorbsiya (xemosorbsiya); g) yuza komplekslari hosil bo'lishi; d) mahsulotning yuzadan desorbsiyasi; e) mahsulotning g'ovak-larda diffuziyasi; j) mahsulotning katalizator yuzasidan oqim yadrosiga diffuziyasi.

Geterojen katalitik jarayonining umumiy tezligi alohida bosqichlar tezligi bilan aniqlanadi va eng sekin jarayon tezligi bilan limitlanadi.

Katalizni xarakterlovchi: kinetik, tashqi diffuziya va ichki diffuziya muhitidagi jarayonlarga bog'liq ravishda kataliz farqlanadi.

*Kinetik muhitda gaz holidagi reagentlar uchun tezlik:*

$$u = K_0 e^{-E/RT} \Delta r p^{\alpha} b_0 \quad (5.7)$$

tenglama bilan aniqlanadi.

Bunda:  $\Delta r$  — jarayon harakatlantiruvchi kuchi,  $r \gg 0,1$  mPa (1atm.) da parsial bosimda ifodalanadi;  $r$  — o'lchamsiz kattalik — ishchi bosimni normal atmosfera bosimiga nisbati;  $n$  — reaksiya umumiy tartibi;  $\beta_0$  — normal bosim va haroratga qayta hisoblash koefitsiyenti.

Katalizator zarrachalari kichik, aktivligi past, g'ovaklar katta oqimning turbulent tartibida va past haroratda, odatda, jarayonlar kinetik muhitda kechadi. Jarayonning umumiy tezligi 6-9 bosqichlar tezligi nisbati bilan aniqlanadi. Reaksiya tartibi kimyoviy tenglamaga muvofiq molekulyarlikdan kam. Tezlikni haroratni ko'tarish yo'li bilan oshirish mumkin.

Tashqi diffuziya muhitida (a yoki j bosqichlari limitlovchi) jarayon tezligi reagentlar va reaksiya mahsulotlari diffuziyasi koefitsiyentlari bilan aniqlanadi.

Diffuziya sharoiti o'zgarmas holatda Fik qonuni bo'yicha:

$$U = \frac{d_G}{d_r} = D_c S \frac{d_s}{d_r}, \quad (5.8)$$

bunda;  $G$  — reagentlar oqimi yadrosida diffuziyalanuvchi komponent konsentratsiyasi  $S$  da katalizator zarrasi yuzasiga perpendikulyar

bo'lgan  $Z$  yo'nalishi bo'yicha  $t$  vaqt ichida o'tgan modda miqdori;  $S$  – katalizator zarralari (donador yoki boshgacha) erkin yuzasi;  $De$  – diffuziya effektiv (samarador) koeffitsiyenti, molekulyar va turbulent diffuziya natijasi bo'lib, odatda, tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

Kimyoviy reaksiyaning katta tezligini ta'minlaydigan aktivligi yuqori katalizatorlarda jarayon tashqi diffuziya muhitida sodir bo'ladi. Bu jarayonni tezlatish uchun reagentlar oqimi tezlashtiriladi, ya'ni turbulent tartib yaratiladi.

Ichki diffuziya muhitida katalitik jarayonlarning umumiy tezligi reagentlarning katalizator zarralari g'ovagida diffuziyalanish (e bosqich) tezligi bilan limitlanadi (belgilanadi).

Gaz holiday komponentning katalizator g'ovagida  $L$  chuqurligigacha diffuziyalanishi uchun kerak bo'lgan vaqtni Eynshteyn formulasi bilan aniqlanadi:

$$t = l^2 / 2De \quad (5.9)$$

$De$  ni g'ovaklar o'lchami va molekulaning erkin siljish uzunligi  $l$  nisbatlariga bog'liq aniqlanadi.  $l < 2 r_c$  da  $De$  aniqlanadi, molekulyar diffuziya koeffitsiyenti sifatida  $De = D$ ,  $l > 2 r_c$  esa  $De = D$  ni Knudsen formulasi bo'yicha aniqlanadi: Kritik diffuziya:

$$D_k = \tau_c \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad (5.10)$$

bunda:  $r$  – g'ovaklar ekvivalent radiusi;  $M$  – komponentning molyar massasi.

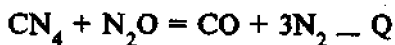
Ichki diffuziya muhiti katalizatorning filtrlovchi (statsionar) qatlamida o'tkaziladigan kataliz uchun xarakterlidir.

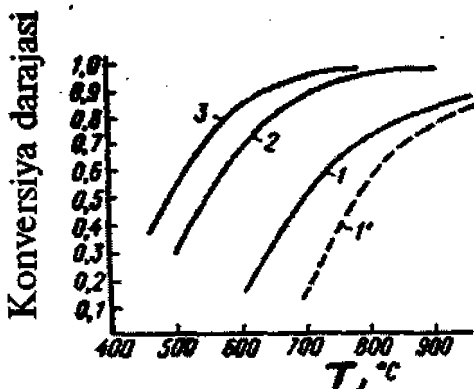
Ichki diffuziya muhitida katalitik jarayonlarni katalizator zarrachasi o'lchamini kichraytirish va g'ovakni (radiusini) kengaytirish yo'li bilan tezlatish mumkin. Ammo g'ovak kengaysa, ular soni kamayadi va muvofiq ravishda ichki yuza ham kamayadi. Shuning uchun g'ovakning optimal o'lchami tanlanadi.

Ta'sirlashuvchi moddalar konsentratsiyasi va bosimning oshishi katalizning diffuziya va kinetik bosqichlari tezligini oshiradi.

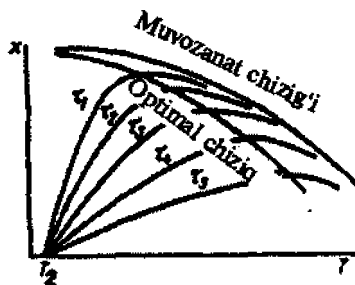
Harorat esa ekzotermik va endotermik jarayonlarga umumiy qonuniyatlarga bog'liq ravishda ta'sir etadi.

Nikel katalizatorida metan bilan suv bug'i ta'sirlashadigan endotermik reaksiya:





5.3-chizma. Endotermik jarayonda, gazlarining turli tarkibida metan konversiyasi darajasining haroratga bog'liqligi.  $\text{CN}_4: \text{N}_2\text{O}$ : 1) 1:1; 2) -1:2; 3) -1:3; 4) -1:1; 1,2,3 — muvozanatda chiqishi; 1' — haqiqiy chiqishi.



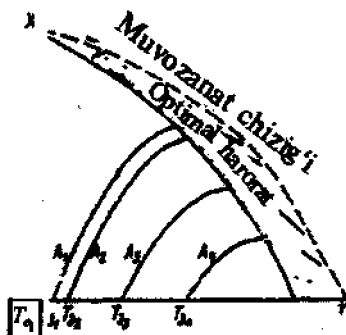
5.4-chizma. Ekzotermik reaksiyada mahsulot chiqishi  $X$  ning turli vaqt birligida haroratga bog'liq o'zgarishi:  $\tau_1 > \tau_2 > \tau_3 > \tau_4 > \tau_5$  ( $R, S_1, S_2$  q const).

Bu jarayonda metanning konversiya darajasi  $X$  ning harorat va konsentratsiyaga bog'liqligi 5.3-chizmada ko'rsatilgan. 5.4-chizmada esa ma'lum yondirish haroratiga ega katalizator o'tish darajasi (mahsulot chiqishi) harorat va jarayon kechayotgan vaqtga bog'liqligi ko'rsatilgan.

5.5-chizmada esa mahsulot chiqishi  $X$  ning bir xil vaqt ichida turli yondirish haroratiga ega bo'lgan va aktivligi turli bo'lgan

( $A_1 > A_2 > A_3 > A_4$ ) katalizatorlarda haroratga bog'liq ravishda o'zgarishi ko'rsatilgan.

5.3 – 5.4-chizmadagi grafiklarda ifoda qilingan holatlar ammiak sintezi,  $SO_2$  ning katalitik oksidlanishi, uglerod oksidi konversiyasi, etilenning oksidlanishi va boshqa oddiy qaytar ekzotermik reaksiyalarga xos.



5.5-chizma. Ekzotermik reaksiyalarda, aktivligi turlicha ( $A_1 > A_2 > A_3 > A_4$ ) bo'lgan katalizatorlarda X ning chiqishi haroratga bog'liq ravishda o'zgarishi ( $t, p, c_1, c_2$  q const).

**Kontakt (to'qnachich) vaqti.** Ta'sirlashuvchi reagentlarning katalizator bilan o'zaro kimyoviy ta'siri oniy yoki davomiyligini ko'rsatadigan eng muhim xarakteristika bo'lib, reaksiyon apparatlarni hisoblash imkonini beradi. U quyidagicha aniqlanadi:

$$\tau = n_{er} / V_{ar} \quad (5.11)$$

bunda:  $n_{er}$  — katalizator erkin hajmi,  $m^3$ ;  $V_{ar}$  — katalizatoridan o'zaro ta'sirlashuvchi aralashma hajmi,  $m^3$ /sek.

Amalda esa ko'pincha fiktiv kontaktlanish vaqtidan foydalaniladi:

$$\tau = n_{kat} / V_{ar} \quad (5.12)$$

bunda:  $n$  — katalizator hajmi,  $m^3$ .

Mahsulot chiqishi X va katalizator mahsuldorligi (jarayon tezligi)  $Q/\tau$  ning kontakt vaqti  $\tau$  qa bog'liq ravishda o'zgarishi 5.5-chizmada ko'rsatilgan. Katalizator qanchalik aktiv bo'lsa ( $A_1 > A_2 > A_3$ ), kontakt vaqti shuncha kam ( $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$ ) bo'ladi.



### 5.3. Katalizatorlarni tayyorlash va qattiq katalizatorlar xossalari

Sanoatda ishlatiladigan katalizator individual moddalar bo'lmay, balki murakkab aralashmalar bo'lib, ular kontakt massa deb ataladi. Bunda bir modda katalizator bo'lsa, boshqasi aktivlovchi (modifikator) hisoblanadi.

Asosiy katalizatorlarning aktivligini oshiruvchi moddalar aktivator yoki promotorlar deb ataladi. Masalan, sulfat kislotasi ishlab chiqarishda vanadiy kontakt massasida vanadiy besh oksid — asosiy komponent, ishqoriy metall oksidlari esa aktivlovchi qo'shimchalardir.

Aktivatorlar katalizatorlar bilan kimyoviy birikib, aktivligi yuqori mahsulotlar hosil qiladi, katalitik yuzani, haroratga chidamlilikini oshiradi yoki katalizatorlarni zaharlardan himoya qiladi.

Katalizator tashuvchi yoki tregerlar deb yuzasiga katalizatorlar shimdiriluvchi haroratga chidamli, g'ovak moddalarga aytiladi. Ular qimmatbaho katalizatorlar (platina, kumush, palladiy va boshq.) ni samarali sarflash imkonini yaratadi, katalizatorni aktivlaydi va tashqi ta'sirlardan himoya qiladi. Treger sifatida ko'pincha alyuminiy oksidi, sintetik alyumosilikatlar, kaolin, silikagel, asbest, aktivlangan ko'mir va turli tuzlar ishlatiladi.

Katalizatorlar yuqori aktiv, zaharlovchilarga chidamli, arzon, ishlashda mo'tadil, etarli issiqlik o'tkazishga ega, harorat va mexanik kuchlarga chidamli bo'lishi kerak.

Sanoat katalizatorlari intensivligi quyidagicha aniqlanadi:

$$J = V_{ox} S_m c^{max} \quad (5.13)$$

yoki

$$J = V_b S_{reak} X R_{max} b, \quad (5.14)$$

bunda:  $V_{ox}$  va  $V_b$  — oxirgi va boshlang'ich hajmiy tezliklar,  $l\ m^3$  katalizator da  $m^3$ /soat;  $S_m$  va  $S_{reak}$  — mahsulot va boshlang'ich reagent konsentratsiyalari, hajmiy birlikda;  $X$  — reagentning mahsulotga o'tish darajasi, miqdoriy birlikda,  $R_{max}$  — toza mahsulot zichligi,  $kg/m^3$ ;  $b$  — reaksiya aralashmasi hajmini hisobga olganda boshlang'ich hajmiy tezlikni oxirgi hajmiy tezlikka qayta hisoblash koeffitsiyenti.

*Katalizator tayyorlash usuli* quyidagilardan iborat:

1. Gidroksidlar va karbonatlar eritmalari gellar bilan (alyumosilikatlar, silikagel) birga cho'ktiriladi (cho'ktirilgan katalizatorlar) va zarracha, tabletka yoki donador shaklda tayyorlanadi.

2. Kukun holiday katalizatorlarni yoki aktivatorlarni aralashtirib presslanadi.

3. Bir necha metallarni birgalikda suyultirib qotishma olish yoki oksidlardan vodorod bilan tozalab yoki boshqa usullar bilan tozalab turli shaklda (tabletka, zarracha yoki to'r va boshq.) tayyorlanadi (temir, platina-palladiy-rodiiy katalizatorlar va boshq.).

4. Treger (tashuvchi)larga katalizator va aktivator shimdiriladi, quritib toblanadi. Bular metall, oksidli, tuzli kislota va asosli katalizatorlar.

Katalizatorlar sifatida ba'zi minerallar: alyumo-silikatlar, temir oksidlari, boksid va boshq. ham ishlatiladi.

«Qaynoq» qatlam jarayonlarida o'lchami 0,1-3 mm orasida bo'lgan ishqalanishga chidamli cho'ktirilgan va shimdirilgan katalizatorlar ishlatiladi.

#### **5.4. Katalitik jarayonlar reaktorlari**

Fazalar holatiga qarab ular gomogen va geterogen katalizator reaktorlariga bo'linadi.

Gomogen jarayonlar katalizi oson boshqarilib, kameralarda, kolonnalarda, quvurli issiq almashtirgichlarda va mexanik qarishtiriluvchi reaktorlarda olib boriladi.

Geterogen kataliz esa turlicha tuzilishga ega reaktorlarda olib boriladi.

Qattiq katalizatorlarda gazlar ta'sirlashuvchi apparatlar kontakt apparatlari deb ataladi.

Kontakt apparatlariga quyidagicha talablar qo'yiladi: uzviy ishlashi, yuqori intensivlik, optimal tartib o'rnatish mumkinligi, minimal gidravlik qarshilik, tuzilishi soddaligi va boshqarish qulayligi.

Geterogen — katalitik jarayonlar qattiq yoki suyuq katalizator bilan gaz va suyuq fazalarda kyechishi mumkin. Qattiq katalizatorlarda gaz fazasidagi katalitik jarayonlar keng tarqalgan.

Harorat tartibi bo'yicha: reaktorlar adiabatik, izotermik va poli-termik tartibli bo'ladi.

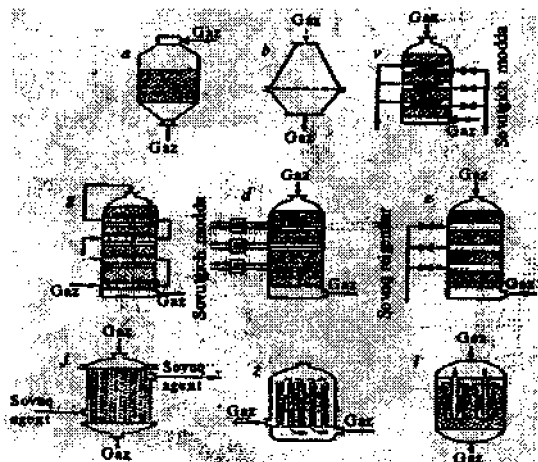
Reagentlarni aralashtirish darajasi bo'yicha: ideal siqib chiqaruvchi, to'la aralashtiruvchi va to'la qorishtira olmaydigan tartibli bo'ladi.

Gidrodinamik tartib bo'yicha: qo'zg'almaydigan (filtrlovchi) katalizator qatlamli, muallaq («qaynovchi») katalizator qatlamli va uzviy harakatdagi qatlamli reaktorlar bo'ladi.

Bundan tashqari, sinflashning yana ko'pgina belgilari mavjud. Masalan, yuzaki va hajmli kontakt apparatlari deb nisbiy farqlash mumkin.

Yuza kontakt apparatlari yuqori aktiv katalizatorlarda tez kechadigan ekzotermik reaksiyalarda qo'llaniladi. Katalizator quvur yoki to'r ko'rinishida tayyorlanadi.

5.6-a chizmada — qo'zg'almas katalizator qatlamli apparat, b — katalizator turli apparat, j esa quvur katalizatorli apparat (5.7-chizma) ko'rsatilgan.

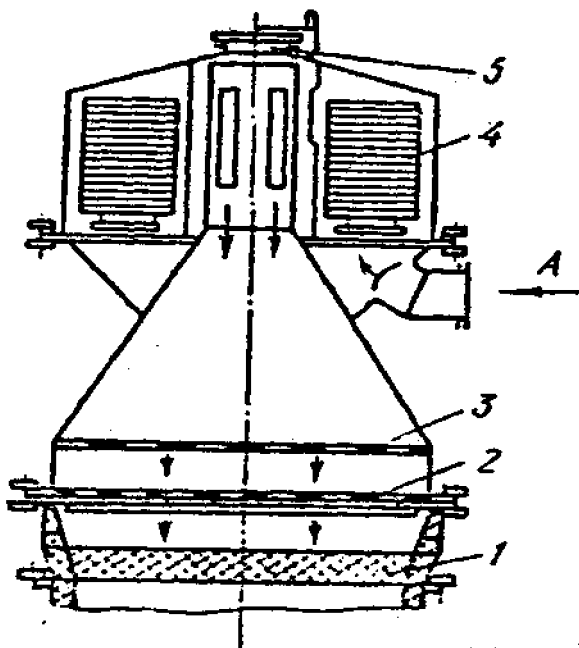


5.6-chizma. Qo'zg'almas katalizator qatlamli kontakt apparatlari prinsiplial sxemasi: a — bir qavat qatlamli; b — to'rsimon katalizatorli; v — reagentlarni oraliq sovitgichli tokchali; g — reagentlarni sovuq gaz aralashmasi bilan oraliq sovitgichli tokchali;

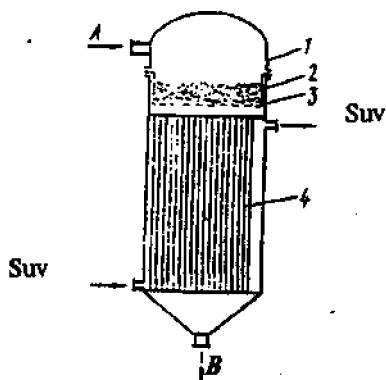
d — tashqi issiq almashtirgich yordamida oraliq sovitgichli tokchali; ye — sovuq reagentni jarayon bosqichlari o'rtasiga kirituvchi tokchali; j — quvurli sovitgichli apparat; z — reagentlarni sovuq gaz aralashmasi bilan sovituvchi; i — qo'sh issiq almashtirgich quvurli apparatlar.

Filtrlovchi katalizator qatlamli geterogen kataliz apparatlari — hajmli kontakt apparatlari hisoblanadi. Bu apparatlarda paljara-larda bir qatlam (5.6-a chizma) va ko'p qatlam (5.6-chizma, v, q, d, e) katalizator joylashtiriladi va qatlam orqali ideal siqib chiqarish tartibida gazlar aralashmasi o'tkaziladi.

Katalizator 4-5 mm va undan kattaroq o'lchamda zarra, ta-bletka yoki donador shaklda tayyorlanadi. Chunki maydaroq bo'lsa, gidravlik qarshilik oshib ketadi.

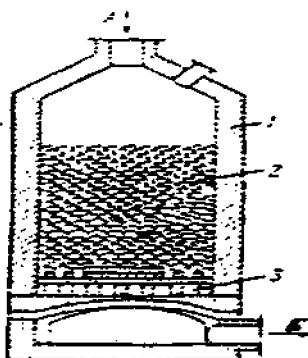


5.7-chizma. To'rsimon katalizatorli kontakt apparati (yuzaki kontakt):  
 1 — rashig halqalari; 2 — katalizator to'ri; 3 — taqsimlovchi panjara;  
 4 — karton filtr; 5 — himoyalovchi klapan; A — gazning apparatga kirishi.



5.8-chizma. Yuqori aktiv katalizatorli issiqlik almashtirgichsiz (ammo mahsulotni toblagich —bu holda sovitgichli) kontakt apparati: 1 — korpus; 2 — katalizator; 3 — panjara; 4 — sovitgich; A — gaz aralashmasi; B — reaksiya mahsulotlari.

Filtrlovchi qatlamli apparatlar issiq almashtirgichli yoki ularsiz bo'ladi. Issiq almashtirgichsiz apparatlar ancha sodda tuzilgan bo'ladi. Ular adiabatik tartibda ishlaydi. Tartib esa faqatgina boshlang'ich parametrlari (harorat va tarkib) o'zgarishi bilan boshqariladi. Bunday apparatlarni issiqlik effekti kam bo'lgan qaytmas ekzotermik, reagentlarning past konsentratsiyasida qaytar ekzotermik va endotermik reaksiyalarda qo'llash mumkin (5.8 va 5.9-chizmalar).



5.9-chizma. Issiqlik effekti kam bo'lgan ekzo va endotermik reaksiyalar uchun issiqlik almashtirgichsiz reaktor: 1 — korpus; 2 — katalizator; 3 — kalosnik panjara; A — gaz aralashmasi; B — reaksiya mahsulotlari.

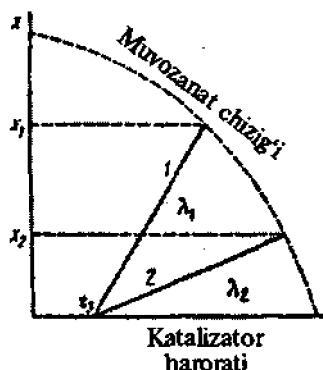
Filtrovchi katalizator qatlamli apparatlarda, atrof-muhitga singigan (yo'qolgan) issiqlik hisobga olinmasa, adiabatik tartibda katalizator qatlamidan chiqqan reaksiya mahsulotlari quyidagi haroratga ega bo'ladi:

$$t_{ox} = t_b \pm \frac{Q_r X}{Gc} = t_b \pm \beta \frac{q_r C_b X}{C} = t_b \pm \lambda x \quad (5.15)$$

bunda,  $t_{ox}$  — oxirgi harorat;  $t_b$  — gazning boshlang'ich harorati;  $Q_r$  — to'la o'tish darajasida ( $x=1$ ) reaksiya issiqlik effekti ( $q_r Q_m$ );  $X$  — o'tish darajasi; — reaksiya aralashmasi (muhi) issiqlik sig'imi;  $S_b$  — reagentning boshlang'ich konsentratsiyasi;  $b$  — bir mol boshlang'ich moddadan olingan mahsulot mollari miqdoriga teng koeffitsiyent;  $l$  — reaksiya adiabatik koeffitsiyenti;  $q_r$  — bir mol mahsulotga reaksiya issiqlik effekti;  $Q$  — reaksiya aralashmasi miqdori.

Issiqlik almashtirgichsiz filtrllovchi katalizator qatlamida (5.10-chizma), qaytar ekzotermik jarayonda reaksiya adiabatik koeffitsiyenti  $l$  va muvofiq ravishda qatlamdagi harorat ko'tarilishi bilan mahsulot chiqishi  $X$  kamayadi, ya'ni agar  $l_2 > l_1$  bo'lsa,  $X_2 < X_1$  bo'ladi.

Issiqlik almashtirgichsiz apparatlarning kamchiligi optimal harorat tartibini ta'minlay olmasligidir. Shuning uchun optimal tartibni ta'minlash maqsadida issiq almashtirgichli kontakt apparatlari qo'llaniladi.



5.10-chizma. Issiq almashtirgichsiz bir qatlamli katalitik reaktorlarda adiabatik koeffitsient  $l$  ning mahsulot chiqishiga ta'siri.

Katta issiqlik effektiga ega bo'lgan endotermik reaksiyalar uchun issiqlik almashtirgichli apparatlar ishlatiladi, ya'ni quvurlararo bo'shliqda katta issiqlik oqimi tashkil qilinadi.

Issiqlik almashish usuliga bog'liq ravishda filtr qatlamlari katalitik apparatlar quyidagicha sinflanadi:

1) Tashqi issiqlik almashtirgichli kontakt apparatlari.

2) Ichki issiqlik almashtirgichli kontakt apparatlari:

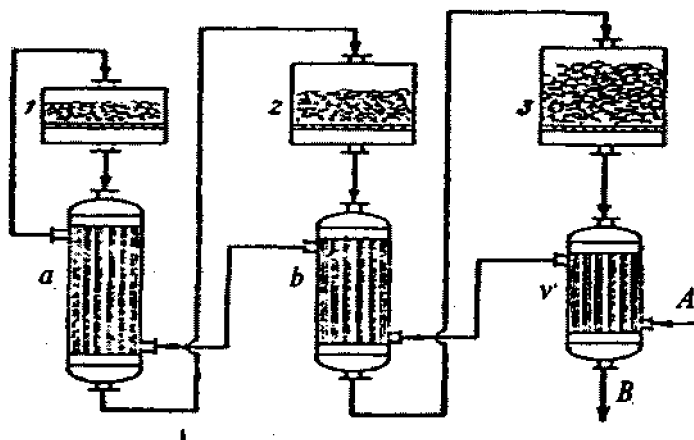
a) tokchali;

b) quvurli.

3) Kombinatsiyalangan kontakt apparatlari.

Ko'p bosqichli, tashqi issiqlik almashtirgichli kontakt apparatlarida (5.11-chizma) toza gaz  $\rightarrow v$ , b va a - issiqlik almashtirgichlardan ketma-ket o'tadi va kontakt apparatlaridan (1,2,3) chigayotgan gaz aralashmalari (mahsulot) issiqligi bilan qiziydi (katalizatorning yondirish haroratigacha). So'ngiragaz har bir kontakt bosqichi va issiqlik almashtirgich orqali ketma-ket (1-a; a-2; 2-b; b-3; 3-v) apparatlarda isib, issiqlik almashtirgichda soviib o'tadi.

Kontakt bosqichiga bog'liq ravishda o'tish darajasi ham o'zgarib boradi. Bu holda sxema juda uzun bo'lishi va issiqlikning atrof-muhitga sarfi (yo'qolishi) ko'p bo'lishi mumkin.

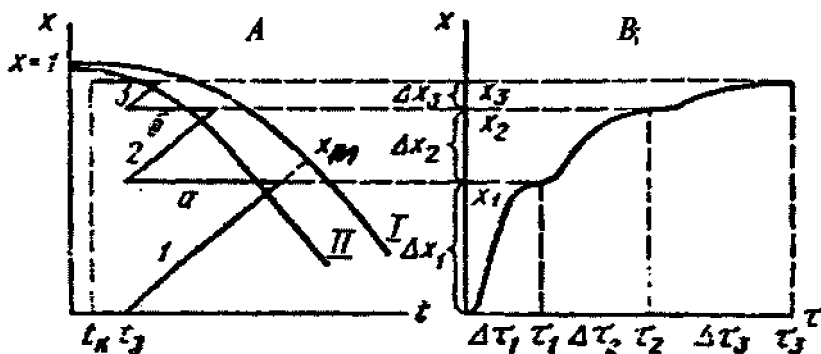


5.11-chizma. Tashqi issiqlik almashtirgichli ko'p bosqichli kontakt apparatlari qurilmasi sxemasi: 1,2,3 - kontakt apparatlari; a, b, v - issiqlik almashtirgichlar; A - toza gaz; B - reaksiya.

Mahsulotning umumiy chiqishidan 1, 2, 3 — apparatlardan  $Dx$  qismlar kamayib boradi (5.12-chizma), ya'ni  $Dx_1 > Dx_2 > Dx_3$ . Muvoqif ravishda jarayon issiqlik effekti ham kamayib boradi. Issiq almashtirgichlarda gazning sovishi  $a$ ,  $b$ ,  $v$  gorizontallarda ko'rsatilgan.

Mahsulot chiqishini oshirish uchun keyingi bosqichlarda kontakt zonasini oshirish, ya'ni katalizatorida hajmiy tezlikni pasaytirish (kontakt vaqtini oshirish) kerak.

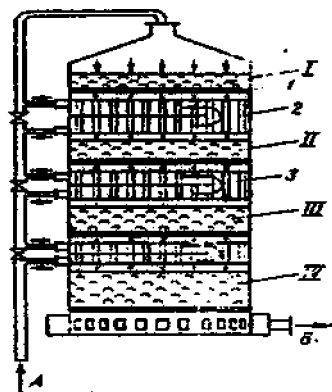
Hozirgi zamon kontakt apparatlaridan ko'p tarqalgan tokchali kontakt apparatlari bo'lib, ulardan samarali hisoblanadigani gazlarni isitish yoki sovitish jarayoni apparatning ichida turli issiq almashtirish usullari bilan olib boriladi.



5.12-chizma. Uch bosqichli kontaktlanishda o'tish darajasi  $X$  ni haroratga (A) va vaqtga (B) bog'liq o'zgarishi: 1 — muvozanat chizig'i; 2 — optimal chiziq; 1,2,3 — siqib chiqarish adiabatlari;  $a$ ,  $b$ ,  $v$  — gazning issiqlik almashtirgichlarda sovishi;  $\Delta x_1 > \Delta x_2 > \Delta x_3$  — muvoqif ravishda  $\Delta \tau_1$ ,  $\Delta \tau_2$  va  $\Delta \tau_3$  vaqt ichida 1,2 va 3 apparatlardan o'tish darajasi:  $\Delta \tau_3$  q  $2\Delta \tau_1$ ;  $\Delta \tau_2$  q  $1,5 \Delta \tau_1$ ;  $x_1$ ,  $x_2$  va  $x_3$  —  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  va  $\tau_3$  vaqtlarda mahsulotning umumiy chiqishlari.

Ekzotermik reaksiyalar olib boriladigan apparatlar (5.6-chizma,  $v$ ,  $q$ ,  $d$ ,  $e$  va 5.13-chizma) turli issiq almashish usullariga ega. Tokchali kontakt apparatida (5.13-chizma) teshikli tokchalar o'rtasida issiq almashtirgichlar o'rnatilgan.





5.13-chizma. Katalizator qatlamlari o'rtasida (oralig'ida) issiq almashtirgichli tokchali kontakt apparati: 1 – panjara; 2 – issiqlik almashtiruvchi quvurlar; 3 – to'siqlar; 1, 2, 3, 4 – katalizator qatlamlari; A – kirayotgan gaz; B – chiqayotgan mahsulot.

Bu apparatlarda yuqoridan quyiga (gaz aralashmasi yo'nalishi bo'yicha) tomon katalizator qatlami qalinroq joylashtiriladi, issiq almashtirgichlar balandligi kichrayib boradi. Chunki o'tish darajasi ko'tarilgan sayin reaksiya tezligi pasayib boradi. Bunga muvofiq ravishda issiqlik ajralib chiqishi ham kamayadi. Quvurlar orasidagi bo'chliqda quyidan yuqoriga ketma-ket reaktorga kiruvchi gazlar o'tib boradi. Bunda gaz isiydi, mahsulot esa sovib boradi.

Apparatdagi jarayonni 5.10-chizmadagiday tasavvur qilish mumkin. Issiq almashish qarama-qarshi oqim prinsipida yuz beradi. Reaksiya issiqligidan yanada to'laroq foydalanish uchun apparatdan so'ng sovitgich ulash mumkin.

Katta masshtabli ishlab chiqarishda (apparat  $d=18$  m gacha) minqlab quvurli issiq almashtirgichlar o'rnatish qiyinchilik tug'diradi. Bu hollarda tashqi issiq almashtirgichli apparatlar (5.6-a chizma) qo'llaniladi.

Ayrim reaktorlarda o'rtalik sovitish reaksiyaga kirishadigan gazlarning birini kontakt bosqichlari orasiga kiritiladi (5.6-e chizma). Masalan, ammiak sintezida – azotvodorod aralashmasi, oksidlanish reaksiyalarida – havo, gidratlash reaksiyalari va uqlevodorodlar konversiyasida – suv bug'i va boshqalar kiritiladi.

Tokchali kontakt apparatlarida reaksiya va issiq almashishi ketma-ketlik bilan alohida olib boriladi va harorat sakrash bilan o'zgaradi.

Katalitik reaksiyalar issiq almashish jarayonlarini bir vaqtda va uzluksiz olib borish uchun quvurli kontakt apparatlari qo'llanadi (5.6-chizma, j z va i). Ularda kataliz politermik tartibda olib boriladi. Reaksiya issiqlik effekti issiqlik berish yoki sovitish bilan kompensatsiyalanadi.

Ekzotermik va endotermik reaksiyalar uchun katalizator bu apparatlarning quvurlarida joylashtiriladi (5.6-chizma, j), endotermik reaksiyalarida quvurlararo bo'shliqqa issiq gaz (havo – yog'ilgan gaz aralashmasi) beriladi. Ekzotermik reaksiyalarida esa sovitgich agent beriladi.

Ekzotermik reaksiyalarda ayrim quvurli reaktorlarda sovuq (hali reaksiyaga kirishmagan) gaz bilan katalizator orasida issiq almashishi yuz beradi (5,6-chizma, z). Bu holda katalizator quvurlarida joylashgan va uni sovuq gaz yuvib o'tadi. Qo'sh quvurli issiq almashtirgich o'rnatilgan apparatlarda (5,6-chizma, i) gaz ichki quvurqa kiradi va halqasimon bo'shliq (qo'sh quvur orasidagi) orqali o'tayotib isiydi va katalizator qatlamiga kiradi.

Bunday apparatga o'rta bosimda ammiak sintezidagi kolonna turlaridan birini misol qilsa bo'ladi.

Bu apparatlar kamchiligi: apparat kesimi bo'yicha haroratning notekis taqsimlanishi, o'ichami kattaligi, katalizator foydali hajmining kamligidan iborat.

Oddiy qarama-qarshi oqimli quvurli apparatlar tuzilishi oddiy. Ammo ularda katalizatorning o'ta qizish va o'ta sovish zonalari mavjud. Qo'sh quvurli harorat tartibi ancha tekis, ammo tuzilishi murakkabroq.

Optimal harorat tartibiga yaqin ishlaydigan qurilmalar tokchali va quvurli apparatlar kombinatsiyalaridan iborat. Bunday apparatlar ham tuzilishi jihatidan murakkab bo'ladi. Barcha filtrlovchi katalizator qatlamli apparatlar quyidagi umumiy kamchilikka ega:

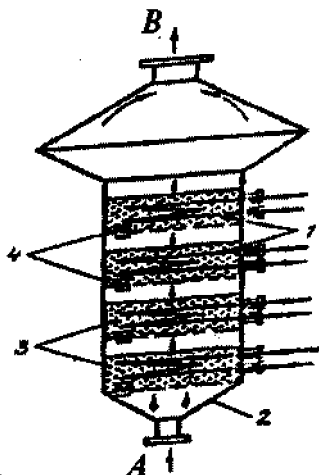
- 1) yirik zarralik katalizator ishlatilishi;
- 2) katalizator kuyib qolish xavfi;
- 3) katalizator zarrachalaridan issiq almashish yuzasiga issiqlik berishning sustligi;
- 4) optimal haroratni tutish qiyinligi;
- 5) katalizatorni uzluksiz regeneratsiya qilib bo'lmashligi.

## Muallaq «qaynoq» katalizator qatlamli apparatlar

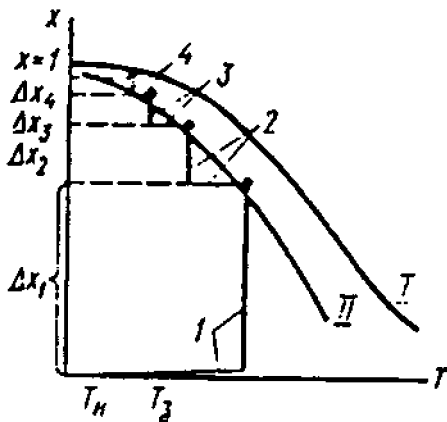
Bunday apparatlar filtrlovchi katalizator qatlamli apparatlardagi kamchiliklardan xoli. Bundan tashqari, ularning tuzilishi ham murakkab emas. Ularda mayda zarrali katalizatorlar ishlatiladi. Katalizator qatlami joylashgan panjara ostida «qaynoq» qatlam hosil qilish darajasidagi tezlik bilan gaz (reagent) yuboriladi. Bunday apparatlardagi jarayon avvalroq ham aytib o‘tilgan.

Harorat tartibi izotermik. Bunday apparatlarda bitta yoki bir necha «qaynoq» qatlam bo‘ladi (5.14-chizma). Apparatta gaz quyidan yuqoriga harakatlanadi. Yuqorida — kengaytirilgan qismda gaz bilan uchgan katalizator zarrachalari tutib qolinadi (tezlikning o‘zgarishi hisobiga). Ekzotermik reaksiyalarda issiqlik suvli sovutgich orqali sovutilib bug‘ olinadi.

Eng muhim afzalligi: zarralarning kichikligi hisobiga katalizator mahsuldorligining oshishi muvofiq ravishda katalizatorning ichki yuzasidan to‘la foydalanish va optimal harorat tartibiga juda ham yaqinligi.



5.14-chizma. «Qaynoq» katalizator qatlamli ko‘p qatlamli kontakt apparati: 1 — suvli sovutgich; 2 — gaz taqsimlovchi konus; 3 — katalizator muallaq qatlami; 4 — gaz taqsimlovchi qalpoqchali panjara. B — chiqayotgan mahsulot.



5.15-chizma. «Qaynoq» katalizator (to'rt) qatlamli kontakt apparatida o'tish darajasi va haroratning o'zgarishi. 1 – muvozanat chizig'i; 2 – optimal chiziq; 1,2,3 va 4 – katalizator qatlamlaridagi izotermalar.

5.15-chizmada 1,2,3 va 4-siniq chiziqalar to'rt tokchali apparatda (muallaq qatlamli) kuchli ekzotermik reaksiyada yoki yuqori konsentrlangan gazlarni qayta ishlashda, ya'ni adiabatik koeffitsiyenti 1 katta bo'lganda harakat va o'tish darajasining o'zgarishi ko'rsatilgan. Bunday sharoitda berilgan o'tish darajasiga ( $x \rightarrow 1$ ) etish uchun qo'zg'almas katalizatorli reaktorlarda juda ko'p (10–15) qatlam kerak bo'lar edi.

Birinchi qatlamdayog' harakat oxiriga etadi va o'zgarmay qoladi. Keyinchi qatlamlarda sovitgich yordamida harorat berilgan (loyihadagi) izotermaga etkaziladi.

Asosiy kamchiligi bir qatlamli apparatlarda gazning to'la qorishishi va bir qismini qatlam orqali chiqib ketishi harakatlantiruvchi kuchning kamayishiga olib keladi. Ko'p seksiyali apparatlarda esa bu ko'rsatkich qo'zg'almas qatlamdagiga etadi hamda optimal haroratni tiklashga imkon yaratadi. Ikkinchi kamchiligi katalizatorning tez emirilishi. Shuning uchun bu hollarda yuqori mustahkamlikka ega katalizatorlar ishlatish zarur. «Qaynoq» qatlamli apparatlarda katalizator uzluksiz regeneratsiya qilinishi mumkin. Bunda qatlam yuzasiga yaqin balandlikda apparatga kirish va chiqish tirgichlari o'rnatiladi. Tirgichdan chigarilib, katalizator regeneratsiyalanib kirish tirgichdan apparatga kiritiladi.

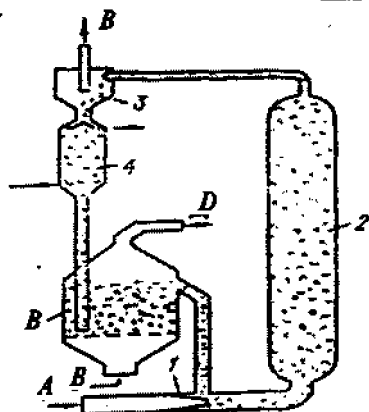
## Harakatlanuvchi katalizatorli reaktorlar

Bunday reaktorlar kataliz va regeneratsiya jarayonlarini uzluksiz davom ettirish uchun qo'llanadi. Qurilmada harakatlanuvchi katalizator qatlamlari ishtirok etadi (5.16.).

Bug'-gaz aralashmasi tezligi shundayki, bunda gazning zarrachaga ishqalanish kuchi zarracha massasidan yuqori bo'ladi, natijada maydalangan katalizator gaz oqimi bilan apparatning yuqori qismidan chiqib ketadi. Gaz oqimidagi katalizatorning asosiy qismi siklon seperator va ejektorda ajralib qoladi, so'ng reaktorga tushadi, jarayon shu tarzda davom etadi.

Jarayon harakatdagi katalizator (2) kechadi, regeneratsiya esa 5-apparatda kechadi. Uqlevodorodlarning havoda kuyishi xom ashyo A (neft mahsulotlari bug'i) quvurli kuydirgichdan harakatlanuvchi katalizator qatlami (2) ga tushadi va mahsulot (kreking fraksiyasi) bug' bilan rektifikatsiya (ajratish) kolonnasiga ketadi.

Bu apparatlarning kamchiligi: chang holdagi katalizatorni gaz oqimidan to'la ajratib olish imkonining yo'qligi. Bu qurilmalarda katalizator changini tutish uchun siklonlar va elektrofiltrlar o'rnatish zarur.



5.16-chizma. Chang holatdagi katalizator oqimidagi katalitik kreking qurilmasi shakli: 1 – ejektor; 2 – harakatlanuvchi katalizatorli kontakt apparat; 3 – seperator; 4 – bug'lash kamerasi; 5 – regeneratori («qaynoq» qatlamlari reaktor); A – trubali pechdan kelayotgan xom ashyo (gaz, bug' va boshq.); B – reaktifikatsiyaga borayotgan gaz-bug' aralashmasi; V – havo; D – so'ndiruvchi qozonga ketayotgan issiq gazlar.

### 5.5. Gaz aralashmalari kontakt apparatlarining asosiy elementlarini hisoblash

Zaruriy jarayon tezligi va o'tish darajasiga erishish uchun katalizator hajmi va issiq almashish yuzasini aniqlash texnologik hisobotlari quyidagicha bajariladi:

Optimal variantni tanlash uchun apparatlarning turlarini tanlashda texnik iqtisodiy ko'rsatkichlardan: mahsulot birligiga nisbatan metall massasi va katalizator ishlash intensivligi (gazlar orasidagi jarayon uchun) aniqlanadi:

$$J = WS\beta_e \quad (5.16)$$

Bunda:  $J - 1 \text{ m}^3$  katalizatorlarda olinadigan mahsulot miqdori,  $\text{kg}/(\text{soat} \cdot \text{m}^3)$ ;  $W -$  (normal sharoitda) apparatdan bir soatda chiqayotgan gaz aralashmasi hajmini (chiqishda) kontakt massasiga nisbatida ifodalangan hajmiy tezlik,  $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^3 (\text{s}^{-1})$ ;  $S -$  mahsulot konsentratsiyasi,  $\text{m}^3/\text{m}^3$  (t/t yoki boshq.);  $e -$  gaz holatidagi mahsulot zichligi,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $b -$  mahsulot miqdorini xom ashyo miqdoriga nisbati, ya'ni  $G_d/G_A$ .

\* Filtrli katalizator qatlamda qaytar ekzotermik reaksiyalar uchun:

1.  $A+V \rightarrow 2D$  reaksiya uchun reagentning mahsulotga o'tish darajasi  $X_r$  (muvozanat uchun) quyidagicha echiladi:

$$X_m = \frac{\sqrt{K_m}}{\sqrt{K_m} + 2} \quad (5.17)$$

Muvozanat konstantalari so'rovnomalardan topiladi va 5.12-chizmadan (x-t) foydalaniladi.

2. Optimal harorat chizig'i tajribalarga asosan tuziladi yoki quyidagicha aniqlanadi:

$$T_{opt} = \frac{T_m}{1 + \frac{2,3RT_m \lg \frac{E + mg_r}{E}}{mq_p}} \quad (5.18)$$

bunda,  $T -$  harorat,  $K$ ;  $R -$  molyar gaz doimiyligi,  $\text{kdj}/\text{mol}$ .  $K$ ;  $m -$  modda steximetriyadan kamroq bo'lgan holdagi koeffitsiyenti;  $q -$  reaksiya issiqligi,  $\text{kdj}/\text{mol}$ ,  $E -$  aktivlanish energiyasi,  $\text{kdj}/\text{mol}$ .

3. Gazning katalizator bilan to'qnashish vaqti kontakt bosqichlari bo'yicha, ideal siqib chiqarish tartibida, kinetik model va jarayon tezligi formulalaridan foydalanib aniqlanadi, masalan, birinchi tartibli reaksiya uchun quyidagicha aniqlanadi:

$$U \frac{dx}{d\tau} = k(1-x) \quad \text{yoki} \quad \tau = \frac{1}{k} \ln \frac{1}{1-x} \quad (5.19)$$

x-t diagrammasidan X aniqlanadi, k – tajriba natijalaridan yoki modellash usuli bilan aniqlanadi.

X-T diagrammasidan foydalanib matèrial balans tuziladi. Bu balans asosida apparatga kirayotgan va o'tish bosqichlaridagi gaz aralashmasi miqdori aniqlanadi ( $V_q, \text{m}^3/\text{S}$ ).

4. Gaz sarfi  $V_q$  va kontakt vaqti t asosida kontakt massasi hajmi  $V_k$ :

$$V_k = \gamma v \tau \quad (5.20)$$

va gaz aralashmasi hajmi tezligi aniqlanadi:

$$W = V_r / v_k, \quad (5.21)$$

bunda: q – zaxira koeffitsiyenti bo'lib, 1,3-2,5 ga teng. U jarayonga ta'sir etuvchi tashqi va ichki diffuziya to'sqinligi, qatlamda gaz aralashganda harakatlantiruvchi kuchning kamayishi hamda katalizator aktivligining pasayish zaxirasini belgilaydi. Uning qiymati va reaksiya katalizator turi hamda o'tish bosqichlari bo'yicha o'zgaradi.

5. Apparat kesimi yuzasi quyidagicha aniqlanadi:

$$F = V_r / W_f \quad (5.22)$$

bunda,  $W_f$  – apparatning to'la kesimiga hisoblangan qatlamida gazning fiktiv tezligi.

$$W_f = W_{x_{aq}} e \quad (5.23)$$

bunda, e – zarrachalar orasidagi bo'sh hajmni qatlamning umumiy hajmiga nisbati.

6. Katalizator qatlami balandligi N quyidagicha aniqlanadi:

$$H = u_k / F = 4 v_k / (\rho D_a^2) = w_f t \quad (5.24)$$

7. Apparatning gidravlik qarshiligi:

$$\Delta P = \Delta P_r + \Delta P_f + \Delta P_m \quad (5.25)$$

bunda,  $\Delta P_q$ ,  $\Delta P_n$  va  $\Delta P_m$  – katalizator qatlami gidravlik qarshiligi panjara qarshiligi, mahalliy qarshilik (apparatga kirishda, chiqishda issiqlik almashtirgichlardagi qarshilik).

Har bir qatlam qarshiligi N.M. Javoronkov formulasi asosida aniqlanadi:

$$\Delta P_c = \varphi \frac{S P_r \omega^2}{\epsilon^3 2q} H \quad (5.26)$$

bunda,  $j$  – gazning zarrachadagi ishqalanish koeffitsienti, donador kontakt massasi uchun:

$$j = 3,7 \operatorname{Re}^{-0,35}, \quad (5.27)$$

bunda,

$$\operatorname{Re} = 4\theta f / S_v, \quad (5.28)$$

bunda,  $S$  –  $1\text{m}^3$  katalizator zarrachalari tashqi yuzasi,  $\text{m}^2/\text{m}^3$  ( $\text{m}^{-1}$ );  $R_q$  – gaz zichligi;  $n$  – gaz qovushqoqligi kinematik koeffitsiyenti.

Har bir panjara qarshiligi:

$$DP_n = j_n (r_q w_0^2 / 2), \quad (5.29)$$

bunda,  $j_n$  – panjara qarshiligi koeffitsiyenti. U panjara qalinligiga bog'liq bo'lib,  $d=5\text{mm}$  da  $j_n=1,45$  bo'ladi;  $w_0$  – panjara teshigidagi gaz tezligi.

Material, issiqlik va iqtisodiy balanslar avvalroq ifoda etilgan.

«Qaynoq» katalizator qatlarda ekzotermik reaksiyalar uchun:

1. Katalizator qatlami uchun gaz massasi birligiga nisbatan issiqlik balansi quyidagi adiabat bilan ifodalanadi:

$$t_{k1} = t_s + \frac{q_p C_{sp}}{C} \Delta X_1 \beta \quad (5.30)$$

bunda,  $t_{k1}$  – birinchi qatlamdan chiqishda gaz harorati;  $t_b$  – gazning boshlang'ich harorati ( $t_{\text{bosh}} < t_{\text{ber}}$ );  $DX_1 = x_1$  – birinchi qatlamda reagentning o'tish darajasi;  $q_p$  – reaksiya issiqligi;  $S_{b,r}$  – reagentning boshlang'ich konsentratsiyasi; – gazning o'rtacha massa issiqlik sig'imi.

Sovitgichli ikkinchi va keyingi tokchalarda izoterma hisobi quyidagi formula bo'yicha (masalan, 2-qatlam uchun) hisoblanadi:

$$t_{k2} = t_{b2} + \frac{q_p C_{sp}}{C} \Delta X_2 \beta - \frac{K_{is} \Delta T F}{GC} \tau_1 \quad (5.31)$$

bunda,  $t_{b2}$  q  $t_{k1}$ ;  $DX_2$  – katalizator ikkinchi qatlamida o'tish darajasining o'sishi (ko'payishi);  $K_{is}$  – sovitgich devori orqali issiq almashish koeffitsiyenti;  $Dt$  – sovitgich va «qaynoq» qatlam harorati



farqi; sovitgich yuzasi;  $t$  – gazning qatlamda bo‘lish vaqti;  $Q$  – gaz aralashmasi miqdori, kg.

2. Katalizator qatlamida gazning bo‘lish vaqti:

$$t = x / kDS \quad (5.32)$$

$X$  va  $K$  qo‘zg‘almas qatlamidagiga o‘xshash aniqlanadi.  $\Delta S$  – qatlamdan chigayotgan konsentratsiya orqali aniqlanadi.

Kontakt massasi hajmi (5.20) tenglama yordamida aniqlanadi.

Apparatning ichki diametri:

$$D_* = \sqrt{\frac{4v_T}{\pi\omega}} = \sqrt{\frac{v_T}{0,785\omega}} \quad (5.33)$$

bunda,  $v_T$  – gaz hajmi;  $\omega$  – gaz tezligi.

4. Katalizator qatlami  $N_o$  (qo‘zg‘almagan holda) (5.24)

tenglama bo‘yicha hisoblanadi.

5. Apparatning gidravlik qarshiligi  $\Delta r$  (5.25) tenglamasi asosida hisoblanadi. Ammo bu holatda katalizator qatlami qarshiligi gaz tezligiga bog‘liq emas va quyidagicha aniqlanadi:

$$DR_q = r_3 N_o (1 - e_0) = r_s N_o, \quad (5.34)$$

bunda,  $r_3$  – katalizator zarrachasi zichligi;  $r_s$  – katalizator sochma zichligi;  $e_0$  – dumaloq katalizator uchun 0,4 qa teng.

6. Panjaraning minimal gidravlik qarshiligi:

$$\Delta P_{n,\min} = \Delta P_* \frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega_{*k}^2} \left( \frac{\varepsilon_{*k} - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon_{*k}} \right) \quad (5.35)$$

$\Delta r_{n,\min}$  orqali panjara erkin kesimi, panjara va apparat tuzilishi parametrlari aniqlanadi.  $E_{k,k}$  quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\varepsilon_{*k} = \left( \frac{18 Re + 0,36 R_*^2}{Ar} \right)^{0,21} \quad (5.36)$$

### Savol va topshiriqlar

1. Kataliz nima?
2. Katalizator nima?
3. Gomogen va geterogen katalizni tushuntiring.
4. Mikroheterogen kataliz nima?
5. Katalizda tezlik nimalarga bog‘liq?

6. Katalizatorlar turlarini tushuntiring.
7. Katalizator aktivligini tushuntiring.
8. Katalizator selektivligi nima?
9. Gaz fazali gomogen katalizni tushuntiring.
10. Molekulyar mexanizmni tushuntiring.
11. Radikal mexanizmni tushuntiring.
12. Katalizda oraliq mahsulot nima?
13. Kataliz jarayoni mexanizmini tushuntiring.
14. Katalizda reaksiya tezligini yozing.
15. Katalizator muvozanatga ta'sir qiladimi?
16. Katalitik aktivlanish nima?
17. Tashqi va ichki diffuziya nima?
18. Diffuziya katalizga ta'sir etadimi?
19. Muvozanatdagi reaksiyalarga katalizator qanday ta'sir etadi?
20. Turli aktivlikdagi katalizatorlar ishtirokidagi jarayonlarda mahsulot chiqishini haroratga bog'liqlik grafigida chizib ko'rsating.
21. Aktivator yoki promotorlar nima?
22. Kontakt massa nima?
23. Sanoat katalizatorlari ishlash intensivligi nima? Formulasini yozing.
24. Katalizatorlar qanday tayyorlanadi va qanday shaklda bo'ladi?
25. Katalitik jarayonlar apparatlarini loyihalashda nimalarga rioya qilinadi?
26. Yuza kontaktli apparatlarni tushuntiring.
27. Filtrlovchi kontakt apparatini chizing.
28. Ko'p bosqichli kontakt apparatlari sxemasini chizing.
29. Taxmonli va quvurli apparatlarni chizing va tushuntiring.
30. Apparatlarda issiq almashinishni tushuntiring.
31. Ko'p qatlamli kontakt apparatini chizing va tushuntiring.
32. Katalitik kreking qurilmasini tushuntiring.

## **VI BOB. Kimyoviy-texnologik TIZIMlar (KTT)**

### **6.1. Umumiy tushunchalar**

Hozirgi zamon kimyo sanoati xom ashyoni iste'mol mahsulotlari va ishlab chiqarish vositalari uchun qayta ishlashga mo'ljallangan keng miqyosdagi o'zaro aloqador apparatlar majmuasidan iborat. Har qanday kimyoviy ishlab chiqarish uchta asosiy ketma-ket bajariladigan bosqichdan iborat. Ular xom ashyoni tayyorlash, kimyoviy o'zgarish va maqsadli mahsulotni ajratib olishdan iborat.

Bu ketma-ket bajariladigan jarayonlar yagona murakkab kimyoviy-texnologik tizimga (KTT) birlashadi.

Bu tizimda alohida apparatlarning optimal parametrlari o'zaro mos kelmaydi. Bundan ayonki, butun bir ishlab chiqarishning, korxonaning optimal ishlashi har bir apparatning optimal sharoitda ishlashining additiv funksiyasi bo'la olmaydi.

Shuning uchun texnologik jarayonning har bir alohida elementini tadqiq qilish bilan birga KTT miqyosida o'rganish zarur.

Tizim – tashqi muhit bilan ta'sirlashuvchi va murakkab ichki tuzilishiga ega, texnologik jarayonlar va ularning birgalikdagi ta'siri va harakati bilan o'zaro bog'liq bo'lgan ko'p miqdorli tarkibiy qism va elementlar (apparatlar) ga ega obyektдан iborat.

Element – mustaqil va nisbiy bo'linmas birlik. Bu qandaydir jarayon (kimyoviy, diffuziyali va boshq.) sodir bo'ladigan apparat.

Tizim – ma'lum maqsadga yo'naltirilgan elementlar guruhi. Bu sistemaning mustaqil ishlaydigan qismi.

Elementlar o'rtasida hamda tizimchalari o'rtasida turli xil aloqalar mavjud – material, energetik, informatik (axborot) va boshqalar. Elementlararo o'zaro aloqa oqim orqali bajariladi va elementdan elementga moddalar, energiya, issiqlik oqimi o'tishini aks ettiradi.

Elementlar va aloqalar birligi tizim strukturasi tashkil etadi.

Shunday qilib, tizim – tashkil etuvchi elementlar va tizimchalarga ajratish mumkin bo'lgan murakkab obyektidir.

Barcha tizimlarni nisbiy ravishda katta va kichik tizimga ajratish mumkin.

Kichik tizimlar jarayon xususiyatidan kelib chiqqan holda, odatda, apparatlarni tashkil qilish va ularni ishlatishga bog'liq bitta jarayon bilan cheklanadi.

Katta tizim esa kichik tizimlar yig'indisidan iborat bo'lib, ulardan miqdor va sifat tomonidan farqlanadi.

Katta tizimga muvofiq belgilar:

1. Ma'lum bir maqsadlilik va umumiy maqsad —mahsulot chiqarishga mo'ljallangan.

2. Tizimlar o'lchami kattaligi, bajariladigan ish turi ko'pligi, elementlar soni va ular o'rtasidagi aloqalar miqdorining ko'pligi.

3. Tizim ishini xarakterlaydigan parametrlar soni ko'pligi.

4. Tizim xarakteri murakkabligi.

5. Raqobatbop tomonlari borligi.

6. KTT elementlari va boshqaruv qurilmalari o'rtasida ogohlantiruvchi va boshqaruvchi axborot oqimlari tashkil qilish zaruriyati.

7. Ishlab chiqarishda jarayonlarni yuqori darajada avtomatlash zaruriyati.

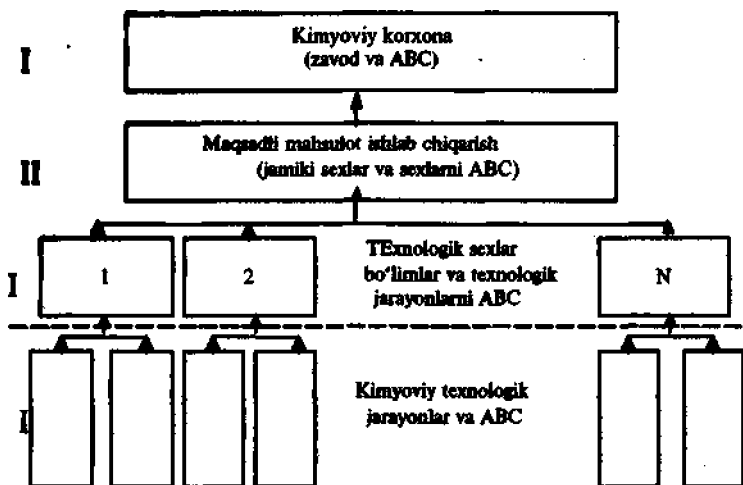
Demak, kimyoviy ishlab chiqarish anchagina murakkab tizimdan iborat ekan.

Hozirqi zamon kimyo korxonalari o'zaro bog'langan ko'p sonli tizimchalarga bo'linadi. Ular orasida bir necha asosiy bosqichlarga va darajalarga ega ierarxik strukturalar holda o'zaro majburiyatli munosabatlar mavjud (6.1-chizma).

Ierarxiyaning quyi bosqichi yuqori bosqichdagi ierarxiyaga mansub bo'lgan barcha tizimchalar funksiyasini bajaradi.

Birinchi (1), ierarxik strukturaning quyi bosqichini kimyo-texnologik jarayonlar (kimyoviy, issiqlik, gidrodinamik, diffuzion, mexanik) hamda ularni boshqarishning lokal tizimlari, asosan avtomatik boshqarish sistemalari (ABS) tashkil etadi. Kimyo-texnologik jarayonlar apparatlarda bajariladi. Har xil jarayon kirish va chiqishga ega tizimchadir.

Kiruvchi o'zgaruvchilar qo'zg'ovchi va boshqaruvchiga bo'linadi. Qo'zg'ovchi o'zgaruvchilar barcha tizimga mansub bo'lib, tashqi va ichki qo'zg'ovchilarning miqdoriy xarakteristikasi (xom ashyo tarkibi va sarfi o'zgarishi, apparatda harorat o'zgarishi va boshq.) bo'lib, jarayonlarni maqsadli yo'nalishda o'tkazishga to'sqinlik qiladi.



6.1-chizma. Kimyoviy ishlab chiqarish ierarxiyasi I – IV ierarxik tizimining bosqich (daraja)lari.

Tizim faoliyatida kiruvchi o'zgaruvchilar berilgan qiymatlarga (parametrlarga) javob berishi va qo'zg'ovchilar ta'sirida maqsaddan chetlamasligi uchun tizimga boshqaruvchi o'zgaruvchilar bilan ta'sir etiladi. Ular tizim faoliyatini boshqarishning miqdoriy xarakteristikasidir.

Jarayonlar ma'lum apparaturani tashkil etishda determinlashgan va determinlashgan – stoxastik sistemani namoyon qiladi. Determinlashgan sistema uchun kiruvchi va barcha chiquvchi o'zgaruvchilar oldindan ma'lum va ular o'rtasida bir mazmunli funksional bog'lanish mavjud.

Determinlashgan - stoxastik sistemada bunday bir mazmunlilik yo'q.

Kimyoviy korxonasi ierarxiya quyi bosqichida vazifasi asosan jarayonlar texnologik parametrlarini avtomatik boshqarish tizimini tashkil etish yo'li bilan lokal stabilizatsiya (mo'tadillashdan) iborat.

Ierarxiya ikkinchi (2) bosqichi — bu agregatlar yoki komplekslar.

Ular ma'lum operatsiyani bajaruvchi o'zaro aloqador texnologik jarayon va apparatlar birligi. Ko'pincha ular bo'lim yoki sexlar.

Agregat — o'zaro aloqador alohida texnologik jarayon va apparatlar birligi. Ularning o'zaro ta'siri natijasida vaqt bo'yicha

qo'zg'ovchilarning statik taqsimlanishi sodir bo'ladi, ya'ni sistemaga kiruvchi va chiquvchi o'zgaruvchilar o'rtasida stoxastik o'zaro bog'liqlik mavjud.

Bu bosqichda quyidagi masalalarni Yechishqa to'g'ri keladi: 1) ishlarni optimal tartibda tashkil etish; 2) boshqarish funksiyasini agregatning o'ziga berish (agregat strukturasi kibernetik tashkil etiladi); 3) agregat ishonchli ishini tashkil etish.

Ierarxiyaning bu bosqichida tizimchani boshqarishda apparatlar ishini va yuklamalarini o'zaro taqsimlashni optimal koordinatsiyalash masalalari kelib chiqadi. Tizimchani dekompozitsiyalash va agregatlash yanqi usullari, topologik tahlil, evristik modellash, ko'p darajali optimallashtirish va boshqalar jalb qilinadi.

Apparatlar ishini va texnologik oqimlarning optimal taqsimlanishini optimal koordinatsiyalash masalalarini yechish uchun ular o'rtasida avtomatik boshqarish tizimi ishlatiladi.

Ierarxiya uchinchi (3) bosqich maqsadli mahsulot oladigan bir necha sexdan iborat kimyoviy korxonani o'z ichiga oladi. Bu bosqichda voqelikni tahlil qilish va ishlab chiqarishni optimal boshqarish masalalari kelib chiqadi. Bu masalalarni yechishda tizim texnika matematik usullari — chiziqli proqrammalash, o'yin nazariyasi, axborot nazariyasi, operatsiyani tadqiq qilish, massaviy xizmat nazariyasi va boshqalar.

Vujudga kelgan masalalarni yechish va boshqarish uchun bu darajada texnologiyani boshqarishning avtomatik tizimi (BAT)dan foydalaniladi.

Ierarxiya to'rtinchi (4) bosqichi — butun boshli kimyoviy korxonaga va korxonani boshqarishning avtomatik tizimi (KBAT).

Kimyo-texnologik tizim (KTT)ni ishlab chiqarishning natijaviy maqsadi — yuqori samarador kimyoviy ishlab chiqarishni yaratishdan iborat.

Bunda faqatgina zaruriy mahsulotning ma'lum miqdorini talab darajasidagi sifat ko'rsatkichida ishlab chiqarishgina emas, balki iqtisodiy va ekologik samaraga ham erishishdan iborat.

KTT loyihasi quyidagi echimlarga ega:

1. Tizimning texnologik topologiyasini aniqlash.

Tizimning texnologik topologiyasi texnologik sxemada alohida mustaqil apparatlarning o'zaro tutashish tartibi va xarakteri. Apparatlarni tanlash, ular orasida aloqalar xarakterini aniqlash va texnologik tizimda tizim apparatlarini tutashtirishning optimal tartibini tuzish butun tizimning samarali ishini ta'minlaydi.

2. Jarayonga kiruvchi xom ashyo oqimining fizik va kimyoviy parametrlari hisoblangan kiruvchi o'zgaruvchilar qiymatini (ko'rsatkichlarini) hamda tashqi muhitning turli fizik-kimyoviy ta'siri parametrlari (harorat, bosim va boshq.) ko'rsatkichlarini aniqlash.

3. KTT texnologik parametrlari ko'rsatkichlarini (o'tish darajasi, tezlik konstantasi va boshqani) aniqlash.

4. KTT konstruktiv parametrlarini (reaktorlar hajmi, qeometrik o'lchamlari va boshqani) aniqlash.

5. KTT apparatlarida (elementlarida) texnologik tartib parametrlarini aniqlash. Ular texnologik jarayon tezligiga, mahsulot chiqishi va sifatiga ta'sir etuvchi omillar (harorat, bosim, katalizator aktivligi, komponentlarini qorishtirish tezligi va boshqalar).

6. Tizimning berilgan tartibda ishlashini ta'minlovchi texnologik oqim parametrlarini (xom ashyo sarfi, konsentratsiya, oqim harorati, bosimi va boshqalar) tanlash.

Yana ko'p muhim masalalarni yechishga to'g'ri keladi: konstruksiya materiallarni tanlash, texnologik jarayonlarni va butun ishlab chiqarishni avtomatik boshqarish prinsiplarini ishlab chiqish, analitik tahlil usullarini ishlab chiqish, atrof-muhitni muhofaza qilish, texnika xavfsizligi va sanitariya masalalarini yechish va boshqalar.

Tizim ichi sifati (effektivligi)ni baholash KTT ichi samaradorligi ko'rsatkichlari (kriteriyasi) yordamida bajariladi. Bunday ko'rsatkich sifatida texnologik va iqtisodiy ko'rsatkichlardan foydalaniladi.

## 6.2. KTTni tashkil etishning asosiy bosqichlari

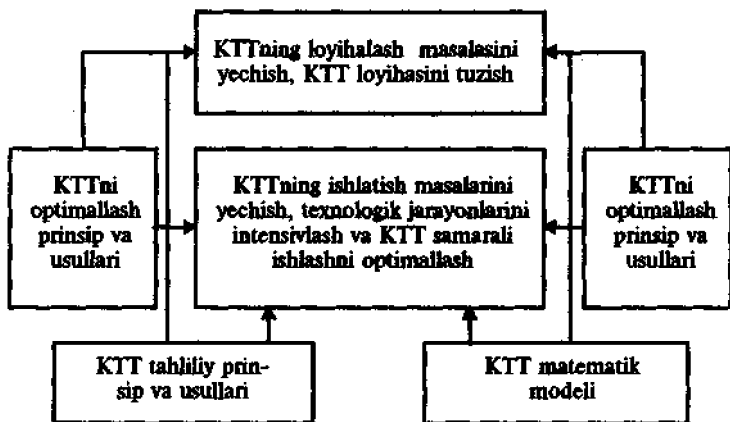
Injener-texnoloq faoliyati asosiy masalalarni yechishga qaratilgan, ya'ni yangi yuqori samarador texnologik jarayonlar barpo etish va loyihalash yoki mavjud ishlab chiqarishni boshqarish (ishlatish), ularni intensivlash va samaradorligini oshirishdan iborat.

Bu masalalar bir necha bosqichda bajariladi. KTTni barpo qilish va (ishlatish) boshqarish murakkabligi bilan turli va ko'p darajali deb hisoblanadi.

Bu umumiy masalaning birinchi darajasi elementlarning matematik modelini tuzish va ular asosida KTTning to'la matematik modelini tuzish hisoblanadi.

Matematik model KTT ish faoliyatini bir butunligi mazmunini ifodalashi kerak. Buning uchun modelda kimyoviy ishlab chiqarishning eng muhim tomonlari miqdoriy bog'lanish holda yozilishi kerak. Bun-

day maqsadda modelda jarayon mazmuni elementar sistemadagi hamda elementlar o'rtasida texnologik bog'lanish, KTT tizimchalari va elementlarining o'zaro ta'sir dinamikasi aks etadi. Bu bosqichda KTT ish faoliyatining samarador ko'rsatkichlarini tanlash zarur. KTTning turli sharoitdagi ishining sonli ko'rsatkichlarini aniqlash imkonini beradigan turli omillar funksiyali bog'liqliklarini aniqlash kerak.



6.2-rasm. KTTni tashkil etish.

Matematik model tuzish masalasi bog'liqliklar turini aniqlash, tizim ichiga ta'sir etuvchi tizimning kiruvchi va chiquvchi parametrlarini aniqlashdan iborat.

Bunday parametrlarga quyidagilar kiradi:

1. Kirish parametrlari (xom ashyo miqdori, uning tarkibi va boshq.)  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Bu omillar to'plamini  $X$  – kiruvchi o'zgaruvchilar vektori deb ataymiz.

2. Tashqi ta'sir (atrof-muhit ta'siri)  $V_1, V_2, \dots, V_n$ , ularning to'plami  $V$  – atrof-muhit parametrlari vektori.

3. Tizim elementlari texnologik parametrlari, bu parametrlar vektori  $D$ .

4. Konstruktiv parametrlar, vektori  $K$ .

Bu holda chiquvchi parametrlarni tizimga ta'sir etuvchi parametrlarga bog'liqligini aks ettiruvchi yakka element matematik modeli quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\bar{Y} = f(\bar{X}, \bar{V}, \bar{D}, \bar{K}) \quad (6.1)$$



bunda, — chiquvchi parametrlar vektori.

Agar tizimda  $N$  ta element (apparat) bo'lsa, barchasiga shunday bog'lanish yoziladi:

$$\bar{Y}_i = F_i(\bar{X}_i, \bar{V}_i, \bar{D}_i, \bar{K}_i) \quad i = \overline{1N} \quad (6.2)$$

bunda,  $i-1$  dan  $N$  gacha tizim elementlari ragami.

KTTning optimal ko'rinishi uning tashkil etuvchi, optimal tuzilgan alohida elementlar additiv funksiyasi emas.

Shuning uchun KTT matematik modellari oddiy to'plami bo'la olmaydi.

KTTning matematik modelini tuzishda quyidagi holatlar ham hisobga olinadi:

1. Tizimda apparatlar har xil tutashishi mumkin, ya'ni tizim turlicha texnologik topologiyaga ega bo'lishi mumkin.

Texnologik topologiya KTTning butun faoliyatiga ta'sir etadi va uni hisobga olish kerak.

1. Elementlarni tizimga bog'lashda hosil bo'luvchi ichki aloqalar (oqimlar) ma'lum parametrlar bilan xarakterlanadi. Ishlab chiqarish borliq ishlari ularning qiymatlariga bog'liq.

Bunda KTT modeli:

$$\bar{Y}_i = F_i(\bar{X}_i, \bar{V}_i, \bar{D}_i, \bar{K}_i, \bar{L}_i, G_i) \quad i = \overline{1N} \quad (6.3)$$

$Q$  — texnologik topologiya varianti; — ichki aloqalar parametrlari vektori.

Bundan tashqari, KTT matematik modelida turli variantlar uchun tizimning faoliyat samaradorligi  $E$  ko'rsatkichlari qiymati bog'liqligi ham bo'lishi kerak:

$$E = Y_i, V, D, K, L, Q \quad (6.4)$$

Olingan KTT matematik modelidan foydalanish mumkin bo'lishi uchun EHMda algoritim tuzish va tajriba yo'li bilan uni o'rganilayotgan obyektga muvofiq kelishi tekshirilishi zarur.

KTT sistemacha va elementlari matematik modelini tuzib (barpo etib), KTTni tahlil, sintez va optimallashtirish masalalarini yechishga o'tiladi. Bu KTTni barpo qilishda ikkinchi darajani tashkil etadi.

KTTning tahlili KTT faoliyatini xossalari va samaradorligini uning matematik modeli asosida o'rganishdan iborat.

KTT xossalari elementlar (tizimchalar) parametrlari va holat xarakteristikalariga ham, elementlar o'rtasidagi texnologik aloqalar strukturasi ham bog'liq. KTTni tahlil qilishda bu omillarni tizim holatini xarakterlaydigan KTTning chiquvchi o'zgaruvchilari qiymatiga ta'sir darajasini baholash zarur. Bu bosqichda KTTning ma'lum topologiyasida uning to'la matematik modeli hisoblanadi. Hisob natijasida tizim holati xarakteristikasi har bir elementlar parametri va xarakteristikasi bilan miqdoriy bog'lanadi.

Bu bosqichda tizimcha va elementlar o'rtasidagi texnologik aloqa strukturasi almashtirib hamda elementlar texnologik va konstruktiv parametrlarini almashtirib, KTTni to'la hisoblab, turli variantlar hisobi natijalari tuziladi va ularning afzallik tomonlari va kamchiliklari haqida birinchi taassurot olinadi.

KTTni tahlil qilish vazifasi – berilgan kiruvchi oqim parametrlarida va texnologik sharoitlarida texnologik oqimning chiqish parametrlarini aniqlash maqsadida texnologik topologiya va alohida elementlarning matematik modeli asosida KTTning to'la matematik modelini hisoblashdan iborat.

To'la model faqatgina KTT tuzilgan (sintez qilingan)dan so'nggina hisoblanishi mumkin, ya'ni sintezsiz tahlil o'tkazib bo'lmaydi.

KTT sintezi vazifasi yuqori samara bilan ishlaydigan KTT barpo etishdan iborat.

Buning uchun, eng avvalo, optimal texnologik topologiya Q (elementlar tipi (turi) va soni, ular orasida alohida xarakterini (o'rnatish) tanlash, so'ngra kiruvchi o'zgaruvchi – , sistema elementlari texnologik parametrlari – va ichki texnologik oqim parametrlari – ) qiymatlarini aniqlash zarur.

Parametrlarni mujassamlash sistemaning samarali ishlashini ta'minlashi kerak, ya'ni sistemaning samarali ishlash ko'rsatkichi E optimal bo'lishi kerak.

Ya'ni KTT sintezi vazifasiga quyidagi parametrlar qiymati kiradi:

$$\begin{aligned} G &= G(\bar{Y}, \bar{V}, \bar{K}, E^*) \\ \bar{X} &= f_1(\bar{Y}, \bar{V}, \bar{K}, E^*) \\ \bar{D} &= f_2(\bar{Y}, \bar{V}, \bar{K}, E^*) \\ \bar{L} &= f_3(\bar{Y}, \bar{V}, \bar{K}, E^*) \end{aligned} \quad (6.5)$$

Bunda,  $E^x$  effektivlik kriteriysi  $E$  ning optimal qiymati,

$$E^x = \text{opt } \varphi(\bar{Y}, \bar{V}, \bar{D}, \bar{K}, \bar{L}, G) \quad (6.6)$$

$E^x_n$  – bu ko'rsatkichning chegaraviy qiymati.

Yuqoridagilardan ko'rinadiki, KTT sintezi KTTni optimallashtirish bilan chambarchas bog'liq va tanlab olingan samaradorlik kriteriysi  $E^x$  ning ekstremal qiymatini aniqlashdan iborat. KTT ishi samaradorligi kriteriysi sifatida, odatda, iqtisodiy kriteriydan (tannarx, foyda, sarfxarajatlar) foydalaniladi. Samaradorlikning texnologik kriteriysi (masalan, mahsulot chiqishi)dan foydalanish ham mumkin.

Tahlil, sintez va optimallashtirish vazifalari o'zaro bog'liq bo'lib, ularning barchasi KTT matematik modeli asosida bajariladi.

KTT tahlili, sintezi va optimallashtirish prinsiplarini mujassamlab, matematik model asosida umumiy masalaning III va IV darajasi – bu mavjud ishlab chiqarishni intensivlashtirish va optimallashtirish hamda optimal loyihalash asosida yangi kimyo sanoati obyekti yaratiladi.

Optimal loyihalashda konstruktiv sxemalar va tartiblarning ko'p variantlari ko'rib chiqiladi va eng samaralisi tanlab olinadi. Bu masalani texnologik loyihalashning avtomatlashgan tizimi (TLAT) yordamida bajariladi.

Bunday sistema bir necha tizimchalar (blok) dan tashkil topadi. Ma'lum bloklar jarayon haqida ma'lumotlar tutadi (KTT elementlari matematik modellari blok, fizik-kimyoviy konstantalar, komponentlar xossalari va axborotlar blok). Boshqalari sistema ishini ta'minlaydi (informatsiyalarni kiritish, natijalarni chiqarish va hokazo).

TLATda KTT alohida elementlari matematik operatorlar matematik modeli mujassamligi ko'rinishida talqin etiladi.

Namunaviy texnologik operatorlar modeli modul deb ataladi.

KTTning bir elementi bir necha modullar bilan yoziladi.

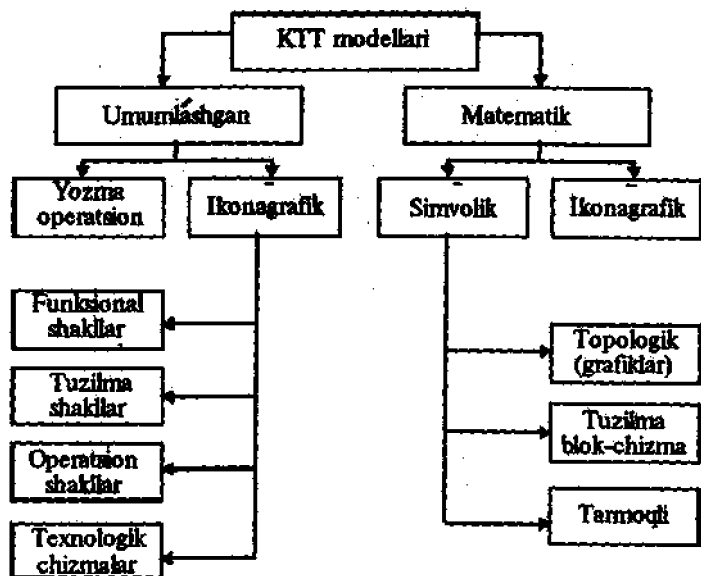
Namunaviy texnologik operatorlar matematik modeli standart dasturi asosida modullar prinsipi bo'yicha KTT ishlab chiqiladi.

### 6.3. KTT modellari sinflari

KTT modellari ikki ko'rinishda bo'ladi – umumiy lashtirilgan va matematik.

O'z navbatida umumiy lashtirilgan model yozma-operatsion va ikonografik, matematik esa simvolik va ikonografikka bo'linadi.

Yozma-operatsion model — bu sistema faoliyati haqida so'zda ifodalangan ma'lumotlar.



6.3-chizma. 63 KTT modeli.

Bu modelda jarayon kimyoviy sxemasi, ya'ni maqsadli mahsulot olishdagi kimyoviy reaksiyalar bayon etiladi. Kimyoviy sxemalar variantlarini solishtirib, iqtisodiy samaradorligi tanlab olinadi. Bunda xom ashyo tarkibi haqida ma'lumot beriladi, apparatlarda kechadigan jarayonlar yoziladi.

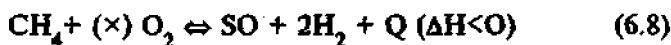
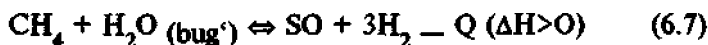
Texnologik parametrlar qiymati va boshqalar bayon etiladi. Bunday modelga misol qilib texnologik reglament va boshqa loyiha-konstruktorlik hujjatlarni aytish mumkin.

KTTning umumlashtirilgan ikonografik modeli esa grafik holatda ifodalanadi. Bunday model tizimning faoliyati haqida sifat tahlilini beradi. Bu sxema holida beriladi: funksional, struktura, operatsion, texnologik sxemalar.

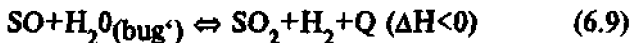
Ammiak ishlab chiqarishni ko'rib chigamiz.

Jarayonning kimyoviy sxemasi:

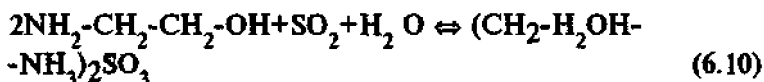
Vodorod olish uchun metan konversiya qilinadi:



so'ngra SO konversiya qilinadi:



Hozirgi zamon qurilmalarida metan konversiyasini ikki bosqichda – par-havo usulida o'tkaziladi. Natijada birdaniga vodorod va azot-vodorod aralashmasi olinadi. So'ngra gazni SO<sub>2</sub> dan tozalanadi (etanol amin bilan):



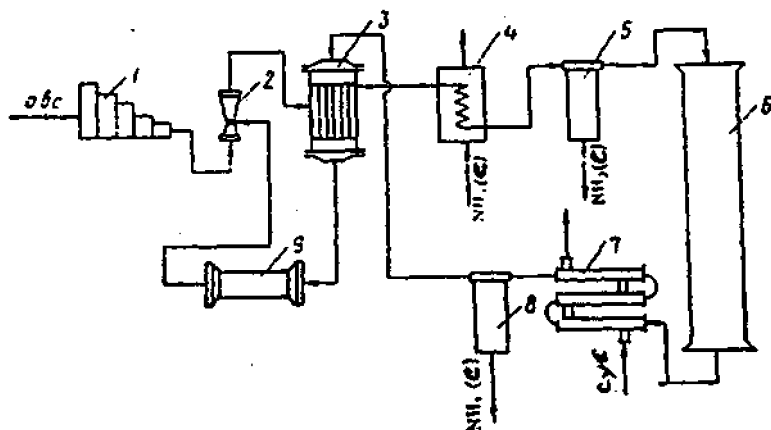
Tozalangan azot-vodorod aralashmasi ammiakni sintez qilishda ishlatiladi:



Ammiak sintezi sexi misolida turli sxemalar tuzish prinsiplarini ko'rib chigamiz.

Ikkinchi darajali apparatlar ko'rsatilmagan ammiak sintezi sexi qisqartirilgan holda 6.4-chizmada ko'rsatilgan.

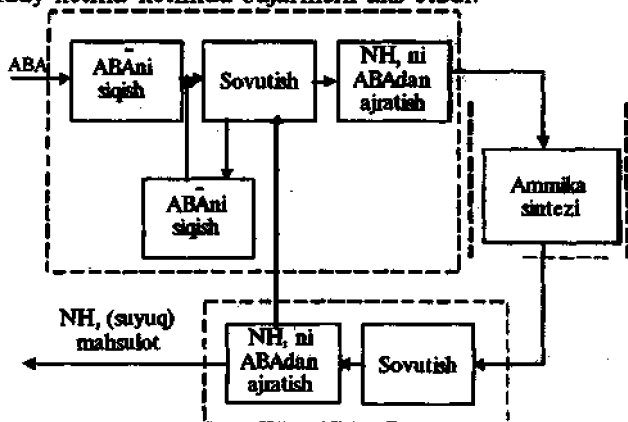
Azot-vodorod aralashmasi kompressorga (1) tushib, 30 MPa bosimgacha siqiladi. So'ngra injektor (2) da reaksiyadan qaytayotgan, o'zaro ta'sirlashmagan azot-vodorod aralashmasi bilan qo'shiladi. Bu aralashma avval issiq almashtirgich (3) da, so'ngra suyuq ammiak bug'latgichi (4) da soviydi. Aralashmadagi ammiak suyuladi va separator (5) da ajratilib, azot-vodorod aralashmasi sintez kolonnasi (6) ga uzatiladi. Sintezdan chiqqan aralashma suvli kondensator (7) da kondensatsiyalanadi va ta'sirlashmagan azot-vodorod aralashmasi separator (8) da ammiak (mahsulot) dan ajratiladi. Bu aralashma 28 MPa bosimidan sirkulyatsiya kompressori (9) da 30 MPa bosimgacha siqilib, sistemaga qaytariladi.



6.4-chizma. Ammiak sintezi sexi (siklik) texnologik sxemasi (qisqartirilgan):  
 1 — kompressor; 2 — injektor; 3 — issiq almashtirgich; 4 — suyuq ammiak bug'latgichi; 5, 8 — seperator; 6 — sintez kolonnasi; 7 — suvli sovitgich; 9 — sirkulyatsiya kompressori.

KTT faoliyati haqida funksional sxema ma'lumot beradi.

Sxemada texnologik operatsiyalarni bajaradigan asosiy bog'lamlar (tizimchalar) va ular o'rtasidagi texnologik aloqalar ko'rsatiladi. Bu sxemalarda ishlab chiqarishda qaysi operatsiyalar qanday ketma-ketlikda bajarilishi aks etadi.



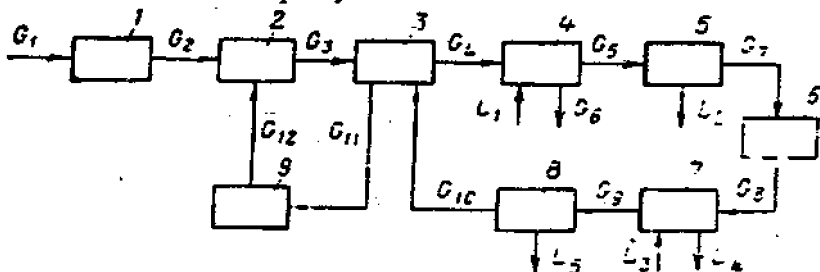
6.5-chizma. Ammiak sintezi funksional sxemasi.

### a. KTTning struktura sxemasi

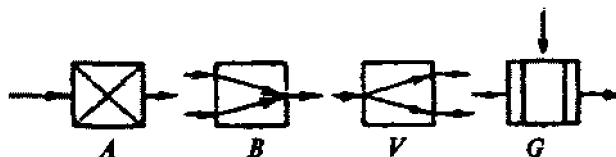
Barcha KTT elementlari kirish va chiqishga bo'lgan bloklar holdida aks ettiriladi. U alohida elementlar haqida axborotga ega bo'lmay, balki bloklar o'rtasida texnologik aloqalarni ko'rsatadi.

### b. Operator sxema

Bu sxema tizimning fizik-kimyoviy mazmunini ko'rsatadi. Buning uchun KTT elementlari namunaviy texnologik operatorlar ko'rinishida aks ettiriladi. Ular material va energetik oqimlar parametrlarini sifat va miqdoriy holda ko'rsatadi.



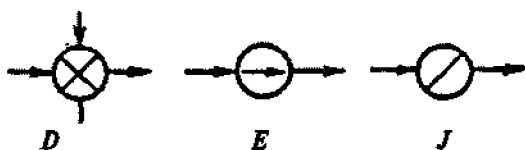
6.6-chizma. Ammiak sintezi struktura sxemasi: 1 — kompressor; 2 — injektor; 3 — issiq almashtirgich; 4 — suyuq ammiak bug'latgichi; 5, 8 — seperator; 6 — sintez kolonnasi; 7 — suvli sovitgich; 9 — sirkulyatsiya kompressori;  $S_1, S_2$  — gaz oqimlari;  $L_1 - L_5$  — suyuqlik oqimlari.



6.7-chizma. Asosiy operatorlar: a — kimyoviy o'zgarish; b — aralashish; v — ajralish (taqsimlanish); g — fazalararo massa almashish.

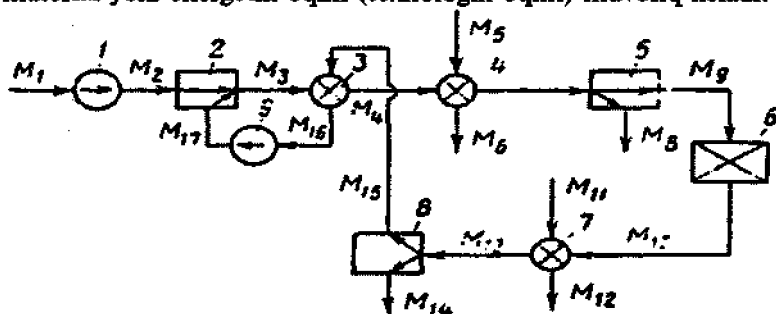
Texnologik operatorlar asosiy va qo'shimcha holatlarga bo'linadi. Asosiy operatorlar KTTni maqsadli yo'nalishda faoliyatini ta'minlaydi (6.7-chizma).

Qo'shimcha texnologik operatorlar esa sistemaning energetik va fazaviy o'zgarishi orqali uning samaradorligini oshirishga xizmat qiladi (6.8-chizma).



6.8-chizma. Qo'shimcha operatorlar: d – isitish yoki sovitish; ye – siqish yoki kengaytirish; j – modda agregat holatining o'zgarishi.

Texnologik operatorlarning o'zaro ta'sirlashishi ular o'rtasida texnologik aloqalar orqali bajariladi. Har bir texnologik aloqaga material yoki energetik oqim (texnologik oqim) muvofiq keladi.



6.9-chizma. Ammiak sintezi operator sxemasi: 1 – kompressor; 2 – injektor; 3 – sovitgich-kondensator; 4 – ammiakli sovitgich; 5, 8 – separatorlar kolonnasi (reaktor); 6 – ammiak sintezi; 7 – suvli sovitgich; 9 – sirkulyatsiya kompressori; M1 – M2 – texnologik oqimlar.v. Texnologik sxema

U jarayon haqida to'laroq sifat taassurotini beradi. Unda barcha elementlar shartli belgilar – ko'rinishlarda beriladi. Texnologik aloqalar esa texnologik oqimlarni ko'rsatadi va streklali chiziqlar bilan ifodalanadi.

Texnologik sxemadan KTTni aks ettirish uchun loyihalash bosqichida va ish (faoliyat) davrida foydalaniladi.

#### 6.4. KTTning matematik modeli

Matematik model jarayonning miqdoriy yozuvini ifoda qiladi. Barcha matematik modellar simbolik va ikonografikka bo'linadi.



Simvolik model (boshqachasiga tahlil) – bu matematik nisbatlarning mujassamligi bo‘lib, sistemaga kiruvchi texnologik oqimlar ( $\bar{X}$ ), atrof-muhit parametrlari ( $\bar{V}$ ), texnologik ( $\bar{D}$ ) va elementlarning tuzilishi (konstruktiv) parametri ( $\bar{K}$ ) omillariga bog‘liq ravishda sistemadan chiqayotgan texnologik oqimlarning fizik parametrlari holatini aniqlashga imkon beradi.

KTTning alohida elementi uchun bu nisbatlar quyidagicha ifodalanishini avval (4.1) ko‘rgandik:

$$\bar{V} = f(\bar{X}, \bar{V}, \bar{D}, \bar{K})$$

KTT matematik modeli elementlar modeli yig‘indisidan iborat. Bundan tashqari, elementlar o‘rtasidagi aloqalar tenglamalarini ham o‘z ichiga oladi:  $Y_i = \bar{X} \eta$ , bunda «k» va «n» bir texnologik oqimda bog‘langan elementlar ragamlari.

Ishlab chigarishda qaysidir bir texnologik parametr bo‘yicha cheklanish bo‘ladi va u matematik modelda hisobga olinadi:

$$H_i(\bar{X}_i, \bar{Y}_i, \bar{D}_i, \bar{K}_i) \geq 0 \quad (6.12)$$

bunda,  $H$  – KTT elementlari va oqimi holatlari texnologik cheklanish funksiyasi vektori.

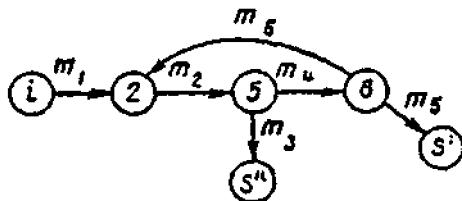
Ikonografik matematik model – KTT faoliyati matematik modelning grafik ko‘rinishi bo‘lib, sistema miqdoriy xarakteristikasini aniqlaydigan sifat xossalarini ifodalaydi yoki parametrlar va o‘zgaruvchilar funksional matematik nisbatlarini (simvolik modelga kiruvchi) yoki simvolik matematik model tenglamalari va axborot o‘zgaruvchilari o‘rtasidagi mantiqiy funksional aloqalarni ifodalaydi.

Matematik ikonografik model uch guruhga bo‘linadi: topologik model (grafalar), struktura blok-sxemalar va tarmoq modellar:

a) *topologik modellar grafalar* ko‘rinishida bo‘ladi, ya‘ni bir necha nuqtalar (cho‘qqi yoki tugunlar) dan tashkil topgan figuralar.

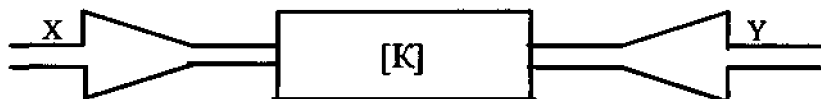
Bu nuqtalarning ba‘zilari to‘g‘risiniq yoki egri chiziqlar kesimlari bilan tutashtirilishi mumkin. Agar bu chiziqlar yo‘nalishqa ega bo‘lsa yoy deb, ega bo‘lmasa qobirg‘alar deb ataladi. Ko‘p hollarda grafa cho‘qqilari elementlar, boshqalari esa elementlar o‘rtasidagi aloqalarni ko‘rsatadi.

Operatorlar 1, 2, 4, 6, 7 va 9 larda massa sarfi o'zgarmaydi (6.9-chizmada), shuning uchun grafada ular cho'qqilari ko'rsatilmaydi. Biroq modda manbalari (i) qa muvofiq moddalar oqimi ( $S^I$  va  $S^{II}$ ) grafada to'ldiriladi (6.10-chizma).



6.10-chizma. KTT (ammiak sintezi) umumiy sarfi bo'yicha material oqimlar grafasi: i – xom ashyo manbai; 2, 5, 8 – operator sxemadagi (6.9-rasmdagi) operatorlar raqamlariga mos cho'qqilar raqami;  $S^I$  va  $S^{II}$  – moddalar oqimlari;  $m_1$ -  $m_6$  – moddalar umumiy sarfida massalar oqimlari.

b) *struktura blok sxemasi* – bu ikonografik simvolik model bo'lib, simvolik matematik modelga muvofiq keladi. Bunday sxemada har bir texnologik operator quyidagi ko'rinishda ifodalaniadi (6.11-chizma):



6.11-chizma. Struktura sxema bloki va — kiruvchi va chiquvchi oqimlar holat parametrlari vektori.

$[K]$  — uzatish koeffitsiyentlari to'plami (matritsa ko'rinishida bo'ladi).

Har bir blok texnologik operator matematik modelini ifoda etadi va shu blok uchun kiruvchi parametrlar vektorini chiquvchi parametrlar vektori bilan bog'laydi.

KTTning blok sxemasi alohida bloklar yig'indisi bo'lib, bloklaro aloqa (bog'langan) esa tizim texnologik oqimlariga muvofiq parametrlar holati vektorlari bilan amalga oshiriladi.

v) *tarmoq model* – bu ikonografik model bo'lib, KTTni loyihalash jarayonini tashkil etish, uni ishlatish va boshqarishni ifodalaydi.

### *a. KTT ni tahlili, sintezi va optimallashtirish vazifalari*

Bu kimyo korxonasini tashkil etishda ikkinchi darajadagi vazifalar bo'lib, o'zaro chambarchas bog'langan kompleks holda echiladi.

KTT ko'p o'lchamli bo'lgani uchun uslubiy va hisoblash xarakteri bo'yicha katta qiyinchilik tug'diradi.

KTT faoliyatini tahlil qilishda ma'lum texnologik topologiya bo'yicha elementlarning matematik modelini to'la hisoblashga to'g'ri keladi.

Hatto EHM uchun ham murakkab KTTning to'la modelini oddiy hisobi ham katta qiyinchiliklar bilan bog'liq va ko'p vaqt talab qiladi. Texnologik topologiyani alternativ variantlarini solishtirishda matematik modellar ko'p o'lchamli tizimlarini optimal algoritmlar hisoblarini EHMda ishlab chiqish birinchi darajadagi vazifa hisoblanadi. Hisoblashlarni optimal tashkil qilish, ayniqsa, KTT sintezi va optimallashtirish bosqichlarida optimal strategiyani tanlash juda muhimdir.

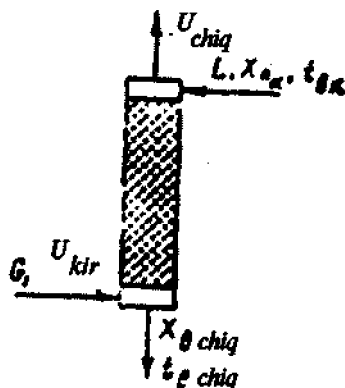
Optimal strategiyani ishlab chiqishni yengillatish uchun topologik modeldan foydalaniladi. KTTni tahlil etishda har bir element matematik modeli matritsa shaklida ishlatiladi.

Agar simvolik matematik modelda oqimlarning kirish va chiqish parametrlar o'rtasidagi aloqa (bog'lanish) chiziqli tenglamalarda yozilsa, matritsa shaklida esa har bir  $i$  element modeli quyidagicha ifodalanadi:

$$[Y_{m1}^i] = [R_{mm}^i] \cdot [Y_{n1}^i], \quad (6.13)$$

bunda,  $m$ —chiquvchi parametrlar soni,  $n$  — kiruvchi parametrlar soni;  $-$ chiquvchi o'zgaruvchilar vektori;  $-$  kiruvchi o'zgaruvchilar vektori;  $-$  o'zgartirish matritsasi (operatsion matritsa).

O'zgartirish matritsasi elementlari kiruvchi va chiquvchi parametrlar orasidagi aloqa (bog'lanish)ni aks ettiradi. O'zgartirish matritsasi har bir kiruvchi o'zgaruvchilarni ko'rsatuvchi ustunlardan va chiquvchi parametrlarni ko'rsatuvchi chiziqlardan iborat. Bunday aloqalar (bog'lanishlar) turini tiklash (tuzish) matematik model tuzishdagi eksperimental tadqiqotlar natijalari asosida o'tkaziladi. Operatsion matritsa koeffitsiyentlari qiymatlari esa matematik model tenglamalarini yechish bilan olinadi.



6.12-chizma. To'ldirgichli absorbsiya kolonnasi.

6.12-chizmada gaz fazasidagi A komponenti V komponent bilan absorbsiyalash jarayoni ko'rsatilgan. Kiruvchi oqimlar  $Q$  — gazning massa sarfi,  $L$  — suyuqlik massa sarfi,  $t_{kir}$  — kiruvchi oqim harakati.  $X_{v,kir}$  — aktiv komponent V ning kiruvchi suyuqlik oqimidagi konsentratsiyasi,  $Y_{a,kir}$  — A komponentning kiruvchi gaz oqimidagi konsentratsiyasi,  $X_{v,chiq}$  — V komponentning chiquvchi oqimidagi konsentratsiyasi,  $Y_{a,chiq}$  — chiquvchi gaz oqimida A komponent konsentratsiyasi.

Agar jarayon tajriba yo'li bilan o'rganilgan bo'lsa va simvolik matematik modeli olingan bo'lsa, bunda bu model matritsa ko'rinishida quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{vmatrix} Y_{A\text{-chiq}} \\ X_{V\text{-chiq}} \\ t_{\text{chiq}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{16} \\ a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}, a_{25}, a_{26} \\ a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}, a_{35}, a_{36} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} G, \\ Y_{A\text{-kir}} \\ t_{v, kir} \end{vmatrix} \quad (6.14)$$

Chapda — kiruvchi o'zgaruvchilar vektor-ustunlari,

O'ngda — chiquvchi o'zgaruvchilar vektor-ustunlari (bir esa tenglamadagi erkin tashkil etuvchilarni hisoblash uchun kiritilgan), matritsa o'rtasida esa o'zgarishlar ko'rsatilgan.

Modelning bu shaklda ko'rinishi kiruvchi parametrlar ma'lum bo'lsa, chiquvchi parametrlarni hisoblash imkonini beradi.

Masalan, chiquvchi gaz oqimida A modda konsentratsiyasi:

$$Y_A, \text{ Chiq} = a_{11}Q, + a_{12}L, + a_{13}Y_A, \text{ kir}, + a_{14}XV_{\text{kir}}, + a_{15}t_{\text{kir}}, + a_{16} \quad (6.15)$$

Biror grafadagi axborot simvolik modeldagiday matritsa shaklida berilishi mumkin. Bu esa KTT tahlilida muhim ahamiyatga ega. Grafalar va matritsalar o'rtasidagi bunday bog'lanish KTTning matematik yozishda topologik usullarni amaliy tatbiq etishni engilashtiradi.

Grafalar uchun tuzilgan matritsalar asosida xohlagan grafa cho'qqilari boshqa cho'qqilar bilan bog'liqligini aniqlash, jarayonni miqdoriy tahlil qilish va KTTni optimal tahlil strategiyasini ishlab chiqish imkonini beradi. Bu esa KTT sintezi va optimallashtirishdagi masalalarni ochiqchda ham qo'l keladi.

Kimyoviy ishlab chiqarishni barpo etishda ilmiy asoslarni ishlab chiqish uchun KTTning bir necha sintezi prinsipi qo'llanadi:

1. Dekompozision prinsip — funksional dekompozisiya usulini matematik shakllash. Ishlab chiqiladigan tizimning murakkabligi tufayli loyihachi berilgan masalani bir necha funksional tizimgacha ketma-ket dekompozisiyalaydi, so'ngra bunday tizimchalar alohida apparatlar (elementlar) darajasigacha bo'linadi.

KTTning borliq masalalarini yechish bilan birga bir necha bosqichdagi masalalar yechiladi va ular uchun apparaturalar tashkil qilish texnologik echimlari qidiriladi. Tizimchalarning texnologik topologiyasi turli variantlaridan sintezlanayotgan KTTning samaradori tanlab olinadi.

2. KTT sintezi evristik prinsipi — bu evristik intuitiv usulni matematik shakllash. Bunda texnologik loyihalashda eng qulayroq variant intuitiv tanlab olinadi. Bu esa loyihachi mutaxassisdan juda katta bilim va amaliy tajriba talab qiladi.

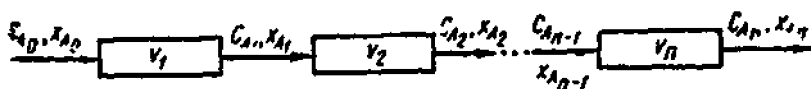
3. KTT sintezi integral-gipotetik prinsipi — sintezlanayotgan KTT gipotetik umumlashgan strukturasi tahlili va optimallashtirish ketma-ket ishlab chiqishdan iborat. Bu esa texnologik topologiya va apparatlarning barcha mumkin bo'lgan alternativ variantlarining funksional birligini ifodalaydi.

4. KTT sintezi evolyutsion prinsipi — KTT texnologik topologiyasining oddiy boshlang'ich variantini yaratishdan iborat bo'lib, masalani boshlang'ich erkin yechishdan iborat. So'ngra apparatlar modifikatsiyalanadi, texnologik bog'liqliklar strukturasi

tuzatishlar kiritiladi (korreksiyalanadi) va yangi variantning samarali ishlashi aniqlanadi. So'ng jarayon optimal samaradorlik kriteriyasiga erishilguncha qayta-qayta tekshiriladi.

### b. Texnologik aloqalar

KTTni sintezlash va optimallashtirish bosqichlarida ko'plab alternativ variantlarni tanlash mumkin. Shu sababli texnologik aloqalarning maqbul variantlarini ko'rib chiqishga to'g'ri keladi. Sxemaga jarayon elementlarini bog'lashning namunaviy sxemasini ajratib olish mumkin. Uzlusiz ishlab chiqarish usulida quyidagicha texnologik aloqalar namunaviy (tip) xillari mavjud: a) ketma-ket; b) parallel; v) qaytar (retsirkulyatsion); q) ketma-ket, aylanib o'tuvchi (baypas), kesishuvchi (chorraha) va boshqalar:



6.13-chizma. Reaktorlarni ketma-ket ulash (reaktorlar kaskadi).

a) Ketma-ket texnologik aloqa — bu reaktorlar kaskadi yoki ko'p tokchali (taretkali) reaktorlar bo'lishi mumkin.

6.13-chizmada  $S_{A0}$  — boshlang'ich reagent A konsentratsiyasi,  $S_{A1}, S_{A2}, \dots, S_{An}$  — har bir bosqichdan so'ng A konsentratsiyasi,  $V_1, V_2, \dots, V_n$  — kaskad bosqichlari hajmi,  $X_{A0}$  — boshlang'ich reagentning birinchi reaktorga kirishdagi o'tish (o'zgarish) darajasi,  $X_{A1}, X_{A2}, \dots, X_{An}$  — kaskad bosqichlaridan chiqishda A reagentning o'tish darajasi: Summar umumiy o'tish darajasi:

$$\Delta X_{A \text{ um.}} = \Delta X_{A1} + \Delta X_{A2} + \dots + \Delta X_{An} \quad (6.16)$$

bunda,  $\Delta X_{A1} = X_{A1} - X_{A0}$ ,  $\Delta X_{A2} = X_{A2} - X_{A1}$  va hakoza.

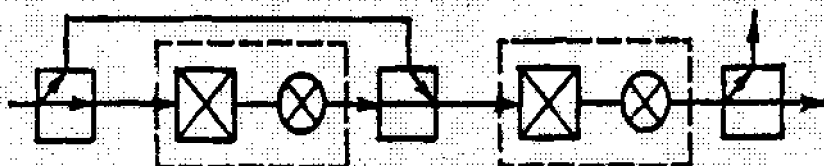
Masalan, har bir bosqichda o'tish darajasi bir xil, ya'ni  $X_A = 0,6$  bo'lsa, umumiy o'tish darajasi quyidagicha bo'ladi:

Bosqich raqami	1	2	3	4	5
O'sish	0,6	0,24	0,096	0,0384	0,0146
Umumiy:	0,6	0,84	0,936	0,974	0,989

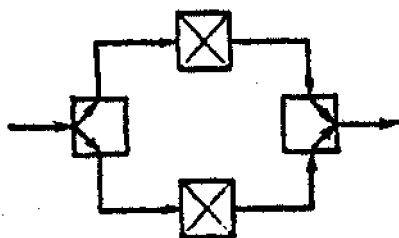
Agar ketma-ket ulangan reaktorlar hajmi o'zaro teng bo'lsa, ya'ni ularda reagentlarning ta'sirlashish vaqti teng bo'lsa; reaktorlar soni  $m$  quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$m = \tau V_d / v\gamma \quad (6.17)$$

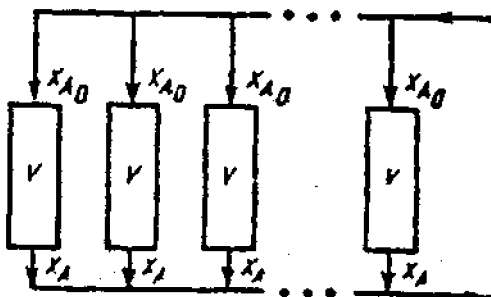
bunda,  $\gamma$  – zaxira koeffitsiyenti;  $V_d$  – aralashma hajmi;  $v$  – reaktor hajmi.



6.14-chizma. Ketma-ket aylanib o'tuvchi (baypas) texnologik aloqa.



6.15-chizma. Parallel texnologik aloqa.



6.16-chizma. Reaktorlarni parallel ulash.

b) Ketma-ket aylanib o'tuvchi (baypas) texnologik aloqa.

Bu reaktorlar kaskadi yoki bitta koptokehali (tarekka) reaktor bo'lishi mumkin. Xom ashyo ikki oqimga bo'linadi. Birinchi oqim bosqichlardan ketma-ket o'tadi, ikkinchi oqim bosqichlar o'rtasiga beriladi. Adiyabatik jarayonlarda bosqichlarda haroratni va muvozanatni ham optimal sharoitga muvofiqlashtirish imkoni yaratiladi (6.14-chizma).

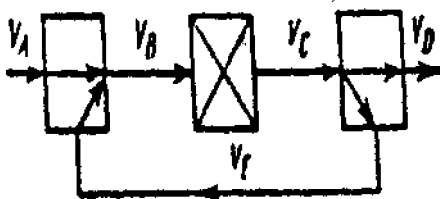
v) Parallel texnologik aloqa (6.15 va 6.16-chizmalar).

Alohida reaktorlarning quvvati va o'tish darajasi o'zgartirilmay KTTning quvvati va mahsuldorligini oshirish maqsadida parallel texnologik aloqa ishlatiladi. Agar barcha reaktor hajmi bir xil bo'lsa, ularda o'tish darajasi va aralashmaning bo'lish vaqti bir xil bo'ladi. Bunda reaktorlar soni (6.17) tenglama bilan aniqlanadi.

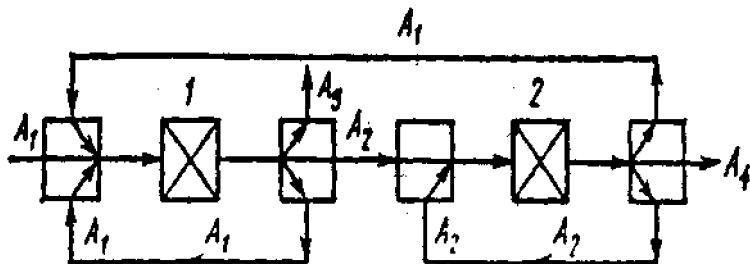
g) Qaytar texnologik (retsikl) aloqa (6.17 va 6.18-chizmalar).

Bunda KTTning biror elementidan chiqayotgan oqim ( $V_E$ ) o'zidan oldingi biror elementdagi kiruvchi oqimga ( $V_A$ ) borib qo'shiladi.

Murakkab retsiklda (6.18-chizma) mahsulotga aylanmagan va oraliq mahsulotlar jarayon boshiga qaytishi (mahsulot ajratib olin-gach) va bunday sikl sxemada bir necha bor qaytalanishi mumkin.



6.17-chizma. Qaytar texnologik aloqa (retsikl).



6.18-chizma. Murakkab retsikl



Bunday sxemalar, ayniqsa, qaytar jarayonlarda o'tish darajasini oshirish, to'g'ri reaksiya tezligini oshirish, maqsadli reagentdan to'la foydalanish imkonini beradi.

Retsikl selektivlikni oshirishga, reaksiya issiqligini kiruvchi reagentlarni isitishga va boshqalarga yordam beradi. Qaytar aloqalarni xarakterlashda retsurkulyatsiya nisbatlari koeffitsiyenti:

$$R = V_E / V_B = V_E / V_S \quad (6.18)$$

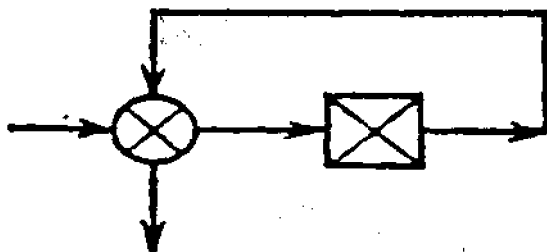
Hamda sirkulyatsiya koeffitsiyenti:

$$K_S = V_B / V_A = V_S / V_D \text{ ishlatiladi.} \quad (6.19)$$

bunda,  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_S$ ,  $V_D$ ,  $V_E$  — kiruvchi (A) modda massa sarfi, ichki (V, S), chiquvchi (D) va qaytar (E) texnologik oqimlar massa sarfi (miqdori).

Bu ikkala koeffitsiyent o'zaro bog'liq.

d) chorraha (kesishuvchi) texnologik aloqa (6.19-chizma).



6.19-chizma. Chorraha texnologik aloqa.

Bunday aloqalar KTTda energiyadan samarali foydalanish uchun, gazlarni absorblash yoki reaksiyaga kiruvchi xom ashyoni reaksiya mahsuloti bilan qizdirish maqsadida qo'llanadi.

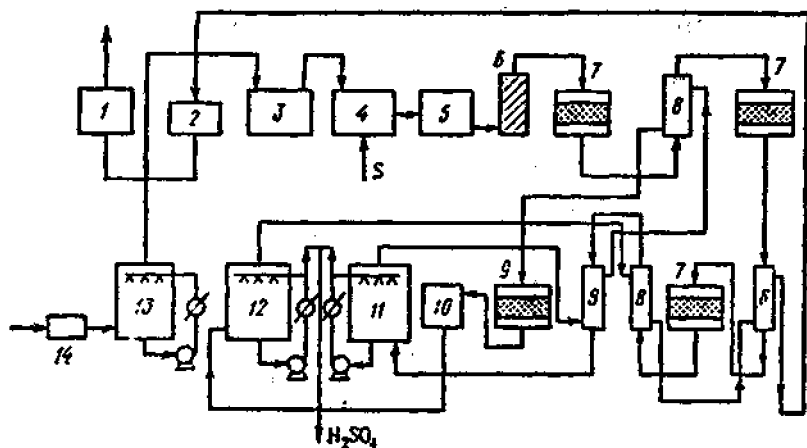
KTTda kombinatsiyalangan texnologik aloqalar ham bo'lishi mumkin.

### 6.5. Energotexnologik sxemalar

Kimyo, neftni qayta ishlash, neft-kimyo va shunga o'xshash sanoatlar ishlab chigarishining taraqqiy etishining asosiy yo'nalishi xom ashyodan va energiyadan, ya'ni energetexnologiyadan maksimal foydalanuvchi yirik quvvatga ega bo'lgan sistemalarni barpo qilishdan iborat.

Ularning afzallik tomonlari ekzotermik jarayonlar energiyasidan, bug' va boshqalardan umumli foydalanish, energiya va ishlab chiqarish balansini muvofiqlashtirishdan iborat.

Masalan, sulfat kislota ishlab chiqarishda issiqlik holatida ajralib chigadigan energiyaning umumiy miqdori ishlatiladigan xom ashyo turiga bog'liq ravishda 1 t kislotaga 5000 dan 8 000 MDj ni tashkil etadi. Hozirgi zamon komplekslarida sutkasiga 5000 t kislota ishlab chiqariladigan korxonada issiqlik oqimi 480000 kv (o'rtacha QES quvvati)qa etadi. Chiqayotgan issiqlik oqimi quvvatining 5%dan foydalanish sulfat kislota ishlab chiqarishga sarflangan energiyani to'la qoplaydi. Qolgan energiya esa tizimda yuqori potentsialli bug' olishga yoki elektr energiyaga transformatsiya qilishga ishlatilishi kerak.



6.20-chizma. Sul'fat kislota ishlab chiqarish energotexnologik tizimining sxemasi: 1,10 – ekonomayzerlar; 2 – gaz trubinasi; 3 – kompressor; 4 – oltingugurt kuydiruvchi qurilma; 5 – so'ndiruvchi – qozon; 6 – gaz fil'tri; 7, 9 – kontakt apparatlari; 8 – issiqalmashtirgich; 11, 12 – absorberlar; 13 – quritgich minora; 14 – hayo fil'tri.

6.20-chizmada sulfat kislota ishlab chiqarishning hozirgi zamon energotexnologik tizimining sxemasi ko'rsatilgan. Bunda 13 va 14 apparatlarda qurilgan va fil'trlangan havo kompressor (3) da 0.5 MPa bosimgacha siqiladi va oltingugurt kuydiriladigan qurilma (4) ga tushadi. Oltingugurt gazi 12% oltingugurt dioksid gaziga ega

va 1470 K haroratda so'ndirish qozoni (5) ga beriladi. U erda esa harorat 710 K va bosimi 4 MPa bo'lgan bug' hosil bo'ladi. Parning chiqishi 1 T kislota ga 750-1000 kg bo'ladi. Bu par issiqlik elektr asbabi (IES) elektr energiyasi olish uchun ishlatiladi va bug' trubinalari ishini ta'minlaydi. Trubinalar esa kompressor va nadelar ishini ta'minlaydi. Filtr (6) da tozalangan gaz ketma-ket kontaktlaning birinchi bosqichini tashkil etuvchi issiq almashtirgichli (8) uchta kontakt apparatlari (7) dan o'tadi.

Oltinugurt dioksidining oksidlanish darajasi bu bosqichdan o'tgach 95% ga etadi. O'rtalik absorbsiyani (11-apparatida) o'tgach, gaz aralashmasi issiq almashtirgichlarda qiziydi va kontaktlaning ikkinchi bosqichidagi reaktor (9) ga beriladi. Undan esa ekonomayzer (10) orqali absorber (12) ga tushadi. Oltinugurt dioksidining umumiy oksidlanish darajasi 99.85% ga yetadi.

Tizim tashqi elektr energiyasi manbasiga bog'liq emas. To'la avtonom ishlash jarayonida tizim 1t sulfat kislota ishlab chiqarishda qo'shimcha 700 kg bug' ishlab chiqaradi. Bunda olingan elektro-energiya va bug' qiymati xom ashyoni qayta ishlash uchun ketgan sarfni qoplab, oshib ham qoladi. Kimyoviy-texnologik jarayonlar sistemali tahlili uchun uning matematik modelini ishlab chiqish imkonini beradi.

### *Savol va topshiriqlar*

1. Kimyoviy texnologik sistema (KTT) nima?
2. KTT ierarxik strukturasi tushuntiring.
3. KTT ning texnologik sxemasini izohlang.
4. KTT modellarini tushuntiring.
5. Ammiak sintezi struktura sxemasini chizing.
6. KTT texnologik operatorlarini chizing.
7. Operator sxemasini chizing va tushuntiring.
8. Texnologik aloqalar nima?
9. Reaktorlarni ketma-ket ulash sxemasini chizing.
10. Baypas nima? Chizib ko'rsating.
11. Parallel texnologik alogani chizing va tushuntiring.
12. Reaktorlarni parallel ulang.
13. Teskari texnologik alogani chizing va tushuntiring.
14. Yonma-yon retsiklni chizing va tushuntiring.
15. Chorrazmatli texnologik alogani chizing va tushuntiring.
16. Energotexnologik sxema nima?

## VII BOB. KIMYOVIY TEKNOLOGIK TIZIMDA XOM ASHYO, SUV VA ENERGIYA

### 7.1. Xom ashyo va uni boyitish

Har bir sanoat korxonasiga o'xshash kimyo san'atida ham xom ashyo, suv va energiya masalalari ma'lum darajada muammo hisoblanadi. Ayniqsa, xom ashyo uzoq masofada va tanqis bo'lsa, suv ham shu kabi daryosiz er osti suvlari bo'lsa, energiya muammolari ham muhim ahamiyatga ega.

Avvalo xom ashyo muammolari haqida so'z yuritaylik.

Xom ashyo muammolari juda murakkab hisoblanadi. Ularni quyidagicha guruhga bo'lib ko'ramiz.

Avvalo ma'dan xom ashyolari, so'ng o'simlik va jonzot xom ashyolari, qolaversa havo va suv. Ma'danli xom ashyolar haqida qapirsak, ularni rudalar, tuproqlar va yonuvchi moddalar deb atash mumkin.

Rudalardan metallar, mineral kislotalar, ishqorlar va tuzlar olish mumkin. Masalan, temir kolchedani, mis sulfid va boshqalardan temir, mis va sulfat kislota yoki ularning tuzlarini olish mumkin.

Rudalardan esa nometall va qurilish materiallari olinadi. Masalan, oltingugurt, fosfor, xlor tutgan tuproqlar. Ulardan mineral o'g'itlar, tuzlar, ishqorlar, kislotalar, shisha, chinni, sement va boshqalar ishlab chiqarish mumkin.

Yonuvchi ma'danli xom ashyolar ko'mir, torf, neft, slanlar, tabiiy gaz va boshqalar bo'lib, ulardan turli, tuman organik-noorganik va polimer moddalar olish mumkin.

O'simlik va jonivorlar xom ashyosidan esa oziq-ovqat va texnik mahsulotlar olish mumkin.

O'simliklardan don, yog', tola va boshqa mahsulotlar olish mumkin. Masalan, bug'doydan un va em-xachak, sholidan guruch va em-xashak, paxtadan tola, yog', kunjara, cheluxa va boshqalar, ya'ni son-sanoqsiz xalq iste'mollari olish mumkin. Sabzavotlardan esa turli, tuman noz-ne'matlar ishlab chiqarish mumkin.

Havo va suv esa tabiat in'omi bo'lib, inson hayotining asosiy ozuqasi hamda sanoatda azot, kislorod va vodorod olish uchun eng cheksiz va tuqallanmas xom ashyodir.

Ular kimyoviy texnologik jarayonda muhim ahamiyatga ega bo'lgan tabiat xom ashyosi bo'lib xizmat qiladi.

### *Xom ashyo zaxiralari*

Xom ashyo zaxiralarini ikki guruhga bo'lish mumkin. Ular balansdagi va nobalansdagi zaxiralardir.

Balansdagi zaxiralar hozirda fan-texnika taraqqiyoti tufayli ishlab chiqarishga jalb qilingan xom ashyolar.

Nobalans zaxiralar hozirda fan-texnika taraqqiyoti tufayli ishlab chiqarishga jalb qilinmagan, ya'ni texnologik ishlab chiqarish natijasida etarli iqtisodiy samarasiz hisoblanadi. Ammo texnika taraqqiyoti natijasiga bu xom ashyodan foydalanish imkoniyatini yaratishi mumkin.

Tabiiy boyliklardan foydalanish asosan uni qayta ishlash texnologiyalarini ishlab chiqishga, mahalliy xom ashyolardan samarali foydalanishqa, qisqasi, iqtidorli olimlar machaqqatli mehnatlari tufayligina echimini topadigan muammolarga bog'liq.

O'zbekiston hududida kimyo sanoati uchun hadsiz xom ashyo zaxiralari mavjud. Bulardan neft, oltin, mis, kumush birikmalari, fosforit, kaolin, qips, ohaktoch, oltingugurt, marmar va boshqa er osti boyliklarini aytish mumkin. Ularni qayta ishlash uchun ham sanoat korxonalari xizmat qilib turibdi va yangidan-yanqi korxonalar vujudga kelmoqda.

Bu xom ashyolardan oqilona foydalanish respublika kuch-quvvatini mustahkamlash va el-yurt farovonligini oshirish demakdir.

Buning uchun esa kam chiqindili, iqtisodiy samarador va intensiv texnologiyalarni ishlab chiqish va amalda joriy etish muhim mohiyat kasb etadi. Chunki ishlab chiqariladigan mahsulot tan-narxining asosiy qismini xom ashyo qazib olish va qayta ishlash tashkil etadi.

Bunda asosiy mahsulot ishlab chiqarish bilan bir qatorda korxonada chiqindilaridan oqilona foydalanish va atrof-muhit himoyasi muhim o'rin tutadi.

Xom ashyoni boyitish uni qayta ishlash jarayonlarini yengil-latadi va ishlab chiqarish quvvatini oshiradi.

Xom ashyoni boyitish, ya'ni undagi foydali moddalar konsentratsiyasini (miqdorini) oshirish, avvalo korxonalariga tashish sarfini kamaytiradi. Bundan tashqari, kambag'al rudalardan foydalanish imkonini yaratadi, texnologik jarayonni intensivlaydi va mahsulot sifatini oshirishga olib keladi.

Boyitish usullari turlicha bo'lib, ular xom ashyoning fizik va kimyoviy xossalari, ya'ni qattiqligi, eruvchanligi, erish harorati va boshqalarga bog'liq bo'ladi.

Boyitish usullari quyidagicha bo'lishi mumkin:

*Saralash usuli.* Bu usul xom ashyodagi turli xil moddalarning qattiqligiga asoslangan bo'lib, maydalash (yanchish) paytida ayrim moddalar maydalanib, ayrimlari yirik holatda qoladi. Natijada ularni elaklardan o'tkazilganda foydali moddalar elakda qolishi yoki aksincha, undan o'tishi mumkin.

*Qravitatsion ajratish.* Bu usul zarrachalarning suvda cho'kishi yoki havo yordamida ajratilishiga asoslangan. Agar suv yordamida ajratilsa namli qravitatsion boyitish, havo (gaz) yordamida ajratilsa quruq qravitatsion boyitish deyiladi.

Masalan, namli boyitishda xom ashyo maydalanadi, suvda bo'tqa hosil qilinadi, cho'ktirish kameralarida (to'rtburchakli konuslar holida seksiyalardan iborat bo'lib, uzunligi bo'yicha kengayib boradi) qattiq moddalar cho'ktiriladi. Demak, birinchi kamerada og'irrog'i, ikkinchisida undan engilrog'i, uchinchisida esa engil qismi cho'kadi. Chunki tezlik kirishdan chiqishgacha pasayib boradi.

Xom ashyoni qancha fraksiyagacha ajratish kerak bo'lsa kameralar soni shuncha bo'ladi. Bu kameralarni klassifikator — sinfluvchi deb ataydi.

Quruq boyitishda esa maydalangan material aylanayotgan diskka tushadi. Og'irlari uzoqroq, engillari esa yaqinroqqa tushadi. Bu apparatlar seperator deyiladi.

Magnitli seperatorlarda esa magnitga tortiluvchi materiallar ajratib olinadi. Ular elektromagnit seperatorlarda ajratiladi.

*Boyitishning flatatsiali usuli.* Bu usul moddalarning gidrofob va gidrofil xossalari asosiga bog'liq ishlaydi.

Gidrofob moddalar namlanishga moyil emasligidan suv yuzasida, gidrofil moddalar esa cho'kishga moyil bo'ladi. Natijada turli xossalari moddalarni ajratib olish mumkin. Bu usul turli xil bichimdagil qurilmalarda bajariladi.

Bu usulda zarrachalarni cho'ktiruvchi, ya'ni flotoreagent deb ataluvchi moddalar ham ishlatiladi.

... **Buyuq xom ashyolarni bug'latish yo'li bilan foydali fraksiyasi konsentratatsiya oshiriladi.** Masalan, eritmalarning suvi bug'latilib, tuzlar, lehqorlar va konsentrlangan kislota va boshqalar olinadi. **Ayrim hollarda muzlatish usullari ham qo'llaniladi.**

**Qaz holidagi moddalardan foydalisini ajratish uchun ularni sovutish va siqish yo'li bilan suyultiriladi.** Bu usul gazlarning suyulish haroratiga asoslangan. Bunda suyultirib asta bug'latib ajratib olish ham mumkin. Ba'zi hollarda gazlarni suyuqlikka yutqazib (absorbatsiya) yoki qattiq moddalarga yutqazib (adsorbatsiya), so'ngra ulardan bug'latish yo'li bilan ajratib olinadi.

## 7.2. Sanoatda suv

**Suvni iste'mol qilish sohalariga qarab ichimlik, ichimlik ma'danli, shifobaxsh va sanoat suvlariga sinflash mumkin.** Ular ma'lum standartlarga javob berishi kerak.

Ichimlik suvlari va boshqalar loyqa (qattiq qoldiq)dan va bakteriyalardan ma'lum usullar yordamida tozalanadi va talab darajasida ta'm, rang va hidga javob berishi kerak.

Sanoat suvlari ishlab chiqarish turlariga muvofiq ravishda qo'shimchalardan xoli bo'lishi kerak. Bug' qozonlarida ishlatiladigan suv korroziyaga sabab bo'ladigan uglerod oksidlari va kisloroddan holi bo'lishi va quruq qoldiq 0,2-0,3 mg/l dan oshmasligi kerak. Tuzlar esa bug' qozonlari quvurlari ichki yuzasiga o'rmashib qolib, issiq almashish darajasini pasaytiradi hamda ishdan tez chiqaradi.

Suvning sifatiga bo'lgan talablar qattiqligi, tuzlar miqdori, tiniqligi, oksidlanishi va muhiti (kislotali yoki ishqoriyligi) bilan belgilanadi.

Suvning qattiqligi uch xil belgilanadi: vaqtincha, doimiy va umumiy qattiqlik.

Vaqtincha qattiqlik suvdagi kalsiy va magniy bikarbonatlari miqdori bilan belgilanadi. Bu qattiqlikdan suvni qaynatish yo'li bilan xoli bo'linadi. Bikarbonatlar karbonatlarga aylanadi.

Suvning doimiy qattiqligi undagi xloridlar, sulfatlar va nitratlar bilan belgilanadi. Vaqtincha va doimiy qattiqlik umumiy qattiqlikni beradi va 1 litr suvdagi tuz holidagi kalsiy va magniy ionlarining milligramm-ekvivalentlari bilan o'lchanadi. Agar 1 litr suvda 1mg-

ekv ionlar, ya'ni 20,4 mg kalsiy yoki 12,16 mg magniy bo'lsa, uning qattiqligi 1 ga teng bo'ladi.

Qattiqlik bo'yicha suvlar (mg-ekv/l. larda) juda yumshoq (0-1,5), yumshoq (1,5-3), o'rtacha (3-6), qattiq (6-10) va juda qattiq (10 dan yuqori) sifatlarga bo'linadi.

Umumiy tuziligi, quruq qoldiq suvni bug'latish va 105-110°C da quritishda qolgan modda massasi bilan o'lchanadi. U 1 litr suvda milligrammlarda (mg/l) o'lchanadi.

Suvning tiniqligini silindrga quyib suv balandligi orqali silindr ostidagi shriftni o'qish yordamida aniqlanadi.

Suvning oksidlanishi 1 litr suvga kaliy permanganat qo'shib, qizdirish yordamida aniqlanadi.

Suv muhiti, ya'ni kislotali, neytral yoki ishqoriyligi vodorod ionlari konsentratsiyasi, ya'ni rN kattaligi bilan aniqlanadi. rN+6,5-7,5 neytral, rN<6,5 kislotali va rN>7,5 ishqoriy.

### *Suvni tozalash*

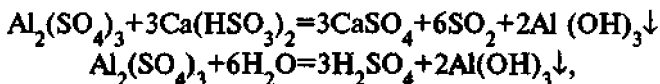
Suvda turli qo'shimchalar bo'ladi. Ular dag'al va kolloid zarrachalar, ya'ni turli silikatlar, gidratlangan kremniy kislotasi, kalsiy, magniy, natriy, kaliy va boshqalarning bikarbonatlari, sulfatlari, xloridlari va nitratlari hamda erigan gazlardan iborat.

Suvni tindirish, filtrlash, zararsizlantirish, yumshatish, degazatsiya va distillash yo'li bilan tozalanadi.

Dagal zarrachalardan (mexanik qo'shimchalardan) suvni tozalash uchun suv katta hajmdagi beton idishlarda tindiriladi va qumli filtrlardan o'tkaziladi.

Suvni kolloid zarrachalardan tozalash uchun tindirgichlardagi suvga koagulyantlar – alyuminiy sulfat yoki temir sulfat tuzlari qo'shiladi. Koagulyantlar suvda gidrolizlanadi. Natijada amorf holatdagi alyuminiy yoki temir gidroksidlari hosil bo'ladi. Ular kolloid zarrachalarni adsorblaydi va idish tagiga cho'ktiradi.

Reaksiyalar quyidagicha sodir bo'ladi:

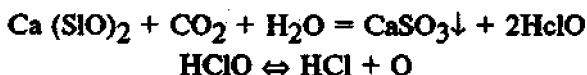


natijada zarrachalar cho'kishi bilan birga suvning vaqtincha qattiqligi ham yo'qoladi.



Suvni zararsizlashda xlorlash, ozonlash va qaynatish yo'li bilan undagi mikroorganizm va bakteriyalar yo'qotiladi.

Suvni xlorlash uchun xlor, kalsiy gipoxlorit va boshqalar ishlatiladi. Suvni kalsiy gipoxlorid bilan tozalashda quyidagi reaksiya sodir bo'ladi:



Atom holidagi kislorod kuchli oksidlash xususiyatiga ega bo'lib, mikroorganizmlarni o'ldiradi va organik qo'shimchalarni oksidlaydi.

Ozon bilan zararsizlashda ham ozon parchalanib atom holida kislorod hosil bo'ladi.

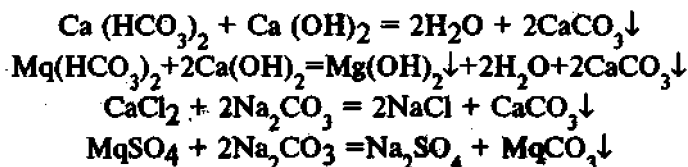
Suv kumush ionlari, ultrabinafcha nurlar va ultratovush to'lqinlari yordamida ham zararsizlanadi.

Suvni kalsiy va magniy tuzlaridan qisman yoki to'la tozalash uni yumshatish deyiladi. Agar suvni kation va anionlardan, ya'ni barcha tuzlardan tozalansa, tuzsizlash deyiladi. Yumshatish fizik, kimyoviy va fizik-kimyoviy usullarga turlanadi.

Fizik usul — suvga termik ta'sir etish, qaynatish, distillyasiya va muzlatish yo'li bilan bajariladi.

Kimyoviy usulga asosan ohak-sodali va fosfatli usullar kiradi.

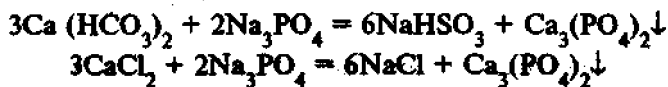
Ohak-sodali usulda suv avval ohakli suv bilan, so'ngra soda yordamida yumshatiladi:



Bu usul bilan suv 0,3 mg/l gacha yumshatilishi mumkin.

Fosfat usulida esa suv 0,03 mg-ekv/l gacha yumshatilishi mumkin. Chunki kalsiy va magniy fosfatlari suvda juda kam eriydi.

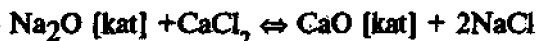
Bu usulda suvga natriy fosfat bilan ishlov beriladi:



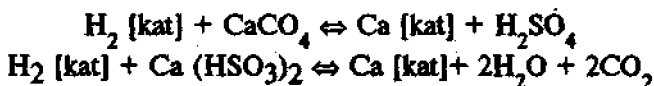
Bu usul qimmatroq bo'lgani uchun avval yuqoridagi usul bilan suv yumshatiladi, qolgan qo'shimchalar fosfat usulida cho'ktiriladi (zarur bo'lsa).

Fizik-kimyoviy usulda ko'pincha ion almashinish usuli qo'llaniladi.

Kationalmashinish usulida kation hoida  $\text{Na}_2\text{O}^* \text{Al}_2\text{O}_3^* 2\text{SiO}_2^* n\text{H}_2\text{O}$  alyumosilikati ishlatilsa jarayon quyidagicha kechadi:

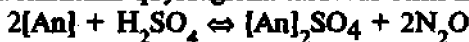


Vodorod kationi ishlatilganda:



Kationit to'yingach, uni natriy xlorid yoki kislotalar bilan regeneratsiya qilinadi.

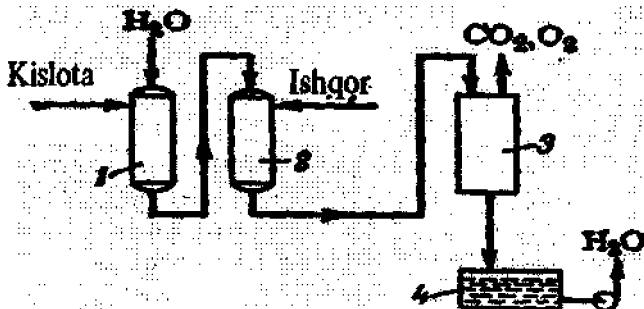
Anion almashinishni quyidagicha tasavvur etish mumkin:



Anionitni regeneratsiya qilish uchun ishqor bilan yuviladi:



7.1-chizmada ionalmashgich qurilmasi ko'rsatilgan.



7.1-chizma. Suvni tuzsizlash ionalmashgich qurilma sxemasi: 1 – N- kationitli fil'tr; 2 – anionitli fil'tr; 3 – degazator; 4 – tozalangan suv idishi.

N — kationit filtr I orqali o'tkazilgan suv kalsiy, magniy va boshqa kationlardan xoli bo'ladi. Anionit filtr 2 da esa anionitlardan xoli bo'ladi va degazator 3 da esa karbonat anqidrid va kisloroddan xoli bo'ladi. Toza suv 4-idishga tushadi va iste'mol uchun yuboriladi. Ionitlarni regeneratsiya qilish uchun esa 1- filtrqa kislota, 2-filtrqa ishqor yuboriladi.

Ionalmashgich usuli barcha usullardan qulay, arzon va suvni sifatli yumshatadi, ya'ni unda tuzlar 0,035-0,07 mg-ekv/l. gacha qoladi

Suvni gazsizlash — suvda erigan gazlar bo'ladi. Ular karbonat anqidrid va kisloroddir. Suvni bu gazlardan xoli qilish uchun fizik va kimyoviy usullar qo'llaniladi.

Karbonat anqidridni cho'ktirish uchun so'ndirilgan ohak ishlatiladi va karbonat kalsiy holida cho'ktiriladi. Kislorodni cho'ktirish uchun temir qirindilari solinadi va temir oksidi holida cho'ktiriladi.

Fizik usulda esa suv vakuumda qizdiriladi.

Agar suvni tuzlardan holi qilish kerak bo'lsa, u distillanadi. Qisqasi, mahsulot tannarxining 5-15% i suv tayyorlash va uni texnologiyada qayta ishlashga sarf bo'ladi.

### 7.3. Sanoatda energiya

Kimyo sanoati korxonalarida kimyoviy jarayonlar energiya yutish yoki chiqarish bilan sodir bo'ladi. Energiya talab qiluvchi harakatlantiruvchi mexanizmlar uchun ma'lum darajada tashqi energiya sarf bo'ladi. Ayrim texnologiyalarda kimyoviy energiyadan (ekzotermik jarayonlarda) foydalaniladi. Bunda jarayonning foydali ish koeffitsiyenti oshadi.

*Energiya manbalari* — kimyo sanoati eng ko'p energiya talab qiladigan soha. Elektr va issiqlik energiyasi mahsulot tannarxining 10 — 15% ini tashkil qiladi.

Korxonaga uchun energiya turli jabhalardan, masalan, issiqlik energiya markazlari bug' va issiq suv, elektr energiyasini gidroelektr va atomelektr stansiyalari beradi.

Energiyaning asosiy qismini, ya'ni 90% ini issiqlik energiyasi (ko'mir, torf, tabiiy gaz, mazut, yonuvchi slanets va boshqalarni yog'ich orqali), 10% ini elektrostansiyalar ta'min etadi.

Sanoat korxonasi joylashish muhitiga mos ravishda iqtisodiy samarador energiyadan foydalaniladi.

Energiyadan samarali foydalanish korxonaning texnik-iqtisodiy samaradorligiga sezilarli ta'sir etadi. Buni energiyadan samarali foydalanish koeffitsiyenti belgilaydi. U quyidagicha aniqlanadi:

$$h_0 + W_H/W_a * 100\%, \quad (7.1)$$

bunda,  $W_n$  – nazariy energiya talabi,  $W_a$  – amaliy energiya talabi.

Shuning uchun  $n_0$  ni oshirishga harakat qilinadi, chunki energiyadan samarali foydalanish talab qilinadi.

Ko'pincha korxonalarda issiqlik energiyasidan foydalaniladi va u issiqlik energiyasi foydali koeffitsiyenti  $n_s$  bilan belgilanadi:

$$h_{is} + Q_n/Q_a * 100\%, \quad (7.2)$$

bunda,  $Q_n$  -- reaksiya ketishi uchun issiqlikning nazariy miqdori,  $Q_a$  esa amaliy miqdori.

Shuning uchun kimyoviy jarayonlarda erish va reaksiya issiqliklaridan foydalanish katta ahamiyatga ega. Reaksiya issiqligidan foydalanish apparatlari regeneratoz, rekuperatoz va isitkich almashtirgichlar deb ataladi.

#### 7.4. Qattiq, suyaq va gaz holdagi chiqindilarni zararsizlantirish

Kimyo sanoati zaruriy sanoat va iste'mol mollari ishlab chiqarish bilan bir qatorda atrof-muhit – havo suv va tuproqni zararli moddalar bilan ifloslashi mumkin. Ammo yana ana shunday zararli chiqindilarni qayta ishlash va zararsizlantirish ham kimyoviy texnologiya zimmasiga tushadi. Tirik organizmlar mavjud bo'lgan erning qobig'i – litosfera, havo – atmosfera, suv esa – gidrosfera deb ataladi va tirik mavjudot yashaydigan bu uch muhit biosfera deb ataladi.

Stratosferada esa qisqa to'liqinli ultrabinafsha quyosh nurlari energiyasi ishtirokida kislorod ozonga aylanadi, uzun to'liqinli ultrabinafsha nurlar esa ozonni parchalaydi. Demak, ultrabinafsha nurlarning asosiy qismi ana shu to'g'ri va teskari  $3O_2 \leftrightarrow 2O_3$ , ya'ni qaytar jarayonga sarf bo'lib, erdagi barcha tirik jonzot tining kuchli yemiruvchi (parchalovchi) ta'siridan saqlanib qoladi. Azot oksidlari va galogenlar stratosferadagi ozon qatlamining parchalanishiga sabab bo'ladi. Shuning uchun sanoat korxonalarida bunday gazlar chiqib ketishining doimo oldini olish zarur.

Atmosfera ko'mir, mazut yonishida, metallurgiya sanoati, sulfat kislota sanoatlari va boshqa oltinugurt bilan ishlaydigan korxonalarining gaz chiqindilari tarkibida bo'ladigan oltinugurt oksidi bilan bug'lanadi.

Azot o'g'itlari zavodi chiqindi gazlarida va ming gradus haroratdan yuqori texnologik jarayonlarda, masalan, elektropechlarda

(harorat 3000°C ga yaqin), metallurgiya pechlarida (harorat 1600°C) va boshqa korxonalarda atmosfera azotining oksidlanishi natijasida azot oksidlari hosil bo'lib atmosferani bulg'aydi.

Har qanday yoqilg'i yonishi jarayonida atmosferaga is gazi, karbonat anhidrid va kanserogen ta'sir etuvchi aromatik uglevodorodlari ajralib chiqadi. 80% dan ortiq karbonat anhidridi suvda erib, suv o'tlari hayotida, fitoplanktonlar hayotida fotosintez jarayonida qatnashadi, faqatgina 10% atrofidagi miqdori quruqlikdagi o'simliklar tomonidan o'zlashtiriladi.

Suv basseynlarining neft va boshqa uglerod birikmalari bilan ifloslanishi fotosintez jarayoniga xalaqat beradi, tirik organizmlarni zaharlaydi va kislorod bilan oksidlanib suv o'tlari va jonzoatlarni kislorod tanqisligiga olib keladi.

Suv rangli metallurgiya va kimyo korxonalarining chiqindilari: eng zararli shlab, qo'rg'oshin, mis, rux, xrom, kadmiy, oltingugurt birikmalari va organik moddalar bilan zararlantiradi. Qishloq xo'jaligida ishlatiladigan zaharli moddalar ham havo va tuproqni bulg'aydi va oqin suvlarga tushadi. Qishloq xo'jaligida ishlatilayotgan suvda yaxshi eruvchan mineral o'g'itlar yuvilib, oqin suvlarga tushib, suv o'tlarni rivojlantiradi, ammo baliq va boshqa tirik mavjudotlarga salbiy ta'sir qiladi.

Tuproq esa ko'pgina korxonalarining qattiq chiqindilari (shlam, shlak, kuyindi va boshqalar) bilan ifloslanadi. Ular tarkibidagi ayrim zararli moddalar yomg'ir suvlarida erib tuproqni zararlab, yer osti suvlariga o'tishi mumkin.

Sanoat ishlab chiqarishining o'sishi tempi (darajasi) ishlab chiqarish hajmiga, ya'ni vaqt birligidagi ishlab chiqarish tezligiga proporsionaldir:

$$U = \frac{d\pi}{d\tau} = K_1 \pi \quad (7.3)$$

$U$  — ishlab chiqarish o'sish tezligi,  $\tau$  — vaqt,  $\pi$  — sanoat ishlab chiqarishining o'sish tempi,  $K_1$  — o'sish koeffitsiyenti.

Demak, ishlab chiqarish eksponent bo'yicha o'sadi:

$$\pi = a_1 e^{k_1 \tau} \quad (7.4)$$

Agar ishlab chiqarish mavjud texnologiya bo'yicha o'ssa, zararli chiqindilar  $F$  ham shu qonuniyat bilan o'sadi:

$$\Phi = a_2 \pi = a_3 e^{k_1 \tau} \quad (7.5)$$

$a_1, a_2, a_3$  - lar koeffitsiyentlar.

Demak, tempning oshishi bilan zararli chiqindi moddalarni ma'lum doimiy bir darajada tutib turish uchun  $a, e^k \pi$  marta ozroq chiqindi chiqaradigan yangi ishlab chiqarish usuliga o'tmoq kerak. Bunda agar sanoat ishlab chiqarishi ikki barobar oshsa (10 - 15 yil ichida), chiqindi miqdori ham 2 barobar kamaytirilishi talab etiladi.

Chiqindi miqdorini 2 barobar kamaytirish uchun tozalash inshootlari hajmini 2 barobar orttirish zarurati tug'iladi. Bu esa kapital mablag'lar sarfini oshiradi. Shuning uchun mahsulot ishlab chiqarishning yangi samarador texnologiyalarini yaratish zarur. Ayniqsa, yopiq chiqindisiz texnologiyalar yaratish, qattiq va suyuq yog'ilqilar o'rniga vodorod, metanol, gaz holatlaridagi yoqilg'ilar ishlatish, ya'ni qattiq yoqilg'ilarni yer ostida gazlashtirish, metall va tuz birikmalarini yer ostida eritmalar bilan ishlash muammolarini yechish zarur. Ayniqsa, chiqindi gaz va oqova suvlarni samarador tozalash usullari va apparatlari (qurilmalari)ni yaratmoq zarur.

Hozirgi zamon fan-texnika taraqqiyoti, ishlab chiqarish tarmoqlarining kengayganligi va tabiiy resurslardan haddan ziyod foydalanish jarayonida resurslardan unumli foydalanish va atrof-muhit tabiiy muvozanatini saqlash masalasi eng muhim muammolardan iborat.

Tabiatni muhofaza qilish va resurslardan unumli va oqilona foydalanish xalqaro miqyosda nufuzli tashkilotlar tomonidan qabul qilingan qarorlar va ko'rsatmalar bilan tartibga solinadi.

Atrof-muhitning bulg'anishi keng miqyosda bo'lgani sababli uni bartaraf etish lokal holidan global muammo holiga aylangan.

*Biosferaning bulg'anish sinflari.* Biosfera bulg'anishida sanoat ishlab chiqarishlari o'zni ikki asosiy guruhdan iborat: material va energetik bulg'anishlar.

Material bulg'anishlar: mexanik, kimyoviy, va biologik bo'ladi.

Mexanik bulg'anishlarga aerozollar, suv va tuproqqa tushayotgan qattiq moddalar kiradi.

Kimyoviy bulg'anishlarga biosfera bilan ta'sirlashadigan gaz, suyuq va qattiq moddalar kiradi.

Biologik bulg'anishlarga mikroorganizmlar va ular mahsulotlari hayotiy faoliyati kiradi.

*Chiqindilar sinflari.* Chiqindilar sinflari sanoat sohalari, chiqindilarning agregat holati, toksikligi, qayta ishlash mumkinligi va boshqalarga asoslanadi.

Chiqindilar ishlab chiqarish faoliyati va iste'mol qilish jarayonlarida vujudga keladi. Shu tufayli ular ishlab chiqarish va iste'mol qilish chiqindilariga bo'linadi (7.1-jadval).

Ishlab chiqarish chiqindilari – xom ashyo qoldiqlari, mahsulot tayyorlashda hosil bo'lgan material va yarimfabrikatlari. Ular to'la yoki qisman iste'mol xossalarini yo'qotgan hamda ishlab chiqarishning asosiy mahsuloti bo'lmay, xom ashyoga fizik-kimyoviy yoki mexanik ishlov berishda hosil bo'lgan va qayta ishlash jarayonida xalq xo'jaligi uchun foydali mahsulot olinishi mumkin bo'lgan mahsulotlardir.

Iste'mol chiqindilari biror sababga ko'ra foydalanishga yaroqsiz bo'lib qolgan materiallar, komplektlovchi detallar, jihozlar va boshqalar. Ular sanoat va uy-ro'zg'or chiqindilaridan iborat.

Xalq xo'jaligida qo'llashga yaroqsiz yoki iqtisodiy foydasiz sanoat va iste'mol chiqindilari tachlandiq deyiladi.

Sanoat zaharli chiqindilarini ta'riflash uchun ruxsat etilgan me'yor konsentratsiyasi (REMK) ko'rsatkichlari (qiymatlari) dan foydalaniladi.

REMK ( $\text{mg}/\text{m}^3$  da) – bu sakkiz soatlik ish kunida butun ish staji davomida organizmda salbiy o'zgarishga sabab bo'lmaydigan modda miqdori konsentratsiyasidir (7.1-jadval).

REMK darajasiga erishilmay qolgan hollarda gaz tozalovchi qurilmalarda zararli moddalarda ko'p martalab ko'proq havo bilan aralashiriladi va baland quvurlar orqali havoning yuqori qatlamiga tarqatiladi yoki (yonsa) yondirib yuboriladi. Bu hollarda ruxsat etilgan me'yordagi chiqindi (REMch) tushunchasi (atamasi) ishlatiladi.

7.1 jadval

**Havoni bulg'aydigan ayrim moddalarning ruxsat etilgan me'yor konsentratsiyasi (REMK)**

	Komponentlar	REMK, $\text{mg}/\text{m}^3$		
		Maksimal bir marta	O'rtacha kunlik	Ishlab chiqarish ichida
1.	Ammiak	0,2	0,2	20,0
2.	Atsetaldegid	0,1	0,1	5,0
3.	Atseton	0,35	0,35	200
4.	Benzol	1,5	0,8	5,0
5.	Geksaxloran	0,03	0,03	0,1

6.	Metanol	1,0	0,5	5,0
7.	Uglerod oksidi	3,0	1,0	20,0
8.	Azot oksidlari ( $\text{N}_2\text{O}_5$ ga qayta birovlangan)	0,085	0,085	5,0
9.	Buru (bug'li)	0,0003	0,0003	0,01
10.	Sterovodorod	0,008	0,008	10,0
11.	Serovodorod	0,03	0,005	10,0
12.	Oltinugurt dioksidi	0,03	0,005	10,0
13.	Fenol	0,01	0,01	50,0
14.	Formaldegid	0,035	0,0012	0,15
15.	Vodorod florid	0,05	0,005	0,5
16.	Vodorod xlorid	0,2	0,2	50,0

### a. Atmosferaning bulg'anish manbalari

Sanoat ishlab chiqarish taraqqiy etishi bilan shaharlar havosi bulg'ana boshladi.

Atmosfera bulg'anishi evolyusiyasi Grenlandiya va Antarktida qit'a muzliklari qatlamlarida aniq ko'rinadi.

Muz qatlamlaridagi qo'rg'oshin, oltinugurt va ruxning miqdori 1200–1900 yillarda o'zgarmas bo'lib, 1976 yildagiga nisbatan 1/3 qismini tashkil etadi. Muzlar yuqori qatlamlarida ko'mir yoqishdan hosil bo'lgan elektrostansiyalar kuli aniqlangan. Chuqurroq qatlamlarda kul topilmagan. Atmosfera bulg'anishi sun'iy va tabiiy bo'lishi mumkin.

a) Tabiiy bulg'anish — changli bo'ronlar, vulqon harakati, o'rmon yong'inlari sababli bo'ladi. Dunyo okeani ham atmosferani bulg'ash manbai bo'ladi. Sochiladigan mayda tomchilar bug'lanib, havoda kaliy, magniy, natriy va kaliy kristallari zarralarini qoldiradi. Vulqon ofilishi natijasida katta miqdorda kul va  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  va boshqa gaz holida va qattiq moddalar ( $\text{ClO}_2$ ) atmosferaga o'tadi. Bundan tashqari, er yuziga kuniga 1000 t. atrofida kosmik chanqlar kelib tushadi.

b) Sun'iy bulg'anish — atmosferaga eng ko'p zararli moddalarni issiqlik elektrostansiyalari, metallurgiya korxonalari, kislota va ish-qor, mineral o'g'it, zaharli kimyoviy moddalar, sement, soda, ammiak, sun'iy tolalar, bo'yog', rezina mahsulotlari, organik eritmalar va boshqalar ishlab chiqarish korxonalari ajratib chiqaradi.



Ya'ni 1 tonna po'lat quyishda atmosferaga 30 kg gacha oltin-gugurt gazi chigariladi. Issiqlik elektrostansiyalarida 1 mln kv/soat elektroenergiya ishlab chiqarishda atmosferaga 15 tonna oltin-gugurt gazlari chiqariladi. 1000 tonna sulfat kislotasi ishlab chiqarishda at-mosferaga 20 tonna oltin-gugurt gazlari chiqariladi va hokazo.

Hozirda jahon miqyosida bir yilda atmosferaga yonish mahsu-lotlari (chiqindilari) sifatida 100 mln t qattiq moddalar, 150 mln t oltin-gugurt dioksidi, 300 mln t gacha uglerod oksidi va 50 mln t dan ortiq azot oksidlari chiqarib yuboriladi.

Avtomobil transportlari ham atmosferaning bulg'anishida asosiy manbalardan biri hisoblanadi. Avtomobil motorida yongan yonilg'i gazida uglerod oksidi, azot oksidlari, uglevodorodlar, qo'rg'oshin birikmalari, benzopiren, akrolein va boshqa turli zaharlovchi mod-dalar bo'ladi.

### *Atmosfera bulg'anishi oqibatlari*

#### 1. Atmosfera bulg'anishining odam organizmiga ta'siri.

Odam umri davomida o'rtacha 600 mln marta nafas oladi va 600 minq  $m^3$  havoni iste'mol qiladi. Shuning uchun havodagi ozgina miqdordagi ifloslanish ham odam sog'lig'iga jiddiy zarar etkazadi.

Atmosfera ifloslanish ta'siridan ko'pincha quyidagi kasalliklar kelib chiqadi: yuqori nafas organlari qatori, o'pka emfizemasi, an-gina, faringit, pnevmoniya, bronxit, astma, tonzilit, tuberkulyoz va o'pka raki.

#### 2. Atmosfera bulg'anishning o'simliklarga ta'siri. Bulg'anish-ning to'g'ridan-to'g'ri yoki sababli mexanizmi bo'ladi.

To'g'ridan-to'g'ri mexanizmda bulg'ovchilar o'simlik funk-sional faoliyatini boshqaruvchi organizmlariga ta'sir etadi.

Natijada o'simlik rivojlanishining bir oz o'zgarishidan tortib ularning qisman yoki to'la so'lishiga (o'lishiga) olib keladi. Ma-salan, havoda  $SO_2$  ning konsentratsiyasi  $260 \text{ mg/m}^3$  bo'lganda xvoyli daraxtlar (archa, qaragay va boshq.) bir necha soatdayog' quriydi, konsentratsiya  $1,82-5,2 \text{ mg/m}^3$  da esa o'simlikning xronik zaharlanishi yuz beradi.

Sababli mexanizmda esa bulg'anish suv, tuproq va quyosh ra-diatsiyasiga ta'sir etadi. Masalan, qattiq moddalar o'simlik barglari

va tanasiga o'rnashib nur, suv, gazlarning hujayraga o'tishini pasaytiradi. Natijada fotosintezga salbiy ta'sir etadi.

*Iqtisodiy zarar.* Sanoat hududlarida qishloqdagiga nisbatan metallar korroziyasi 4-5 marta tezroq sodir bo'ladi. Atmosfera bulg'anishi qurilish binolari, san'at va arxitektura yodqorliklarini emiradi. Atmosfera bulg'anishidan yiliga moddiy zarar: AQSH da 30 mlrd dollar, Fransiyada 260 mlrd frank, Angliyada esa 250 mln funt sterling atrofida bo'lar ekan. Atrof-muhitni bulg'anishdan himoya qilish uchun hozirda AQSHda yiliga o'nlab milliard dollar sarf etilmoqda.

### *b. Kimyoviy ishlab chiqarishda chiqindi gazlarni tozalash*

Gaz sistemalar bulg'ovchilar qattiq yoki suyuq bo'lsa geterogen, gaz bo'lsa gomogen bo'ladi:

a) geterogen sistemadagi gazlarni tozalash.

Geterogen gaz sistemalar ikki katta guruhga — mexanik va kondensatsiyalanganga bo'linadi.

Mexanik sistemalar qattiq jismlarni maydalash, suyuqlarni sochish yoki boshqa jarayonlarda hosil bo'ladi. Bunda qattiq yoki suyuq zarralar gazga aralashib ketadi.

Kondensatsiyalangan gaz sistemasida gaz bilan gaz, qattiq yoki suyuq modda ta'sirlanishidan hosil bo'ladi.

Birinchi holatda tutun, ikkinchi holatda esa tuman hosil bo'ladi.

Masalan,  $NH_3$  (gaz) +  $H_2S$  (gaz) +  $NH_4HS$  (qattiq modda).

Odatda, kondensatsiyalangan sistemalarda mexanik sistemaga qaraganda zarrachalar o'lchami kichik bo'ladi.

Gaz tozalashning asosiy usullari:

1) mexanik (quruq) — tortish kuchi yoki markazdan qo'chma kuch ta'sirida cho'ktirish.

2) Namli tozalash — gazlarni suyuqlik qatlamidan o'tkazish.

3) Gazlarni filtrlash.

4) Gazlarni elektr maydonida tozalash.

Mexanik tozalash (quruq) — cho'ktiruvchi kameralarda, chanq cho'ktiruvchi (karman) cho'ntaklarda, siklon va siklonlar batareyasida amalga oshiriladi.

Namli tozalash gaz va bulg'ovchilar nam bo'lsa zarar qilmaydigan hollarda amalga oshiriladi. Bu usul statik apparatlar (skrubber-

lar)da, dinamik apparatlar (dezintegratorlar)da, namlangan yuzali, ko'pikli, inersiya zarbali apparatlarda amalga oshiriladi.

Gazlarni filtrlashda matoli, keramika va boshqa filtr materiallar ishlatiladi. Ko'proq matoli filtrlar ishlatilib, ularda paxta tolali, jun, poliamid, polietilen, poliakrilnitril, politetraftor etilen, ftorplast, shisha tola va kremnezemtola materiallar ishlatiladi.

Gazlarni yuqori dispers va radiaktiv aerozollardan juda nozik tozalashda esa ultranozik polimer tolalardan-FP (Petryanov filtri), to'siqli filtrlardan foydalaniladi. Bu tolalar perxlorvinil, poliarilat, selluloza efirlaridan iborat bo'lib, yuqori mexanik, termik va kimyoviy mustahkamlikka ega.

G'ovak qattiq to'siqli filtrlar — gazlarni yuqori aniqlikda tozalaydi. Ular keramik, metall keramik, plastmassa materiallardan yoki mayda yacheykali metall tur va to'liqinsimon qilib tayyorlanadi.

Mayda zarrachalar to'ldirilgan to'siqli filtrlar — to'siq sifatida shlak, koks, kvarts qum, toshlar va boshqalar ishlatiladi.

Gazni elektrli tozalash — bu sistema ko'p afzalliklarga ega, ya'ni katta harorat oralig'ida quruq va ho'l (namli) tozalash imkonini beradi. Kam energiya sarflanib, to'la va yuqori tozalash darajasiga ega. Elektrofiltarlarda elektrodlar o'rtasida 35-70 kvolt kuchlanish yordamida elektrostatik maydon hosil qilinadi.

b) Bug' va gaz holiday birikmalarni tozalash.

Bug' va gaz holiday birikmalar adsorbsiya, adsorbsiya, katalitik va termik usullar bilan tozalanadi.

Absorbsiya usuli zararli bog'lovchilarning selektiv eruvchanligiga (fizik absorbsiya) yoki ularning suyuq yutuvchilar —

Absorbsiya usuli gazlardan azot oksidi, oltingugurt, serovodorod, uglerod oksidi, kislota bug'lari va turli organik birikmalarni ajratib qolish uchun qo'llanadi. Yutuvchi sifatida ko'pincha suv, ammiakli suv va ishqorlar, kalsiy va magniy oksidlari, etanolamin va boshqalar ishlatiladi. Adsorbsiya jarayoni, odatda, erituvchilarni regeneratsiya (qayta tiklash) uchun desorbsiya bilan qo'shib olib boriladi. Desorbsiya ko'pincha bosimni tushirish va haroratni ko'tarish bilan olib boriladi.

Adsorbsiya usuli — katta yuzali qattiq moddalar zarrachalari qo'llashga asoslangan. Bunda ham adsorbsiyaga o'xshash fizik va kimyoviy adsorbsiya jarayoni yuz beradi. Sorbent sifatida aktivlangan ko'mir, silikagel, alyumogel, tabiiy va sun'iy seolit (molekulyar elak) qo'llanadi.

Regeneratsiya usuli – zararli bulg'ovchilar kimyoviy ta'sirlanib ekologik zararsiz moddalarga yoki gazdan oson ajraladigan moddalarga aylanishiga asoslangan. Bu usul gazlarni uglerod oksidi, azot oksid, serovodorod, oltingugurt dioksiddan tozalash va toksik organik birikmalarni past haroratda oksidlash uchun qo'llanadi.

Termik (haroratli) usul – jarayonga qaytish zarur yoki mumkin bo'lmagan zararli bulg'ovchilarni yoqib yuborishga asoslangan. Bu usul gazlarni spirtlar, efirlar, ketonlar, alifatik va aromatik uglevodorodlar, organik kislotalar va boshqalardan tozalashda qo'llaniladi.

Zararsizlash termik (haroratli) yo'l bilan yondirishga asoslangan. Yonuvchi moddalar konsentratsiyasi yonish darajasiga etsa o'zi yondiriladi, etmasa yonuvchi gaz qo'shib yondiriladi.

#### *v. Kimyoviy ishlab chiqarishda oqava suvlarni tozalash*

Suv havzalarini bulg'ach manbalari. Yer sharidagi suv miqdori 1400 mln. m<sup>3</sup> ga etadi. Ammo bu miqdordan 3% igina ichishga yaroqli (kam tuzli) suvdan iborat bo'lib, uning 2/3 qismi muz va 1/3 qismi esa hayotiy va texnologik maqsadlar uchun ishlatiladi.

Bir tonna po'lat ishlab chiqarishda 150 m<sup>3</sup>, 1 tonna qog'oz ishlab chiqarishda 300 m<sup>3</sup>, 1 tonna sun'iy toлага – 800 m<sup>3</sup>, 1 tonna kapronga – 500 m<sup>3</sup>, 1 tonna nikel ishlab chiqarishda 4000 m<sup>3</sup> suv ishlatiladi.

Ko'p suv havzalari sanoat korxonalari zararli oqavalari, ekinzorlardan yuvilgan o'g'itlar va zaharli kimyoviy moddalar bilan bulg'anadi.

Bulg'anish atmosferada bo'ladigan jarayonlar – chanqli bo'ronlar, vulqonlar faoliyati natijasida ham sodir bo'ladi. Suv havzalari (ko'l, daryo, dengiz, okean)ni suv transportlari ham bulg'aydi. Tanker va supertankerlar avariyasida dengiz va okeanlarga ko'p minglab m<sup>3</sup> neft to'kiladi.

Suv havzalarining bulg'anishi xalq xo'jaligining ko'p tarmoqlariga katta moddiy zarar keltiradi va toza ichimlik suvi tanqisligiga olib keladi. Ko'p hududlarda ichimlik suvi tanqisligi sanoat korxonalari ko'p suv ishlatgani sababli ham vujudga keladi.

## *Suvning bulgʻanishi umumiy koʻrsatkichlari*

Umumiy koʻrsatkichlarga quyidagilar kiradi:

1) Suvning umumiy xossasini belgilovchi koʻrsatkichlar – organoleptik va fizik-kimyoviy.

2) Erimagan moddalar – muallaq moddalar va ular kuli.

3) Ergan moddalar – noorganik va organik qoʻshimchalar umumiy miqdori «organik» uglerod, kislorodning biokimyoviy isteʼmoli, permanganat va bixromat oksidlanish.

Organoleptik koʻrsatkichlar – ranq, taʼm, hid va tiniqlikdan iborat.

Fizik-kimyoviy koʻrsatkichlar – optik zishlik, ranglilik, vodorod koʻrsatkich, harorat, elektr oʻtkazuvchanlik, ishqoriylik, kislotalilik, qattqlik, tuzlar miqdori. Umumiy azot, muallaq moddalar, qizdirganda kuyadigan «organik» azot va umumiy oʻltingugurt miqdorlaridan iborat.

Muhim koʻrsatkich sifatida organik moddalar yigʻindisi hisoblanadi. Ular tozalash inshootlari ishini nazorat qilish uchun hamda:

a) oqava suvlarni texnologik jarayonlarda qayta ishlatish;

b) oqava suvlarni biokimyoviy va fizik-kimyoviy tozalashga yuborish;

v) oqava suvlarni suv havzalariga tashlash uchun aniqlanadi.

Organik moddalar yigʻindisi qizdirishda yoʻqotish, permaganat va bixromat oksidlanish, kislorodni biokimyoviy isteʼmol qilish va boshqa usullar bilan aniqlanadi.

Qizdirishda yoʻqotish oqava suv filtratini (maʼlum hajmdagi) bugʻlatish va qoldiqni 600°C da qizdirish yoʻli bilan aniqlanadi.

Permanganatli oksidlanish – bu sarflangan oksidlovchi –  $KMnO_4$  miqdoriga ekvivalent kislorod miqdori. Buning uchun organik moddalar sulfat kislotali muhitda 0,01% li  $KMnO_4$  eritmasida qaynatib oksidlanadi. Bixromatli oksidlanish, boshqacha aytganda, kislorodning kimyoviy isteʼmoli – (KKI) – bunda oksidlanish 50%li sulfat kislotada 0,25%li bixromat kaliy eritmasi bilan 2 soat qaynatish orqali bajariladi.

Qurug moddalar uglerodi («organik uglerod») katalizator (kumush sulfat) ishtirokida,  $SrO_3$  va  $R_2O_5$  oksidlovchi aralashma yordamida organik moddalar yondirilib aniqlanadi. Bunda uglerod dioksid hosil boʻladi va uni titrlangan ishqorda yutiltiriladi.

Kislorodni biokimyoviy iste'moli (KBI) – bu organik moddalarni aerobiologik parchalanishga sarflangan kislorod miqdori;

a) suyultirish metodi – kislorod bilan to'yingan suv yoki toza kislorod bilan suyultirish, KBI ni aniqlash usuli suv namunasiga o'lgangan miqdordagi kislorodni kiritish usuli bilan farqlanadi;

b) monometrik usul – biologik oksidlanish jarayonida kislorodning kamayishi hisobiga bosimning pasayishi;

v) kulonometrik usul – biologik oksidlanish jarayonida sarflangan kislorod elektroliz hisobiga to'ldiriladi hamda kislorod miqdori sarflangan elektr miqdori bilan aniqlanadi.

Oqava suvlarni organik moddalari bilan bulg'anish ko'rsatkichi sifatida oksidlanish yoki kislorodni kimyoviy iste'moli (KKI) va kislorodning biokimyoviy iste'moli (KBI) xizmat qiladi.

KKI-1  $\text{dm}^3$  ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) namunadagi organik qo'shimchalarni oksidlashga sarflangan kislorod miqdori (mg).

KBI – suvdagi beqaror organik moddalarni ma'lum vaqt ichida aerob biokimyoviy oksidlashga (parchalashga) sarflangan kislorod miqdori ( $\text{mg}/\text{dm}^3$  yoki  $\text{q}/\text{m}^3$  da).

7.2-jadval

Suv havzalarini bulg'aydigan ayrim moddalarning ruxsat etilgan me'yor konsentratsiyasi (REMK)

T/r	Moddalarning nomi	REMK, $\text{mg}/\text{m}^3$
1	2	3
1.	Ammiak	100
2.	Noorganik kislotalar ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\text{HNO}_3$ , $\text{HCL}$ )	30
3.	Mishyak va birikmalar	0,05
4.	Simob va birikmalar	0,005
5.	Serovodorod	1-3
6.	Sulfidlar	0,1
7.	Ftor va birikmalar	1,5
8.	Erkin xlor	Yo'q
9.	Sianidlar	0,1
10.	Benzin	0,1
11.	Benzol	0,5
12.	Dimetil formadid	10,0
13.	DDT	0,2
14.	Karbafos	0,05

1	2	3
15.	Metafos	0,02
16.	Kerosin	0,3
17.	Dixloretran	BMK ko'rsatkichi
18.	Neft	2,0
19.	Serouglerod	0,05
20.	Skipidlar	1,0
21.	Stirol	0,2
22.	Smolalar	0,1
23.	Merkaptanlar	20-50
24.	Fenol	0,01-2
25.	Formaldegid	0,002
		0,5

KBI ni aniqlash vaqtiga qarab, quyidagicha farqlanadi:  $KBI_5$  – besh sutkada,  $KBI_{10}$  – o'n sutkada va boshi toki  $KBI_n$  – to'la, ya'ni barcha biologik oksidlanuvchi moddalar mikroorganizmlari bilan parchalanguncha.

Toza tabiiy suvni  $2 \text{ mg/dm}^3$  ga teng  $KBI_5$  bilan xarakterlanadi.

Oqava suvlardagi organik qo'shimchalarning havo kislorodi ishtirokida biologik parchalanish jarayoni «aerob parchalanish» deyiladi, kislorodsiz esa «anaerob parchalanish» deyiladi.

### *Oqava suvlarni tozalash usullari*

Oqava suvlarni tozalash usullari to'rt asosiy guruhga bo'linadi:

1. Mexanik usul – tindirish, cho'ktirish va filtrlash. Ular yirik dispers zarralardan ajratishda ishlatiladi.

2. Fizik-kimyoviy usul – absorbsiya, ionalmashish teskari osmos va boshq. yordamida mayda dispers kolloid va erigan moddalardan tozalash.

3. Biokimyoviy usul – dispers yoki erigan holdagi organik moddalardan tozalashda oqava suvlarga ishlov berish. Bunda ba'zi bir mikroorganizmlar uglerodning noorganik birikmalarini, azot, fosfor, kaliy va boshqa elementlar ishlab chiqarish qobiliyatiga ega.

4. Kimyoviy usul (reagentli) – kislota va ishqorlarni neytrallash, ionlarni kam eruvchi birikmalarga o'tkazish, oksidlash, qaytarich, elektroliz va gidroliz.

5. Fizik usul – elektr maydonida, magnit maydonida, akustik koagullash, oqava suvlarni bug'latish yordamida tozalash.

Biokimyoviy tozalashda mikroorganizmlar bilan oksidlangan moddalarning bir qismi biosintez (aktiv iviq hosil bo'lish) jarayonida foydalaniladi, bir qismi esa zararsiz mahsulotlarga (uglerod dioksid, azot va boshq.).

Biotozalash inshootlari ikki guruhga bo'linadi:

Tabiiy sharoitga yaqin sharoitda tozalash (sug'orish va filtrlash dalasi, biologik zakanlar) va sun'iy tashkil qilingan sharoitdagi inshootlar (biofiltrlar, aerofiltrlar, aerotenkalar va boshq.).

#### *q. Oqava suvlarning bulg'anishini kamaytirish yo'llari*

1. Texnologik jarayon va qurilmalarni takomillash.

2. Havo yordamida soviydigan apparatlar qo'llash.

3. Oqava suvlarni texnologik jarayonlarda va qaytar suv ta'minlashda ishlatish.

4. Oqavasiz kimyoviy ishlab chiqarishni barpo etish.

1. Ekologik texnologiyaning vazifalari zararli moddalarni oqava suvlar bilan chiqib ketishini qisqartiradigan yoki tamoman yo'qotadigan texnologik usullarni yaratish va amalda joriy etishdan iborat.

Texnologik jarayon va qurilmalarni takomillash oqava suvlar turlariga bog'liq:

a) reaksiy oqava suvlar – bu holda moddalarni oqava suv hosil bo'lmaydigan, boshqa ratsional ekologik yechimga ega reaksiyalar yordamida olish (texnik va ekologik mumkin bo'lsa);

b) xom ashyodagi suvlar – ularni oldindan suvsizlab ajratiladi.

v) yuvuvchi suvlar – xom ashyo va mahsulot sifatini oshirish, yuvish uchun suvdan boshqa erituvchilar ishlatish va ularni takror ishlatish, texnologik sxema va qurilmalarni takomillash;

q) birlamchi eritmalar – birlamchi eritmalarini takroriy ishlatish, mahsulotlarni quruq yo'l bilan olish, suvsiz eritmalar ishlatish;

d) sovitgich suvlar – boshqa sovitish usullarini qo'llash;



e) suvli ekstrakt va absorbsiya suyuqligi — suvni suvsiz eritmalariga almashtirish, absorbent va ekstraktni regeneratsiyalash va qayta ishlatish;

ʃ) oqava suvlarning boshqa turlari — ularni qayta ishlatish: aralashtirish kondensatorlarini yuzalisi bilan almashtirish, takomillashgan vakuum nasoslar qoʻllash va boshqalar.

Xom ashyoni kompleks qayta ishlash oqava suvlarni kamaytirishning istiqbolli yoʻnalishi hisoblanadi.

2. Havo bilan sovitish apparatlarini (XSA) qoʻllash.

Koʻpchilik kimyoviy korxonalarda 80-85% gacha suv sovitish uchun ishlatiladi. Keyinqi paytlarda bu maqsadda XSA lardan keng foydalanilmoqda.

XSAlarning suv bilan sovitishga nisbatan afzalliklari: kompaktiligi, suv tayyorlash qurilmasi kerak emasligi, gradirnya va suv bilan yuviluvchi sovitgichlarda bugʻlanish natijasida havoning bulgʻanmasligi, isteʼmol va oqava suvlarning kamayishidir.

Masalan, ammiak sintezi agregatlarida havo bilan sovitish usulini joriy etish suv sarfini 10 barobar kamaytirgan.

3. Texnologik jarayon va qaytar suv taʼminoti sistemalarida oqava suvlardan qayta foydalanish.

Bu toza suv ishlatish va oqava suvlar miqdorini kamaytirishning asosiy yoʻllaridan biridir.

Suv taʼminlashning oqava suvlarni bulgʻovchilardan tozalab jarayonga qaytaruvchi tutashgan siklsiz oqavasiz ishlab chiqarishni tashkil qilishni barpo etish mumkin emas. Texnologik jarayonlarga xalaqit beradigan ayrim qoʻshimchalardan tozalab orqaga qaytarishdan koʻra uni suv manbalariga tashlash talab darajasida tozalash mushkulroq. Suv aylanishida lokal tozalash usulini joriy etish istiqbolli hisoblanadi.

4. Oqavasiz kimyoviy ishlab chiqarishni barpo etish.

Oqavasiz ishlab chiqarishni barpo etishda asosiy yoʻnalishlar quyidagilardir:

a) xom ashyoni kompleks ishlash;

b) suvsiz texnologik jarayonlar barpo etish;

v) texnologik jarayon va apparatlarni takomillash yoʻli bilan oqava suvlarni bulgʻanish sifati va miqdorini kamaytirish va suvsiz xom ashyo ishlatish;

q) havo bilan soviydigan apparatlar ishlatish;

d) lokal va umumiy suv tozalash inshootlarida oqava suvlarni to'la tozalash va texnologik jarayon hamda qayta suv ta'minot sistemasida ishlatish.

e) oqava suvlarni tozalashda yuqori intensiv usul va apparatlarni joriy etish;

f) qayta suv ta'minot sistemasida suvdagi tuz tarkibini o'zgarmas holda tutish va hech bo'lmaganda bir qismini tuzsizlab suv ta'minoti sistemasiga qaytarish.

#### *d. Qattiq chiqindilarni zararsizlash va kamaytirish*

Eng muhimlari quyidagilar:

1. Apatit va fosforitlardan ekstraksion fosforit kislotasi olishda qattiq chiqindi holida fosfogips hosil bo'ladi. Xom ashyo tarkibi va qayta ishlash usuliga bog'liq ravishda 1 t. fosfat kislotasi ( $100\%P_2O_5$ ) ga 3,7 dan 6 tonnagacha chiqindi hosil bo'ladi.

Fosfogipsdan foydalanishning asosiy yo'nalishlari: tuzli-sho'rroq yerlarni kimyoviy melioratsiyalash; portlandsement ishlab chiqarishida (intensivlashda), qurilish uchun gips va yuqori mustahkam qovuchtiruvchi gips, sulfat kislotasi ishlab chiqarishda foydalanish mumkin.

2. Kolchedandan sulfat kislotasi ishlab chiqarishda qattiq chiqindi – kuyindi chiqadi. Har tonna kislotadan 0,6 t kuyindi chiqadi. Tarkibida 58% temir hamda mis, kalsiy sulfat va boshqalar bo'ladi. Bu kuyindi sement va shisha sanoatlarida ishlatilishi mumkin. Ikkinchi yo'li uni xlorli kuydirishdir.

3. Silvintdan kaliy xlorid olishda har tonnaga 3 t qalit chiqindisi (*NaSl*. qo'shimchalar bilan) chiqadi. Undan osh tuzi olish mumkin, ammo odatdagi osh tuzidan qimmat bo'ladi.

4. Fosfor va termik fosfat kislotasi ishlab chiqarishda – fosforitni elektrotermik ishlashda 1 t sariq fosforiga 8,15 t kremniyli shlak 0,15 t. ferrofosfat ( $Fe_2P$  va  $Fe_3P$ ) hosil bo'ladi va hokazolar.

#### *Qattiq chiqindilarni zararsizlash*

Bulgarga quyidagilar kiradi: biologik oksidlash, termik qayta ishlash, erning yuza qatlamiga ko'mish va yer yuzasida omborlarda saqlash.

Biologik usul oqava suvlarni tozalashda hosil bo'lgan qoldiqlarni zararsizlashda qo'llanadi.

Termik usul – qattiq sanoat chiqindilarini kuydirgich (pech) larda kuydirish: kamerali, baraban, siklon va muallaq qatlamli kuydirgich (pech) larda kuydiriladi. Bu jarayon bir necha zonalar: quritish, yoqishga tayyorlash, yoqishdan iborat.

Qattiq chiqindilarni qayta ishlashda piroliz istiqbolli hisoblanadi. Piroliz mahsulotlari organik sintez uchun xom ashyo yoki yoqilg'i sifatida ishlatiladi.

Piroliz jarayoni 300°C dan 900°C gacha statsionar yoki aylanuvchi vertikal (Tik) silindrsimon kuydirgich (pech) – retortalarda olib boriladi. Issiqlik manbai sifatida qattiq yonuvchi materiallarning parchalanishdagi suyuq mahsulotlari, suyulgan tuzlar, yuqori chashtotali elektrik dugalar (yoylar) va boshqalar ishlatiladi.

Toksik moddalar ajralib chiqishining oldini olish uchun reaksiya zonasiga suv bug'i kiritiladi. Qattiq qoldiq esa rezinotexnik va plastmassa materiallari ishlab chiqarishda to'ldirgich yoki sorbent sifatida ishlatiladi.

Toksik bo'lmagan qattiq chiqindilar er yuzasi omborlariga joylashtiriladi. Bunday omborlar shlamyiqqichlar deyiladi. Ular yakka va kaskadli bo'lib, qo'rg'onlar bilan o'raladi. Ular tuproqni zararli moddalar filtrlanishidan saqlaydi va oqavalarni qayta ishlashga yuboradi. Bunday omborlarda chiqindilarni saqlash kommunal chiqindilarni saqlashdan 5-6 barobar qimmat bo'ladi. Shuning uchun bu usul iqtisodiy samarali emas.

Toksik moddalarni saqlashda (hovuz, o'ra va boshqalarda) ularni sementlovchi moddalar, suyuq shisha, bitum va boshqalar bilan stabillanadi. Yasalgan bloklar er yuzasida saqlanadi. Bu usul kam radiaktiv, simob birikmalari, mishyak, sianidlar va boshqalarni saqlashda ishlatiladi.

Qattiq toksik bo'lmagan chiqindilar yuqori bosim va haroratda ishlanganda gips kuygan material (blok) hosil bo'ladi. Ular qurilishda ishlatiladi.

Atrof-muhitni qattiq chiqindilardan himoya qilish xom ashyoni kompleks ishlash, kam chiqindili va chiqindisiz texnologik jarayonlarni barpo etishdan iborat.

## MAVZULAR BO'YICHA MASALALAR

1. Quyidagi reaksiyaga asosan ammiakning o'tish darajasi va mahsulot chiqishi (unumdorligi) aniqlangan:



bu yerdə  $a=1$ ;  $b=3$ ;  $q=2$ .

Shartlar:

Ma'lum vaqt ichida oxirgi gaz aralashmasida  $N_{\text{B},\tau}=30$  mol va  $N_{\text{R},\tau}=20$  mol; jarayon  $t=500^\circ\text{C}$  da olib boriladi;  $R=30$  MPa. Muvozanat holatda gaz aralashmasida  $C_{\text{R}}^*=26,4\%$   $\text{NH}_3$  bor.

Yechish. O'tish darajasi  $X_v$  ni aniqlash uchun jarayon boshlanishdagi vodorod miqdori  $N_{\text{V},0}$  ni hisoblab topiladi. U quyidagicha aniqlanadi:

$$N_{\text{B},0} = N_{\text{B},\tau} + D = 80 + D \quad (\text{v})$$

Bunda:  $D$  – reaksiyaga kirishgan vodorod miqdori.

1 mol  $\text{NH}_3$  hosil bo'lishi uchun  $b/g$  mol  $\text{N}_2$  sarflanadi, oxirgi gaz aralashmasida ammiak miqdori  $N_{\text{R},\tau}=20$  mol, bunda  $D=N_{\text{R},\tau} \cdot b/q + 20 \cdot 3/2 = 30$  mol.

Demak,  $N_{\text{B},0} + 80 + 30 = 110$  mol. Bu natijalar qiymatini tenglamaga qo'ysak:

$$X_{\text{B},\tau} = \frac{N_{\text{B},0} + N_{\text{B}}}{N_{\text{B},0}} = \frac{110 - 80}{110} = 0,273$$

yoki  $X_{\text{B}} = X_{\text{H}_2} = 27,3\%$ .

Mahsulot chiqishi  $F_{\text{R}}$  ni aniqlash uchun muvozanatga muvofiq keladigan oxirgi gaz aralashmasida (tarkibida  $C_{\text{R}}^*=26,4\%$  ligini e'tiborga olib) ammiak miqdorini aniqlash kerak:

$$\frac{NR^*}{N_R^* + N_{ar}} = 0,264 \quad (g)$$

bunda, — azot-vodorod aralashmasi miqdori, mol. ni quyidagi tenglama orqali ham aniqlash mumkin:

$$NR^* \frac{a+b}{q} + N_{ar}^* = N_{arO} = N_{B,O} \frac{a+b}{b},$$

bunda,  $N_{ar, o}$  — sintezgacha azot – vodorod aralashmasi miqdori, mol. Qiymatlarni o'rniga qo'ysak:

$$N_R^* \frac{1+3}{2} + N_{ar}^* = 110 \frac{1+3}{3} = 146,67 \quad (d)$$

(Q) va (d) tenglamalardan:

$$N_{ar}^* = \frac{N_R^*}{0,264} + N_R^* = 146,67,$$

bundan  $N_R^* (1+0.264) = 146.67 \cdot 0.264$  yoki  $N_R^* = 30.63$  mol.

Aniqlangan qiymatlarni quyidagi tenglamaga qo'ysak:

$$F_R \frac{N_R}{N_R^*} = \frac{20,0}{30,63} = 0,653 \quad \text{bo'ladi}$$

yoki  $F_R = 65,3\%$ .

Katalitik jarayon tufayli muvozanatdagi o'tish darajasi  $X=27,3\%$  ga nisbatan mahsulot chiqish  $F_R$  ancha (65,3%) ko'paygan.

1. Qurilma quvvatining oshishi natijasida solishtirma kapital xarajatlarni (SKX) aniqlang va quvvatga nisbatan SKXni funksional bog'liqlik tenglamasini keltirib chiqaring.

Shartlar:

Ishlab chiqarish quvvati fosfat kislotaga bo'yicha yiliga  $Q_1 = 150$  ming tonna (100%  $H_3PO_4$ ) bo'lgan qurilma qiymati  $K = 4,885$  mlrd. so'm.

Qurilma ishlab chiqarish quvvati  $Q_2 = 250$  ming tonnaga ko'tariladi.

Yechish:

1. K va Q ni tenglamaga qo'yamiz:

$$R = \frac{K}{Q} = \frac{4885000000}{150000} = 32600 \text{ so'm} \quad (a)$$

bu solishtirma kapital xarajat.

2.  $R = a \cdot Q^{0,4}$  (b) tenglamadan, ya'ni bitta agregat uchun: ( $a$ — kimyo ishlab chiqarishi xarakteriga bog'liq koeffitsiyent).

$$32600 + a \cdot 150000^{-0,4}$$

bundan  $a + 3,84 \cdot 10^3$ .

Bu qiymatni (b) tenglamaga qo'ysak:

$$R + 3,84 \cdot 10^3 \cdot Q^{-0,4}$$

(a) tenglikdan solishtirma kapital xarajatlarning kamayishini aniqlaymiz:

$$\frac{R^2}{R} = \frac{3,84 \cdot 10^3 Q^{1-0,4}}{3,84 \cdot 10^3 Q^{2-0,4}} = \left(\frac{Q^1}{Q^2}\right)^{-0,4} = \left(\frac{150}{250}\right)^{-0,4} = 0,81$$

yoki  $R_2 + 0,81R_1$ .

Demak, solishtirma kapital xarajat 19% ga kamayadi.

3. Parallel jarayonlarda R va S mahsulotlar chiqishini aniqlang.

Shartlar:

Absolyut haroratlar  $T = 700, 800, 900 \text{ K}$ , reaksiyalar aktivlanish energiyalari orasidagi farq  $E_S - E_R = E_2 - E_1 = 24000 \text{ j mol}^{-1}$ ,

$R = 8,3 \text{ j mol}^{-1} \text{K}^{-1}$

Yechish:

$E_R, E_S, T$  va  $R$  ni tenglamaga qo'ysak, 700.K uchun aniqlaymiz:

$$\varphi_{700} = f\left(\frac{k'_0}{k''_0} e^{\frac{E_2 - E_1}{RT}}\right) = f\left(\frac{k'_0}{k''_0} e^{\frac{24000}{8,3 \cdot 700}}\right) = f\left(\frac{k'_0}{k''_0} \cdot 62\right)$$

800° K da:

$$\varphi_{800} = f\left(\frac{k'_0}{k''_0} e^{\frac{24000}{8,3 \cdot 800}}\right) = f\left(\frac{k'_0}{k''_0} \cdot 37\right)$$

900° K da:

$$\varphi_{900} = f\left(\frac{k'_0}{k''_0} e^{\frac{24000}{R \cdot 900}}\right) = f\left(\frac{k'_0}{k''_0} \cdot 25\right)$$

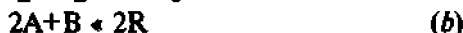
Bulardan:

$$\frac{\varphi_{700}}{\varphi_{900}} = f\left(\frac{k'_0}{k''_0} \cdot 62\right) : f\left(\frac{k'_0}{k''_0} \cdot 25\right) = 2.5$$

Demak, jarayon harorati 700 dan 900°K ga ko'tarilganda maqsadli mahsulotning nisbiy chiqishi R 2.5 barobar kamayar ekan.

4. Harorat  $T_1 = 693^0$  K dan  $T_2 = 703^0$  K ga ko'tarilganda gazning diffuziya tezligi oshishida vanadiyli katalizatorida oltingugurt anhidridi oksidlanish to'g'ri reaksiyasi tezligi oshishligini taqqoslab bering.

Reaksiya quyidagicha sodir bo'ladi:



Shartlar:

(a) reaksiya aktivlanish energiyasi  $E = 268$  kJ/mol.

Gazlar diffuziya tezligining haroratga bog'liqligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$D_2/D_1 = (T_2/T_1)^n \quad (v)$$

Bunda,  $D_1$ ,  $D_2$  haroratlar  $T_1$  va  $T_2$  ga muvofiq keladigan gazlar diffuziya koeffitsiyentlari,  $n$  — koeffitsiyent 1,5-2,5 ga teng, hisoblashda  $n=2$  deb olamiz.

Yechish:

(b) da to'g'ri reaksiya tezligi  $T_1$  va  $T_2$  haroratlarda quyidagicha bo'ladi:

$$U_1 = K_1 C_A = K_0 E \frac{E}{RT_1} \cdot C_A$$

$$U_2 = K_2 C_A = K_0 E \frac{E}{RT_2} \cdot C_A$$

Bundan:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{K_0 e^{-\frac{E}{RT_1}}}{K_0 e^{-\frac{E}{RT_2}}} = e^{\frac{E}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} = e^{\frac{E}{R} \left( \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_1 \tau_2} \right)}$$

Bu tenglamaga  $E=268000$  j/mol va  $R=8.3$  j/mol K ni qo'ysak:

$$\frac{U_2}{U_1} = e^{\frac{26,8000}{8,3} \left( \frac{703 - 693}{693 \cdot 703} \right)} = e^{0,662} = 1,9_4$$

yoki  $U_2 = 1.94U_1$ .

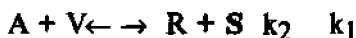
Demak, harorat  $10^\circ\text{K}$  ko'tarilsa reaksiya tezligi 94% ga, deyarli 2 marta oshar ekan.

(v) tenglamaga  $T_1$ ,  $T_2$  va  $n$  qiymatlarini qo'ysak:

$$\frac{D_2}{D_1} = \left( \frac{703}{693} \right)^2 = 1.026 \quad \text{yoki } D_2 = 1.026D_1,$$

ya'ni (diffuziya) 2,6%ga oshadi.

1. A va V reagentli ikki eritmaning ideal aralashiruvchi — uzviy (IAR-U) reaktorga berilish tezligini aniqlang. Reagentlar quyidagi tenglama bo'yicha ta'sirlashadi:



Reagentlarning reaktorga tushish tezligi bir xil bo'lib, reaktorda bo'lish vaqtida 75% V modda ta'sirlashadi.

Shartlar:

Reaktor hajmi  $V_r$ ,  $\text{m}^3$  .....0,18

Konsentratsiya,  $\text{Kmol}/\text{m}^3$

Birinchi oqimda A modda  $S_A$ ,  $n$  .....4,2

Ikkinchi oqimda V modda  $S_V$ ,  $n$  .....2,4

Tezlik konstantalari,  $\text{m}^3/\text{Kmol}/\text{s}$

$k_1$  .....0,12

$k_2$  .....0,05

V moddaning o'tish darajasi,  $X_V$  .....0,75



Yechish:

Oqimlar hajmini quyidagicha aniqlaymiz:

$$V_{\text{um}} = V_A = V_B = 2V_A = V_I/\tau \quad (a)$$

yoki

$$\tau = V_D/2V_A$$

IAR-U uchun bo'lish vaqtini yana boshqacha yo'l bilan aniqlash mumkin:

$$\tau = \frac{C_{A,0} - C_A}{-U_A} \quad (b)$$

(a) va (b) tenglamalar o'ng tomonlarini tenglashtirsak:

$$V_A = \frac{V_p(-U_A)}{2(C_{A,0} - C_A)} \quad (v)$$

bo'ladi.

Tenglama (v) ni echish uchun  $(-U_A)$  ni aniqlash kerak:

$$-U_A = -U_B = k_I S_A B_A - k_2 S_R S_S \quad (g)$$

Demak,  $-U_A$  ni aniqlash uchun boshlang'ich moddalar va reaksiya mahsulotlari konsentratsiyalarini reaktordan chiqishda hamda A va V reagentlarning reaktorga kirishdagi (oqim aralashganda) konsentratsiyalarini aniqlash kerak.

$$C_{A,0} = \frac{4.2V_A}{V_A + V_B} = \frac{4.2}{2} = 2.1 \text{ kmol/m}^3$$

$$C_{B,0} = \frac{2.4V_B}{V_B + V_A} = \frac{2.4}{2} = 1.2 \text{ kmol/m}^3$$

$$C_{A_1} = C_{A_0} - (C_{B_0} - C_B) = C_{A_0} - [C_{B_0} - C_{B_0}(1 - X_B)] = \\ = C_{A_0} - C_{B_0} X_B = 2.1 - 1.2 \cdot 0.75 = 1.2 \text{ kmol/m}^3$$

$$C_B = C_{B_0} - C_{B_0} X_B = 1.2 - 1.2 \cdot 0.75 = 0.3 \text{ kmol/m}^3$$

$$C_{R_0} = C_S = C_{B_0} X_B = 1.2 \cdot 0.75 = 0.9 \text{ kmol/m}^3$$

Olingan qiymatlarni (q) tenglamaga, so'ng  $-U_A$  qiymatini (v) tenglamaga qo'yib, topamiz:

$$-U_A = -U_A = 0.12 \cdot 1.2 \cdot 0.3 - 0.05 \cdot 0.9 \cdot 0.9 = 2.7 \cdot 10^{-4} \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{c}$$

$$V_A = V_B = \frac{0.18 \cdot 27 \cdot 10^{-4}}{2(2.1 - 1.2)} = 2.7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{c}$$

6. Ideal aralashtiruvchi ikki reaktordan iborat kaskadda A reagent o'tish darajasini aniqlang.

Shartlar:

Vo aralashmani reaktorga berilish

tezligi, l/min .....400

Harbir reaktor hajmi  $V_r$ , L .....200

Reagentning dastlabki konsentratsiyasi

$S_{A0}$ , mol/l .....1,2

Reaksiya tezligi konstantasi  $K$ ,  $\text{min}^{-1}$  .....1,6

Reaksiya tartibi  $n$  .....0,76

Reaksiya jarayonida reaksiya aralashmasi hajmi o'zgaraydi ( $\epsilon_A=0$ ).

Echish:

Birinchi reaktor uchun:

$$\tau = \frac{V_r}{V_0}; \tau_1 = \frac{C_{A10} X_{A,1}}{-U_A}; -U_A = KC_A^n = KC_{A10}^n (1 - X_{A,1})^n$$

Bu tenglamalardan quyidagilar kelib chiqadi:

O'zgartirilsa:

$$\frac{X_{A,1}}{(1 - X_{A,1})^{0,76}} = \frac{V_r KC_A^{0,76-1}}{V_0} = \frac{200}{400} \cdot 1,6 \cdot 1,2^{-0,24} = 0,762 \quad (a)$$

Ketma-ket yaqinlashish usuli bilan  $X_{A,1}=0,47$  ni topamiz.

Birinchi reaktorda va ikkinchi reaktorga kirishda reagent konsentratsiyasini quyidagicha aniqlaymiz:

$$S_{A,1} = S_{A0} (1 - S_{A,1}) = 1,2(1 - 0,47) = 0,636 \text{ kmol/l.}$$

Birinchi reaktorga o'xshash va (a) tenglama bo'yicha  $S_{A,1}$  ning qiymatini hisobga olib A reagentning ikkinchi reaktordagi o'zgarish darajasi  $X_{A,2}$  ni aniqlaymiz va A reagentning ikkinchi reaktorga kirishdagi miqdori bilan solishtiramiz:

$$\frac{X_{A,2}^1}{(1 - X_{A,2}^1)^{0,76}} = \frac{V_r KC_A^{0,76-1}}{V_0} = \frac{200}{400} \cdot 1,6 \cdot 0,96^{-0,24} = 0,89$$

Ketma-ket yaqinlashish usuli bilan  $X'_{A,2} = 0,515$  ni topamiz.

A reagentning dastlabki miqdoriga nisbatan o'tish darajasini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$1 - X_{A2} = (1 - X_{A1})(1 - X_{A2}) = (1 - 0,47)(1 - 0,515) = 0,257$$

Demak, ikki reaktordan so'ngumumiy o'tish darajasi  $X_{A,2}=0,743$  ekan.

7. Quyidagi qaytar reaksiya davomida maksimal o'tish darajasiga erishich uchun IAR-U dan sovitgich orqali olinadigan issiqlik miqdorini aniqlang.



Shartlar:

Reaksiya aralashmasi (kirayotgan)

Harorati,  $t_0$ , °C .....15

Mahsulot moliga nisbatan reaksiya aralashmasi issiqlik siqimi

$S_p$ , kJ/(mol k) .....400

Tajribadan aniqlangan  $X_A$  va  $t$  lar bog'liqligi:

$t$ °C... 5 15 25 35 40 42 45 55 65

$X$ ... 0,18 0,31 0,46 0,56 0,58 0,60 0,59 0,49 0,30

Yechish:

Reaktor politropik (IAR-U-P) tartibda ishlaydi deb qabul qilamiz. Bunday tartibda reaktor issiqlik balansi quyidagicha tenglamada ifodalanadi:

$$\Delta H X_A = C_p^I (T - T_0) + \frac{FK_{\Delta T}}{B_{A_0}}$$

bundan reaksiya aralashmasidan olinadigan issiqlik miqdori quyidagicha ekanligi kelib chiqadi:

$$\frac{FK_{\Delta T}}{B_{A_0}} = \Delta H X_A - C_p^I (t - t_0) \quad (a)$$

Tenglama (a) ni yechish uchun maksimal o'tish darajasi ( $X_{A, \max}$ ) va bu darajasiga etishdagi haroratni aniqlash kerak.

Tajriba natijalari  $X_{A, \max}=0,6$  ekanligi va unga harorat  $t=42^\circ\text{C}$  da erishilishi aniqlangan. Bu natijalarni (a) tenglamaga kiritsak:

$$F \frac{K_{\Delta T}}{B_{A_0}} = 18000 \cdot 0,6 - 400(42 - 15) = 10800 - 10800 = 0.$$

Demak, reaktorning optimal ishini ta'minlash uchun undan issiqlik almashtirgich bilan issiqlik olinmaydi, aksincha, adiabatik sharoitda (tartibda) ishlaydigan (IAR-U-A) reaktorlar ishlatiladi.

8. Quyidagi reaksiya jarayonida ikki ketma-ket ulangan (IAR-U) reaktorlardan olinadigan yoki beriladigan issiqlik miqdorini va issiq almashish yuzasini aniqlang:

$$A \rightarrow R + 75\,420 \text{ kJ/mol}$$

Shartlar:

Reaktorga beriladigan A reagent miqdori  $V_{A0}$  ..... 0,2

Reaktorga kirayotgan aralashish harorati  $t_0$ , °C ..... 15

Aralashma issiqlik siqimi  $C_p$ , kJ/mol °C ..... 1676

Issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $K$ , kJ/m<sup>2</sup> C °C ..... 419

$t_0$  va  $t_{sov}$  orasida o'rtacha farq  $\Delta t$ , °C ..... 10

Birinchi reaktorda reaksiya aralashmasi harorati  $t_1=49^\circ\text{C}$  va o'tish darajasi  $X_{A1}=0,42$ ; Ikkinchi reaktorda  $t_2=42^\circ\text{C}$  va  $X_{A2}=0,7$ .

Yechish:

Ko'rsatilgan sharoitlarda ko'rilayotgan ideal aralashtiruvchi reaktorlar politropik tartibda ishlaydi. Shuning uchun 1-reaktor uchun berilgan oxirgi shartlarni e'tiborga olsak:

$$\Delta H X_A = C_p^1 (t_1 - t_0) + \frac{FK_{\Delta} T}{B_{A0}}$$

yoki

$$\frac{FK_{\Delta} T}{B_{A0}} = 75420 \cdot 0,42 - 400(49 - 15) = -25310 \text{ kJ/mol}.$$

Manfiy ishora bilan olingan bu qiymat jarayonga issiqlik berish kerakligini ifoda qiladi.

Sistemaga beriladigan umumiy issiqlik miqdori:

$$FK_{\Delta} T = -25310 \cdot B_{A0} = -25310 \cdot 0,2 = -5062 \text{ kJ/mol}$$

shunga o'xshash 2-reaktor uchun ham:

$$\frac{FK_{\Delta} T}{B_{A0}} = \Delta H (X_{A2} - X_{A1}) - C_p^2 (t_2 - t_1) = 75420(0,7 - 0,42) - 1679(49 - 42) = 32852 \text{ kJ/mol}$$

Musbat ishora bilan olingan bu qiymat jarayondan issiqlik olish kerakligini ifoda qiladi. Sistemadan olinadigan issiqlik miqdori:

$$FK_{\Delta} T = 32852 \cdot B_{A0} = 32852 \cdot 0,2 = 6570 \text{ kJ/min}$$

Zaruriy almashish yuzasi:

$$F_2 = \frac{6570 \cdot 60}{K_{\Delta} T} = \frac{6570 \cdot 60}{419 \cdot 10} = 94 \text{ m}^2$$

9.  $A \leftrightarrow R$  ekzotermik reaksiyani amalga oshirish uchun adiebatik tartibda ishlaydigan (IAR-U) ga kirishida A reagentning isitish haroratini aniqlang.

$X_A = f(t)$  bog'lanish ma'lum:

$t$  °C... 20 40 50 60 70 80 90 100

$X_A$ ... 0,02 0,12 0,24 0,37 0,58 0,82 0,92 0,95

Shartlar:

Reaksiya issiqlik effekti  $\Delta H$ , j/mol ..... 160

Muhit issiqlik sig'imi  $C_2$ , kj/(mol.°C) ..... 3,2

O'tish darajasi  $X_A$  ..... 0,93

Tanlab olingan parametrlar jarayon tartibi (rejimi) ga javob beradimi?

Yechish:

Ideal aralashtiruvchi oqimli reaktor (IAR-U) uchun issiqlik balansi tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta H X_A = C_p (T - T_0)$$

Issiqlik balansini echishda grafik usuldan foydalanamiz: bizga ma'lum  $X_A = f(T)$  bog'liqligidan grafik tuzamiz. Hosil bo'lgan C ko'rinishidagi grafik  $Q_{x2} = \Delta H X_A = f(T)$  ga muvofiq koordinatalarda kimyoviy reaksiya issiqligini ifoda qiladi. Grafikdan aniqlashimiz bo'yicha, o'tish darajasi  $X_A = 0,93$  reaktordagi 95°C haroratga muvofiq keladi.

Reaktorga kirishdagi haroratni quyidagi tenglama orqali aniqlaymiz:

$$T_0 = \frac{C_1^2 T - \Delta H X_A}{C_1^2} = \frac{3,2 \cdot 95 - 160 \cdot 0,93}{3,2} = 52^\circ C.$$

Demak, tanlangan jarayon parametrlari reaktorda barqaror issiqlik tartibini (rejimini) tutadi.

10. Kontakt usuli bilan sulfat kislotasi ishlab chiqarishda oltin-gurgurt anqidridini ( $SO_2$ ) quritish skrubber minorasini (diametri va to'ldirgich hajmini) hisoblang.

Shartlar:

Sexning ishlab chiqarish mahsuldorligi

Q, T/C  $H_2SO_4$  ..... 10

Gazda  $SO_2$  konsentratsiyasi a, birlik hissada ..... 0,07

Quritish minorasiga beriladigan  $H_2SO_4$

konsentratsiyasi, % ..... 95

Harorat:	
(minoradan chiqishda) gaz, $t_2, ^\circ\text{C}$ .....	32
Kislota, $t_k, ^\circ\text{C}$ .....	40
Gazda suvning parsial bosimi: kirishda chiqishda Pa....	474610,1
mm. sim. ust. ....	35,60,076
Sistemada bosim (разрежение) $R_1$ , (gaz	
haydovchigacha) Pa.....	2 933
mm. sim. ust. ....	22
Barometrik bosim R	
Pa .....	101325
mm. sim. ust. ....	760
To'ldirgichda gaz tezligi W, m/sek.....	0,8
Yechish:	
To'ldirgich yuzasini quyidagicha aniqlaymiz:	

$$F = \frac{B}{K\Delta P}$$

Gazdan yutilgan suv bug'i miqdori V (kg/s da)

$$B = \frac{V(R'_1 - R''_2)M_{H_2O}}{(R - R'_1 - R_2)22,4} \quad (a)$$

Bunda, V — normal me'yoriy sharoitga keltirilgan quruq gaz hajmi,  $\text{m}^3/\text{s}$ ; 22,4  $\text{l}/\text{mol}$  — normal sharoitga keltirilgan gazning molyar hajmi.

Agar o'tish darajasini  $X=0,98$ ,  $\text{SO}_3$  ning to'la yutilishini  $Z=0,99$  deb olsak,  $a=0,07$  da:

$$V = \frac{A \cdot 22,4}{M_{H_2SO_4} \cdot \alpha x z} = \frac{1000 \cdot 22,4}{98,08 \cdot 0,07 \cdot 0,98 \cdot 0,99} = 33640 \text{ m}^3 / \text{S}$$

Tenglama (a) qa ma'lum va aniqlangan qiymatlarni kiritsak:

$$B = \frac{33640(35,6 - 0,76) \cdot 18}{(760 - 35,6 - 22,0) \cdot 22,4} = 1360 \text{ kg} / \text{S}$$

Suv bug'i absorbsiya tezligi koeffitsiyentini ( $U=K\Delta C$ ) tenglami orqali aniqlaymiz.  $K_0=0,037$  va mm. sim. ustunida ifodalangan bosim (0,076) da 95% li  $\text{H}_2\text{SO}_4$  uchun

$$K=0,037 \cdot 0,8^{0,8}=0,031$$

Jarayonni harakatlantiruvchi kuch

$$\frac{R'_1 - R''_1}{R'_2 - R''_1} \cdot m$$

quyidagi tenglama bo'yicha aniqlaymiz:

$$\Delta R = \frac{(R'_1 - R'_2)(R''_1 - R''_2)}{2,31Q \frac{R'_1 - R''_1}{R'_1 - R'_2}} \quad (b)$$

95% li sulfat kislotasi ustidagi suv bug'isi muvozanat bosimi  $R_2$  40°C da 0,002 mm sim. ust. ga teng (deb qabul qilamiz).  $R'_1 = 35,6$ ;  $R''_1 = 0,076$ ;  $R''_2 = R_2 = 0,002$  mm sim. ust. larni (b) tenglamaga kiritamiz:

$$\Delta R = \frac{(35,6 - 0,002) - (0,076 - 0,002)}{2,31g \frac{35,6 - 0,002}{0,076 - 0,002}} = 5,8 \text{ mm.sim.ust}$$

shunday qilib, to'ldirgich yuzasi:

$$\leftarrow F = \frac{1360}{0,031 \cdot 58} = 7580 \text{ m}^2$$

Tajribalardan ma'lumki, minora to'ldirgichi to'la foydalanilmaydi. Shuning uchun 1,2 ga teng zaxira koeffitsiyenti kiritiladi. Bunda to'ldirgich yuzasi:

$$F = 7580 \cdot 1,2 = 9100 \text{ m}^2$$

Agar to'ldirgich 50x50 o'lchamida to'g'ri taxlangan ko'rinishda bo'lsa ( $1 \text{ m}^3$  yuzasi  $110 \text{ m}^2$  ga teng), uning umumiy hajmi:

$$V = \frac{9100}{110} = 82,8 \text{ m}^3$$

Quritish minorasi diametrini aniqlaymiz:

$$D_{\text{ichki}} = \sqrt{\frac{4V_t}{\pi w \cdot 3600}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 33640(273 + 40)760}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 3600 \cdot 273(760 - 22)}} = 4,2 \text{ m}$$

Bunda:  $V_t$  — harorat,  $t_r$  va barometrik bosim,  $R$  da gaz hajmi.

To'ldirgich balandligini aniqlaymiz:

$$H = \frac{4V_t}{\pi \cdot D_{\text{ichki}}^2} = \frac{4 \cdot 82,8}{3,14 \cdot 4,2^2} = 6,02 \text{ m}$$

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Г.И. Новиков. Основы общей химии. М.: «Высшая школа», 1988 г.
2. В.А. Рябин, М.А. Остроумов, Т.Ф. Свит. Термодинамические свойства веществ. Справочник, Л.: «Химия», 1977 г.
3. М.Х.Карапетьянц. Химическая термодинамика. Л.: «Госхимиздат». 1949 г.
4. О.Флореа, О.Смигельский. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии. Перевод с румынского языка З.М. Хаимского. М.: «Химия», 1971 г.
5. А.Г.Амелин. Общая химическая технология. М.: «Химия», 1977 г.
6. И. П. Мухленов и др. Общая химическая технология. М.: «Высшая школа», 1985 г.
7. А.М. Кутепов и др. Общая химическая технология. М.: «Высшая школа», 1985 г.
8. И.П.Мухленов и др. Расчеты химико-технологических процессов. Л.: «Химия», 1976 г.
9. М. Е. Позин, Ю.М. Зинюк. Физико-химические основы технологии неорганических солей. Л.: «Химия», 1985 г.
10. Я.М. Брайнес. Введение в теорию и расчёты химических и нефтехимических реакторов. М.: «Химия», 1976 г.
11. Х.Крамерс, К. Вестертерп. Химические реакторы. М.: «Химия», 1967 г.
12. И.П. Мухленов. Катализ в кипящем слое. Л.: «Химия», 1971 г.
13. Коган В.Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. Л.: «Химия», 1977 г.
14. В.В.Кафаров. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М.: «Химия», 1968 г.
15. В.В. Кафаров. Принципы создания безотходных химических производств. М.: «Химия», 1982 г.
16. А. М Кутепов и др. Общая химическая технология. М.: «Высшая школа», изд-е 2-ое, 1980 г.



17. С.Д. Бесков. Технологические расчеты. М.: «Химия», 1966 г.
18. А.В. Путилов и др. Охрана окружающей среды. М.: «Химия», 1991 г.
19. В.А. Проскуряков, Шмидт Л. И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Л.: «Химия», 1977 г.
20. А. И Радионов и др. Техника защиты окружающей среды. М.: «Химия». 1991 г.
21. И.Е. Кузнецов, Т.М. Троицкая. Защита воздушного бассейна от загрязнения вредными веществами. М.: «Химия», 1979 г.
22. А.П. Цыганков и др. Технический прогресс-химия-окружающая среда. М.: «Химия», 1979 г.
23. В.А. Спейшер. Огневое обезвреживание промышленных выбросов. М.: «Энергия», 1977 г.
24. М.Е. Позин. Технология минеральных удобрений, Л.: «Химия». 1990 г.

## MUNDARIJA

Kirish.....	3
-------------	---

### **I BOB. UMUMIY TUSHUNCHA**

1.1. Kimyoviy texnologiyaning mazmuni.....	5
1.2. Kimyoviy texnologiya fani, sanoati tarixi va ahamiyati.....	7
1.3. Kimyoviy ishlab chiqarishda jarayonlar – materiallar balansi.....	14
1.4. Kimyoviy ishlab chiqarishda jarayonlarning energetik balansi.....	16
1.5. Kimyoviy ishlab chiqarishning iqtisodiy samaradorligi.....	24
1.6. Kimyoviy termodinamika va kinetik qonunlari.....	25

### **II BOB. KIMYOVIY TEXNOLOGIYA JARAYONLARI ASOSLARI**

2.1. Kimyoviy jarayon haqida tushuncha.....	36
2.2. Kimyoviy texnologik jarayonlar sinflari.....	37
2.3. Texnologik jarayonlarda muvozanat.....	40
2.4. Texnologik jarayonlar tezligi.....	47
2.5. Kimyoviy jarayonlar tezligining asosiy formulalari.....	52
2.6. Kimyoviy jarayonlar tezligiga ta'sir etuvchi omillar.....	62

### **III BOB. KIMYOVIY REAKTORLAR**

3.1 Reaktorlar haqida umumiy tushunchalar.....	76
3.2. Muhit harakati tartibi turli reaktorlar.....	82
3.3. Siqib chigaruvchi va aralastiruvchi reaktorlar.....	86
3.4. Reaktorlarni solishtirish.....	98
3.5. Reaktorlarning harorat tartibi.....	104
3.6. Reaktorlarning mo'tadil ishlashi va dinamik xarakteristika.....	112
3.7. Issiqlik tartibi bo'yicha reaktor tiplarini tanlash.....	118
3.8. Reaktorlarda optimal issiqlik tartibini ta'minlash.....	121

#### **IV BOB. NOKATALITIK JARAYONLAR VA REAKTORLARNING TUZILISHI**

4.1. Gomogen jarayonlar reaktorlari.....	125
4.2. Gomogen kimyoviy jarayonlar (xarakteristikasi) xususiyatlari va qonuniyatlari.....	129
4.3. Geterogen nokatalitik jarayonlar reaktorlari.....	133
4.4. Geterogen nokatalitik jarayonlar xususiyatlari va qonuniyatlari.....	145

#### **V BOB. KATALITIK JARAYONLAR VA REAKTORLAR**

5.1. Katalitik reaksiyalarning umumiy qonuniyatlari.....	165
5.2. Gomogen va geterogen kataliz.....	170
5.3. Katalizatorlarni tayyorlash va qattiq katalizator- lar xossalari.....	177
5.4. Katalitik jarayonlar reaktorlari.....	179
5.5. Gaz aralashmalari kontakt apparatlarining asosiy elementlarini hisoblash.....	189

#### **VI BOB. KIMYOVIY-TEKNOLOGIK TIZIMLAR (KTT)**

6.1. Umumiy tushunchalar.....	195
6.2. KTT ni tashkil etishning asosiy bosqichlari.....	200
6.3. KTT modellari sinflari.....	204
6.4. KTTning matematik modeli.....	209
6.5. Energotexnologik sxemalar.....	217

#### **VII BOB. KIMYOVIY TEKNOLOGIK TIZIMDA XOM ASHYO, SUV VA ENERGIYA**

7.1. Xom ashyo va uni byitish.....	220
7.2. Sanoatda suv.....	223
7.3 Sanoatda energiya.....	227
7.4. Qattiq, suyuq va gaz holidagi chiqindilarni zararsizlantirch.....	228
Mavzular bo'yicha masalalar.....	245
Adabiyotlar.....	257

**QAHRAMON G'AFUROV**

# **KIMYOVIY TEXNOLOGIYANING NAZARIY ASOSLARI**

Toshkent – “Fan va texnologiya” – 2007

Muharrir:	<i>Q.Avezbayev</i>
Texnik muharrir:	<i>A.Moydinov</i>
Musahhiha:	<i>M.Hayitova</i>
Kompyuterda sahifalovchi:	A. Shaxamedov

Bosishga 12.04.2007 y. ruxsat etildi. Bichimi 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Ofset  
usulida bosildi. Shartli bosma tabog'i 17,0. Nashr tabog'i 16,5.  
Adadi 1000. Buyurtma №35.

«Fan va texnologiyalar Markazi bosmaxonasi»da chop etildi  
7000003, Toshkent shahri, Olmazor ko'chasi, 171-uy.