

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI



UMUMIY KIMYOVIY TEXNOLOGIYA

O'quv qo'llanma

I qism

TOSHKENT 2009

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

UMUMIY KIMYOVIY TEXNOLOGIYA

O'quv qo'llanma

I qism

TOSHKENT 2009

Umumiy kimyoviy texnologiya. O'quv qo'llanma. I - qism
Aripova M.M., Musayev M.N. –Toshkent, ToshDTU, 2009.

O'quv qo'llanmada xomashyo, energetik va ekologik muammolarni o'z ichiga olgan kimyoviy texnologiya nazariy asoslarining asosiy qonuniyatlari va usullari bayon qilingan bo'lib, undan texnika oliy o'quv yurtlari bakalavriat talabalari foydalanishlari mumkin.

Ushbu o'quv qo'llanma Abu Rayhon Beruniy nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy - uslubiy kengashi tomonidan nashr etishga ruxsat berilgan.

Taqrizchilar:

Mirzo Ulug`bek nomidagi O'zMU
kimyo fakultetining dotsenti, kimyo
fanlari nomzodi Asamov M.K.

Abu Rayqon Beruniy nomidagi ToshDTU
Neft va gaz fakultetining dotsenti,
texnika fanlari nomzodi Ibragimov N.I.

Kirish

O'quv qo'llanmaning asosiy maqsadi ishlab chiqarish jarayonlarining umumiy, eng muhim va asosiy negizlarini o'rganishdan iborat.

Kimyo - texnologik tizimlarga birlashtirilgan kimyoviy jarayonlar va reaktorlar ishlab chiqarishning ko'plab sohalarining, chunonchi kimyo, neftkimyo, mineral o'g'itlar, qora va rangli metallar metallurgiyalari, sellyuloza va o'rmonkimyo, qurilish materiallari, oziq - ovqat, kimyo - farmatsevtika, foto - va kinomateriallarining asosini tashkil etadi.

Kimyo sanoatining rivojlanishi yuqori samarador, energiya va xomashyo manbalarini tejankor, shuningdek ekologik toza texnologiyalarni ishlab chiqishga ko'proq e'tibor berishni talab qilmoqda. Shu munosabat bilan o'quv qo'llanmada xomashyo, energetik va ekologik muammolarni o'z ichiga olgan kimyoviy texnologiya nazariy asoslarining asosiy qonuniyatlarini va usullarini muhim ishlab chiqarishlarga qo'llash bayon qilingan.

Bir qancha misollarda ayrim kimyo - texnologik jarayonning o'rganish tartibi, ishlab chiqarishning eng maqbul fizik-kimyoviy sharoitlarini aniqlashga, jarayonning texnologik sxemasini tuzishga hamda uning asosiy material va energetik ko'rsatgichlarini baholashga yondashish ko'rsatilgan.

Metallurgiya, energetika, mashina- va asbobsozlik qatori kimyo sanoatining rivojlanish darajasi mamlakatning iqtisodiy kuch-qudratini aniqlaydi. Xuddi shuning uchun barcha rivojlangan mamlakatlarda kimyoviy texnologiyalarni takomillashtirishga, yangi texnologik jarayonlarni ishlab chiqishga, kimyoviy mashinasozlikni rivojlantirishga, ilmiy izlanishlarni mukammallashtirishga, yangi katalizatorlar yaratishga katta e'tibor berilmoqda.

O'quv qo'llanma olti bobdan tashkil topgan. Birinchi bobda aholi ehtiyojini qondirish va texnikaviy taraqqiyotda kimyo sanoatining ahamiyati, kimyoviy texnika va texnologiya rivojlanishining asosiy yo'nalishlari, hayot ta'minoti muammolarini yechishda kimyo sanoatining roli, kimyoviy mahsulotlarning sifati va tannarxi haqida so'z boradi. Ikkinchi bob kimyoviy

texnologiyaning asosiy qonuniyatlariga bag`ishlangan. Uchinchi bobda kimyoviy reaktorlar, ularning tasnifi, kimyoviy reaktorlarga qo'yiladigan talablar keltirilgan. To'rtinchi va beshinchi boblar mos ravishda nokatalitik va katalitik jarayonlar hamda maskur jarayonlarda qo'llaniladigan reaktorlarga bag`ishlangan. Oltinchi bobda kimyo-texnologik tizimlar tushunchasining ta'rifi, tuzilishi, uning ishini tavsiflovchi o'zgaruvchi kattaliklarning tasnifi, xossalarini baholash bayon qilingan.

Qo'llanma so'ngida uning matnida qiya bosma qora harflarda yozilgan atamalarning izohli lug`ati va adabiyotlar ro'yxati keltirilgan.

Qo'llanma haqidagi barcha fikr va mulohazalaringizni mualliflar mamnuniyat bilan qabul qiladilar.

Mualliflar

Kimyoviy texnologiyaning nazariy asoslari

Texnologiya - tabiiy xomashyodan sanoat mahsulotlari ishlab chiqarishning tejamliroq usullari va jarayonlari haqidagi fan.

Ishlab chiqarish usuli*) - bu xomashyoning undan mahsulot olinguncha o'tadigan barcha amallarning majmuidir.

Ishlab chiqarish usuli mos mashinalarda va apparatlarda o'tuvchi ketma-ket amallardan tashkil topgan. Amallarning majmui kimyoviy texnologik tizim (KTT)ni ifodalaydi. KTTning tasnifi texnologik sxema deyiladi. Amal bir yoki bir nechta apparatlarda (mashinalarda) yuz beradi; u har xil texnologik jarayonlar birikmasini ifodalaydi. Kimyoviy apparatlarda - reaktorlarda, odatda, bir vaqtda gidravlik, issiqlik, diffuzion va sof kimyoviy (reaksion) jarayonlar boradi.

Texnologiya mexanik va kimyoviyga bo'linadi. Mexanik texnologiyada materialning shakli yoki tashqi ko'rinishi va fizik xossalari o'zgaruvchi jarayonlar, kimyoviy texnologiyada esa moddaning xossalari va ichki tuzilishining tubdan o'zgarish jarayonlari ko'riladi. Bu bo'linish ma'lum darajada shartlidir, chunki materialning ko'rinishi o'zgarganda ko'pincha uning tarkibi va kimyoviy xossalari ham o'zgaradi. Masalan, metall quyadigan ishlab chiqarish mexanik texnologiyaga tegishli, lekin metallarni quyishda kimyoviy reaksiyalar ham yuz beradi. O'z navbatida, kimyoviy jarayonlar barcha ishlab chiqarishlarda mexanik jarayonlar bilan bir vaqtda boradi. Qadimdan kimyoviy texnologiya noorganik va organik moddalar texnologiyasiga, garchi ikkala texnologiya umumiy prinsiplar va qonuniyatlar bilan birlashgan bo'lsa ham, ajratish qabul qilingan.

1-bob. Kimyo sanoatining ahamiyati va rivojlanishi

Metallurgiya, energetika, mashina- va asbobsozlik qatori kimyo sanoatining rivojlanish darajasi mamlakatning iqtisodiy

*)-«Ishlab chiqarish usuli» texnologik atamasi, albatta ishlab chiqarish kuchlari va ishlab chiqarish munosabatlari birligidek ishlab chiqarish usuli haqidagi ijtimoiy iqtisodiy tushunchadan farq qiladi.

kuch-qudratini aniqlaydi. Xuddi shuning uchun barcha rivojlangan mamlakatlarda kimyoviy texnologiyalarni takomillashtirishga, yangi texnologik jarayonlarni ishlab chiqishga, kimyoviy mashinasozlikni rivojlantirishga, ilmiy izlanishlarni mukammallashtirishga, yangi katalizatorlar yaratishga katta e'tibor beriladi.

1.1. Aholi ehtiyojini qondirish va texnikaviy taraqqiyot uchun kimyo sanoatining ahamiyati

Kimyo sanoati xalq xo'jaligini rivojlantirish, zamonaviy jamiyatning hayotini yaxshilash va ko'p miqdordagi kerakli turli-tuman mahsulotlar ishlab chiqarishga xizmat qiladi. Xalq xo'jaligi qazib olingan yoqilg'ini (toshko'mir, neft, tabiiy gaz, slanes va torfni) kimyoviy qayta ishlash natijasida koks, motor yoqilg'ilari, surkov moylari, yonuvchi gazlar va katta miqdorda organik moddalar kabi juda muhim mahsulotlar oladi. Kimyo va kimyo sanoati, xalq xo'jaligi uchun mineral o'g'itlar olinuvchi, ammiak, nitrat, sulfat va fosfat kislotalari ishlab chiqaradi. Tabiatda keng tarqalgan osh tuzidan o'yuuvchi natriy (natriy gidroksidi), xlor, xlorid kislota va soda olinadi. Ular, o'z navbatida, alyuminiy, shisha, qog'oz, sovun, ip va jun gazlamalar, plastmassalar, sun'iy tolalar va boshqa mahsulotlarni ishlab chiqarishda ishlatiladi. Yog'ochni kimyoviy qayta ishlashda plastmassalar, faollashtirilgan ko'mir, tutunsiz porox, sirka kislotalasi, etil va metil spirtlari, aseton, konifol, aromatik uglevodorodlar qatorining birikmalari hosil bo'ladi.

Kimyo tufayli zamonaviy metallurgiya sanoati va mashinasozlik, kosmonavtika, avia va avtomobil transporti, qurilish materiallari va ko'plab xalq iste'moli mollari ishlab chiqarish jadal rivojlandi. Texnik taraqqiyotning asosiy yo'llaridan biri xalq xo'jaligini kimyolashtirishdir. Kimyoviy usullar, jarayonlar va materiallarni xalq xo'jaligiga joriy qilish **kimyolashtirish** deyiladi. Bu ishlab chiqarishni oqilona olib borishga, xomashyodan kompleks foydalanishga, chiqindisiz ishlashga imkon beradi.

Zamonaviy yuqori samarali va yuqori sifatli mineral o'g'itlarsiz, zaharli ximikatlarsiz (zararkunandalar va yovvoyi begona o'tlar bilan kurashuvchi vositalar), **konservantlarsiz** va sun'iy

ozuqalarsiz serunum qishloq xo'jalik mahsulotlarini ishlab chiqarilish mumkin emas.

Biosferani himoyalash maqsadida turli korxonalarning (masalan, energetik, selluloza-qog'oz, metallurgiya) gazlarini va oqova suvlarini tozalashning kimyoviy usullari keng qo'llaniladi.

Turmushda va kommunal xo'jalikda kimyo sanoatining ko'plab mahsulotlari ishlatiladi.

1.2. Kimyoviy texnika va texnologiya rivojlanishining asosiy yo'nalishlari

Kimyoviy texnikani takomillashtirish mehnat unumdorligini oshirish, tayyor mahsulotning sifatini yaxshilash va uning tannarxini pasaytirishga yo'naltirilgan. Kimyoviy texnikaning rivojlanishida asosiy o'zaro bog'langan yo'nalishlar: 1) KTTning va maxsus apparatlarning o'lchamlarini kattalashtirish yo'li bilan ularning quvvatlarini oshirish; 2) apparatlarning ishlashini jadallashtirish; 3) sermehnat jarayonlarni mexanizatsiyalash; 4) boshqaruvchi kompyuterlarni qo'llash bilan KTTni va maxsus apparatlarni kompleks avtomatlashtirish; 5) davriy jarayonlarni uzluksizlar bilan almashtirish; 6) energiya sarfini kamaytirish va kimyoviy reaksiya issiqligidan imkoni boricha foydalanish; 7) ishlab chiqarishning bosqichlar sonini kamaytirish va tutash (siklik) tizimlarga o'tish; 8) chiqindisiz ishlab chiqarishlarni yaratishdan iborat.

Kimyo texnologik tizimlarning va maxsus apparatlarning, odatda shu apparatlarda xizmat qilayotgan ishchilar shtatini ko'paytirmasdan, quvvatlarini oshirish ularning unumdorligini ko'tarishga va mehnat sharoitlarini yaxshilashga olib keladi. U unumdorlik τ vaqt birligida ishlab chiqarilgan mahsulot yoki qayta ishlangan xomashyoning miqdori G bilan o'lchanadi:

$$U = G / \tau \quad (1.1)$$

Apparatlarning o'lchamlarini va unumdorligini oshirish mablag' sarfini pasaytiradi va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish imkoniyatini yyengillashtiradi.

Apparatlar ishlashini jadallashtirish - o'lchamlarini kattalashtirmasdan ishlash tartibini yaxshilash hisobiga ularning unumdorligini oshirishdir. Apparat ishlashining jadalligi J deb, uning unumdorligi U ning apparatning hajmi v ning yoki uning kesimi yuzasi S ning nisbatiga aytiladi:

$$J = U/v = G/(\tau v) \text{ yoki } J = G/(\tau S) \quad (1.2)$$

Jadallashtirishga ikki yo'l bilan erishiladi: 1) apparatlar **konstruksiyasini** takomillashtirish; 2) shu turdagi apparatlarda texnologik jarayonlarni takomillashtirish. Bu ikki yo'l o'zaro chambarchas bog'liqdir. Apparatning konstruksiyasi yaxshilanishi bilan kimyoviy jarayonning jadalligi oshadi. Reaksiyaga kirishgan massalar harorati, bosimi va konsentratsiyasining ko'tarilishi, komponentlar aralashishining kuchayishi, o'zaro ta'sir qiluvchi moddalar orasida tutashish sirtlarining ortishi, katalizatorlarni qo'llash, hamda jarayonlarni mexanizatsiyalash va avtomatlashtirish jadallashtirishning ortishiga imkon beradi.

Mexanizatsiya - insonning jismoniy mehnatini zamonaviy mashinalar bilan almashtirishdir. Mexanizatsiya apparatura ishini jadallashtirishi va xizmat qiluvchi xodimlar shtatini qisqartirish hisobiga, mehnat unumdorligini oshirishi qonuniydir. Ko'pgina kimyoviy ishlab chiqarishlarda asosiy amallar mexanizatsiyalashgan. Lekin xomashyoni ortish, tushirish va materiallarni tashish hali hamma vaqt mashinalar bilan bajarilmaydi; ishlab chiqarishning ana shu bosqichlarini mexanizatsiyalash hozirgi vaqtning asosiy muammosini ifodalaydi.

Kompleks avtomatlashtirish - insonning bevosita ishtirokisiz, faqat uning nazorati ostida ishlab chiqarish jarayonlarini amalga oshirishga imkon beruvchi asboblarni qo'llashdir. Avtomatlashtirish - mehnat unumdorligining keskin ko'tarilishiga va mahsulot sifatini yaxshilashga imkon beruvchi mexanizatsiyalashning oliy darajasidir.

Boshqaruvchi kompyutyerdan foydalanish bilan, qator ishlab chiqarishlarning texnologik jarayonlarini boshqarishning avtomatlashtirilgan tizimlarini qo'llash kimyo sanoatida ayniqsa

unumli. Lekin ba'zi hollarda to'liq avtomatlashtirishni qo'llash hali qiyin yoki maqsadga muvofiq emas. Bu holda masofadan boshqarishdan foydalaniladi. **Masofadan boshqarish** - bu jarayon tartibini boshqarish bilan masofada (masalan, boshqarish pulti bilan) amalga oshiriluvchi, to'liqmas avtomatlashtirish.

Davriy jarayonlarni uzluksizlarga almashtirish - jarayonlarni jadallashtirish, mahsulotning sifatini va mehnat sharoitlarini yaxshilash bilan chambarchas bog'liq, texnologik jarayonning kimyo sanoati uchun o'ziga xos yo'nalishi. Uzluksiz jarayonlarga o'tish, xuddi mexanik texnologiyalarda konveyerlarni qo'llashga o'xshab, mehnat unumdorligini oshiradi.

Energiya sarfini pasaytirish va kimyoviy reaksiya issiqligidan imkoni boricha foydalanish - kimyoviy texnikaning muhim yo'nalishidir. hozirgi vaqtda ko'pchilik ko'p tonnali ishlab chiqarishlarda kimyoviy reaktorlar, aylanish mahsulotlarini bir paytda sovitish bilan, boshlang'ich moddalarni reaksiya haroratigacha isitish uchun yoki kuchli ekzotermik jarayonlarning issiqligi hisobiga utilizator-qozonlarida mahsulot suv bug'i olish uchun xizmat qiluvchi, issiqlik almashtiruvchi elementlar bilan uyg'unlashib ketgan. Bunda issiqlik almashtirgichlar ko'pincha kimyoviy reaktorlarning o'ziga nisbatan murakkabroq tuzilishga ega va reaktorlar bilan birgalikda energokimyoviy agregatni tashkil etadi. Mos ravishda kimyoviy texnologiyaning energotexnologiyaga aylanishi yuz beradi.

Bu ayniqsa, hozirgi vaqtda insoniyatni arzon, hammabop va samarali foydalaniladigan energiya bilan ta'minlashning tobora dolzarb muammosi yuzaga kelayotganda muhim, chunki uning an'anaviy manbalari (neft, tabiiy gaz, ko'mir, yog'och, torf va shunga o'xshashlar) yuqori sur'atlarda sarflanganda va bu manbalarining zaxiralari, ularning tabiiy tiklanishiga nisbatan, tezroq kamaymoqda. Shu munosabat bilan kimyoviy texnologiyada energetik va texnologik uskunalor orasidagi bog'lanish borgan sari yanada jiddiylashmoqda. Energotexnologik sxemalar ammiak, sulfat va nitrat kislotalari, metanol, rangli metallar, og'ir organik sintez mahsulotlari va boshqa mahsulotlar ishlab chiqarishlarida birinchi o'rinda turadi.

Ishlab chiqarish bosqichlari sonini kamaytirish va tutash (siklik) tizimlarga o'tish kapital qurilishda, xarajatlar va mahsulot

tannarxining pasayishiga olib keladi. Chunonchi metanning formaldegidgacha bevosita oksidlanishi uch bosqichli jarayonni (sintez-gaz. metanol sintezi. metanolning oksidlanishi) bir bosqichliga almashtirishga imkon beradi. Bunda tashlanma gazlardagi oltingugurt (IV) oksidining miqdori keskin kamayadi, ya'ni bir vaqtda ekologik muammo ham hal bo'ladi. Hozirgi vaqtda ko'p bosqichli jarayonlarning bir bosqichlilarga yoki sikliklarga o'tkazishdagi izlanishlar kimyoviy texnologiya rivojlanishining muhim shartlarini tashkil etadi.

Chiqindisiz ishlab chiqarishlarni yaratish ekologik muammoni kompleks hal qiladi va xomashyoning barcha komponentlaridan to'liq foydalanish tufayli mahsulot tannarxini pasaytiradi. Chiqindisizga yaqin ishlab chiqarishlarni tashkil qilishning eng oqilona yo'llaridan biri ayrim jarayonlar va reaktorlarda reaksiyon aralashmaning va issiqlik tashuvchilarning (havo, suvning) aylanishi, ayniqsa butun ishlab chiqarishning sirkulyatsion kimyo-texnologik tizimlarini yaratish uchun xizmat qiladi. Xuddi shu maqsadga, xomashyoning xalq xo'jaligi uchun muhim mahsulotlarga avval ishlatilmagan komponentlarini qayta ishlashga imkon beruvchi, sof kimyoviy ishlab chiqarishlarning boshqalar (masalan, metallurgiya) bilan kooperatsiyasi xizmat qiladi. Tashlanma gazlar va oqova suvlarni tozalash uchun texnologik sxemalarga maxsus apparatlarni kiritib, chiqindisiz texnologiyaga yaqinlashish mumkin. Hozircha bu yo'l ko'proq tarqalgan, lekin u atrof - muhitni muhofazalash muammosini qisman yechib, ko'plab ishlab chiqarishlarda maqsadli mahsulotning tannarxini oshishiga olib keladi.

Kimyoviy texnikaning rivojlanishidagi ko'rsatilgan har bir yo'nalishlarni baholab ishlab chiqarishni tashkil qilish va boshqarishni takomillashtirish, kimyoviy texnologiya sohasida ilmiy izlanishlarni chuqurlashtirish va kengaytirish hamda mos tashkilotlarning loyiha faoliyatlarini yaxshilash bilan to'ldirib, ko'pgina hollarda ularni kompleks ishlatish lozimligini qayd qilish zarur.

Qator ishlab chiqarishlar samaradorligini oshirishning kuchli vositasi atom texnikasi, plazmali va lazerli texnologiyalarni joriy qilish, fotokimyoviy, radiatsion-kimyoviy va biokimyoviy jarayonlarni ishlatish deb hisoblash mumkin.

1.3. Hayot ta'minoti muammolari va kimyo sanoati

Sanoat ishlab chiqarishining gurkirab rivojlanishi va aholi ko'payishi inson bilan atrof-muhitning o'zaro ta'sir tusini ma'lum darajada o'zgartiryapti. Hayot asosida, inson uchun tabiat bilan modda almashinuvida ifodalanuvchi, elementlarning aylanib turishlari yotadi. Yer, suv, havo sanoat va maishiy chiqindilar bilan ifloslanyapti, o'rmonlar va qishloq xo'jaligi uchun yaroqli yerlarning zaxiralari qisqarmoqda, hayvonlarning va o'simliklarning ko'plab turlari yo'qolib boryapti. Insonning ta'siri ostida muhit shunchalar tez o'zgaryaptiki, asrlar davomida tabiatda shakllangan muvozanat tiklanishga ulgurmyapti va u bu ta'sirlarga nazoratsiz javob bera boshlyapti. Buning hammasi natijasida insonlarning yashash sharoitlari yanada jiddiy tus olmoqda. Insoniyat hayotini ta'minlash, ya'ni aholini oziq-ovqat, ichimlik suvi, nafas olish uchun yyetarlicha toza havo va energiyaning turli ko'rinishlariga bo'lgan talablarini qondirish borgan sari yuqori darajada kimyoviy texnologik usullar bilan hal qilinyapti. Aholini oziq-ovqat mahsulotlari bilan ta'minlash ikki yo'nalish: qishloq xo'jalik unumdorligini oshirish uchun kimyo sanoatining mahsulotlarini ishlatish va sun'iy hamda sintetik ovqatlar ishlab chiqarish bo'yicha amalga oshirilyapti.

Qishloq xo'jalik ishlab chiqarish mahsuldorligini oshirish yuqori samarali mineral o'g'itlar, qishloq xo'jalik zararkunandalari bilan kurashish vositalari sanoatini mos rivojlantirilganda va o'simliklarni o'stiruvchi omillar ishlab chiqarishni yaratganda amalga oshishi mumkin.

Sun'iy oziq-ovqat olish kimyoviy texnologiya rivojlanishining muhim yo'nalishini ifodalaydi. Demograflarning fikri bo'yicha, aholining asosiy ko'payishi Osiyo, Afrika, Markaziy va Janubiy Amerika hisobiga sodir bo'ladi. Bu qit'alarning uchdan to'rt aholisi bugungi kunda zarur oqsillarning faqat 60% ni olyapti. Oziq-ovqatning yetishmasligi, chamasi, uchinchi ming yillikda insoniyat boshiga tushuvchi eng jiddiy sinovlarning biri bo'ladi. Dunyoni ijtimoiy qayta qurish qatorida faqat kimyoviy texnologiya (KT) don, go'sht va oqsillarning boshqa turlarini ko'paytirishga qodir.

Lekin qishloq xo'jaligi uchun yaroqli maydonlarning

chegaralanganligi va qishloq xo'jalik ishlab chiqarishni faollashtirish chegarasiz emasligi sun'iy oziq-ovqat olish muammosiga yanada katta ahamiyat berishni kuchaytiradi. Bu birinchi navbatda, har xil oqsilli materiallar sinteziga tegishli. Hozirgi vaqtda sanoat ko'lamida oqsillar sintezi asosan mikrobiologik yo'l bilan amalga oshirilyapti. Mikroorganizmlarning ferment tizimlari bilan amalga oshiriladigan sintez **mikrobiologik** sintez deyiladi. O'tgan asrning so'nggi choragidan boshlab, asosan neftdan olinuvchi yyengil yog'lar, normal parafinlar, metanol, etanol, sirka kislotasi va boshqa organik birikmalardan oqsillarning mikrobiologik sintezini sanoat miqyosida o'zlashtirish boshlandi. Jahon bo'yicha qazib olinayotgan neftning 5% ni mikrobiologik sintez uchun ishlatib, 6 mlrd. insonning, ya'ni yer sharining barcha aholisini oqsil *ratsioni* bilan ta'minlash mumkin.

Mikrobiologik jarayonlar gidroliz sanoatida, spirtlar, musallas (vino) ishlab chiqarishda, ozuqa achitqilari tayyorlashda, pishloq pishirishda, terilarni qayta ishlashda va shunga o'xshashlarni olishda, qandli moddalarni bijg'itishda qo'llaniladi.

Sanoati rivojlangan mamlakatlarda o'simlik xomashyosi negizida, qand-kimyo deb ataluvchi, asosiy organik sintezning kimyo sanoati keng ommalashib ketdi. Uning afzalligi xomashyoning hammabopligi va yiliga tiklanishining ancha kattaligidir. Bundan tashqari, kimyo sanoati masalasiga o'tdan, yog'och va qishloq xo'jalik chiqindilaridan oqsillar va uglevodlar ajratish, suv o'simliklaridan (masalan, xlorelladan) sun'iy ovqat tayyorlash, ovqatga ishlatiladigan moylar, qandlar, yog'lar sintezi kiradi. Bu jarayonlar allaqachon ma'lum darajada keng sanoat ko'lamida amalga oshirilmoqda.

Lekin asosiy masala - bu oqsil preparatlarning ekologik toza sintezidir. Ovqatga ishlatiladigan oqsillarning ahamiyati ularning aminokislotali tarkibiga bog'liq, chunki aminokislotalar organizmda sintezlanmaydi.

Hozirgi vaqtda nozik organik sintez yordamida bir qator aminokislotalar hamda ba'zi polipeptid-nonapeptidlar, bradikinin, insulin olishga erishilmoqda. Tarkibida 124 aminokislotali qoldiq bo'lgan polipeptid ham sintez qilingan.

Dorivor preparatlarni olish ham hayotni ta'minlashning muhim

masalasi hisoblanadi va ma'lum darajada organik kimyo va organik sintez texnologiyasining yutuqlari bilan belgilanadi. Kimyo (farmatsevtika) sanoati katta miqdorda yyetarlicha turli-tuman dorivor preparatlar-alkaloidlar, glinazidlar, o'simtalarga qarshi vositalar, vitaminlar, antiseptiklar, antibiotiklar va shunga o'xshashlar ishlab chiqarmoqda.

Atrof-muhitni va ko'pgina kimyo (va nokimyo) ishlab chiqarishlarda xizmat qiluvchi xodimlarning salomatliklarini muhofazalashga kimyoviy usullar bilan erishiladi. Gazlar, suyuqliklar yordamida zararli aralashmalarni absorbsiyalash, qattiq sorbentlarda adsorbsiyalash va ularni bezarar birikmalarga katalitik aylantirish bilan tozalanadi. Oqova suvlarni zararli aralashmalardan tozalash ham adsorbsion usullar, maxsus filtrlar orqali filtrlash, kuchli oksidlovchilar (ftor, xlor, ozon va boshqalar) bilan ishlov berish, ultrabinafsha nurlatish, biologik usullarni qo'llash bilan amalga oshirilishi mumkin. Dunyo okeanining ifloslanishini kamaytirishda turli texnologik jarayonlarda tutash suv aylanishiga o'tish alohida ahamiyatga ega. Tuproq va yer osti boyliklarini himoyalashga ishlab chiqarishning qattiq chiqindilari - shlaklar, shlamlar, qumlar, qurumlar, keraksiz jinslar va shunga o'xshashlarni utilizatsiyalash bilan, ya'ni xomashyodan kompleks foydalanishni amalga oshirib erishiladi.

Ishlab chiqarishning yuksalishi natijasida atrof-muhit ifloslanishining keskin kuchyishi munosabati bilan atrof-muhitni muhofazalashga butun dunyoda uzluksiz samarali e'tibor berilmoqda.

τ vaqt ichida sanoat ishlab chiqarishning ko'tarilishi mavjud ishlab chiqarishning U - unumdorligiga proporsional yuz berishi aniqlangan, ya'ni o'sish tezligi,

$$u = \frac{dU}{d\tau} = kU, \quad (1.3)$$

bu yerda k - o'sish koeffitsienti - u ham doimo o'sadi. Shunga ko'ra tozalashning yangi, samaraliroq usullarini ishlab chiqish yoki ishlab chiqarishning yangi usullariga o'tishini amalga oshirish zarur.

Sayyoramizdagi ekologik vaziyat masalalariga hozir siyosatshunos va davlat arboblari tomonidan ko'proq e'tibor berilmoqda. Ishlab chiqarishning butun faoliyati inson va tabiatning uyg'un o'zaro ta'sirini ta'minlash uchun yuqori samarali manbalar va texnologiyalarni qo'llashga mo'ljallangan bo'lishi kerak.

1.4. Kimyoviy mahsulotlarning sifati va tannarxi

Korxonalar ishlab chiqarayotgan mahsulotlarining sifatiga katta e'tibor beradilar. Ko'p hollarda kimyoviy mahsulotlarning sifati ulardagi asosiy moddalarning konsentratsiyasi bilan aniqlanadi. Asosiy moddalarni maksimal va aralashmalarni minimum miqdorda o'z ichiga oluvchi mahsulotlar oliy va birinchi nav materiallar hisoblanadi. Har bir kimyoviy mahsulotning sifati, ya'ni uning tarkibi va xossalari, davlat yoki davlatlararo standartlarning talablariga javob berishi kerak. Standartlarni o'rnatishda ishlab chiqarish imkoniyatlari va iste'molchining talablari hisobga olinadi. Biror ishlab chiqarish mahsulotiga qo'yilgan talablarga qarab bir necha standartlar bo'lishi mumkin, lekin ularning talablari shunday bo'lishi kerakki, ularni shu ishlab chiqarishda amalga oshirish mumkin bo'lsin. Standartlar hali o'rnatilmagan yangi turdagi mahsulotlarga talablar korxona ixtiyorida texnik shartlar (TSh) bilan aniqlanadi.

Mahsulotning tannarxi - bu mana shu korxonaning mahsulotni ishlab chiqarish va sotish xarajatlarining pul ifodasidir. Korxonaning mahsulotlar ishlab chiqarish bilan bevosita bog'liq xarajatlari **tannarx** deyiladi. Bu xarajatlar ikki usul bilan hisobga olinadi: **kalkulyatsiya** moddasi va xarajatning boshlang'ich elementi bo'yicha. Kalkulyatsiya moddasi bo'yicha mahsulotning tannarxi bevosita xarajatlardan va chiqimlardan, bevosita xarajatlar esa - narxni hisobga oluvchi asosiy moddalardan: 1) kimyoviy reaksiyalarda bevosita qatnashayotgan xomashyodan, yarimfabrikatlardan va asosiy mahsulotlardan; 2) texnologik maqsadlar uchun yoqilg'i va energiya; 3) ishlab chiqarishning asosiy ishchilarining ish haqlaridan; 4) amortizatsiyadan, ya'ni ishlab chiqarishni asosiy fondlarining: binolar, qurilmalar, asbob-uskuna va boshqalarning eskirishi o'rnini to'ldirish uchun olib qolingan mablag'lardan; 5) ishlab chiqarishning asosiy

fondlarini saqlash va joriy ta'mirlaish (shu jumladan yordamchi va ta'mirchi ishchilarning ish haqlari ham) uchun xarajatlarni o'z ichiga olgan sex xarajatlaridan yuzaga keladi. Chiqimlar ishlab chiqarishga xizmat qilish (ma'muriy-boshqaruv xodimlarini boqish, mehnatini himoyalash, texnika xavfsizligi va boshqalar) bilan bog'liq bevosita xarajatlardan foizlarda aniqlanadi.

Birlik mahsulotga ketadigan xarajatlarni hisoblash uchun xomashyo, materiallar, yoqil g'i, energiya bo'yicha tabiiy birliklarda (masalan, tonna mahsulotga, tonna xomashyoda), keyin esa xomashyo, materiallar va xarajatning boshqa moddalari narxlarini hisobga olib, kalkulyatsiya tuziladi. Xarajatni ba'zi moddalarining mahsulot tannarxiga nisbati har xil kimyoviy ishlab chiqarishlar bo'yicha o'zgaradi. Odatda, xomashyo eng katta ahamiyatga ega. O'rtacha kimyo sanoati bo'yicha u tannarxning 60-70% ni tashkil etadi. Yoqil g'i va energiya esa, odatda, tannarxning taxminan 15% ni tashkil etadi, lekin elektrotermik va elektrokimyoviy ishlab chiqarishlarda elektroenergiya - xarajatning asosiy moddasidir.

Asosiy ishchilarning ish haqi tannarxning taxminan 4% ni tashkil etadi, chunki keng ko'lamli kimyoviy ishlab chiqarishlar yuqori darajali mexanizatsiya bilan uzluksiz usulda amalga oshiriladi. Lekin asosiy ishlab chiqaruvchi ishchilarning maoshlari mahsulot tannarxining 20% dan ko'pini tashkil etgan ishlab chiqarishlar ham bor. Amortizatsion chegirmalar tannarxning o'rtacha 3-4% ni tashkil etadi. Boshqa xarajatlar, tannarxning ancha-muncha moddasini ifodalovchi sex sarflari zimmasiga tushadi.

Yangi kimyoviy korxonani qurish yoki ishlayotganini *rekonstruksiya* qilish uchun ajratiladigan kapital mablag'larni samarali ishlatish shu korxonaning loyihalash va qurish bosqichida hisobga olinishi lozim. Iqtisodiy samara mehnat unumdorligining ortishi, ishlab chiqarish chiqimlarini kamaytirish, asbob-uskunalarining smenalik koeffitsientini oshirish, daromadni ko'paytirish, qurilayotgan korxonalarni ishga tushirishni tezlatish, mahsulot sifatini yaxshilash va shunga o'xshashlarda ifodalanadi.

2- bob. Kimyoviy texnologiyaning asosiy qonuniyatlari

Kimyoviy texnologiyaga xos kimyo-texnologik jarayon bir qator, ya'ni xomashyoni tayyorlash; uni kimyoviy yoki ko'proq fizik-kimyoviy qayta ishlash, tayyor kimyoviy mahsulotni mos qayta ishlash amallaridan tashkil topgan. Bu amallarning har birini takomillashtirish ishlab chiqarishning texnologik ko'rsatkichlariga qanday bo'lsa, texnik-iqtisodiyalariga ham xuddi shunday bog'liq. Xomashyoni tayyorlash va tayyor mahsulotni qayta ishlash bosqichlarining ahamiyatini kamaytirmasdan qayd qilamizki, kimyoviy texnologiya asoslarini o'rganish nuqtayi nazaridan xomashyo materialini ishlab chiqarish mahsulotiga xos fizik-kimyoviy qayta ishlash jarayoni eng katta ahamiyatga ega.

2.1. Kimyo-texnologik jarayon haqida tushuncha

Kimyo-texnologik jarayon fizikaviy va kimyoviy hodisalarning majmuidan tashkil topgan. U, odatda, quyidagi o'zaro bog'liq elementar bosqichlardan tuzilgan: 1) reaksiyaga kirishuvchi komponentlarni reaksiya zonasiga yyetkazish; 2) kimyoviy reaksiyalar; 3) olingan mahsulotlarni reaksiya zonasidan olib chiqish.

Reaksiyaga kirishuvchi komponentlarni reaksiya zonasiga yyetkazish molekulyar diffuziya yoki *konveksiya* bilan amalga oshiriladi. Reaksiyaga kirishuvchi moddalarni kuchli aralashtirilganda konvektiv o'tkazish *turbulent diffuziya* ham deyiladi. Ikki yoki ko'p fazali tizimlarda reaksiyaga kirishuvchi komponentlarni yetkazish gazlarning absorbsiyalanish yoki desorbsiyalanish, bug'larning kondensatlanish, qattiq moddalarni suyultirish yoki ularni suyuqlikda eritish, suyuqliklarni bug'latish yoki qattiq moddalarni haydash bilan bajarilishi mumkin. **Fazalararo o'tish** - bu murakkab diffuzion jarayon.

Kimyoviy reaksiya - bu kimyoviy-texnologik jarayonning ikkinchi bosqichi. Reaksiyaga kirishuvchi tizimda odatda asosiy mahsulotning hosil bo'lishiga olib keluvchi bir necha ketma-ket (ba'zan esa parallel ham) kimyoviy reaksiyalar hamda boshlang'ich xomashyoda bo'lishi muqarrar, aralashmalar va asosiy boshlang'ich

moddalar orasida qator oraliq reaksiyalar yuz beradi. Natijada asosiydan boshqa oraliq mahsulotlar (xalq xo'jaligida ahamiyatga ega materiallar) yoki ishlab chiqarish chiqindilari va tashlanmalari, ya'ni uncha ahamiyatga ega bo'lmagan va xalq xo'jaligida yetarlicha foydalanilmaydigan oraliq mahsulotlar hosil bo'ladi. Ishlab chiqarishning oraliq mahsulotlari va chiqindilari asosiy reaksiyada maqsadli mahsulot bilan hamda asosiy boshlang'ich moddalar va aralashmalar orasidagi oraliq reaksiyalar natijasida hosil bo'lishi mumkin. Ishlab chiqarish jarayonlari tahlilida, barcha reaksiyalar emas, balki faqat olinayotgan maqsadli mahsulotlarning miqdoriga va sifatiga muayyan ta'sirga ega bo'lganlari e'tiborga olinadi.

Mahsulotni reaksiya zonasidan olib chiqish xuddi reaksiyaga kirishayotgan komponentlarni diffuziya, konveksiya bilan yetkazilganidek va moddalarni bir fazadan (gaz, suyuq, qattiq) boshqasiga o'tishiga o'xshash bajariladi.

Jarayonning umumiy tezligi qayd qilingan elementar bosqichlarning tezligi bilan aniqlanadi. Odatda bu elementar jarayonlar turli tezliklar va ketma-ketliklar bilan boradi. Shuning uchun jarayonning umumiy tezligi eng sekin bosqichning tezligi bilan cheklanadi. Agar kimyoviy reaksiyaning o'zi juda sekin borayotgan va u umumiy tezlikni cheklayotgan bo'lsa, u holda jarayon **kinetik sohada** boradi. Bunday jarayonlarni tezlatish uchun, masalan, katalizatorlarni ishlatib, boshlang'ich komponentlarning konsentratsiyasini, haroratni, bosimni oshirib, texnologiyada shunday omillarni o'zgartiriladiki, ular kimyoviy reaksiyaning tezligiga ko'proq ta'sir qilsin. Agar reaksiyaga kirishuvchi komponentlarni yetkazish yoki reaksiya mahsulotlarini olib chiqish jarayonning umumiy tezligini cheklasa, u holda jarayon **diffuzion sohada** boradi. Bunday jarayonlarni tezlatish uchun aralashtirishni kuchaytirish (reaksiyaga kirishayotgan tizimni turbulizatsiyalash), fazalarni disperslash, harorat va konsentratsiyani oshirish, tizimni gomogenlash, ya'ni ko'p fazali tizimni bir fazaliga o'tkazish va shunga o'xshashlar bilan diffuziya tezligini oshirishga harakat qilinadi. Agar texnologik jarayonning barcha bosqichlarining tezligi o'lchovdosh bo'lsa - jarayon **o'tuvchi soha** deb ataluvchi sohada boradi, u holda bunday jarayonning tezligini oshirish uchun eng avvalo tizimga shunday omillar bilan

ta'sir qilish kerakki, ular diffuziyani qanday bo'lsa, kimyoviy reaksiya tezligini ham shunday oshirsin, masalan reaksiyaga kirishayotgan moddalar konsentratsiyasi va haroratini oshirish bilan.

Kimyoviy texnologiyani asosiy qonuniyatlarini bilish jarayonning eng maqbul sharoitlarini aniqlashga, uni mahsulotning maksimal chiqishi bilan eng samarali olib borishga, yuqori sifatli mahsulotlar olishni ta'minlashga imkon beradi. Texnologik mavjud ishlab chiqarishni tahlil qilishda uni yaxshilash uchun va ayniqsa, yangi jarayonlarni tashkil qilishda asosiy qonuniyatlardan foydalaniladi.

2.2. Kimyo-texnologik jarayonlarning tasnifi

Kimyoviy texnologiyani barcha jarayonlari avvalo, kimyoviy reaksiyani o'z ichiga oluvchi, kimyoviy va fizikaviylarga bo'linadi. Quyida kimyo-texnologik jarayonlarning tasnifini ko'ramiz. Kimyoviy reaksiyalar kimyo-texnologik jarayonlarning eng muhim bosqichi hisoblanadi.

Kimyo-texnologik jarayonlarni tasniflashda kimyoviy reaksiyalarning oddiy, murakkab, parallel va murakkab ketma-ketlarga bo'linishi hisobga olinadi. Kimyo-texnologik jarayonlarning ba'zi sinflarini tasniflashda reagentlarning o'zaro ta'sir turi bo'yicha reaksiyalar oksidlanish-qaytarilishlarga (gomolitiklarga) va kislota-asoslilarga (geterolitiklarga) bo'linadi.

Kimyoviy reaksiyalar va massa o'tkazish jarayonlari qaytar yoki qaytmas bo'lishlari mumkin, umuman texnologik jarayonlar ham mos ravishda farqlanadi.

Kinetik va diffuzion sohada barayotgan jarayonlarni bir-biridan ajratish zarur. Bu ko'rinishdagi jarayonlarni tasniflash geterogen tizimlarda, ayniqsa gaz yoki suyuq aralashma komponentning qattiq g'ovakli material sirti bilan o'zaro ta'sirida juda qiyinlashadi. Bunday jarayonlarda limitlayotgan bosqichga bog'liq holda quyidagi sohalarini kuzatish mumkin: tashqi diffuzion, tashqidan ichki diffuzionga o'tish, ichki diffuzion (qattiq materialning kovakchalarida), ichki-o'tish va kinetik. Bu sohalar geterogen-katalitik jarayonlar uchun juda katta ahamiyatga ega.

Agar jarayonning mexanizmi murakkab bo'lsa, uning u yoki bu sinfga tegishli bo'lishi aniq bir maqsadga qaratish bilan aniqlanadi. Texnologik jarayonlarni tasniflashda ularni maqbullashtirish uchun zarur bo'lgan texnologik tartib katta ahamiyatga ega.

Jarayonning tezligiga, mahsulotning chiqishiga va sifatiga ta'sir qiluvchi asosiy omillarning (parametrlarning) majmui texnologik tartib deyiladi.

Ko'pgina kimyo-texnologik jarayonlar uchun tartibning asosiy parametrlari harorat, bosim, katalizatorni ishlatish va uning faolligi, o'zaro ta'sirlanayotgan moddalarning konsentratsiyasi, reagentlarning aralashtirish usuli va darajasi hisoblanadi.

Texnologik tartibning parametrlari mos reaktorlarni loyihalash prinsiplarini aniqlaydi. Texnologik tartibning parametrlarining eng maqbul qiymatlariga apparatlarning eng yuqori unumdorligi va jarayonda xizmat qilayotgan xodimlar mehnatining samaradorligi mos keladi. Shuning uchun texnologik tartibning tavsifi va parametrlarining qiymatlari kimyo-texnologik jarayonni tasniflashning asosiga qo'yilgan. Lekin texnologik tartibning barcha parametrlari o'zaro bog'liq va bir-biridan kelib chiqadi.

Parametrlardan birining o'zgarishi tartib boshqa parametrining eng maqbul miqdori keskin o'zgarishini keltirib chiqaradi. Shuning uchun texnologik jarayon tartibining barcha parametrlarini istisnosiz aniq tasniflash juda murakkab bo'lar edi va kimyoviy texnologiyaning umumiy kursida maqsadga muvofiq emas. Ta'sir ko'rsatadigan eng muhim parametrlarni tanlash zarur.

Reaktorlarning konstruksiyasiga va jarayonlarning tezligiga reagentlarning aralashtirish usuli va darajasi kuchli ta'sir qiladi. O'z navbatida, reaksiyaga kirishuvchi massalarni aralashtirish usuli va faolligi ularning (massalarning) agregat holatiga bog'liq. Qayta ishlanayotgan moddalarning ayni agregat holati ularning texnologik qayta ishlash usullarini va apparatlarni loyihalash prinsiplarini aniqlaydi. Shuning uchun kimyoviy texnologiyaning umumiy qonuniyatlarini o'rganishda eng avvalo jarayonlarni va ularga mos reaktorlarni o'zaro ta'sirlanayotgan moddalarning agregat (fazaviy) holati bo'yicha ajratish qabul qilingan. Bu alomat bo'yicha o'zaro ta'sirlanayotgan barcha tizimlar va ularga mos texnologik jarayonlar

bir jinsli yoki gomogen va bir jinsli bo'lmagan yoki geterogen jarayonlarga bo'linadi.

Reaksiyaga kirishuvchi barcha moddalar gaz (G) yoki suyuq (S) fazada bo'lgan jarayonlar **gomogen** deyiladi. Gomogen tizimlarda reaksiya moddalarining o'zaro ta'sirlari geterogenlarga nisbatan odatda tezroq yuz beradi, butun texnologik jarayonning mexanizmi soddaroq va mos ravishda jarayonni boshqarish oson, shuning uchun texnologlar amaliyotda ko'pincha gomogen jarayonlarga intiladilar, ya'ni reaksiyaga kirishuvchi qattiq moddalarni yoki hech bo'lmaganda ulardan birini suyuqlantirish yoki eritish bilan suyuq holatga keltiriladi; shu maqsad bilan ham gazlarning absorbsiyasi yoki ularning kondensatsiyasi amalga oshiriladi.

Geterogen tizimlar ikki yoki ko'p sondagi fazalarni o'z ichiga oladi. Quyidagi ikki fazali tizimlar mavjud; gaz - suyuq (G-S), gaz-qattiq jism (G-Q); suyuq-suyuq (aralashmaydigan) (S-S); suyuq-qattiq jism (S-Q) va qattiq-qattiq (Q-Q). Ishlab chiqarish amaliyotida eng ko'p G-S; G-Q, S-Q tizimlar uchraydi. Ko'pincha ishlab chiqarish jarayonlari ko'p fazali geterogen tizimlarda boradi, masalan, G-S-Q, G-Q-Q, S-Q-Q, G-S-Q-Q va shunga o'xshashlar. Sanoat amaliyotida geterogen jarayonlar gomogenlarga nisbatan kengroq tarqalgan. Bunda, odatda jarayonning geterogen bosqichi (massa o'tkazish) diffuzion tavsifga ega, gaz yoki suyuq muhitda esa gomogen kimyoviy reaksiya yuz beradi. Lekin qator ishlab chiqarishlarda geterogen reaksiyalar, odatda jarayonning umumiy tezligini belgilovchi G-Q, G-S, S-Q tizimlarning chegaralarida boradi.

Geterogen reaksiyalar, xususan qattiq moddalarning va suyuqliklarning yonishida (oksidlanishida), metallarning va minerallarning kislotalarda va ishqorlarda erishida yuz beradi.

Kimyoviy jarayonlar katalitik va nokatalitiklarga bo'linadi. Texnologik tartib parametrlarining qiymati bo'yicha jarayonlarni past va yuqori haroratlilarda, vakuum ostida, normal va yuqori bosimda, yuqori va past konsentratsiyali boshlang'ich moddalar ishtirokida yuz beradiganlarga ajratish mumkin. Lekin, alohida kimyoviy ishlab chiqarishlar bo'yicha qo'llanmalarda keltirilgan bunday batafsil

tasniflash umumiy kimyoviy texnologiya kursi uchun ortiqcha murakkab.

Vaqtda jarayon borishining tavsifi bo'yicha mos apparatlar va ularda amalga oshirilayotgan jarayonlar davriy va uzluksizlarga bo'linadi. Uzluksiz ishlaydigan reaktorlar **oqimli** deyiladi, chunki ular orqali reaksiyaga kirishuvchi massa oqimlari doimiy oqib turadi.

Gidrodinamik tartib bo'yicha reaksiya mahsulotlari bilan rekciyaga kirishuvchi komponentlarning aralashtirishning chegaraviy ikki holi farqlanadi. **To'liq aralashtirish** shunday tartibni ifodalaydiki, unda turbulizatsiya shu qadar kuchliki, reagentlarning konsentratsiyasi oqimli reaktorlarda boshlang'ich aralashmaning kiritilish joyidan mahsulot aralashmaning chiqish joyigacha apparatning butun hajmida bir xil bo'ladi.

Boshlang'ich aralashma reaksiya mahsulotlari bilan aralashmay, balki apparatning butun uzunligi va kengligi bo'yicha laminar oqim bilan o'tsa **bekami-ko'st siqib chiqarish** kuzatiladi. Reagentlarning oqimi yo'nalishi bo'yicha konsentratsiyaning ohista o'zgarishi yuz beradi, vaholanki to'liq aralashtirishning reaksiyon hajmida konsentratsiya gradienti yo'q. Sanoat oqimli reaktorlarida aralashtirish darajasi har doim to'liq aralashtirish apparatidagiga nisbatan kichik, bekami-ko'st siqib chiqarish apparatlaridagiga nisbatan katta. Reaktorlarning ba'zi turlarida aralashtirish tartibi chegaraviy hollarning biriga yaqin.

Oqimli reaktorlar va ularda yuz berayotgan jarayonlar harorat tartibi bo'yicha izotermik, adiabatik va politermiklarga bo'linadi. Izotermik jarayonlarda butun reaksiyon hajmda harorat o'zgarmasdir. Ideal-izotermik tartib faqat, to'liq aralashtirishga yaqinlashadigan, yetarlicha kuchli aralashtirishli reaktorlarda amalga oshirilishi mumkin. Issiqlik effekti kam (masalan, **izomerlanish**) yoki reaksiyaga kirishayotgan moddalarning past konsentratsiyasida reaksiyalar yuz beruvchi jarayonlar izotermiklarga yaqin. Bu gazlarni zararli aralashmalardan tozalash jarayonlari uchun xosdir.

Adiabatik jarayonlarda issiqlikni qaytarish yoki yetkazish yo'q, reaksiyaning barcha issiqligi reaksiyaga kirishuvchi moddalar oqimi bilan to'planadi. Ideal-adiabatik tartib faqat tashqi muhitdan to'liq ajralganda bekami-ko'st siqib chiqaruvchi reaktorlarda imkoni bor.

Bunday reaktorlarda oqimning harorati, reaktor o'qi bo'ylab, boshlang'ich moddaning mahsulotga aylanish darajasiga to'g'ri yoki teskari proporsional.

Politermik reaktorlarda reaksiya issiqligi reaksiya zonasidan faqat qisman qaytariladi yoki endotermik jarayonlar uchun yetkazish bilan o'rni to'ldiriladi. Natijada harorat reaksiyon hajmning uzunligi (yoki balandligi) bo'yicha notekis o'zgaradi va harorat tartibi har xil egri chiziqlar bilan ifodalanadi.

Moddalarning kimyoviy aylanishi u yoki bu darajada issiqlik jarayonlari bilan birga boradi. Jarayonlarning issiqlik effekti bo'yicha ular ekzo- va endotermiklarga bo'linadi. Bunday bo'linish issiqlik effekti qaytar reaksiyalarning muvozanatiga va tezligiga ta'sirini aniqlashda juda muhim ahamiyatga ega. Qator ishlab chiqarishlarda reaksiyaning issiqlik effekti ishlab chiqarishning texnologik sxemasini va reaktorning tuzilishini aniqlaydi.

Geterogen tizimlarda to'g'ri oqimli, qarama-qarshi oqimli va kesishuvchi oqimli jarayonlar farqlanadi. Tasniflashning bunday ko'rinishi jarayonni harakatlantiruvchi kuchni reaktorning balandligi (uzunligi) bo'yicha o'zgarish tavsifini aniqlash uchun zarur. Shunday qilib, jarayonlarning hatto soddalashtirilgan tasnifi yetarlicha murakkab. Chunki u sanoatda mavjud har xil kimyo-texnologik jarayonlarni o'rganishga har tomonlama yondashishni ko'rsatadi.

Kimyoviy texnologiyada o'rganilayotgan asosiy obyektlar - kimyo-texnologik jarayonlarning muvozanati va tezligidir.

2.3. Texnologik jarayonlarda muvozanat

Texnologik jarayonlar qaytar va qaytmaslarga bo'linadi. Qaytmas jarayonlar faqat bir yo'nalishda boradi. To'g'ri va teskari jarayonlarning tezliklari tenglashadigan, buning natijasida o'zaro ta'sir qiluvchi tizimlarda komponentlarning nisbati jarayonning borish sharoiti o'zgarmaguncha o'zgarmay qoladigan barcha qaytar jarayonlar muvozanatga intiladi. Harorat, bosim, reaksiyaga kirishuvchi moddalarning konsentratsiyasi kabi texnologik parametrlar o'zgarganda muvozanat buziladi va jarayon yangi muvozanat boshlanguncha u yoki bu yo'nalishda borishi mumkin. Kimyoviy

reaksiyadagi muvozanat holati miqdoran massalar ta'siri qonuni (MTQ) bilan tavsiflanadi:

o'zgarmas haroratda va muvozanat mavjud bo'lganda reaksiya mahsulotlarining ta'sirlanuvchi massalari ko'paytmasining boshlang'ich moddalarning ta'sirlanuvchi massalari ko'paytmasiga nisbati o'zgarmas kattalikdir.

Bu o'zgarmas K kattalik muvozanat konstantasi deyiladi. K konstantani hisoblaganda p_i - komponentlarning parsial bosimlari, c_i - konsentratsiyalari yoki n_i - mollar sonidan foydalanish mumkin. Mos ravishda K_p ; K_c ; K_n miqdorlar olinadi. Sintez reaksiyasi misolida muvozanat konstantalari uchun ifodalarni ko'raylik:



bu yerda a, b, d - stexiometrik koeffitsientlar; ΔH - o'zgarmas bosimda reaksiyaning issiqlik effekti. $(-\Delta H / d) = q_p$ - maqsadli mahsulotning bir moliga o'tkazilgan issiqlik. Bunday xildagi reaksiyani modeldek hisoblash mumkin, chunki u SO_2 va SO ni oksidlanishi, ko'plab gazlarni (SO_3 , SO_2 , CO_2) suv bilan absorbsiyasi; NH_3 va HCl gazlarining sintezi; spirtlarni, yuqori molekulyar birikmalarni olish va shunga o'xshash jarayonlar uchun xosdir.

Agar A, B va D moddalar gazlar bo'lsa, u holda

$$K_p = \frac{P_D^{*d}}{P_A^{*a} P_B^{*b}} = \left. \begin{array}{l} \text{const} \\ T = \text{const} \end{array} \right\}, \quad (2.1)$$

bu yerda p_i^* - komponenti muvozanat parsial bosimi.

Agar ta'sir qiluvchi massa sifatida muvozanat konsentratsiyasi c_i^* olinsa, u holda

$$K_c = \frac{c_D^{*d}}{c_A^{*a} c_B^{*b}} = \left. \begin{array}{l} \text{const} \\ T = \text{const} \end{array} \right\}, \quad (2.1a)$$

agar n_i^* - muvozanat mollar soni olinsa, u holda

$$K_n = \frac{n_D^{*d}}{n_A^{*a} n_B^{*b}} = \begin{cases} const \\ T = const \end{cases}, \quad (2.1b)$$

agar N_i^* - muvozanat molyar ulushlari olinsa, u holda

$$K_N = \frac{N_D^{*d}}{N_A^{*a} N_B^{*b}} = \begin{cases} const \\ T = const \end{cases}, \quad (2.1d)$$

K_p , K_c , K_n va K_N muvozanat konstantalari o'zaro oddiy munosabatlar bilan bog'langan:

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n} \quad (2.2)$$

$$K_p = K_n \left(\frac{RT}{P} \right)^{\Delta n}, \quad (2.2a)$$

$$K_p = K_N P^{\Delta n}, \quad (2.2b)$$

bu yerda T - absolyut harorat, R - molyar gaz doimiysi, V - gazli aralashma hajmi; P - gazli aralashmaning umumiy bosimi, Δn - reaksiyada qatnashayotgan gazsimon moddalarning mollar sonining o'zgarishi.

Shunday qilib, (a) reaksiyasi uchun

$$\Delta n = d - (a + b). \quad (2.3)$$

Agar reaksiyaga kirishayotgan moddalardan biri juda ortiq ishlatilsa (masalan, gidrolizda suvning konsentratsiyasi; havoda kuydirishda kislorodning parsialal bosimi va shunga o'xshash), u holda bu ortiqcha komponentning konsentratsiyasini (parsial bosimni) o'zgarmas kattalik deb hisoblash mumkin. Bunda muvozanat

konstantasi uchun ifoda, masalan (a) model reaksiyasi uchun B komponentning ortiqchaligida

$$K_p' = K_p p_B^{*b} = \frac{P_D^{*d}}{P_A^{*a}} = \left. \begin{array}{l} const \\ T = const \end{array} \right\} \quad (2.4)$$

ko'rinishga ega.

Xuddi shunday mulohazalar geterogen muvozanat uchun ham o'rinli. Geterogen tizimlarda **moddalarning yoki energiyaning ikkala yo'nalishda bir fazadan boshqasiga o'z-o'zidan o'tishi mumkin bo'lgan jarayonlar qaytar** deyiladi.

Fazalararo muvozanat moddalarning taqsimot qonuni va fazalar qoidasi (4- bob) asosida aniqlanadi.

Muvozanat konstantasini hisoblash yo tajriba ma'lumotlari bo'yicha yoki normal kimyoviy yaqinlik bo'yicha amalga oshiriladi:

$$\Delta G_T^\circ = -RT \ln K_p \quad (2.5)$$

yoki

$$\Delta F_T^\circ = -RT \ln K_p \quad (2.6)$$

bu yerda ΔG_T° va ΔF_T° o'zgarmas bosim va hajmda erkin energiyalar yoki mos ravishda izobarik- va izoxorik-izotermik potentsiallar.

$$\Delta G_T^\circ = \Delta H_T^\circ - T \Delta S_T^\circ, \quad (2.7)$$

bo'lgani uchun, bu yerda ΔS_T° - kimyoviy aylanishda tizim entropiyasining o'zgarishi, (2.5) va (2.7) tenglamalarni birgalikda yechib, K_p uchun ushbu ifodani olamiz:

$$\lg K_p = \frac{T \Delta S_T^\circ - \Delta H_T^\circ}{19,1T}, \quad (2.8)$$

bu yerda $19,1 = R \cdot 2,3 = 8,31 \cdot 2,3$.

Ko'p sonli kimyoviy aylanishlar uchun standart sharoitdagi muvozanat konstantalari jadval yoki nomogramma ko'rinishda fizik-kimyoviy ma'lumotnomalarda keltirilgan.

K muvozanat konstantasining haroratga bog'liqligi izobar tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H^\circ}{RT^2}, \quad (2.9)$$

bu yerda ΔH° - 1 mol moddaga (mahsulotga yoki asosiy boshlang'ich moddaga) o'tkazilgan issiqlik effekti.

T_1 haroratda ma'lum K_{p_1} bo'yicha va o'zgarmas bosimda reaksiyaning ma'lum issiqlik effekti q_p da, T_2 haroratda noma'lum muvozanat konstantasi K_{p_2} ni taqriban aniqlash uchun

$$\lg \frac{K_{p_2}}{K_{p_1}} = \frac{\Delta H^\circ}{2,3R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right), \quad (2.10)$$

tenglama qo'llaniladi, bu yerda $R = 8,32 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ molyar gaz doimiysi. Uning qiymatini (2.10) tenglamaga qo'yib,

$$\lg \frac{K_{p_2}}{K_{p_1}} = \frac{\Delta H^\circ (T_2 - T_1)}{19,1 T_1 T_2}, \quad (2.11)$$

tenglamani olamiz. (2.10) va (2.11) tenglamalar (2.9) tenglamani ΔH° ning o'zgarmas qiymatida (T_1 haroratda) integrallab olingan va shuning uchun ΔH° ning ozgina o'zgarishiga mos kelgan haroratlar oralig'ida qo'llanilishi mumkin. Haroratni ancha-muncha o'zgartirganda K_p ni hisoblash uchun.

$$\lg K_p = \frac{a}{T} + bT + cT^2 + \dots + K_1, \quad (2.12)$$

ko'rinishdagi tenglama qo'llaniladi, bu yerda a, b, c - turli reaksiyalar uchun ma'lumotnoma adabiyotida keltirilgan konstantalar. b, c

konstantalarning qiymatlari juda kichik bo'lganidan, texnik hisoblashlar uchun ko'pincha

$$\lg K_p = \frac{a}{T} + K_1, \quad (2.13)$$

ko'rinishdagi formulalar qo'llaniladi, bu yerda $a = \Delta H / 2,3R$. Bunday tenglamalarga aniq misollar 10,11- boblarda keltirilgan.

Texnologik tartibning asosiy parametrlarining muvozanatga ta'siri, termodinamikaning ikkinchi qonunini ifodalovchi, Le Shatellye prinsipi bilan aniqlanadi. Le Shatellye prinsipiga ko'ra **tashqi ta'sirlar bilan muvozanat holatidan chiqarilgan tizimlarda shu ta'sirni kamaytirishga va tizimni yangi muvozanat holatiga keltirishga intiluvchi o'zgarishlar o'z-o'zidan yuz beradi.**

Le Shatellye prinsipini model reaksiya (a) ga tatbiqini ko'rib chiqaylik. Bu reaksiyada barcha komponentlar gazsimon va $\Delta n < 0$ bo'lsin, ya'ni u gazli hajmning kamayishi bilan boradi. Muvozanatni siljitish mumkin bo'lgan tashqi faktorlarga: 1) reaksiyaga kirishuvchi moddalarning konsentratsiyasi; 2) harorat; 3) bosim kiradi.

Konsentratsiya massalar ta'siri qonuniga muvofiq, ya'ni muvozanat konstantalari uchun (2.1) yoki (2.2) ifodaga muvofiq ta'sir qiladi. Muvozanatni o'ngga siljitish uchun D reaksiya mahsulotining konsentratsiyasini kamaytirish va muvozanat aylanish darajasini ko'tarish uchun boshlang'ich mahsulotning konsentratsiyasini oshirish kerak.

Haroratning muvozanat holatiga ta'siri reaksiyaning issiqlik effekti qonuni bilan aniqlanadi. Agar $\Delta H > 0$ (endotermik aylanish) bo'lsa, u holda haroratning ko'tarilishi muvozanat konstantasining kattalashishiga sabab bo'ladi, ya'ni muvozanat to'g'ri yo'nalishda siljiydi. Agar $\Delta H < 0$ (ekzotermik jarayonlar) bo'lsa, u holda harorat ko'tarilishi bilan K_p kichiklashadi, bu muvozanatning boshlang'ich moddalar tomonga siljishi bilan izohlanadi.

Agar reaksiyada gazsimon moddalar ishtirok etsa va $\Delta n \neq 0$ bo'lsa va faqat shunday bo'lsa, u holda bosim muvozanatga ta'sir qiladi. Agar tizimda hajm va harorat o'zgarmas bo'lsa u holda

$$V\Delta p = \Delta nRT, \quad (2.14)$$

ya'ni

$$\Delta p \sim \Delta n \quad (2.15)$$

Agar $\Delta n > 0$ bo'lsa, u holda bosim muvozanatni boshlang'ich moddalar tomonga siljitadi, ya'ni asosiy boshlang'ich moddaning muvozanat aylanish darajasi x_p pasayadi; agar $\Delta n < 0$ bo'lsa, u holda bosimning ko'tarilishi x_p darajaning kattalashishiga olib keladi. Gaz aralashmasidagi qandaydir komponentni suyuqlik bilan geterogen ekzotermik absorbsiyalanish jarayoniga Le Shatlye prinsipini qo'llab ko'rish mumkinki, harorat pasayganda va umumiy bosim ko'tarilganda, shuningdek suyuq fazadagi absorbsiyalangan moddaning konsentratsiyasi kamayganda gaz komponentining absorbsiyalanish muvozanat darajasi kattalashadi. Absorbsiyalangan moddaning konsentratsiyasi kamayishiga mahsulotni qattiq kristallar ko'rinishida cho'ktirish, uni absorbsiyalanish zonasidan chiqarish bilan erishish mumkin.

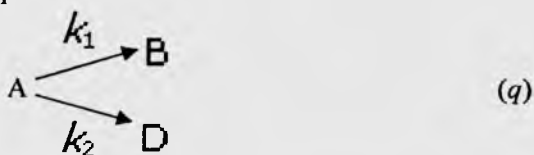
Qattiq moddalarning eruvchanligi erish jarayonining isilik effektiga bog'liq. Agar u endotermik bo'lsa, u holda harorat ko'tarilishi bilan ularning eruvchanligi Le Shatlye prinsipiga muvofiq ortadi.

2.4. Texnologik jarayonning tezligi

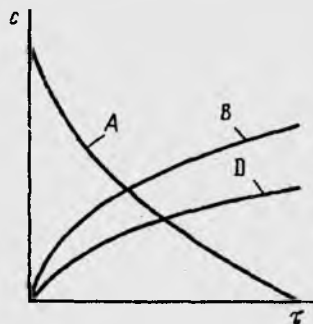
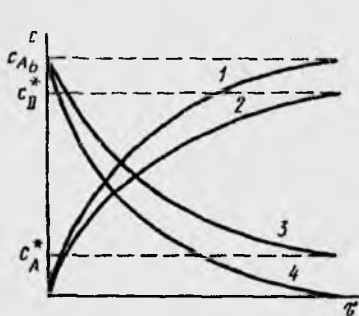
Maqsadli mahsulot bo'yicha texnologik jarayonning tezligi - to'g'ri, teskari va oraliq reaksiya tezliklarining, shuningdek boshlang'ich moddalarning reaksiya zonasiga va mahsulotni shu zonadan turbulent va molekulyar diffuziyalanish tezliklarining yakunlovchisidir. Yuqorida ko'rib chiqilgan muvozanat qonuniyatlari faqat maksimal amalga oshirsa bo'ladigan aylanish darajasini aniqlashga imkon beradi. Lekin vaqt bilan cheklangan ishlab chiqarish jarayonlarida boshlang'ich moddalarning konsentratsiyasining pasayishiga qarab, reaksiya tezligining kamayishi sababli odatda unga erishilmaydi.

Jarayon davomida asosiy boshlang'ich moddaning va reaksiya mahsuloti konsentratsiyasining o'zgarishi oddiy va murakkab reaksiyalar uchun, shuningdek bekami-ko'st siqib chiqarish va to'liq

aylanish turi bo'yicha boruvchi jarayonlar uchun har xil bo'lgan egri chiziqlar bilan tavsiflanadi. $A \rightarrow D$ sxema bo'yicha hajmni o'zgartirmasdan bekami-ko'st siqib chiqarish turi bo'yicha boruvchi, oddiy jarayonlar uchun, asosiy boshlang'ich moddaning c_A konsentratsiyasi qaytmas jarayonlar uchun boshlang'ich c_{A_0} dan nolgacha va qaytar jarayonlar uchun muvozanatli c_A^* gacha kamayadi (1- rasm). Mahsulotning c_D konsentratsiyasi mos ravishda qaytar jarayonlar uchun muvozanat aylanish darajasiga mos kelgan, ya'ni x_m , noldan c_D^* konsentratsiyasigacha, qaytmaslar uchun esa $x = 1$ gacha ortadi. Ko'pgina kimyoviy reaksiyalar murakkablarga tegishlidir, ya'ni bir necha oddiylardan tashkil topgan. Tezlik konstantasi $k_1 > k_2$ bo'lganda siqib chiqarish reaktorida



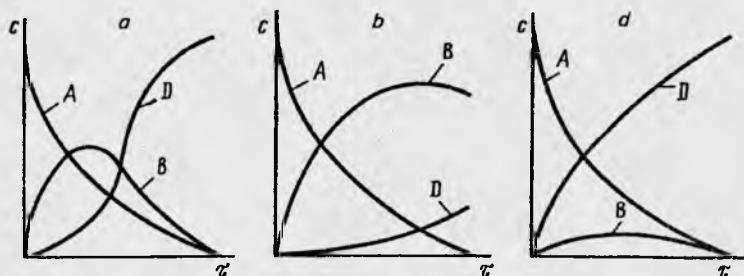
sxema bo'yicha boruvchi, murakkab parallel reaksiyaning eng sodda



1- rasm. Oddiy reaksiyalar uchun vaqt ichida reagentlarning konsentratsiyalari o'zgarishining tipik egri chiziqlari: 1, 2 - qaytmas va qaytar jarayonlar uchun D mahsulot konsentratsiyasining ortishi; 3, 4 - boshlang'ich modda konsentratsiyasining kamayishi.

2- rasm. $k_1 > k_2$ bo'lganda shu betdagi binarparallel qaytmas (q) reaksiya konsentratsiyalarining o'zgarishi.

holi uchun reagentlar konsentratsiyalarining o'zgarish tavsifi 2- rasmda ko'rsatilgan. Siqib chiqarish reaktorlarida $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} D$ turdagi murakkab parallel eng sodda reaksiyalar uchun konsentratsiyaning o'zgarishi 3- rasmdagi egri chiziqlar bilan tavsiflanadi. Ko'pgina ishlab chiqarishlarda organik moddalar texnologiyasida B oraliq



3- rasm. Ketma-ket qaytmas $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} D$ reaksiyalarda konsentratsiyaning o'zgarishi, a – $k_1 \approx k_2$; b – $k_1 \geq k_2$; d – $k_1 \leq k_2$.

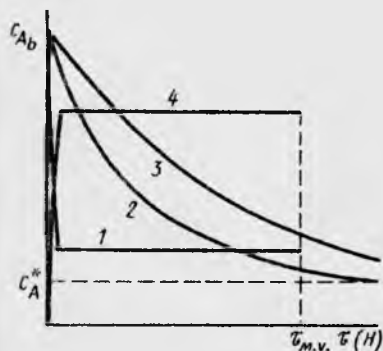
mahsulot maqsadli hisoblanadi. 3- rasmdan ko'rinib turibdiki, B mahsulotning eng maqbul chiqishi uchun nafaqat k_1/k_2 nisbatning katta bo'lishi, balki jarayon vaqtining eng qulay bo'lishi ham zarur; vaqtning keyingi ortishi maqsadli B mahsulotning D mahsulotga aylanishiga sabab bo'ladi. Bu, xususan, spirt, aldegid, kislota va boshqa kislorodli hosilaviy organik birikmalarni ishlab chiqarishda ko'pgina oksidlovchi jarayonlarga, shuningdek chala gidrogenlash jarayonlariga (masalan, $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$) tegishli.

Oqimli reaktorda jarayonning vaqti τ reaksiyon hajmning H balandligini (uzunligini) reagentlar oqimining w tezligiga nisbatiga teng, shuningdek τ reaksiyon v hajmning reagentlar aralashmasi V_a sarfi nisbati bilan ifodalangani, ya'ni

$$\tau = H / w = v / V_a, \quad (2.16)$$

bo'lgani uchun, berilgan w va V_a larda 1 - 3- rasmlardagi egri chiziqlar $c = f(H)$, $c = f(v)$, $u = f(H)$, $u = f(v)$ va shunga o'xshash

bog'liqliklarni ifodalaydi. 1 - 3- rasmlarda tasvirlangan kinetik egri chiziqlar oqimli reaktorlarda davriy jarayonlarni va bekami-ko'st siqib chiqarish jarayonlarini tavsiflaydi. Hidrodinamik tartib bo'yicha to'liq aralashtirishga yaqin bo'lgan jarayonlar uchun kinetik egri chiziqlar umuman farqlanadi. T haroratning, P bosimning va c_A boshlang'ich konsentratsiyaning doimiyligida to'liq aralashtirishga yaqin tartibda boruvchi jarayonlar uchun, asosiy boshlang'ich moddaning, reaksiyaning qandaydir berilgan τ_b vaqtda aylanish darajasi reagentlarni aralashtirishsiz, ya'ni diffuzion sohada boruvchi jarayonlardagiga nisbatan yuqori (4- rasm). Bu to'liq aralashtirish reaksiyalarda tashqi diffuzion sekinlashtirishni bartaraf qilish bilan ta'minlanadi. Shu vaqtning o'zida, agar parametrlarning o'zgarmasligi



saqlansa, to'liq aralashtirishda aylanish darajasi kinetik sohada bekami-ko'st siqib chiqarish tartibidagiga nisbatan past bo'lar edi (egri chiziq 2). Lekin

reaktorning butun hajmida to'liq aralashtirish tartibining mohiyati bo'yicha, chiquvchi mahsulot aralashmaning oxirgi haroratiga teng, o'zgarmas harorat aniqlanadi, siqib chiqarish tartibida esa harorat boshlang'ichdan oxirigigacha adiabatik egri chiziq yoki politermik egri chiziq bo'yicha o'zgaradi. Natijada, quyida ko'rsatiladiki, o'rtacha harorat va mos ravishda jarayonning tezlik konstantasi siqib chiqarish

4- rasm Oddiy qaytar reaksiya uchun jarayon vaqtida konsentratsiyalarning o'zgarishi: 1 - to'liq aralashtirishga yaqin tartibda va reaksiya vaqti τ_3 da boshlang'ich moddaning C_A konsentratsiyasi; 2 - kinetik sohada siqib chiqarish tartibida moddaning C_A konsentratsiyasining o'zgarishi; 3 - diffuzion sohada siqib chiqarish tartibida moddaning C_A konsentratsiyasining o'zgarishi; 4 - to'liq aralashtirishga yaqin tartibda mahsulotning C_D konsentratsiyasi.

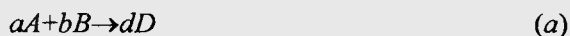
tartibida aralashtirish tartibidagiga nisbatan past bo'lishi mumkin. Barcha tartiblarda vaqt kattalashishi bilan A moddaning konsentratsiyasi muvozanatdagiga yaqinlashadi.

Ishlab chiqarish jarayonining tezligi mos apparatlarning unumdorligini yoki o'lchamlarini va ular sonini aniqlaydi.

Jarayonning tezligi boshlang'ich moddaning aylanish darajasi x bo'yicha, τ vaqtda x_n mahsulotning chiqishi bo'yicha yoki keyinchalik batafsil tahlil qilinadigan jarayonning tezlik konstantasi orqali aniqlanadi.

Boshlang'ich moddalar va mahsulotlar miqdorlarining yoki esa ularning boshlang'ich va reaksiyaga kirishgan gaz (suyuq) aralashmadagi konsentratsiyalarining nisbatini aniqlash bilan olinuvchi, jarayon borishining tezligi va chuqurligining eng oddiy o'lchami aylanish darajasi va mahsulotning chiqishi hisoblanadi.

Aylanish darajasi asosiy boshlang'ich modda bo'yicha aniqlanadi. Boshlang'ich aralashmada *stexiometriyaga* qarshi kam miqdorda ishtirok etgan, odatda moddalar ichida eng qimmat, u bo'yicha hisob olib boriluvchi modda **asosiy boshlang'ich** modda deyiladi. Model



reaksiya uchun (masalan, oltingugurt (IV) oksidini $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$ reaksiya bo'yicha yoki $CH_2=CH_2 + H_2O \rightarrow C_2H_5OH$ etilenni gidratatsiyasi uchun asosiy boshlang'ich moddalar, albatta, SO_2 va $CH_2=CH_2$ bo'ladi, arzon havo kislorodi va suv esa odatda juda ortig'i bilan ishtirok etadi).

Aylanishining umumiy darajasi x aylangan A moddaning $G_{A_{ay}}$ massasini uning boshlang'ich aralashmadagi umumiy G_{A_b} massasiga nisbati kabi aniqlanadi:

$$x = G_{A_{ay}} / G_{A_b}, \quad (2.17)$$

$G_{A_{ay}}$ maqsadli D mahsulotga va oraliq mahsulotlarga (agar ular hosil bo'lsa) aylangan A moddaning massasini o'z ichiga oladi.

Gaz fazali jarayonlar uchun aylanishning (konversiyaning) umumiy (haqiqiy) darajasi

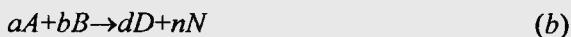
$$x = \frac{c_{A_b} - c_{A_o}}{c_{A_b}} \quad (2.18)$$

odatda, reaksiya sababli aralashma hajmining o'zgarishiga tuzatish koeffitsienti β bilan boshlang'ich moddaning reaktorga kirishda va undan chiqishda tajribada o'lchangan hajmiy konsentratsiyalari c_{A_o} va c_{A_b} bo'yicha aniqlanadi.

Organik sintezning ko'pgina jarayonlari, masalan, butadien ishlab chiqarish, metanol sintezi, shuningdek nitrat kislotasi ishlab chiqarishda ammiakning oksidlanishi va boshqa jarayonlar, ko'p yo'nalishli hisoblanadi, ya'ni oraliq mahsulotlar olish bilan, bir vaqtda bir necha parallel yoki ketma-ket reaksiyalar bo'yicha boradi. Bunday jarayonlar uchun jarayonning tanlovchanlik xususiyati katta ahamiyatga ega.

Jarayonning **tanlovchanlik xususiyati (selektivligi)** deb, maqsadli mahsulotga aylangan asosiy boshlang'ich modda miqdorini aylangan moddalar umumiy miqdorining nisbatiga aytiladi.

Maqsadli D mahsulotdan boshqa bir yoki bir necha N oraliq mahsulotlar hosil bo'luvchi kimyoviy jarayonlarni



balans tenglamasi^{*)} bilan ifodalab, tanlovchanlik xususiyatining (selektivlikning)

$$S = \frac{G_{A \rightarrow D}}{G_{A \rightarrow D} + G_{A \rightarrow N}} \quad (2.19)$$

^{*)} Material balansni tuzish uchun foydalaniladigan reaksiyalarning umumiy tenglamasi **balans tenglamasi** deyiladi.

ifodasini olamiz, bu yerda $G_{A \rightarrow D}$ maqsadli D mahsulotga aylangan asosiy boshlang'ich A moddaning miqdori, $G_{A \rightarrow N}$ - oraliq mahsulotga (yoki ishlab chiqarish chiqindilariga) aylangan A moddaning miqdori.

Tanlovchanlik xususiyatini A moddaning aylanish darajasi orqali ham aniqlash mumkin:

$$S = x_{A \rightarrow D} / x_A, \quad (2.20)$$

bu yerda $x_{A \rightarrow D}$ - A moddaning maqsadli D mahsulotga aylanish darajasi; x_A - A moddaning umumiy aylanish darajasi:

$$x_A = \frac{G_{A \rightarrow D} + G_{A \rightarrow N}}{G_{A_0}}. \quad (2.21)$$

Olingan mahsulot miqdorining reaksiya to'liq o'tganda hosil bo'lishi mumkin bo'lgan modda miqdoriga nisbati **mahsulotning chiqishi** deyiladi. Hisoblashda mahsulot chiqishining uch ko'rinishi qo'llaniladi: x_{mah} umumiy, x_m muvozanat va x_n nazariy chiqishi.

Mahsulotning x_{mah} umumiy chiqishi olingan maqsadli mahsulotning G_D miqdorini (a) yoki (b) reaksiya bo'yicha boshlang'ich A mahsulotni maqsadli D mahsulotga to'liq aylanganda maksimal ro'yobga chiqadigan G_m ga nisbati

$$x_{mah} = G_D / G_m \quad (2.22)$$

kabi hisoblanadi.

(a) turdagi jarayonlar uchun mahsulotning chiqishi miqdoran aylanish darajasiga teng va (2.17) hamda (2.18) formulalar bo'yicha hisoblanishi mumkin.

Geterogen jarayonlarga muvofiq, masalan, gaz fazadan komponentning absorbsiya darajasi, suyuq yoki qattiq fazadan gaz fazaga desorbsiya darajasi, komponentning bir fazadan boshqasiga chiqarish darajasi **mahsulot chiqishi** deyiladi.

Qaytar reaksiyalar uchun mahsulotning muvozanatdagi chiqishi

$$x_m = G_D^* / G_m \quad (2.23)$$

formula bo'yicha aniqlanadi, bu yerda G_D^* - muvozanat holatda olingan mahsulotning miqdori. Qaytmas jarayonlar uchun $x_m=1$; qaytar uchun $x_{mah} \leq x_m \leq 1$.

Qaytar jarayonlarni to'liqroq baholash uchun, haqiqatda olingan mahsulot G_D miqdorini muvozanat holatda olingan mahsulot G_D^* miqdori nisbatiga teng, x_n nazariy chiqishdan (muvozanat chiqishdan) foydalaniladi:

$$x_n = G_D / G_D^* = G_D / G_m x_m \quad (2.24)$$

Aylanish darajasi va mahsulotning chiqishi ko'p parametrlarga bog'liq, ya'ni qator aniqlovchi o'zgaruvchilarning $x=f(T, P, \tau, c_A, c_B, c_D, \dots)$ noxizizqli funksiyasi bo'ladi. Shuning uchun ularni odatda faqat bir necha, masalan, turli texnologik sxemalar bo'yicha yoki turli faollikdagi katalizatorlarni ishlatish bilan amalga oshiruvchi, o'xshash ishlab chiqarishlarni qiyosiy baholash uchun qo'llaniladi. Bitta, masalan T , o'zgaruvchining ta'siri, ta'sir qilayotgan boshqa parametrlar o'zgarmas bo'lganda, tajriba asosida aniqlanadi.

Jarayon tezligining asosiy formulalari. Kimyo-texnologik jarayonning u tezligini turli kattaliklarining vaqt bo'yicha hosilalari bilan ifodalash mumkin. Bekami-ko'st siqib chiqarishga yaqin tartibda boruvchi oddiy qaytar jarayonlar uchun, ya'ni bir o'q bo'ylab (bo'ylanma) aralashtirishda, G mahsulotning miqdorini, reaksiyaga kirishuvchi aralashmadagi mahsulotning c_{mah} konsentratsiyasini, ixtiyoriy boshlang'ich moddaning c_b konsentratsiyasini va x aylanish darajasini vaqt orasidagi o'zgarishi 5-rasmda ko'rsatilgan egri chiziqlar bilan ifodalanadi. Kichik $d\tau$ vaqt davomida jarayonning tezligini tavsiflovchi, barcha kattaliklar mos ravishda $dG, dc_{mah}, -dc_b, dx$, ya'ni jarayonning u tezligini

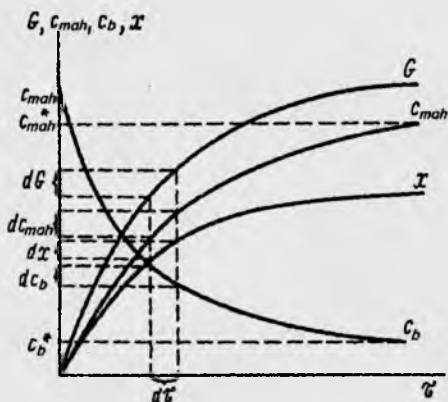
$$u = \frac{dG}{d\tau} = \frac{dc_{mah}}{d\tau} = -\frac{dc_b}{d\tau} = \frac{dx}{d\tau} \quad (2.25)$$

ko'rinishda ifodalash mumkin. Jarayon tezligining xuddi shunday ifodalari, reagentlarning aralashtirish darajasi qanday bo'lmasin, davriy ishlaydigan reaktorlarni modellashtirishda va loyihalashtirishda qo'llaniladi. Oqimli reaktorlarda reaksiyon aralashmaning ma'lum V_a (m^3/s) sarfida jarayonning vaqti reaktorning v hajmiga proporsional:

$$\tau = v/V_a. \quad (2.26)$$

Shuning uchun (2.25) ifodalarni quyidagicha yozish mumkin:

$$u = V_a \frac{dG}{dv} ; V_a \frac{dc_{mah}}{dv} ; -V_a \frac{dc_b}{dv} ; V_a \frac{dx}{dv}. \quad (2.27)$$



5- rasm. Bekami-ko'st siqib chiqarishga yaqin tartibda oddiy qaytar reaksiyalar uchun vaqt ichida jarayonning kinetik tavsiflarining o'zgarishi.

Reagentlarning o'rnatilgan (yuzaga kelgan) oqimida (2.27) ifodalarda ko'pincha V_a tushirib qoldiriladi. Bunda mos ravishda jarayon tezlik konstantasining qiymati o'zgaradi, lekin, jarayon tezligini tavsiflovchi egri chiziqlarning tavsifi o'zgarmay qoladi (5-rasm). Agar reagentlar oqimining chiziqli w tezligi o'zgarmas bo'lsa, u holda reaktor (odatda tik silindr) kesimining doimiyligida jarayon vaqti reaksiyon hajmning H balandligiga proporsional, ya'ni

$$\tau = H/w \quad (2.28)$$

Bundan jarayon tezligini

$$u = w \frac{dG}{dv} = w \frac{dc_{mah}}{dH} \quad \text{va hokazo} \quad (2.29)$$

ko'rinishda ifodalash mumkinligi kelib chiqadi.

O'rnatilgan oqimda (harorat tartibida) (2.29) ifodalarda w tushirib qoldiriladi. Kinetik tenglamalarda G , c , x , t , τ , v , H parametrlarning qaysi birini o'lchash yoki hisoblash qulayligiga qarab, jarayon tezligi (2.27) - (2.29) ifodalarining birortasi qo'llaniladi.

Ishlab chiqarishni yoki alohida reaktorni loyihalashtirishda aniqlovchi kattalik odatda reaksiyon hajm v yoki vaqt τ hisoblanadi. Bunda, tajriba ma'lumotlari asosida olingan qo'llanilayotgan hisoblash formulalarida, reaksiyon aralashma $V_{a(t,P)}$ ning asosiy ishni bajaradigan haroratida va bosimida, reaksiyon fazaning haqiqiy v_h hajmi qo'yilishi mumkinligini e'tiborga olish kerak. U holda jarayonning haqiqiy vaqti

$$\tau_h = v_h / V_{a(t,P)} \quad (2.30)$$

hosil bo'ladi.

Ma'lumotnomalarda va monografiyalarda reaksiyon aralashmaning hajmi normal sharoitda keltiriladi. U holda, normal sharoitga keltirilgan, shartli haqiqiy vaqt quyidagicha bo'ladi:

$$\tau_{h(n.sh.)} = v_h / V_{a(n.sh.)} \quad (2.31)$$

Ko'pincha hisoblash formulalarida, haqiqiy emas, balki apparatning ichki qismlarini o'z ichiga oluvchi, masalan, nasadkali minoralarda nasadkaning hajmi, katalitik reaktorlarda qattiq katalizatorlarning hajmi, suyuqlikli reaktorlarda suyuqlik ustidagi bo'sh hajm va shunga o'xshash umumiy yoki sohta reaksiyon v_{um} hajm ishlatiladi. U holda jarayonning ishchi vaqtidagi

$$\tau_s = v_{um} / V_{a(t,P)} \quad (2.32)$$

yoki normal sharoitdagi

$$\tau_{s(n,sh)} = v_{um} / V_{a(n,sh)} \quad (2.33)$$

sohta vaqt hosil bo'ladi.

Loyihalashtirishda, odatda, qiyin hisobga olinadigan omillarga vaqt zaxirasi qabul qilinadi, ya'ni (2.33) ifodaga zaxira koeffitsienti ξ kiritiladi. U holda

$$\tau = \xi(v / V_a). \quad (2.34)$$

Jarayon tezligi tenglamasida belgilovchi (asosiy) kattaliklar k - jarayonning tezlik konstantasi, Δc - jarayonni harakatlantiruvchi kuch, shuningdek v - reaksiyon hajm kattaligi bo'lishi mumkin. Demak, vaqt bo'yicha mahsulot miqdorining ortishi bilan ifodalanuvchi, jarayon tezligi

$$u = dG / d\tau = kv\Delta c \quad (2.35)$$

tenglama bo'yicha aniqlanadi. Reaksiyon hajm o'zgarmasligida

$$u = \frac{1}{v} \frac{dG}{d\tau} = k\Delta c. \quad (2.36)$$

$$u = dc_{mah} / d\tau = k\Delta c \quad (2.37)$$

tenglama bilan ifodalangan jarayon tezligining qiymati (2.36) tenglamadagi u tezlikka teng.

$$u = \frac{dx}{d\tau} = k\Delta c \quad (2.38)$$

tenglamaga o'tganda odatda boshqa o'lchovlar ishlatiladi (Δc - o'lchovsiz kattalik) va shuning uchun u ning qiymatlari o'zgaradi.

(2.36 - 2.38) tenglamalarda τ yoki k izlanayotgan kattaliklar: τ soniya yoki soatlarda ifodalanadi, bunda k ni s^{-1} yoki (soat) $^{-1}$ larda ifodalash tavsiya qilinadi.

Ko'p bosqichli va siklik jarayonlar uchun to'liq aylanishda

$$u = \frac{G_{j.o} - G_{j.b}}{\tau}, \text{ yoki } u = \frac{c_{j.o} - c_{j.b}\beta}{\tau}, \text{ yoki } u = \frac{x_o - x_b}{\tau}, \quad (2.39)$$

bu yerda β - boshlang'ich konsentratsiya $c_{j.b}$ ning oxirgi aralashmaga qayta hisoblash koeffitsienti. Masalan (2.27) va (2.29) ifodalardan kelib chiquvchi,

$$u = (V_a / v)(c_{j.o} - c_{j.b}\beta) \quad (2.40)$$

yoki

$$u = \frac{c_{j.b} - c_{j.o}\beta}{\tau} = \frac{V_a}{v}(c_{j.o} - c_{j.b}\beta) \quad (2.41)$$

hollar ham bo'lishi mumkin.

5- rasmdan ko'rinadiki, aralashtirish tartibida reagentlarning o'rtacha konsentratsiyasi oxirgiga teng: $c_{o\cdot} = c_o$, demak, o'rtacha harakatlantiruvchi kuch ham $\Delta c_{o\cdot} = \Delta c_o$, ya'ni oxirgiga teng. Shunday qilib aralashtirish tartibi uchun jarayon tezligining to'liq tenglamasi

$$G / \tau = kv\Delta c_o \quad (2.42)$$

$$x / \tau = k\Delta c_o \text{ va hokazo} \quad (2.43)$$

Ko'plab qo'llanmalarda jarayon tezligi va harakatlantiruvchi kuchi asosiy boshlang'ich A moddaning aralashtirish darajasi orqali ifodalanadi. Nolinchi ($n = 0$) tartibli reaksiya uchun u tezlik harakatlantiruvchi kuchga bog'liq emas

$$u = \frac{dx_A}{d\tau} = k. \quad (2.44)$$

$n=1$ uchun

$$u = \frac{dx_A}{d\tau} = k(1 - x_A). \quad (2.45)$$

$n=2$ uchun

$$u = \frac{dx_A}{d\tau} = k(1 - x_A)^2. \quad (2.46)$$

2.5. Jarayon tezligini oshirish usullari

Texnologiya asosiy vazifalaridan biri texnologik jarayonning tezligini oshirish uchun hamma usullardan foydalanish va apparatlarning ishlab chiqarishini mos ravishda oshirish hisoblanadi. Kimyo-texnologik jarayonlarni jadallashtirish yo'nalishlarining tahlili jarayon tezligining shunday asosiy formulalari yordamida amalga oshiriladiki, ularga binoan jarayon tezligini oshirish uchun belgilovchi Δc , k va $F(v)$ kattaliklarini oshirish usullarini topish kerak.

Jarayonning harakatlantiruvchi kuchi Δc ni oshirishga: a) boshlang'ich materiallarda (xomashyoda) o'zaro ta'sirlanuvchi komponentlarning konsentratsiyasini oshirish; b) bosimni ko'tarish; d) jarayon haroratini boshqarish (tartibga solish); e) muvozanatni mahsulot tomonga siljitish maqsadida reaksiya mahsulotlarini reaksion hajmdan chiqarish bilan erishish mumkin. Kimyoviy reaksiyaning, absorbsiya, adsorbsiya va kondensatsiya jarayonlar harakatlantiruvchi kuchi reaksiyaga kirishuvchi moddalarning haqiqiy c va muvozanat c^* konsentratsiyalari $(c - c^*)$ ayirmasi orqali ifodalanadi. Shuning uchun jarayonning harakatlantiruvchi kuchini oshirish yoki c ni oshirish, c^* ni

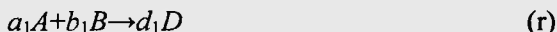
kamaytirish yoki har ikkala miqdorlarni mos o'zgartirish bilan amalga oshirish mumkin.

1. Boshlang'ich xomashyoda o'zaro ta'sirlanayotgan komponentlarning konsentratsiyasini oshirish C ni ko'taradi va jarayon tezligini proporsional oshiradi. Boshlang'ich xomashyoda o'zaro ta'sirlanayotgan komponentlarning konsentratsiyasini oshirish usuli materialning agregat holatiga bog'liq. Qattiq xomashyodagi foydali tashkil etuvchilarning miqdorini oshirish **boyitish**, suyuq va gazsimonlarda esa **konsentrlash** deyiladi. O'zaro ta'sirlanuvchi moddalarning konsentratsiyasini oshirish bu jarayonlarni faollashtirish uchun, eng ko'p tarqalgan usullardan biridir.

2. Bosimning ko'tarilishi jarayonning tezligi (qaytar jarayonlarda muvozanat qaror topishini tezlashtiradi) ga va muvozanat holatiga ta'sir qiladi. Bosim gaz fazasidagi yoki gazlarning suyuqlik va qattiq jismlar bilan o'zaro ta'sirida boruvchi jarayonlarning tezligiga kuchli ta'sir ko'rsatadi. Gaz fazasida boruvchi jarayonlarda yoki gazsimon komponentlar qatnashuvchi geterogen tizimlarida bosimning ortishi gazli faza hajmini kamaytiradi va o'zaro ta'sirlanuvchi moddalarning konsentratsiyasini oshiradi. Shunday qilib, **bosimning ko'tarilishi reagentlarning konsentratsiyalarini ko'tarilishiga teng kuchli**. Bosimning ta'siri kinetik tenglamalar bilan aniqlanadi. (2.37) tenglama bilan o'xshashligidan foydalanib gaz fazasidagi gomogen jarayon tezligini

$$u = \frac{dp_p}{d\tau} = k\Delta p \quad (2.47)$$

formula bilan ifodalash mumkin, bu yerda p_p - gaz almashtirishdagi mahsulotning parsial bosimi; Δp -jarayonning harakatlantiruvchi kuchi. Model reaksiya uchun



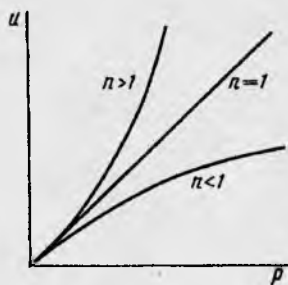
Agar (r) reaksiya qaytmas yoki muvozanat holatidan uzoqda borsa

$$\Delta p = p_A^{a_1} p_B^{b_1} \quad (2.48)$$

har bir komponentning parallel bosimi umumiy P bosimiga va shu komponentlarning aralashmadagi N_i molyar ulushiga proporsionaldir: $p_A = N_A P$ va $p_B = N_B P$. Bundan

$$u = \frac{dp_p}{d\tau} = \beta P^n, \quad (2.49)$$

kelib chiqadi, bu yerda β - reaksiyaning tezlik konstantasiga va jarayonning harakatlantiruvchi kuchiga bog'liq koeffitsient; P - o'lchovsiz bosim, ya'ni haqiqiy bosimning normalga nisbati; $n = a_1 + b_1$ - reaksiyaning umumiy tartibi.



6- rasm. Turli tartibli gazli reaksiyalarning tezligiga bosimning ta'siri.

Shunday qilib, gaz komponentlarning o'zaro ta'sirining reaksiyadagi tezligi, reaksiya tarkibiga teng bo'lgan, bosimning darajasiga proporsional. Bosim yuqori tartibli reaksiyalarni kuchliroq faollashtiradi, bu 6- rasmda ko'rsatilgan. Lekin bosimni ortishi reaksiyaning tartibi n ning o'zgarishiga va k ning kamayishiga olib kelishi mumkin. Gaz komponentining qattiq yoki suyuq fazaga adsorbsiyalanishi, absorbsiyalanishi, kondensatlanishi va boshqa o'tish jarayonlari uchun,

$$u = \frac{dG}{d\tau} = kF \Delta p. \quad (2.50)$$

Sanoatda absorbsiyalanishni tezlatish uchun yuqori bosim keng qo'llaniladi. Gazlarni desorbsiyalanishi jarayonlari va suyuqliklarini bug'lanishi uchun jarayonni tezlatishga va mahsulot chiqarishni ko'paytirishga bosimni pasaytirish bilan erishiladi. Muvozanat holatiga yaqinda boruvchi, gaz fazasidagi, qaytar jarayonlar uchun ((g) model reaksiyaga moslab) (2.48) tenglamadagi harakatlantiruvchi kuch

$$\Delta p = (p_A - p_A^*)^{a_1} (p_B - p_B^*)^{b_1} \quad (2.51)$$

formula bilan ifodalanadi.

Komponentlarning muvozanat parsial p_A^* va p_B^* bosimlarining (konsentratsiyalarining) qiymatlari gazli aralashmaning berilgan tarkibi uchun ma'lum muvozanat konstantalari bo'yicha hisoblanadi. Molyar ulushlarda ifodalangan muvozanat konstantasining bosimga bog'liqligi (2.2 b) tenglama bo'yicha

$$K_N = K_p P^{-\Delta n}$$

tenglama bilan aniqlanadi, bu yerda Δn - reaksiya gaz komponentlarining molyar sonining o'zgarishi.

3. Jarayon haroratini boshqarish harakatlantiruvchi kuchning oshirish vositasi sifatida asosan sorbsion va desorbsion jarayonlarda ishlatiladi^{*)}. Absorbsiyalanish, adsorbsiyalanish, kondensantlanish jarayonlari $\Delta c = c - c^*$ kabi ifodalanadi. Suyuq fazaning haroratini pasaytirib, uning ustidagi gaz (bug') komponentning bug'larining parsial bosimi pasaytiriladi, ya'ni c^* kichiklashadi va mos ravshda Δc harakatlantiruvchi kuch va jarayonning umumiy u tezligi ortadi. Desorbsiyalanish va bug'lanish jarayonlarining harakatlantiruvchi kuchi $\Delta c = c - c^*$ kabi ifodalanadi. Bu jarayonlarning muvozanatini siljitishga va tezligining ortishiga suyuqlikni haroratini ko'tarish bilan uni apparatga (issiqlik almashtirgichlarga naysimon pechlarga va isitgichlarning boshqa turlariga) berishdan avval yoki bevosita apparatlarda qaynoq gazlar, kuchli yoki mutasil bug' bilan erishiladi. Harorat va bosimni bir vaqtda boshqarish ikkala tashkil etuvchilar hisobiga harakatlantiruvchi kuchning oshishiga imkon beradi.

4. Reaksiya mahsulotlarini reaksiyon zonadan chiqarish, qaytar

^{*)} Harorat ko'tarilishi kimyoviy reaksiyalarda tezlik k konstantasining ko'tarilishi tufayli tezlikni oshiradi.

reaksiyaning $u = \vec{u}_1 - \vec{u}_2$ umumiy tezligi $\vec{u}_2$ ni kamayishi hisobiga oshiradi yoki c^* kattalikning kichiklashishi, yoki butunlay yo'qotilishi hisobiga geterogen jarayonning $\Delta c = c - c^*$ harakatlantiruvchi kuchini oshiradi.

Reaksiya mahsulotini gaz aralashmasidan kondensatlash, tanlovchan absorbsiyalash yoki adsorbsiyalash bilan chiqarish mumkin.

Jarayonning tezlik konstantasini oshirishga o'zaro ta'sir qilayotgan tizimning haroratini ko'tarish; katalizatorlarni qo'llash; reaksiyaga kirishuvchi massalarning aralashtirishini kuchaytirish bilan (tizimni *turbulentlash* bilan) erishish mumkin.

1. Haroratni ko'tarish reaksiya tezlik konstantasining juda ortishiga va diffuziya koeffitsientlarining ozroq darajada ortishiga olib keladi. Natijada jarayonning umumiy tezligi harorat ko'tarilganda biror chegaragacha ortadi. Bunday teskari yoki oraliq reaksiyalarning tezliklari katta ahamiyatga ega bo'ladi, aniqrog'i tezlik konstantalari k_2 , k , k'' ortadi. Kinetik sohada boruvchi ko'plab jarayonlar uchun reaksiyaga kirishuvchi massalarning haroratining reaksiyaning tezlik konstantasiga ta'siri ushbu

$$k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}} \quad (2.52)$$

Arrenius formulasi bilan aniqlanadi, undan hisoblashlarda foydalanish uchun uni logarifm lanadi va odatda

$$2,3 \lg \frac{k_2}{k_1} = \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (2.53)$$

ko'rinishiga keltiriladi, bu yerda k_0 , k_1 , k_2 , mos ravishda eksponencial oldidagi ko'paytma va mos absolyut T_1 va T_2 haroratlardagi reaksiyaning tezlik konstantalari, e - natural logarifm asosi; E - reaksiyaga kirishuvchi moddalarni (aktivlashtirish) energiyasi J/mol; R - molyar gaz doimiysi va u 8,3 J/(mol·K) ga teng.

2. Katalizatorlarni qo'llash jarayonning harakatlantiruvchi Δc kuchining o'zgarishiga sabab bo'lmay, reaksiya tezligi konstantasini juda oshiradi.

Faollashtirish energiyasi E ni ko'p talab qiluvchi bir bosqichli jarayonni, e_1 , e_2 , va hokazo faollashtirish energiyalari E dan anchagina kichik bo'lgan, ikki yoki undan ortiq bosqichli jarayon bilan almashtirish natijasida katalizatorlar kimyoviy reaksiyalarni tezlashtiradi (5- bobga q.).

Katalitik reaksiyalarning faollashtirish energiyasi E_k ni (2.53) Arrenius tenglamasidan hisoblash mumkin. Lekin qattiq katalizatorlar uchun, haqiqiy emas, balki katalizatorda reaksiyaga kirishuvchi moddalarning (A moddaning) adsorbsiyanish issiqlik miqdoriga haqiqiydan katta faollashtirish energiyasi hosil bo'ladi. Katalizatorlar diffuzion jarayonlarni tezlashtirmaydi, shuning uchun ularni ishlatish maqsadga muvofiq. Ko'pgina ishlab chiqarishlarda katalizatorlarni ishlatish texnologik tartib uchun zarur sharoitlarda ularning chidamli emasligi bilan, ya'ni yuqori yoki past haroratlarda faolligini yo'qotish, shuningdek boshlang'ich materiallar tarkibida bo'lgan aralashmalarning ta'siri natijasida cheklanadi.

3. Aralashtirish massa uzatish koeffitsientini yoki malekulyar diffuziyani konvektiv bilan almashtirishi sababli jarayonning tezlik konstantasini, ya'ni komponentlarning o'zaro ta'siriga to'sqinlik qiluvchi diffuzion qarshiliklar kamayishini oshiradi. Binobarin, diffuzion sohada boruvchi jarayonlar uchun o'zaro ta'sirlanuvchi moddalarning aralashtirishini kuchaytirish umumiy jarayonning tezlik konstantasi k ni mahsulotni tashish koeffitsienti D ga bog'liq bo'lishi tugamaguncha, ya'ni jarayonning diffuzion sohadan kinetikga o'tguncha qo'llash maqsadga muvofiq. Aralashtirishni kuchaytirish oqimli apparatlarda jarayonning harakatlantiruvchi kuchini va reaksiya tezligini pasaytiradi.

Jarayonning tezlik konstantasini oshirishni ko'rilgan uchta yo'nalishlaridan avval jarayonning eng sekin boradigan bosqichni tezlatadiganidan foydalaniladi.

Geterojen tizimlarda fazalarning bir-biriga teguvchi sirtlarini oshirish tizimning G-S, G-Q, S-Q, S-S (aralashmaydigan) turlariga, shunindek jarayonning zarur tartibiga, ya'ni qo'llanilayotgan bosimiga,

haroratga, reagentlarning konsentratsiyasiga, katalizatorlarga va shu kabilarga qarab, turlicha amalga oshiriladi. Berilgan agregat tizim uchun bir biriga teguvchi sirtni hosil qilish usuli apparat konstruksiyasini belgilaydi.

Barcha hollarda og'irroq (zichroq) fazaning sirtini G-Q, S-Q tizimlarda qattiq G-S tizimda suyuq bilan oshirishga harakat qilinadi; apparatlarning barcha turlarida yengilroq faza og'ir faza sirtini siypab o'tadi.

Bir biriga teguvchi sirtni hosil qilish va uni har xil getrogen tizimlar uchun tezgina yangilash usullari va reaktorlarning mos turlari 4- bobda ko'rsatilgan.

2.6. Texnologik hisoblar

Texnologik hisoblar umumiy qoida bo'yicha ishlab chiqarish usulini tanlashdan boshlanadi, chunki odatda, bo'lajak zavodning yoki cexning umumiy quvvatini belgilash loyihalashtirish vazifasiga kiradi. Ishlab chiqarish usulini tanlashda olinadigan mahsulotning sifati xomashyo va energiya sarfi, jarayonning mexanizatsiyalashtirish darajasi va avtomatlashtirish, sanitar-texnik mehnat sharoitlari, ishlab chiqarish oraliq mahsulotlar va chiqindilari borligi nuqtai nazardan mavjud usullarning nisbiy baholash o'tkaziladi. U yoki bu usulni uzul-kesil tanlashda jarayonning iqtisodi hal qiluvchi rol o'ynaydi. Agar texnologik jarayon uzluksiz sxema bo'yicha shunday tashkil qilingan bo'lsaki, xomashyo yetarlicha to'liq ishlatilsa, ishlab chiqarish chiqindilari bo'lmasa, tayyor mahsulot katta chiqish bilan hosil bo'lsa, barcha amallar mexanizatsiyalashgan bo'lsa, berilgan tartib esa beihitoyor ta'minlansa, u holda bu jarayonning iqtisodiy ko'rsatkichlari ham yuqori bo'ladi. Shuning uchun texnologlar har doim ishlab chiqarishning xuddi shunday mukammal usulini tanlashga harakat qiladilar. Bunda fan va texnikaning eng yangi yutuqlari keng qo'llaniladi. Ishlab chiqarish usulini tanlash texnologik tartibining asosiy parametrlarini tanlashni ham etiborga oladi.

Ishlab chiqarish usuli tanlangandan keyin texnologik barcha apparatlarini va ular orasidagi aloqa yo'llarini, shuningdek xomashyo va tayyor mahsulot berishning transport yo'llarini o'z ichiga

oluvchi, texnologik sxema tuzishga kirisxiladi. Texnologik sxema boshqa ishlab chiqarishlarda shunga o'xshash apparatlarni ishlash tajribasini hamda mashina va asbobsozlik sohalarining so'ngi yutuqlarini hisobga olgan holda tuziladi. Yangi ishlab chiqarish asosiga har doim eng ilg'or, serunum, jadal, shuningdek katta xizmat muddatiga ega, ishlatishda sodda va imkoniyatga qarab hammabop, arzon konstrukcion materiallardan ishlangan apparatlar qo'yiladi.

Ishlab chiqarish texnologik sxemasi tuzilib va xomashyoning, yarim mahsulotlar yoki yarim fabrikatlar, shuningdek tayyor mahsulotlar oqimlarining asosiy yo'nalishlarini aniqlab, material va energetik balanslarni tuzishga kirisxiladi.

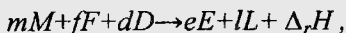
Material va energetik balans. Material va energetik balans tuzishni yangi ishlab chiqarishlarni loyihalashtirishda, shuningdek mavjudlarning ishini tahlil qilishda amalga oshiriladi.

Material balans moddalar massasining saqlash qonunini ifodalaydi:

har qanday tutash tizimda reaksiyaga kirishuvchi moddalarning massasi reaksiya natijasida hosil bo'lgan moddalarining massasiga teng.

Bu ixtiyoriy texnologik jarayonning material balansiga muvofiq holda texnologik amalga kiruvchi moddaning massasi - kirish, uning natijasida hosil bo'lgan moddalar massasiga - chiqishiga teng. Material balans - texnologik jarayonning ko'zgusidir. Jarayon qanchalik batafsil o'rganilgan bo'lsa, material balansni shuncha to'liqroq tuzish mumkin. Material balans parallel va oraliq reaksiyalarini hisobga olgan holda asosiy umumiy reaksiya tenglamasi bo'yicha tuziladi. Chunonchi, amaliyotda sof moddalar bilan emas balki murakkab kimyoviy va mexanik tarkibli xomashyo bilan ishlashga to'g'ri kelgani uchun material balans tuzish uchun komponentlar massasini hisobga olishga to'g'ri keladi. Buning uchun tahlil natijalaridan foydalaniladi.

Faraz qilaylik texnologik jarayon:



sxema (balans tenglamasi) bo'yicha boruvchi kimyoviy reaksiyaga asoslangan bo'lsin, bu yerda M, F, D - boshlang'ich xomashyo; E va

L – asosiy va oraliq mahsulotlar; m, f, d, e, l – stexiometrik koeffitsientlar; $\Delta_r H$ – kimyoviy reaksiyaning issiqlik effekti.

Material balans ko'proq tayyor (asosiy) mahsulotning massa birligida tuziladi. Bu G_E kg asosiy mahsulotni olish uchun G_M, G_F , va G_D kg xomashyoni ishlatish zarurligini bildiradi. Bunda G_L kg oraliq mahsulot hosil bo'lishi muqarrar. U holda material balans tenglamasi

$$G_M + G_F + G_D = G_E + G_L + G_{yo'q}, \quad (2.54)$$

bo'ladi, bu yerda $G_{yo'q}$ – kimyoviy aylanishlarning to'liqmasligi, shunindek xomashyo va tayyor mahsulotni tashishda va saqlashdagi mexanik yo'qotishlar sababli yuzaga kelgan xomashyo va tayyor mahsulotlarni unumsiz xarajatlari.

G_E va G_L larni hisoblash uchun (2.35) – (2.43) turdagi kinetik tenglamalar qo'llaniladi. Odatda barcha material hisoblar umumiy jadvalda keltiriladi.

Energetik balans energiyaning saqlanish qonuni asosida tuziladi:

tutash tizimida barcha turdagi energiyalarning yig'indisi o'zgarmasdir.

Odatda kimyo-texnologik jarayonlarda issiqlik balansi tuziladi. Issiqlik balansiga muvofiq holda energiyaning saqlanish qonunini quyidagicha bayon qilish mumkin:

issiqlikning ishlab chiqarishning berilgan siklga kirishi shu ciklning o'zida uning sarfiga aynan teng bo'lishi kerak.

Bunda apparatga berilayotgan va kimyoviy reaksiya yoki fizik o'zgarish natijasida ajralib chiqayotgan (yutilayotgan) butun issiqlik; jarayon yoki apparatga kiritiluvchi va undan chiquvchi har bir komponent bilan berilayotgan issiqlik, shunindek atrof-muhit bilan issiqlik almashish ham hisobga olinishi kerak.

Xuddi material balansiga o'xshab, issiqlik balansi formulalar va jadvallar, diagrammalar ko'rinishida ifodalaniladi. Issiqlik balansi tenglamasiga quyidagi kattaliklar kiradi:

1) Q_f – jarayonga yoki apparatga kiruvchi materialning fizik issiqligi;

- 2) Q_r - kimyoviy reaksiya natijasida ajralib chihayotgan issiqlik:
- 3) $Q_{f.o'}$ - moddaning fizik o'zgarish (fizik absorbsiya, kristallizatsiya va shunga o'xshash) natijasida ajralib chihayotgan issiqlik,
- 4) Q_q - apparatga (yoki jarayonga) tashqaridan beriladigan issiqlik, masalan qizdirish.

Qayd qilingan kattaliklar kirayotgan moddalarni tashkil qiladilar.

Issiqlik sarfini quyidagi kattaliklar tashkil qiladi:

- 1) Q_f - apparatdan yoki jarayondan chihayotgan mahsulotlarning fizik issiqligi:
- 2) Q_r - endotermik reaksiyaga sarflanadigan issiqlik
- 3) $Q_{f.o'}$ - fizik o'zgarish (suyultirish, bug'latish, desorbsiya va hokazo) natijasida yutiluvchi issiqlik:
- 4) Q_y - atrof-muhitga yo'qotilgan issiqlik,

Shunday qilib issiqlikning ($Q_r, Q_{f.o'}$) ajralib chiqishi va ($Q_f, Q_{f.o'}$) yutilishi bilan jarayonlanlarning bir vaqtda borishi uchun tuzilgan issiqlik balansining to'liq tenglamasi:

$$Q_f + Q_r + Q_{f.o'} + Q_q = Q_f + Q_r + Q_{f.o'} + Q_y \quad (2.55)$$

ko'rinishini oladi.

(2.55) tenglamadagi har bir kattalikni aniqlash texnologik jarayonni hisoblashda va kimyoviy apparatni loyihalashda asosiy vazifalardan biri hisoblanadi.

Material bilan berilayotgan issiqlik, odatda,

$$Q_f = G\bar{c}T \quad (2.56)$$

tenglama bo'yicha hisoblanadi, bu yerda G - material massasi, $\bar{c}$ - materialning o'rtacha solishtirma issiqlik sig'imi, T - harorat. Berilgan

$t^{\circ}\text{C}$ (yoki $T\text{ K}$), harorat uchun jarayonda ishtirok etayotgan, ba'zi gazsimon komponentlarning issiqlik sig'imini

$$c_p = a + bT + cT^2 + \dots, \quad (2.57)$$

formula bo'yicha hisoblash mumkin, bu yerda a , b , c - mos ma'lumotnoma adabiyotlarida keltirilgan koeffitsientlar.

Amaliyotda gaz aralashmalari, shuningdek qattiq va suyuq moddalar bilan ishlashga to'g'ri keladi. Aralashmaning issiqlik sig'imi additivlik qonuni bo'yicha hisoblanishi mumkin. Ko'pgina hollarda oddiy qattiq moddalar uchun elementlarning atom issiqlik sig'imi bir xil va standart sharoitda $27\text{ J}(\text{mol}\cdot\text{K})^{*})$ ga yaqin, molyar issiqlik sig'imi esa, element molekulariga kiruvchi atom issiqlik sig'imlarining yig'indisiga teng qoidalar o'rinli.

Avval keltirilgan reaksiyaning issiqlik effekti standart sharoitda Gess qonuni bo'yicha reaksiyaning barcha mahsulotlarining *entalpiya* hosilalari ($\Delta_f H_i^{\circ}$) bilan barcha boshlang'ich moddalarning entalpiya hosilalari orasidagi ayirma kabi aniqlash mumkin:

$$(\Delta_r H^{\circ})_{298} = \sum_{i=1}^k (n_i \Delta_f H_i^{\circ})_{\alpha x} - \sum_{i=1}^m (n_i \Delta_f H_i^{\circ})_b = e \Delta_f H_E^{\circ} + l \Delta_f H_L^{\circ} - (m \Delta_f H_M^{\circ} + f \Delta_f H_F^{\circ} + d \Delta_f H_D^{\circ}) \quad (2.58)$$

Berilgan haroratda reaksiyaning issiqlik effektini aniqlash uchun odatda Kirhgof tenglamasidan foydalaniladi va u integrallangan shaklda

$$(\Delta_r H^{\circ})_T = (\Delta_r H^{\circ})_{298} + \int_{298}^T \Delta_r c_p(T) dT, \quad (2.59)$$

ko'rinishga ega, bu yerda

$$\Delta_r c_p(T) = \Delta_r a + \Delta_r bT + \Delta_r c'T^2 + \dots \quad (2.60)$$

^{*}) Atom issiqlik sig'imi mos ravshda 14,4; 13,9; 7,5; 14,6; 20,9; 20,2; 22,6; 16,8 J/(mol·K) ga teng. H, V, S, O, F, Si, P, S elementlar bundan istisno.

kimyoviy reaksiya borishida tizimning issiqlik sig'iminin o'zgarishi. (2.58) va (2.59) tenglamalarini birgalikda yechib, berilgan haroratda reaksiya issiqlik effekti hisoblanadi:

$$\begin{aligned} (\Delta_r H^\circ)_T &= (\Delta_r H^\circ)_{298} + \Delta_r a(T - 298) + \\ &+ \frac{1}{2} \Delta_r b(T^2 - 298^2) + \frac{1}{3} \Delta_r c'(T^3 - 298^3) + \dots \end{aligned} \quad (2.61)$$

Agar avval keltirilgan reaksiya bo'yicha boruvchi jarayonlar uchun energetik balans reaksiya asosiy E mahsulotining 1t siga tuzilgan bo'lsa, u holda:

$$Q_p = \frac{(\Delta_r H^\circ)_T}{e} \cdot \frac{10^3}{M_E}, \quad (2.62)$$

bu yerda M_E - E moddaning molyar massasi, kg.

Apparatga Q_q issiqlik kiritish (qizdirish) issiqlik tashuvchining issiqlik yo'qotishi bo'yicha hisobga olinishi mumkin, masalan isituvchi suv uchun

$$Q_q = Gc(T_b - T_{ox}), \quad (2.63)$$

bug' uchun

$$Q_q = Gr, \quad (2.64)$$

yoki isituvchi sirt orqali issiqlik o'tkazish formulasi bo'yicha

$$Q_q = k_r F (T_q - T_s) \tau, \quad (2.65)$$

bu yerda T_b va T_{ox} - mos ravishda suvning boshlang'ich va oxirgi harorati; r - o'zgarishning solishtirma issiqligi; k_r - issiqlik o'tkazishning umumiy koeffitsienti; F - issiqlik o'tkazish amalga oshiriluvchi sirt; T_q - qizdirilayotgan moddaning harorati; T_s - qizdirilayotgan (sovuq) materialning harorati; τ - issiqlik uzatish vaqti.

Atrof-muhitga yo'qotilgan issiqlik (2.65) tenglama bo'yicha hisoblanadi.

Material va issiqlik balanslari ma'lumotlari bo'yicha xomashyo, tayyor mahsulot, ishlab chiqarish oraliq mahsulotlari va chiqindilarining bir soatlik oqimlari; shuningdek suv, issiqlik tashuvchilar, elektr energiyasining bir soatlik sarfi ham aniqlanadi. Keyin apparatni hisoblashga kirishiladi; transport yo'llari ham tanlanadi va ishlab chiqarish binolari, xomashyo va tayyor mahsulot omborxonalarining gabaritlari aniqlanadi.

3- bob. Kimyoviy reaktorlar

Har qanday kimyoviy mahsulot transport moslamalari bilan o'zaro ketma-ket bog'langan xilma-xil konstruksiyali va turli vazifali apparatlarda olinadi. Texnologik sxema apparatlari orasida kimyoviy aylanishning o'zi, ya'ni ma'lum sex yoki uning bo'limi uchun asosiy texnologik amal yuz beradigan apparatlarni har doim ko'rsatish mumkin. Bunday apparatlar **reaktorlar** deyiladi. Shunday qilib kimyo-texnologik jarayonlar, massa o'tkazish (diffuziya) bilan uyg'unlashgan kimyoviy reaksiyalar amalga oshiriluvchi apparat kimyoviy **reaktor** deyiladi. Masalan, sulfat kislota sehining pech bo'limida oltingugurt yoki temir kolchedanni kuydirish pechi reaktor hisoblanadi; kontakt bo'limida - kontakt apparat va hokazo.

Tayyorlash amallari - maydalash, eritish, quritish yoki ho'llash, qizdirish yoki sovitish, yuvish va shu kabilar amalga oshiriluvchi yordamchi apparatlar, odatda texnologik sxemada reaktorgacha qanday bo'lsa, undan keyin ham shunday joylashtirilgan. Reaktordan oldingi apparatlarning asosiy vazifasi xomashyoni reaksiyaga tayyorlashdan, reaktordan keyin joylashgan apparatlarni esa reaksiya mahsulotlarini ajratish, ularni konsentratsiyalash yoki zararli aralashmalardan tozalashdan iborat.

Gohida yordamchi amallar (qizdirish, maydalash, eritish, bug'latish, kondensatlash va shu kabilar) ham kimyoviy aylanishning o'zi ham bitta apparatning o'zida yuz berishi mumkin.

Reaktor konstruksiyasi, u yasalgan material to'g'ri tanlanganligi, avtomatlashtirish vositalarini takomillashtirish, ishlatishda qulayligi va mustahqamligi butun texnologik jarayonning samaradorligini yuqori darajada belgilaydi.

3.1 Kimyoviy reaktorlarga qo'yiladigan talablar

Turli tavsifli texnologik jarayonlar asosida yotuvchi kimyoviy va fizik hodisalarning ko'p xilligi, kimyoviy reaktorlarga turli-tuman talablarni qo'yadi. Lekin, istisnosiz barcha reaktorlar quydagi asosiy talablarni qanoatlashtirishi kerak:

- 1) eng yuqori unumdorlik va jadallikni ta'minlashi;
- 2) jarayonning maksimal selektivligida imkoni boricha yuqoriroq aylanish darajasini berishi;
- 3) reagentlarni tashishga va aralashtirishga kam energetik sarflarga ega bo'lishi;
- 4) tuzilishi (konstruksiyasi) yetarlicha oddiy va arzon bo'lishi, buning uchun reaktorlar tayyorlashda qora metallardan, silikat sanoatining qimmat bo'lmagan mahsulotlaridan, kamyob bo'lmagan plstmassalardan va shu kabilardan foydalanish zarur;
- 5) ekzotermik reaksiyalar issiqligidan va endotermik jarayonlarni amalga oshirish uchun tashqaridan beriladigan issiqlikdan to'liqroq foydalanish;
- 6) ishlatishda ishonchli, imkoni boricha to'liqroq mexanizatsiyalashtirilgan bo'lishi va jarayonni avtomatik boshqarishni ta'minlash.

Lekin qayd qilingan talablar ko'pincha qarama-qarshi tavsifga ega. Masalan, aylanish darajasini oshirish apparat unumdorligining pasayishiga, yuqori mexanizatsiyalash va avtomatlashtirish esa uning qimmatlashishiga olib keladi. Shuning uchun shunday talablar majmuasini bajarilishini ta'minlash zarurki, u reaktorning eng yuqori iqtisodiy samarador ishlashiga olib kelsin. Buning uchun apparat ishining umumiy iqtisodiy effektida har bir ko'rsatkichning hissasi hisobga olinadi. Binobarin, kimyoviy reaktorning U - unumdorligi

$$U = vV_{ox}c_{mah}\rho_{mah} = G/\tau \quad (3.1)$$

yoki

$$U = v V_b c_b x \rho_b \beta, \quad (3.2)$$

tenglama bo'yicha hisoblanadi, bu yerda v - apparatning reaksiya hajmi, m^3 ; V_{ox} , V_b - reaksiya (gaz yoki suyuqlik) aralashmaning oxirgi (ox) yoki boshlang'ich (b) hajmiga mo'ljallangan hajmiy tezlik, (soat) $^{-1}$; c_{mah} , c_b - mahsulot (mah) yoki asosan boshlang'ich (b) moddaning, ya'ni u bo'yicha kinetik hisoblashlar olib boriluvchi moddaning o'lchovsiz konsentratsiyasi; ρ_{mah} - mahsulot zichligi, kg/m^3 ; x - asosiy boshlang'ich moddaning mahsulotga aylanish darajasi; G - reaksiya mahsulotining og'irligi, kg ; τ - reaktorning ishlash vaqti, soat; β - stexiometriyani hisobga olish bilan boshlang'ich modda hajmini mahsulot hajmiga qayta hisoblash koeffitsienti.

(1.2) va (3.2) tenglamalarga asosan reaktor ishlashining jadalligini

$$J = V_b c_b x \beta \rho_{mah} \quad (3.3)$$

kabi ifodalash mumkin.

Reaktorga qo'yilgan boshqa talablar ham o'zaro qarama-qarshi bog'langan. Masalan, issiqlikdan foydalanishni yaxshilash issiqlik almashinuvchi qurilmalarni murakkablashtirishni talab qiladi. Bu o'z navbatida reaktorning narxini oshiradi. Shu mulohazalarga ko'ra keltirilgan talablarni hisobga olish bilan reaktor turini uzil-kesil tanlash faqat puxta kompleks iqtisodiy hisoblashlar orqali amalga oshiriladi.

Bu hisoblashlarni amalga oshirish uchun muhandis-texnolog jarayonning kinetikasi haqida aniq ma'lumotlarga, shuningdek reaksiya reagentlarini kiritish va mahsulotlarini chiqarish sharoitlari haqida ma'lumotlarga, o'zaro ta'sirlanuvchi komponentlarning aralashish tavsifi haqida, issiqlik almashinuvchi jarayonlarning sharoitlari haqida va shu kabi ma'lumotlarga ega bo'lishi kerak. Boshqacha aytganda, reaktorlarning mos sinfini tanlash zarur, chunki texnologik hisoblash va parametrlarni tanlash usullari turli sinfdagi reaktorlar uchun anchagina farq qiladi.

3.2. Kimyoviy reaktorlar tasnifi

Reaktorlar uchun nafaqat turli-tuman loyihalashtirish yechimlari, balki ularning ishlash usullarining har xilligi ham xosdir. Lekin, konstruksiyadagi katta farqlarga qaramasdan, deyarli barcha reaktorlar uchun ularning ishlashi umumiy xususiyatlarga ega. Ularga reaksiya reagentlarini va mahsulotlarini kiritish usuli; reaktorning reaksiyon fazosida reagentlarining harakat tartibi va aralashishi; apparatda issiqlik almashinish sharoiti va harorat tartibi; reaksiya reagentlarining va mahsulotlarining fazoviy tarkibi kiradi. Shuning uchun 2- bobda ko'rilgan kimyoviy jarayonlarning tasnifi qator alomatlar bo'yicha ma'lum darajada reaktorlarga ham tegishli, chunki bu alomatlar apparatning turiga va konstruksiyasiga jiddiy ta'sir qiladi. Masalan, reaksiyaning issiqlik effekti reaksiyon hajmga issiqlikni kiritish yoki undan issiqlikni chiqarish uchun har xil issiqlik almashinuvchi qurilmalarni talab qiladi. Shuning uchun jarayonlarni ekzo- va endotermiklarga ajratish mos kimyoviy reaktorni tanlashni ham talab qiladi.

Lekin ixtiyoriy kimyoviy reaktor ishining eng muhim xususiyatlari: 1) reagentlarni kiritish va chiqarish usullari; 2) reagentlarni harakatlantirish va aralashtirish tartibi; 3) apparatning reaksiyon hajmida harorat tartibi hisoblanadi. Shu alomatlar bo'yicha reaktorlarning tasnifini ko'rib chiqamiz.

3.2.1. Reagentlarni kiritish va chiqarish usullari

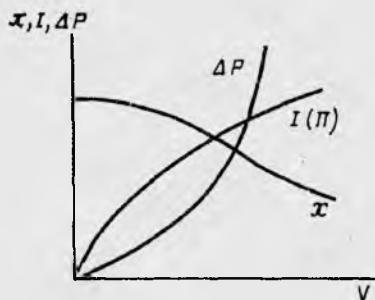
Reagentlarni kiritish va chiqarish davriy, uzluksiz va yarim davriy (yarim uzluksiz) amalga oshirilishi mumkin. Texnologik jarayonlarga o'xshab, davriy, uzluksiz va yarim uzluksiz ishlovchi reaktorlar ham bir-biridan farq qiladi.

Davriy ishlovchi reaktorlar. Bunday reaktorlarga reagentlar amal boshida kiritiladi. Berilgan aylanish darajasiga yetish uchun zarur bo'lgan ma'lum vaqtdan keyin, apparat bo'shatiladi. Jarayonning asosiy parametrlari (reaksiya reagentlarining va mahsulotlarining konsentratsiyasi, harorat, bosim va shunga o'xshashlar) vaqt davomida o'zgaradi. Jarayonning o'rtacha tezligini reaktorning

unumdorligi bilan o'lchash mumkin ((3.1) tenglamaga qarang). Birinchidan, boshlang'ich reagentlar konsentratsiyasining (logarifm qonuni bo'yicha) pasayishi natijasida, ikkinchidan jarayonning noizometrikligi (odatda davr boshida haroratning ko'tarilishi va uning oxirida pasayishi) natijasida, reaktorning ishlash davri ichida haqiqiy tezlik kuchli va noxiziqli o'zgaradi. Bunday reaktorning ishlash jarayonida vujudga kelgan yangi fazalar ham aylanish tezligiga ko'pincha ta'sir qiladi. Davriy ishlovchi reaktorlar, odatda, to'liq aylanishga yaqin, reagentlarni kuchli aralashtirishda va mos ravishda ishning ixtiyoriy vaqtda butun reaksiya hajmida bir xil haroratda ishlaydi.

Uzluksiz ishlovchi (oqimli) reaktorlar. Bu reaktorlar ishga tushirishdan to'xtaguncha uzluksiz (yoki muntazam porciyalar bilan) boshlang'ich moddalar bilan ta'minlanadilar va ulardan reaksiya mahsulotlari chiqarib olinadi. Reaksiya holatida bo'lish vaqtining (kontakt vaqtning) teskarisiga teng V kattalik **hajmiy tezlik** deyiladi. Uni material sarfini (ya'ni τ vaqtda kiruvchi moddaning V_r hajmini) foydali reaksiya v hajmiga nisbati kabi aniqlash mumkin:

$$V = V_p / v \quad (3.4)$$



7- rasm. h mahsulot chiqishi, apparat qarshiligi ΔP va uning jadalligi J ning hajmiy tezlik V ga bog'liqligi.

Shunday qilib hajmiy tezlik uzluksiz ishlovchi apparatning unumdorligini tavsiflashi mumkin. Reaksiyalar bir tomonga boruvchi jarayonlar uchun hajmiy tezlikning o'sishi bilan reaktorning samaradorligi (intensivligi) ortadi, lekin shu bilan birga aylanish darajasi (mahsulotning chiqishi) pasayadi va reagentlarning apparat bo'yicha harakatiga qarshilik ortadi, bu 7- rasmdan yaxshi ko'rinib turibdi. Shuning

uchun hajmiy tezlikni, yana iqtisodiy mulohazalar bilan aniqlanadigan, ma'lum chegaragacha oshirish maqsadga muvofiq.

Yarim uzluksiz ishlovchi reaktorlar. Bu turdagi reaktorlar shu bilan tavsiflanadiki, xomashyo apparatga vaqtning teng oraliqlaridan keyin uzluksiz yoki ma'lum *porsiyalar* bilan kiritiladi, reaksiya mahsulotlari esa davriy tushiriladi. Xomashyo davriy berilganda mahsulotni uzluksiz tushirish ham mumkin. Bunday reaktorlar o'tish tartibida ishlaydi, jarayonning asosiy parametrlari vaqt bo'yicha o'zgaradi.

3.2.2. Harakat tartibi va reagentlarni aralashtirish

Reaktor orqali o'tuvchi oqimda reagentlarni qorishtirishning ikki - uzunasiga (o'q) va radial ko'rinishi farq qilinadi. Uzunasiga qorishtirish reaktorga endigina kirgan oqim komponentlarini undan avval bo'lganlar bilan aralashtirishni, ya'ni reaktorning uzunligi (balandligi) bo'yicha aralashtirishni ta'minlaydi. Radial qorishtirish harakatlanuvchi oqimning ichki qatlamida uning radiusi bo'yicha komponentlarning aralashishini ta'minlaydi. Uzunasiga qorishtirish konsentratsion va harorat maydonlarini reaktor uzunligi bo'yicha, radial esa uning radiusi bo'yicha tenglashtiridi. Chunonchi uzunasiga qorishtirish reaktor turini aniqlaydi, chunki u oqim tuzilishi, tezlik, konsentratsiyalar va harorat maydonlarining bir jinsli emasligi, komponentning reaksiya zonada bo'lish vaqti, reaksiya mahsulotlari va boshlang'ich moddalarning aylanish tezligi, ya'ni kimyo texnologik jarayonning borishiga qanday bo'lmasin anchagina jiddiy ta'sir qiluvchi, hammasini tavsiflaydi. Shuning uchun reagentning harakati va aralashtirish tartibi bo'yicha uzluksiz ishlovchi reaktorlarning ikki chegaraviy turi ajratiladi: bekami-ko'st siqib chiqarish va to'liq (bekami-ko'st) aralashtirish.

Bekami-ko'st siqib chiqarish reaktori. Bu reaktorlar shu bilan tavsiflanadiki, reagentlar ketma-ket "qatlamma-qatlam" aralashtirishsiz laminar oqim bilan, odatda apparatning uzunligi (balandligi) bilan aniqlangan, butun reaksiya yo'lni bosib o'tadi. Hajmning ixtiyoriy elementining bo'lish vaqti

$$\tau^D = \tau_{o,r} = v/V_s = H/\omega$$

tenglama bo'yicha aniqlangan o'rtacha ketgan $\tau_{o,r}$ vaqtga teng, bu yerda v - apparatning reaksiya hajmi; V_s - reagentning hajmiy sarfi; H - reaksiya fazaning balandligi (uzunligi); ω - to'liq kesimga mo'ljallangan oqimning soxta tezligi.

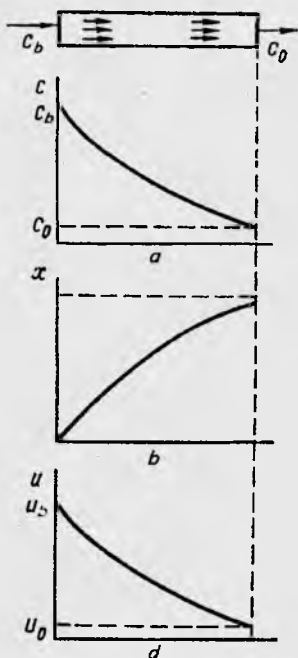
Reagentlarni aralashtirishning jadalligi diffuzion Pekle alomati bilan tavsiflanadi (uzunasiga - chiziqli o'lcham sifatida reaktoring ℓ uzunligi yoki uning H balandligi olinadi; radialga - chiziqli o'lcham sifatida apparatning R radiusi olinadi):

$$Pe_d = \omega H / D_s \quad (3.5)$$

bu yerda D_s - diffuziyaning, D_m - molekulyar va D_t - turbulent (konvektiv) diffuziya koeffitsientlariga bog'liq, samaradorlik koeffitsienti. Bekami-ko'st siqib chiqarish reaktorida aralashtirish amalga oshmaydi, ya'ni $D_s \rightarrow 0$ va diffuzion Pekle alomati $Pe_d \rightarrow \infty$.

Izotermik reaktoring uzunligi (balandligi) bo'yicha reagentlarning konsentratsiyasi va reaksiyaning tezligi monoton kamayadi, chunki boshlang'ich reagentlar sarflanadi, mahsulotning chiqishi esa ortadi (8- rasm). Umumiy tezlik stexiometriyaga qarshi yetishmaslikda olingan, asosiy boshlang'ich A moddaning aylanish tezligi

8- rasm. Bekami-ko'st siqib chiqarish reaktorida reagentlar konsentratsiyalari (a), aylanish darajasi (b) va reaksiya tezligining (d) o'zgarishi.



$$u = \frac{dc_{mah}}{d\tau} = \frac{a}{d} \frac{d(c_A^\circ x_A)}{d\tau}, \quad (3.6 a)$$

berilgan c_A° da va $a=d=n$ bo'lganda esa

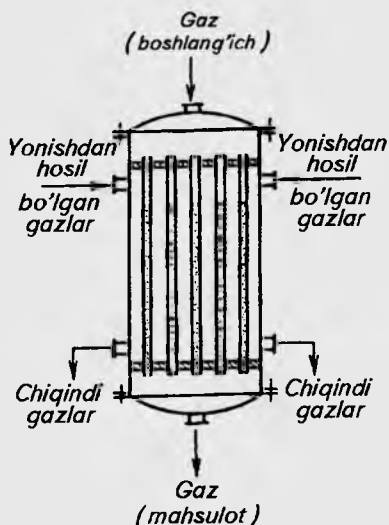
$$u = c_{s.ch.}^\circ \frac{dx_A}{d\tau} = k_{s.ch.} c_A^n = k_{s.ch.} [c_A^\circ (1 - x_A)]^n, \quad (3.6 b)$$

bilan cheklanganda, bu yerda c_{mah} - reaksiya mahsulotining konsentratsiyasi; c_A° - boshlang'ich A moddaninig boshlang'ich konsentratsiyasi; c_A - A moddaning joriy konsentratsiyasi; x_A - A moddaning aylanish darajasi; $k_{s.ch.}$ - siqib chiqarish tartibida amalga oshiriluvchi reaksiyaning tezlik konstantasi; n - reaksiyaning tartibi, odatda, uning molekulyarligi bilan ustma-ust tushmaydi, qaytmas reaksiya uchun bekami-ko'st siqib chiqarish reaktorining umumiy kinematik modeli

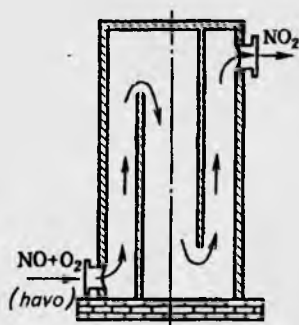


Siqib chiqarish modeli bo'yicha ko'pgina texnologik reaktorlarni hisoblash mumkin. Masalan, quvurlar ichida katalizatorli kontakt apparatlar (9- rasm), shaxtali pechlar, plyonkali absorberlar va desorberlar, gaz fazasida gomogen jarayonlar uchun ichi bo'sh reaktorlar, xususan, NO ni NO₂ ga oksidlash uchun minora (10- rasm), shuningdek minoraning balandligi katta (10-20m), gazning tezligi unchalik katta emas, qo'llash zichligi esa (minoraning ko'ndalang kesim yuzasi birligiga, suyuqlik sarfi) juda katta bo'lmagan hollarda nasadkali va suyuqlik bilan ho'llaydigan minoralar.

To'liq aralashtirish reaktorlari. Ular shu bilan tavsiflanadilarki, ma'lum vaqt davomida apparatga tushgan reagent zarrachalari (ion, molekula yoki qattiq material donalari) tez aralashtirish tufayli uni birinchilar qatorida tark etishda barcha zrrachalar bilan teng ehtimolga ega. To'liq aralashtirish reaktorlarida hajmning har qanday elementi reaktorning ichidagi bor narsalar bilan bir onda aralashib ketadi, chunki apparatning balandligi va kesimi



9- rasm. Bekami-ko'st siqib chiqarish reaktori - endotermik reaksiyalar uchun quvurlar ichida katalizatorli kontakti apparat



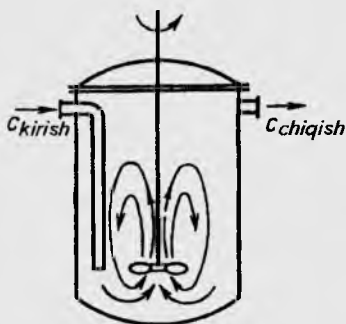
10- rasm. Bekami-ko'st siqib chiqarish reaktori - erda turuvchi to'siqli oksidlovchi minora

bo'yicha sirkulyatsion (aylanma) harakatning tezligi reaktor o'qi bo'yicha chiziqli o'tkazish tezligidan juda katta. Bu holda diffuziyaning samaradorlik koeffitsienti $D_s \rightarrow \infty$ va (3.5) tenglamaga asosan Pekle alomati $Pe_d \rightarrow 0$. To'liq aralashtirish reaktorining fizik modeli bo'lib, parrakli aralashtirgich yoki qandaydir jadalroq qorgich xizmat qilishi mumkin (11- rasm).

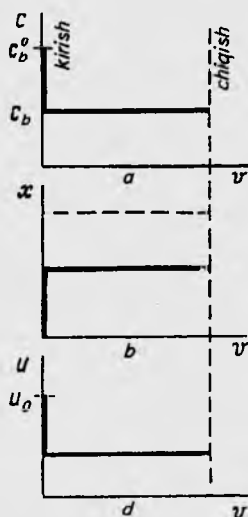
Reagentlar konsentratsiyalari, aylanish darajasi va to'liq aralashtirish reaktori hajmi bo'yicha aralashtirish tezligini o'zgartirishi 12- rasmda ko'rsatilgan, reaktorning fizik modeliga to'liq mos kelgan chiziqlar bilan tasniflanadi.

3.2.3. Harorat tartibi

Harorat tartibi bo'yicha reaktorlar adiabatik, izotermik va politermiklarga ajratiladi.



11- rasm. To'liq aralashtirish reaktori - parrakli aralashtirgichli qorg'ich.



12- rasm. To'liq aralashtirish reaktorida konsentratsiyani (a), aylanish darajasini (b) va aylanish tezligini (d) o'zgarishi.

Adiabatik reaktorlar. Bunday apparatlarda reagentlar oqimi tinch (aralashtirishsiz) oqqanda atrof muhit bilan issiqlik almashinishga ega emas, ya'ni issiqlik izolyatsiyasi bilan yaxshi jihozlangan.

Reaksiyaning barcha issiqligi reaksiyaga kirishuvchi moddalar oqimi bilan to'planadi (akkumulyatsiyalanadi). Jarayonning harorat tartibi reaktorning balandligi bo'yicha ixtiyoriy nuqtada

$$t_{ox} = t_b \pm \frac{\sum q_r}{G\bar{c}} x = t_b \pm \frac{c_b^0 q_r}{\bar{c}} x \quad (3.7)$$

tenglama bilan tasniflanadi, bu yerda t_{ox} , t_b - mos ravishda tizimning oxirgi va boshlang'ich harorati; q_r - boshlang'ich moddaning to'liq aylanishidagi yoki geterogen jarayonlarda asosiy komponentni bir

fazadan boshqasiga to'liq o'tgandagi reaksiyaning (jarayonning) issiqlik effekti; G - reaksiya aralashmaning umumiy massasi; $\bar{c}$ - $t_b - t_{ox}$ haroratlar oralig'ida aralashmaning o'rtacha solishtirma issiqlik sig'imi; x - aylanish darajasi; c_b° - boshlang'ich moddaning boshlang'ich konsentratsiyasi.

(3.22) munosabat to'g'ri chiziqli tenglamasidir va uni

$$t_{ox} = t_b \pm \lambda x, \quad (3.8)$$

ko'rinishida ifodalash mumkin, bu yerda

$$\lambda = \frac{\sum q_r}{G\bar{c}} = \frac{c_b^\circ q_r}{\bar{c}} \text{ jarayonning adiabatik koeffitsienti.}$$

«+» ishora jarayonning ekzo-, «-» - endotermik borishiga mos keladi. λ kattalikni to'g'ri chiziqli og'ish burchagining tangensi kabi aniqlash mumkin (13- rasm). Ekzotermik reaksiya boruvchi siqib chiqarish adiabatik reaktorining butun balandligi bo'yicha aylanish darajasi, reaksiya tezligi va harorati 14- rasmda ko'rsatilgan egri chiziqlar bo'yicha o'zgaradi. Apparatga kirishda tizimning harorati pastligi sababli reaksiyaning tezligi kam (aylanish darajasi kichik), chiqishga yaqin qismda esa u yanada kam, chunki aylanish darajasi x_p ga (yoki 1 ga) intiladi.

Siqib chiqarish adiabatik reaktoriga yaqin tur bo'yicha filtrlovchi qatlamli katalizatorli kontakt apparatlar, gomogen aylantirishlarni amalga oshirish uchun kamerali reaktorlar, izolyatsiyalovchi *futerovkali* to'g'ri oqimli absorberlar va boshqalar ishlaydi.

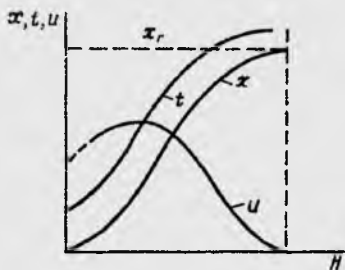
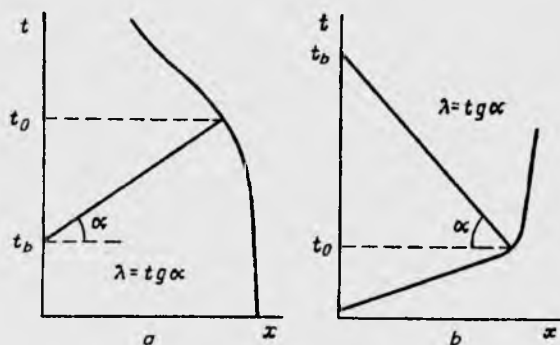
Izotermik reaktorlar. Ular reaksiya hajmning barcha nuqtalarida doimiy haroratga ega, ya'ni vaqt va fazoda $t_o = t_{o'}$.

Izotermiklikka erishish usullari turlicha. Jarayonning izotermik sharoitlariga reaksiya hajmga joylashtirilgan (ekzotermik reaksiyalarda issiqlikni chiqarish va endotermiklarda kiritish uchun) issiqlik almashtiruvchi qurilmalar yordamida yaqinlashish mumkin. Bunda apparatning har bir elementar hajmida chiqarish yoki

kiritish Q_n issiqlikni reaksiya Q_r issiqligiga teng bo'lishi kerak, ya'ni

$$Q_r = q_r c_b^* x G = k_r F \Delta t_{o,r} \tau = Q_n, \quad (3.9)$$

bu yerda - k_r - τ vaqt ichida o'rtacha harakatlantiruvchi $\Delta t_{o,r}$ kuchda issiqlik almashinuvchi F sirt orqali issiqlik uzatish koeffitsienti.



13- rasm. Bekami-ko'st siqib chiqarish adiabatik reaktorda ekzotermik (a) va endotermik (b) reaksiyalar uchun jarayonning ohirgi harorati t_0 ning aylanish darajasi x ga bog'liqligi.

14- rasm. Bekami-ko'st siqib chiqarish adiabatik reaktorning balandligi H bo'yicha t - harorat, u - reaksiya tezligi va x - aylanish darajasining o'zgarishi.

Reagentlarni tez aralashtiruvchi qorgichli apparatlarda va muallaq (qaynovchi, ko'pikli) qatlamli reaktorlarda, ya'ni gidrodinamik

tartib reagentlarning reaksiya mahsulotlari va inert komponentlari bilan to'liq aralashtirishga yaqinlashishini ta'minlovchi apparatlarda

izotermik tartibga erishiladi. Bunday reaktorlar issiqlik almashtirgich o'rnatish yo'li bilan (lekin Q_r va Q_n teng bo'lmaganda) haroratni boshqarishda izotermik yoki butun hajmda harorat oxirigiga teng bo'lgan bir vaqtda izotermik va adiabatik ishlashi mumkin.

λ parametrlarning kichik qiymatida, ya'ni boshlang'ich moddalarning konsentratsiyasi past bo'lgan reaktorlarda va issiqlik effektlari kichik bo'lgan reaksiyalarda izotermik tartib taxminan saqlanadi. Ba'zi hollarda reaktorda izotermiklik ekzo- va endotermik aylanishlarning issiqlik muvozanati, masalan, erituvchini (suvni) bug'latish bilan ekzotermik reaksiya issiqligini tiklash hisobiga erishiladi.

Politermik reaktorlar. Reaksiya issiqligi issiqlikni chiqarish (kiritish) yoki issiqlik effekti ishora bo'yicha asosiyga qarama-qarshi bo'lgan jarayonlar hisobiga faqat qisman tiklanuvchi reaktorlar **politermik** deyiladi.

Politermik apparatlarga reaksiyaga kiruvchi moddalarni aralashtirish darajasi kichik va reaksiya hajm ichiga joylashtirilgan issiqlik almashtirgichli reaktorlar, masalan naysimon kontakt apparatlar, kiradi. Bunday apparatlarda ekzotermik jarayonlar amalga oshirilganda H balandlik bo'yicha harorat o'ziga xos egri chiziq bo'yicha o'zgaradi (15- rasm).

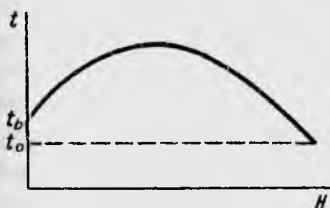
Politermik siqib chiqarish reaktorining balandligi bo'yicha har bir elementar hajm uchun haroratning o'zgarishi

$$t_{ox} - t_b = \Delta t = \pm \frac{q_r c_b^\circ x}{\bar{c}} \pm \frac{k_r F \Delta t \tau}{G \bar{c}}, \quad (3.10)$$

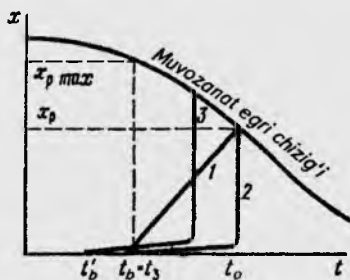
aylanish darajasi esa

$$x = \pm \frac{\bar{c} \Delta t}{q_r c_b^\circ} \pm \frac{k_r F \Delta t \tau}{G q_r c_b^\circ} \quad (3.11)$$

tenglama bo'yicha hisoblanadi, bu yerda F issiqlik uzatish sirti;
 $q_r = -\Delta H_r / n$ (n - mahsulotning mollar soni).



15- rasm. Politermik reaksi-
torning balandligi H bo'yicha t
- haroratning o'zgarishi



16- rasm. Siqib chiqarish adiaba-
tik reaktorlari va aralashtirish
izotermik reaktorlarining tartib-
larini taqqoslash: 1 - adiabat; 2,
3 - izotermalar.

Erishilgan aylanish darajasiga qarab harorat o'zgarishining tavsifi 16- rasmda keltirilgan. Agar reaksiyon zonaga kirishda oqimning harorati maksimaldan yetarlicha past bo'lsa, u holda reaksiyon zonaning birinchi qismida jarayonni adiabatik harorat tartibida olib borish maqsadga muvofiq, jarayonning maksimal tezligiga erishilgandan keyin esa issiqlikni chiqarishni shunday ta'minlash zarurki, oqimning harorati eng maqbul haroratlar chizig'i bo'ylab o'zgarsin. Odatda, amaliyotda bunda issiqlik tartibini ta'minlashga muvassar bo'linmaydi va real harorat nazariydan farq qiladi. Agar oqimning harorati reaksiyon zonaga kirishda maksimalga yaqin bo'lsa, u holda politermik harorat tartibining afzalligi yanada ravshanroq bo'ladi, chunki bu holda jarayonning eng maqbul harorat tartibiga olib borishga muvaffaq bo'linadi.

Ko'pgina shaxtali pechlar - domna, ohak - kuydirish va boshqalar, absorbsion yoki desorbsion jarayonlarni amalga oshirish uchun ko'pchilik nasadkali minoralar politermik tartib turi bo'yicha ishlaydi.

4- bob. Nokatalitik jarayonlar va reaktorlar

O'zaro ta'sirlanuvchi moddalarning agregat (fazaviy) holati bo'yicha kimyo-texnologik jarayonlar va ularga mos reaktorlar

gomogen va geterogenlarga bo'linadi. Bu bobda nokatalitik jarayonlarni, ya'ni katalizatorlarsiz amalga oshiriluvchi jarayonlarni ko'rib chiqamiz. Bir jinsli, ya'ni suyuq yoki gazsimon aralashmalarda tizim qismining bir-biridan ajratuvchi bo'lish sirtlariga ega bo'lmagan muhitda boruvchi jarayonlar **gomogen** deyiladi. Reagentlar har xil fazalarda bo'lgan kimyo-texnologik jarayonlar **geterogen** deyiladi. Tarkibida aralashmalar va boshqa fazaning aralashmalari bo'lmagan sof gomogen muhitni olish qiyin bo'lgani uchun gaz yoki suyuq fazada boruvchi sanoat kimyoviy jarayonlarni faqat shartli ravishda gomogenlarga kiritiladi. Tizimni tashkil etuvchi zarrachalarning o'lchami bo'yicha, **mikrogeterogen** tizimlar deb ataluvchi, zarrachalarning kattaligi $0,1\text{ mkm}$ dan ortiqroq kolloid va o'ta mayda aerozollar gomogen va geterogen tizimlar orasidagi chegara hisoblanadi.

Ko'pchilik sanoat kimyo-texnologik jarayonlar geterogenlarga kiradi, lekin geterogen jarayonlar, ko'pincha gaz yoki suyuq fazada, gomogen kimyoviy jarayonning bosqichlaridan biri sifatida unga kiritiladi. Gomogen muhitlarda, ayniqsa suyuq fazada, kimyoviy reaksiyalar geterogenlarga nisbatan tezroq yuz beradi, gomogen jaryonlarni apparatlar bilan jihozlash soddaroq va ularni boshqarish oson. Shuning uchun sanoatda bir jinsli muhitda kimyoviy jarayonlarni o'tkazish uchun tizimning gomogenlash usuli keng qo'llaniladi; ko'pincha gazlarning suyuqlikka yutilishi yoki bug'larni kondensatlash, suyuq reaksiyon muhitni olish uchun qattiq moddalarni eritish yoki suyuqlantirish qo'llaniladi.

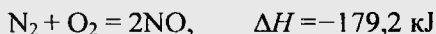
4.1. Gomogen jarayonlar va reaktorlar

Gaz fazasidagi gomogen jarayonlar ayniqsa organik texnologiya uchun xosdir va qator hollarda bug'larni gazsimon reagentlar - xlor, kislorod, oltingururt (IV) oksidi, azot oksidlari bilan keyingi qayta ishlash bilan organik moddalarni bug'latish orqali amalga oshiriladi; mos ravishda **xlorlash**, **oksidlash**, **sulfatlash**, **nitrolash** va hokazo kimyoviy reaksiyalar sodir bo'ladi. Ko'pincha bug' fazali **piroliz**, ya'ni yangi mahsulotlar olish maqsadida havo kiritmasdan organik moddalar bug'larini qizdirish qo'llaniladi;

pirolizda polimerlanish, kondensatlanish, izomerlanish va boshqa reaksiyalarga kirishuvchi erkin radikallar, to'yingan va to'yinmagan uglevodorodlar hosil bo'lishi bilan, murakkab molekulalarning parchalanishi yuz beradi.

Suyuq va gazsimon moddalarning pirolizi **kreking** ham deyiladi. Sanoat gaz fazali jarayonlarga organik erituvchilar, zaharli ximikatlar va organik sintezning boshqa mahsulotlarini olish uchun uglevodorodlarni termik va fotokimyoviy xlorldash misol bo'la oladi.

Noorganik moddalar texnologiyasida gaz fazali gomogen jarayonlar, masalan, sulfat, nitrat va xlorid kislotalar ishlab chiqarish amalga oshiriladi. Misol uchun oltingugurt (IV) oksidini olish uchun kamerali pechlarda oltingugurt bug'da kuydiriladi; past haroratli plazmalar (10^3 - $10^5 K$) sharoitda



reaksiya bo'yicha havodan azot (II) oksidi olinadi.

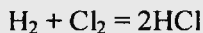
Past haroratli plazmada uglevodorodlarning, masalan atsetilen olish maqsadida metanni elektrokrekingi, kisloroddan ozon sintezi va boshqalar ham amalga oshiriladi.

Gaz fazasida nitrat kislotasi ishlab chiqarishda azot (II) oksidining azot (IV) oksidiga oksidlanishi



umumiy tenglama bo'yicha boradi.

Vodorod va xlordan xlorid kislotasi ishlab chiqarishda gaz fazasida vodorodxlorid sintezi



ekzotermik reaksiya bo'yicha boradi.

Sanoatda gomogen jarayonlar suyuq fazada gaz fazaliga nisbatan ko'proq qo'llaniladi. Suyuq fazada kimyoviy reaksiyaning tezligi, odatda gazlardagiga nisbatan (o'sha haroratda) ming marta yuqori, lekin suyuqlikning qovushqoqligi yuqoriligi sababli diffuziya

tezligi suyuqliklarda gazlardagiga nisbatan anchagina kam. Gazlarda diffuziya koeffitsienti $0,1 - 1 \text{ sm}^2/\text{s}$ ni, suyuqliklarda esa $10^{-4} - 10^{-5} \text{ sm}^2/\text{s}$ ni tashkil etadi.

Gaz va suyuq fazalardagi gomogen jarayonlarning tezligiga reaksiyaga kirishuvchi komponentlarning konsentratsiyasi, bosim, harorat va aralashtirish ta'sir qiladi. Aksariyat reaksiyalar bir necha bosqichlarda boradi. Butun reaksiyaning tezligi ko'pincha reaksiya tartibini aniqlovchi eng sust bosqichning tezligi bilan chegaralanadi. Shuning uchun odatda, reaksiyaning tartibi uning molekulyarligi, ya'ni reaksiya umumiy tenglamasining stexiometriyasi bo'yicha o'zaro ta'sirga kirishuvchi molekular sonining yig'indisi bilan ustma-ust tushmaydi. Masalan, vodorod peroksidining

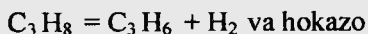


sxema bo'yicha parchalanishi ikkinchi tartibli reaksiyadek borishi kerak edi, haqiqatda esa bu reaksiyaning tartibi uni o'tkazish sharoitiga bog'liq. Shuning uchun reaksiya tartibi va uning molekulyarligini bir-biridan farqlash qabul qilingan.

Kinetik teglamadagi reaksiyaga kirishuvchi moddalar konsentratsiyalari daraja ko'rsatkichlarining yig'indisi reaksiyaning tartibi deyiladi.

Molekulyarlik bo'yicha reaksiyalar mono-, bi- va trimolekulyarlilarga (bir vaqtda uchtdan ko'p molekularlarning to'qnashishi ehtimolan mumkin emas), tartib bo'yicha nolinci, birinchi, ikkinchi, uchinchi va kasr tartiblilarga bo'linadi.

Ichki molekulyar qayta guruhlanish reaksiyalari $A \rightarrow D$ (izomerlanish, *inversiya*) va $A \rightarrow D+R$ parchalanish reaksiyalari monomolekulyarlarga kiradi. Masalan,



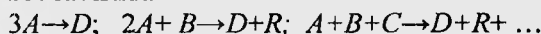
uglevodorodlarni pirolizida to'yinmagan birikmalarni hosil qilishning monomolekulyar reaksiyalari.

Bimolekulyar reaksiyalar $A+A \rightarrow AA$, yoki $A+B \rightarrow AB$ birikish, $2A \rightarrow D+R$ parchalanish va $A+BC \rightarrow AB+C$ yoki $AB+CD \rightarrow AC+BD$ o'rin olish (almashinish) reaksiyalariga bo'linadi. Gazlarda va eritmalarda ko'plab reaksiyalar, masalan soda ishlab chiqarish asoslangan eritmada qo'sh almashinish reaksiyasi



almashinishlarga kiradi*).

Uchta molekulyar to'qnashadigan va o'zaro ta'sirlanadigan uch molekulyar reaksiyalar ancha kam uchraydi; odatda ular bosqichma-bosqich boradilar. Birikish, almashinish, qayta kombinatsiyalanish, ya'ni mos ravishda



reaksiyalari uch molekulyar bo'lishi mumkin.

Reaksiyaga kirishuvchi moddalar konsentratsiyasining ta'siri. Kimyoviy reaksiyaning tezligiga konsentratsiyaning umumiy holda ta'siri

$$u = k\Delta c \quad (4.1)$$

tenglama bilan tasniflanadi, shu bilan birga u vaqt ichida reaksiya hajm birligida D mahsulot massasining c konsentratsiyasi yoki x aylanish darajasining o'zgarishi orqali ifodalash mumkin, ya'ni

$$u_1 = \frac{dG}{d\tau} = k_1\Delta c, \quad (4.2)$$

$$u_2 = \frac{dc}{d\tau} = k_2\Delta c, \quad (4.3)$$

yoki

*) Bu reaksiyani faqat shartli ravishda gomogen jarayonlarga kiritish mumkin, chunki u qattiq fazada NaHCO_3 cho'kma ajralib chiqishi bilan bir vaqtda yuz beradi.

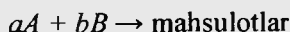
$$u_3 = \frac{dx}{d\tau} = k_3 \Delta c, \quad (4.4)$$

bu yerda Δc reaksiyaning tartibiga va uning qaytuvchanligiga, shuningdek aralashtirish darajasiga bog'liq ravishda turlicha aniqlanadi.

Kimyoviy kinetika nuqtayi nazaridan reaksiyalar oddiy va murakkablarga bo'linadi.

Oddiy reaksiyalar odatda bir bosqichda boradi. Bunday reaksiyalarning tartibi reaksiya tenglamasining stexiometrik koeffitsientlari bilan ustma-ust tushadi.

Oddiy qaytmas



reaksiyaning kinetik tenglamasi umumiy ko'rinishda massalar ta'siri qonuniga asosan

$$u = \frac{dc}{d\tau} = k c_A^a c_B^b. \quad (4.5)$$

ko'rinishiga ega.

Agar reagentlar konsentratsiyasini τ vaqt oralig'ida x aylanish darajasi orqali ifodallasak va agar jarayon siqib chiqarish reaktorlarida yoki davriy ishlaydigan har qanday apparatlarda amalga oshirilsa, u holda birinchi tartibli qaytmas reaksiyaning tezligi

$$u = \frac{dx}{d\tau} = k(1 - x), \quad (4.6)$$

tenglama bilan aniqlanadi.

(4.6) tenglamani integrallab

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \left(\frac{1}{1 - x} \right), \quad (4.7)$$

tenglamani olamiz, bu yerda k - haroratga bog'liq va reaksiyaga kirishuvchi moddalarning konsentratsiyasiga bog'liq bo'lmagan, reaksiyaning tezlik konstantasi; k ning o'lchami vaqtning o'lchamiga teskari.

(4.7) ifodadan

$$1 - x = e^{-k\tau} \quad (4.8)$$

va

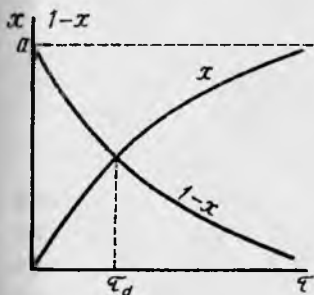
$$x = 1 - e^{-k\tau} \quad (4.9)$$

tengliklarni olamiz.

Aralashtirish reaktorlarida birinchi darajali reaksiyalar uchun

$$u = x / \tau = k(1 - x), \quad (4.10)$$

$$k = \frac{1}{\tau} \frac{x}{1 - x}. \quad (4.11)$$



x aylanish darajasining va $(1 - x)$ qolgan boshlang'ich modda ulushining (2.67) tenglama bo'yicha vaqtga bog'liqligi 17- rasmda keltirilgan. Egri chiziqlarning kesishish nuqtasida (4.8) va (4.10) tenglamalarning ildizlari $x = 1/2$ ga teng. Shuning uchun parchalanish reaksiyalari uchun τ_d vaqt yarim **ajralish davri** deyiladi.

(4.6) - (4.11) tenglamalar mos reaktorlarda (aralashtirish yoki siqib chiqarish) uglevodorodlarni krekinglash ($A \rightarrow B + D$), isomer-lash ($A \rightarrow B$) va boshqa birinchi tartibli reaksiyalarning

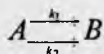
17- rasm. Birinchi tartibli qaytmas reaksiya uchun h - mahsulot chiqishining va $(1 - h)$ - qolgan modda miqdori-ning t - vaqtga bog'liqligi.

birinchi fazasini hisoblash uchun qo'llanishi mumkin; ular ko'pincha qaytar jarayonlarda, agar ular mazkur apparatlarda muvozanat

holatidan hali uzoq bo'lsalar, tezlik konstantasini yoki reagentlarni apparatda bo'lish vaqtini taqriban hisoblash uchun texnologiyada qo'llaniladi.

Murakkab reaksiyalar odatda bir necha bosqichlarda boradi va ular orasida qaytarlari ham bo'lishi mumkin.

Birinchi tartibli qaytar reaksiyaning kinetik tenglamasi murakkabroq ko'rinadi, chunki to'g'ri va teskari reaksiyalarning tezligi hisobga olinadi. Masalan, tiosianat va tiomochevinaning o'zaro aylanish $\text{NH}_4\text{SCN} \rightleftharpoons (\text{NH}_2)_2\text{SC}$ reaksiyasini umumiy ko'rinishda



kabi ifodalash mumkin. Reaksiya bir vaqtda to'g'ri va teskari yo'nalishlarda borayotgani uchun, uning tezligi, har biri monomolekulyar bo'lgan, to'g'ri va teskari reaksiyalar tezliklarining ayirmasiga teng.

Bekami-ko'st siqib chiqarish reaktori uchun tezlik tenglamasi

$$u = \frac{dx}{d\tau} = k_1(1-x) - k_2x \quad (4.12)$$

ko'rinishga ega.

Muvozanat vaqtida $\frac{dx}{d\tau} = 0$, ya'ni to'g'ri va teskari reaksiyalarning tezliklari teng, shuning uchun

$$k_1(1-x_p) - k_2x_p = 0, \quad (4.13)$$

bundan muvozanat konstantasi

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{x_p}{1-x_p}. \quad (4.14)$$

(4.14) tenglamadan foydalanib ma'lum K da to'g'ri va teskari reaksiyalarning tezlik konstantasi hisoblanadi.

$A+B \rightarrow C+D$ ikkinchi tartibli qaytmas reaksiyaning tezligi ham reaksiyaga kirishuvchi A va B moddalarning konsentratsiyasiga proporsional. Siqib chiqarish reaktorlari uchun

$$u = \frac{dx}{d\tau} = k(1-x)(1-x) = k(1-x)^2. \quad (4.15)$$

Gidrogenlash, fosgen va sulfuril xlorid sintezlari va boshqa nokatalitik reaksiyalar ikkinchi tartib bo'yicha borishi mumkin.

Uchinchi tartibli reaksiyaning tezligi uchta A , B , D reaksiyaga kirishuvchi moddalar - konsentratsiyasiga proporsional. Faraz qilaylik reagentlar ekvivalent nisbatda olingan bo'lsin, u holda

$$u = \frac{dx}{d\tau} = k(1-x)^3. \quad (4.16)$$

Uchinchi tartibli reaksiyalar tezligi katta bo'lmagani sababli amalda kam qo'llaniladi.

Parallel reaksiyalar uchun boshlang'ich A reagentning aylanish tezligi

$$u_A = \frac{dc_A}{d\tau} = k_1 c_A + k_2 c_A = (k_1 + k_2) c_A. \quad (4.17)$$

Bosimning ta'siri. Bosimning ko'tarilishi xuddi reagentlarning konsentratsiyasi ortishiga o'xshab gaz holatidagi reaksiyalarni tezlatadi, chunki bosim ko'tarilishi bilan komponentlarning konsentratsiyasi ortadi. Binobarin, reaksiya tartibini o'sishi bilan bosimning ta'siri ortadi. Agar atmosfera bosimida jarayonning harakatlantiruvchi kuchi Δc bo'lsa, u holda P bosimda

$$\Delta c_p = \Delta c P_1^n \quad (4.18)$$

bo'ladi, bu yerda P_1 - o'lchovsiz bosim, ya'ni qo'llanilayotgan bosimning atmosfera bosimiga nisbati; n - reaksiya tartibi.

Lekin qator katalitik jarayonlarda bosimning ko'tarilishida qanday bo'lsa, xuddi shunday pasayishida reaksiyaning tartibi va uning faollalanish energiyasi o'zgarishi mumkin; natijada reaksiyaning tezlik konstantasi k o'zgaradi.

Bosimni qo'llash gaz hajmining kamayishi bilan boruvchi jarayonlar uchun har doim qulay, chunki Le Shatelye prinsipiga asosan bosimning ko'tarilishi mahsulot chiqishining ortishiga sabab bo'ladi. Bunda, molyar ulushlarda ifodalangan muvozanat konstantasi K_N darajasi reaksiya bo'yicha mollar sonining o'zgarishi Δn bo'lgan P bosimga to'g'ri proporsional, ya'ni

$$K_N = K_0 P^{\Delta n} \quad (4.19)$$



18- rasm. Sintezning gaz holatidagi reaksiya mahsuloti chiqishining bosimga bog'liqligi ($T, s, t = \text{const}$).

Sintezning gaz holatidagi reaksiya mahsulotining chiqishi bosim ko'tarilishi bilan ortadi (18-rasm). 18-rasmdan ko'rinib turibdiki, juda yuqori bosimni qo'llashning foydasi yo'q.

Bosimni ko'tarish gaz aralashmasi hajmini kamaytiradi, buning natijasida apparatlarning va gaz quvurlari kesimining o'lchamlari kichiklashadi. Bosimni ozgina oshirish suyuq fazada jarayon tezligiga katta ta'sir qiladi, lekin ko'pincha

reaksiyalarning tezliklari suyuq muhitda juda yuqori bosimlarda nihoyatda ortadi. Masalan, bir necha yuz megapaskal bosimda ba'zi monomerlarning polimerlanish jarayonlarining tezligi o'nlab marta ortadi. Aniqlanganki, normal haroratda gaz molekullari 350 - 500 MPa dan yuqori, organik suyuqliklarning molekullari esa 700 MPa dan yuqori bosimlarda deformatciyalanadi. Molekulalar deformatciyasiga mos kelgan bosimlarda shunday sintezlarni o'tkazish mumkinki, ularni odatdagi bosimlarda amalga oshirish qiyin bo'lsin yoki amalga oshirish mumkin bo'lmasin.

Haroratning ta'siri. Haroratning ko'tarilishi Arrenius tenglamasiga muvofiq gomogen reaksiyalarning tezlanishiga sabab bo'ladi. Shunday qilib, jarayonning, uning barcha asosiy parametrlarini ta'sirini hisobga oluvchi, tezlik tenglamasi

$$u = k_0 e^{-\frac{E}{RT}} \Delta c P^n \quad (4.20)$$

ko'rinishiga ega.

(4.20) tenglama jarayonning **kinetik modeli** deyiladi.

Harorat ko'tarilganda diffuzion jarayonlar ham tezlashadi. Lekin haroratning ko'tarilishi muvozanat sharoitlari, oraliq reaksiyalarning vujudga kelishi va boshqa sabablar bilan cheklanadi. Barcha jarayonlar uchun qizdirishga ketgan xarajatlar jarayonni tezlatish bilan oqlanadigan eng maqbul haroratni joriy qilishga harakat qilinadi.

Qaytar reaksiyalar uchun kimyoviy reaksiyaning tezlik konstantasini oshirib haroratni ko'tarish bir vaqtda muvozanatga ta'sir qiladi. Yuqorida ta'kidlanganidek (2- bobga q.) qaytar ekzotermik (P, T) reaksiyani o'tkazish uchun mahsulotning eng ko'p chiqishiga mos kelgan eng maqbul haroratni aniqlash talab qilinadi. Qaytar ekzotermik reaksiya uchun eng maqbul haroratni muvozanat haroratining egri chizig'i va Arrenius tenglamasiga asosan

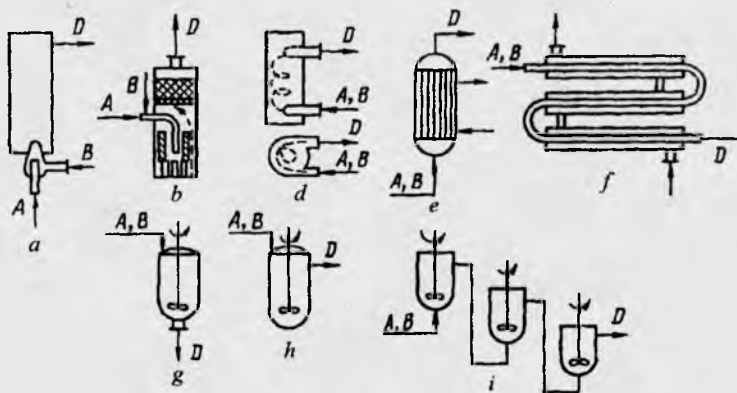
$$T_{maq} = \frac{T_p}{1 + \frac{2,3RT_p}{mq_p} \lg \frac{E + mq_p}{E}} \quad (4.23)$$

formula bo'yicha hisoblash mumkin, bu yerda T - harorat, K; R - molyar gaz doimiysi, kJ/ (mol·K); m - **stexiometriyaga qarshi yetarlicha miqdorda bo'lmagan moddaning reaksiya tenglamasidagi koeffitsienti**; q , - reaksiya issiqligi, kJ/ mol; E - faollanish energiyasi, kJ/ mol; T_m - $x=x_p$ bo'lganda muvozanat harorati.

Aralashtirishning ta'siri. Suyuqlikdagi jarayonlar uchun aralashtirish eng ko'p ahamiyatga ega, chunki suyuqliklarda diffuziya tezligi gazlardagiga nisbatan o'n va yuz minglab marta kichik. Diffuzion to'xtatishni bartaraf qilish hisobiga eritmalarni aralashtirish jarayonning umumiy tezligini juda oshirishga imkon beradi. Suyuqlikni aralashtirish ko'pincha mexanik va pnevmatik aralashtirgichli rezervuarlarda olib boriladi.

Gaz holatidagi reaksiyalar uchun aralashtirish birinchidan, komponentlarni boshlang'ich aralashtirish uchun, ikkinchidan, jarayon borishida konsentratsiyalarni va haroratni tenglashtirish uchun zarur. Boshlang'ich aralashtirish har xil *forsunkalar* yoki *soplolar* yordamida amalga oshiriladi. Ular orqali gazlar shunday mo'ljalda yetkaziladiki, ular umumiy turbulent oqimda aralashsin.

Gomogen jarayonlar uchun reaktorlar. Gomogen reaktorlar ko'pgina hollarda namunaviy kimyoviy apparatlar hisoblanadi, ya'ni mashinasozlik zavodlari tomonidan seriyali ishlab chiqariladi va mos kataloglar, qoidalar va ma'lumotlar bo'yicha tanlanadi. 19- rasmda gomogen reaktorlarning asosiy turlari keltirilgan.



19- rasm. Gaz fazali (a-f) va suyuq fazali (f-i) gomogen jarayonlar uchun reaktorlarning turlari: a, b - gorenkali kamerali reaktorlar (a - bekami-ko'st siqib chiqarish tartibi; b - oraliq), d - kuchli aralashtirishli kamerali reaktor, izotermik; e, f - politermik tartibli, naysimon siqib chiqarish reaktorlari; g, i - qorg'ichli reaktorlar, to'liq aralashtirish tartibi (g - ayrim davriy ta'sirlar; h - ayrim

uzluksiz ta'sirlar, i- reaktorlar kaskadi); A, B - boshlinqich reagentlar; D - reaksiya mahsuloti.

Gaz fazali jarayonlar, odatda kamerali va naysimon reaktorlarda olib boriladi. Ko'pincha gazsimon reagentlarni aralashtirish uchun maxsus qurilmalar - soplo, elektr markazdan qochma aralashtirgichlar va boshqalarga ega alangali reaktorlar - gorelkalar va yonish kameralari qo'llaniladi. Kamerali reaktorlar vodorod xlorid sintezi, (19- rasm, a) oltingugurtni yoqish, metanni termik xlorlash (19- rasm, b), metanning termooksidli pirolizi va boshqalar uchun foydalaniladi. Hidrodinamik tartib bo'yicha ba'zi kamerali reaktorlar, masalan markazdan qochma aralashtirgichli (19- rasm, d) to'liq aralashtirishga, ba'zilar esa - bekami-ko'st siqib chiqarishga (19- rasm, a) yaqinlashadi. Kamerali reaktorlar odatda kislotaga chidamli yoki o'tga chidamli materiallar bilan *futerovkalangan*; gorelkalar *legirlangan* po'latdan yoki maxsus metallardan (masalan, elementlardan HCl sintezi uchun tantal) tayyorlanadi. Naysimon reaktorlar gazli issiqlik aralashtirgichlar (19- rasm, e) yoki quvur ichida quvurlar turidagi sovituvchi reaktorlar (19- rasm, f) ko'rinishida tayyorlanadi va bekami-ko'st siqib chiqarish tartibida ishlaydi.

Suyuq fazali jarayonlarni o'tkazish uchun ayniqsa aralashtiruvchi har xil qurilmali reaktorlar o'ziga xosdir. Davriy jarayonlar odatda mexanik aralashtirgich va aralashtirishning boshqa ko'rinishlari bilan (19- rasm, g) yakka rezervuarlarda yoki *avtoklav*larda olib boriladi. Uzluksiz suyuq fazali jarayonlar uchun oqimli reaktorlar - yakka aralashtirish bilan (19- rasm, h), ketma-ket ulangan aralashtirgichli reaktorlar (19- rasm, i) hamda siqib chiqarish reaktori, masalan sovitiluvchi naysimon siqib chiqarish reaktori (19- rasm, f) qo'llaniladi. Suyuq fazali gomogen reaktorlar eritmalarda almashinish reaksiyalari (masalan, neytrallanish), eterifikatsiyalash, diazotlash, polimerlanish, polikondensatlanish va boshqa jarayonlarni olib borish uchun ishlatiladi.

4.2. Geterogen jarayonlarning qonuniyatlari

Geterogen jarayonlar ikki va undan ko'p o'zaro

ta'sirlanuvchi fazalar bo'lishi bilan tavsiflanadi, shuning uchun ular moddani fazalarni ajratuvchi sirtlar orqali o'tkazish bilan boradi. Bunda fazalararo massa o'tkazish yo mustaqil jarayon yoki o'zaro ta'sirlanuvchi komponentlarning kimyoviy aylanishi bilan birga sodir bo'lishi mumkin. Birinchi holda absorbsiya, adsorbsiya, desorbsiya, kristallanish, bug'lanish, suyuqlanish va shunga o'xshashlar sof fizik yoki fizik-kimyoviy o'zgarishlar, ikkinchi holda esa massa almashinishi bilan murakkablashgan kimyoviy reaksiyalar yuz beradi. Kimyoviy reaksiyalarning o'zi gomogen, ya'ni bitta faza ichida yoki fazalarni ajratish chegarasida borishi mumkin. Fazalarni ajratish chegarasida komponentlar orasida, ulardan biri qattiq fazada, boshqasi esa gaz, suyuq yoki ayrim qattiq fazada bo'lgan reaksiyalar boradi.

Geterogen jarayonlarning muvozanati va tezligi. Bu parametrlar ko'p o'zgaruvchili funksiyani ifodalaydi va shuning uchun geterogen jarayonlarni miqdoriy baholash juda murakkab. Soddashtirish uchun jarayon bosqichlar bo'yicha ko'riladi. Eng sekin bosqich (diffuziya yo kimyoviy reaksiya) aniqlanadi va uni matematik tasniflab, shu bilan jarayon umuman tasniflanadi. Bunday yondashish, agar diffuziya va kimyoviy aylanishning tezliklari taqqoslab bo'lmaydigan bo'lsa, o'rinlidir. Aks holda ikkala omilni hisobga olishga to'g'ri keladi va kinetik tenglama juda murakkablashadi.

Geterogen kimyoviy jarayonlarda muvozanat, gomogenlardagidek, tayyor mahsulotning chiqishini belgilaydi. Geterogen muvozanatga harorat, bosim, reaksiyaga kirishuvchi komponentlarning konsentratsiyasi va boshqa omillar t'asir qiladi. Fazalarning muvozanati fazalar qoidasi bilan aniqlanadi. Fazalar qoidasi - geterogen muvozanatni eng keng umumlashmasidir.

Faza muvozanatini aniqlash uchun, ayniqsa suyuq- qattiq (S-Q) tizimlarda, tizimning xossalariidan birini tajriba ma'lumotlari bo'yicha tarkibning funksiyasi kabi aniqlanuvchi, faza holatining diagrammalari qo'llaniladi. Masalan, fazaviy o'tish haroratini aniqlash uchun qattiq material bir tekis qizdiriladi yoki suyuqlanma sovitiladi. Suyuqlanmaning kristallanishiga (yoki qattiqning suyuqlanishiga) mos kelgan haroratda, kristallanish issiqligi ajralishi

yoki sarfi hisobiga haroratning pasayishi (yoki ko'tarilishi) to'xtaydi yoki sekinlashadi. Kristallanish yoki suyuqlanish davrida $t = f(\tau)$ egri chiziqda gorizontal qism paydo bo'ladi. Fazaviy holat diagrammalarining tahlili, muvozanatli chiqishini va mavjud ishlab chiqarish jarayonini muvozanatga maksimal yaqinlashish shartini aniqlashga imkon beradi.

Tutash fazalarda komponentlarning muvozanat konsentratsiyalari quyidagi moddalarning taqsimot qonuni bilan aniqlanadi:

ikki tutash fazalardagi komponentlarning muvozanat konsentratsiyalarining nisbati o'zgarmas haroratda o'zgarmas kattalikdir.

Nisbatning o'zgarmasligi komponentning konsentratsiyasi yoki tizimda umumiy bosim o'zgarganda buzilmaydi.

Sanoat amaliyotida keng tarqalgan G-S geterogen tizimi taqsimot qonunining xususiy holini ifodalovchi

$$p = \psi N, \quad (4.22)$$

Genri qonuni bilan tasniflanadi, bu yerda p - gazda yutilayotgan komponentning muvozanat parsial bosimi; N - eritmada yutilayotgan komponentning molyar ulushi; ψ - bosim o'lchamiga ega Genri doimiysi.

Boshlang'ich reagentlar va biror fazada yuz beruvchi kimyoviy reaksiya mahsulotlari orasidagi muvozanat, gomogen jarayonlar uchun qanday bo'lsa xuddi shunday, muvozanat konstantasi K_r , K_s yoki K_{mah} bilan aniqlanadi. Amaliyotda, ko'pincha asosan muvozanatga yaqinlashgan sari texnologik jarayonning tezligi juda tez kamayganligi sababli, muvozanatga etishga muvofiq bo'linmaydi.

Bekami-ko'st siqib chiqarishda va to'liqmas aralashtirishda geterogen kimyo - texnologik jarayonlarning tezligi

$$u = \frac{dG}{d\tau} = kF\Delta c$$

tenglma bilan ifodalanadi.

To'liq aralashtirishga yaqin tartiblarda

$$u = \frac{G}{\tau} = kF\Delta c_{ox},$$

bu yerda Δc_{ox} - jarayonning oxirgi harakatlantiruvchi kuchi.

Har bir muayyan holda jarayonning Δc harakatlantiruvchi kuchi Δc ning tasnifiga, massa uzatish ko'effitsienti k bilan aniqlangan omillarga, fazalar tutash sirti F ning ifodalash usullariga va boshqa shunga o'xshashlarga bog'liq holda umumiy kinetik tenglama ma'lum ko'rinishni oladi. Geterogen tizimning ko'rinishi va jarayonning texnologik (apparatlar bilan) jihozlashga qarab jarayonning harakatlantiruvchi kuchining va fazalar tutash sirtining ifodalanishining har xil usullari avvalroq ko'rilgan edi. Massa uzatish ko'effitsienti k ko'p o'zgaruvchili funksiya hisoblanadi. Umumiy holda k to'g'ri, teskari va qo'shimcha reaksiyalarning tezlik konstantalariga, reaksiyaga kirishuvchi moddalarning va reaksiya mahsulotlarining diffuziya ko'effitsienti D , reaksiyaga kirishuvchi moddalarning oqim tezligi w , reagentlarning aralashtirish jadalligi i , suyuq va gazsimon komponentlarnng qovushqoqligi μ , reaksiyaga kirishuvchi moddalarning zichligi ρ , fazalar chegaralarida sirt tarangligi σ , apparat G ning geotermik tasniflariga va shunga o'xshashlarga bog'liq. Shuning uchun umumiy funksional bog'liqlikni

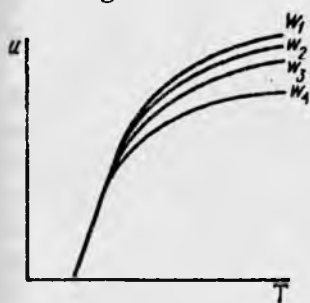
$$k = \varphi(k', D, w, i, \mu, \rho, \sigma, G, \dots), \quad (4.23)$$

ko'rinishda ifodalash mumkin, bu yerda k' - reaksiyaning tezlik konstantasi.

Kimyo-texnologik jarayonlarda har doim bir nechta moddalar (kamida ikkita) ishtirok etgani uchun (4.23) tenglama mos ravishda murakkablashadi, chunki diffuziya, zichlik va shunga o'xshashlarning bir nechta ko'effitsientlari vujudga keladi. Shuning uchun, massa uzatish ko'effitsientini analitik hisoblash amalda mumkin emas va

uni aniqlash uchun har bir muayyan holda maxsus tajriba o'tkazish kerak. Agar jarayonning qaysi - diffuzion, kinetik, yoki o'tuvchi sohada borishi ma'lum bo'lsa, u holda qator o'zgaruvchilarni yo'qotib murakkab (4.23) bog'lanishni soddalashtirish mumkin. Texnologik tartib parametrlarining jarayon umumiy tezligi u ga ta'sirini o'rganib, cheklovchi bosqichni aniqlash mumkin. Agar harorat ko'tarilishi bilan Arrenius qonuniga muvofiq u ortsa va harorat koeffitsienti $\gamma = k_{T+10} / k_T > 1,5$ bo'lsa, u holda odatda cheklovchi bosqich - kimyoviy reaksiya va jarayon kinetik sohada boradi. Lekin, agar u reaksiyaga kirishuvchi fazalar oqimlarining tezligini o'sishi bilan ortsa, u holda cheklovchi bosqich - bu fazalar orasidagi massa almashinishi va jarayon tashqi diffuzion sohada boradi.

20- rasmda kuydirish, yondirish, gazga aylantirish uchun Q-G tizimda harorat va gaz oqimi tezligining jarayon kinetikasiga ta'siri ko'rsatilgan. 20- rasmdan ko'rish mumkinki, quyi harorat sohasida



haroratning ko'tarilishi bilan jarayonning tezligi keskin ortadi, chunki kimyoviy reaksiya belgilovchi bosqich hisoblanadi. Yuqori harorat sohasida kimyoviy reaksiyaning tezligi shunchalar ortadiki, jarayon diffuzion sohaga o'tadi va gaz oqimining (gazning w_g tezligiga proporsional) turbulentlash darajasi jarayonning umumiy tezligini cheklaydi. Jarayon tezligining yoki mahsulot chiqishining haroratga va reaksiyaga kirishuvchi fazalarning tezligiga (yoki ularning aralashtirish darajasiga) bog'liqlik egri chiziqlarining bunday ko'rinishi boshqa geterogen tizimlar

20- rasn. T - harorat va w -gaz tezligining u - jarayonning umumiy tezligiga ta'siri:

$$w_1 > w_2 > w_3 > w_4.$$

uchun ham xos.

(4.23) tenglamaning tahlili texnologik jarayonlarning jadallashtirish sharoitini aniqlashga va ularning tezligini massa uzatish koeffitsienti k ni kattalashtirish hisobiga oshirishga imkon beradi.

Diffuzion sohadagi jarayonlar uchun massa uzatish

koeffitsienti k ni kattalashtirishga asosan o'zaro ta'sirlanuvchi fazalarning turbulentligini oshirish bilan erishiladi, buning natijasida diffuzion sekinlatishlar kamayadi va fazalararo sirt uzluksiz yangilanadi. Lekin turbulentlashni oshirish faqat jarayonning kinetik sohaga o'tishigacha maqsadga muvofiq. Keyingi turbulentlash, F va k (2 va 3- bobga qarang) miqdorlarni o'sishi bilan jarayonning o'rni to'lmagan harakatlantiruvchi kuchining kamayishi tufayli, reaktor ishining samaradorligini pasaytiradi.

Getergen jarayonning harakatlantiruvchi kuchini oshirishga eng maqbul harorat, bosim va boshqalarni qo'llab erishiladi. Fazalararo sirtni kengaytirish reaktorlarning tuzilishini takomillashtirish va jadal gidrodinamik tartibni qo'llash bilan amalga oshiriladi.

Getergen jarayonlarning kinetikasi, reaktorlarning tuzilishi va ularning hisoblash usullari, jarayonlarning jadallashtirish yo'llari avvalo o'zaro ta'sirlanuvchi reagentlarning va reaksiya mahsulotlarining fazaviy holati bilan aniqlanadi. Shuning uchun quyida kimyoviy ishlab chiqarishlarda qo'llaniladigan, o'zaro ta'sirlanuvchi ikki fazali getergen tizimlarning asosiy ko'rinishlari uchun jarayonlar va reaktorlar ko'riladi.

4.3. Gaz - suyuqlik (G-S) tizimi uchun jarayonlar va reaktorlar

Suyuq va gazsimon reagentlar qatnashgan jarayonlar kimyo sanoatida keng qo'llanadi. Ularga gazlarning absorbsiyasi va desorbsiyasi, bug'lanish va bug'larning kondensatlanishi, suyuq aralashmalarning distillyatsiyasi va rektifikatsiyasi, suyuqliklarning pirolizi, suyuqlanma polimerlar hosil bo'lishi bilan gazlarda polimerlanish va hokazolar kiradi. G-S tizimi uchun ayniqsa absorbsion - desorbsion jarayonlar xosdir.

Absorbsiya - eritma hosil bo'lishi bilan gazlarning suyuqliklar bilan yutilish jarayonidir. Agar absorbsiya kimyoviy reaksiya bilan bir vaqtda sodir bo'lsa, u **xemosorbsiya** deyiladi. Sorbsion jarayonlar kimyoviy texnologiyada keng tarqalgan va xlorid, sulfat, nitrat, fosfat va boshqa kislotalar, ammiak va soda

ishlab chiqarishning tarkibiy qismi hisoblanadi, ular tashlanma gazlarni tozalashda, koks gazining va neftni qayta ishlash gazlarining komponentlarini ushlab qolish uchun, organik sintez texnologiyasida va shunga o'xshashlarda qo'llaniladi.

Desorbsiya - absorbsiyaga teskari jarayon - suyuqliklardan unda erigan gazlarni ajratishdan iborat.*)

Amaliyotda desorbsiyani **haydash** deyiladi va suyuqlikni isitish va u orqali inert gazni yoki suv bug'ini o'tkazish bilan amalga oshiriladi. Eritmadan gazsimon komponentni ajratish gaz oqimida desorbsiyalanayotgan komponentning parsial bosimining kamayishi tufayli sodir bo'ladi.

Desorbsiya ham absorbsiya kabi qo'llaniladi, chunki sorbsion jarayonlar odatda birga qo'shib olib boriladi; avval kerakli gaz holatidagi komponent absorbsiyalanadi, keyin uni koncentrlangan holda desorbsiyalanadi. Binobarin shunday ketma-ketlikda koks gazidan benzol va uning gomologlarini olishning sanoat jarayoni o'tkaziladi.

Boshqa geterogen tizimlardagidek S-G tizimida muvozanat fazalar qoidasi, taqsimot qonuni va suyuq fazada kimyoviy reaksiyaning muvozanat konstantasi yordamida aniqlanadi. Ikki fazali S-G tizimlarda muvozanat tarkib - xossa, masalan, tarkib - qaynash harorati, fazaviy diagrammalar ko'rinishida ifodalanadi. Shunday diagrammalar yordamida suyuqlikning va qaynovchi aralashma bug'larining muvozanat tarkiblari yoki berilgan tarkibli aralashmaning qaynash harorati aniqlanadi.

G-S tizimida jarayonlarning tezligini ko'rish ham absorbsiya va desorbsiya misolida qulay. Jarayonning umumiy tezligi va reaktorlarning o'lchamlari diffuzion bosqichlarni belgilaganda diffuzion soha uchun umumiy kinetik tenglamalar

$$u = k_g F(p - p^*) \quad (4.24)$$

yoki

*) "Desorbsiya" tushunchasi qattiq moddalar bilan adsorbsiyalangan gazlarni va suyuqliklarni ajratishni ham o'z ichiga oladi.

$$u = k_s F(c^* - c) \quad (4.25)$$

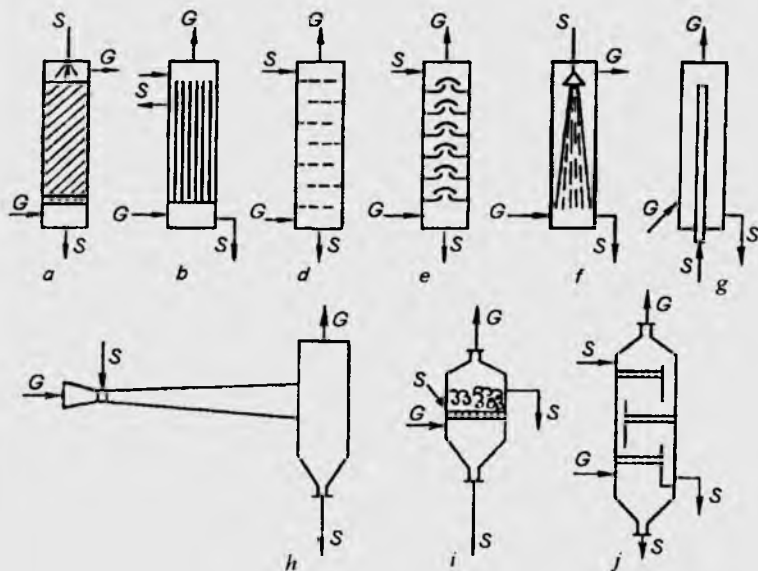
ko'rinishga ega, bu yerda p va p^* - suyuqlik va yutilayotgan komponentning haqiqiy va muvozanat parsial bosimi; c va c^* - gaz holatidagi komponentning eritilgan suyuqlikdagi haqiqiy va muvozanat konsentratsiyasi; k_g va k_s - gazning parsial bosimi yoki suyuqlikning konsentratsiyasi birliklarida ifodalangan massa uzatish koeffitsienti.

Absorbsion - desorbsion jarayonlar ko'rilganda gazlarni yaxshi, o'rtacha va yomon eriydiganlarga ajratish qabul qilingan. Suyuqlik bilan tez o'zaro ta'sirlanuvchi, u bilan mahsulotlar hosil qiluvchi, suyuqlik ichiga tez diffuziyalanuvchi gazlar yaxshi eriydiganlarga kiradi. Yaxshi eriydigan gazlar absorbsiyasining cheklovchi bosqichi gaz plyonkasida yutilayotgan komponentning diffuziyasidir. O'rtacha eriydigan gazlar absorbsiyasida gazda va kimyoviy reaksiyada diffuziya tezliklari taqqoslanadi. Suyuqlik bilan gazning fizik - kimyoviy o'zaro ta'siri (gidratlanish, solvatlanish) yoki suyuq fazada reaksiya zonasidan mahsulotning diffuziyasi yomon eriydigan gazlar uchun cheklovchi bosqich hisoblanadi.

Xemosorbsion jarayonlarni o'rganganda massa uzatish va kimyoviy kinetika qonuniyatlarini birgalikda ko'rish zarur, chunki diffuzion va kimyoviy bosqichlarning tezliklari taqqoslanuvchi bo'lishi mumkin. Suyuq fazada reaksiya suyuqlikda yutilayotgan gaz holatidagi komponentning konsentratsiyasini pasaytiradi, ya'ni fizik absorbsiyaga nisbatan jarayonning harakatlantiruvchi kuchini va tezligini oshiradi. Xemosorbsion jarayonlarni miqdoriy ifodalaganda odatda harakatlantiruvchi kuch kattaligiga yoki suyuq fazada reaksiya tezligini aks ettiruvchi massa uzatish koeffitsientiga tuzatishlar kiritiladi.

G-S tizimida geterogen aylanishlar uchun reaktorlar. Bunday reaktorlar kimyo zavodlarida fizik jarayonlar va amallar (bug'latish, distillash va rektifikatsiyalash, gazlarni yuvish, issiqlik almashinish) qanday bo'lsa xemosorbsion jarayonlar (mineral kislotalar, sodalar, organik moddalar ishlab chiqarishda) uchun ham xuddi shunday amalga oshiriluvchi namunaviy kimyoviy apparatura hisoblanadi. Suyuqliklar va gazlar orasidagi o'zaro ta'sirlar uchun

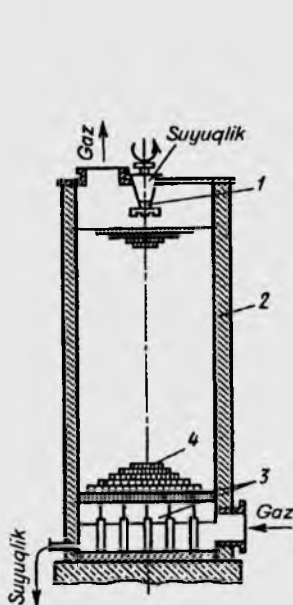
reaktorlarning asosiy turlari 21- rasmda ko'rsatilgan. $a - b$ turdagi reaktorlar bekami-ko'st siqib chiqarishga yaqin



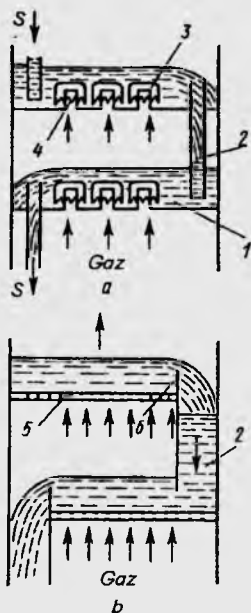
21- rasm. Gaz va suyuq reagentlar (G-S) qatnashgan geterogen jarayonlar uchun reaktorlarning turlari: a, b - plyonkali kolonna (a - nasadkali, b - naysimon); d, e - barbotajli kolonna (d - elak tarelkali, e - qalpoqsimon tarelkali); f, g - suyuqlik sachratishli kolonnali reaktorlar (f - yerga joylashtirilgan, g - siklon); h - suyuqlik purkagichli reaktorlar; i, j - ko'pikli reaktorlar; G - gaz; S - suyuqlik.

tartibda, $d-g$ gaz bo'yicha siqib chiqarish va suyuqlik bo'yicha aralashtirish tartibida, $h-j$ to'liq aralashtirishga yaqin tartibda ishlaydi. Aslida bu barcha reaktorlar u yoki bu darajada aralashtirishning bekami-ko'st modeliga yaqinlashuvchi oraliq tartiblarda ishlaydi. Gaz-suyuqlik jarayonlarini (G-S) amalga oshirish uchun reaktorlarni ehtiyojga mos, tejamli joylashtirish gazli va suyuq fazalarning tutash sirtini kengaytirishning qabul qilingan usuliga, ya'ni suyuq faza sirtini kattalashtirish yo'liga bog'liq.

Nasadkali minora plyonkali reaktor hisoblanadi (22- rasm).



22- rasm. Nasadkali minora: 1- suyuqlik sachratgich; 2 - korpus; 3 - kolosnik panjara; 4 - nasadka (halqalar).



23- rasm. (a) - ichki quyilishli va (b) - elak taqsimchali barbotajli reaktor qurilmasining sxemasi: 1-qalpoqli taqsimcha; 2 - quyilish quvuri; 3 - qalpoqcha; 4 - gaz uchun naycha; 5 - elak taqsimchasi (panjarasi); 6 - to'kish ostonasi.

Suyuqlik nasadka jismlari sirt bo'yicha yupqa plyonka kabi taqsimlanadi va u bilan o'zaro ta'sir qilayotgan gaz oqimiga qarshi pastga oqadi. Ba'zan to'g'ri oqim qo'llaniladi.

Reaktor minora, nasadkani tutib turuvchi **kolosnik** panjara, nasadka va sug'orish qurilmasidan tashkil topgan. Nasadka katta solishtirma sirtga, katta bo'sh hajmga ega, yengil, mexanik chidamli va arzon bo'lishi kerak. Bundan tashqari, nasadka gaz oqimiga

minimal qarshilik ko'rsatishi va suyuqlik bilan yaxshi ho'llanishi kerak. Turli shakldagi nasadkalar: balandligi tashqi diametrga teng ($h \times d = 100 \times 100$, yoki 50×50 , yoki 25×25 mm) bo'lgan po'lat va keramik halqalar qo'llaniladi. Reaktor ishlashini jadallashtirish uchun gaz va suyuqlik oqimlarining tezliklari oshiriladi.

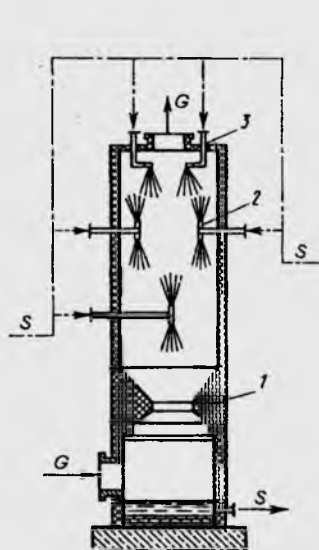
Absorbsion – desorbsion jarayonlar uchun nasadkali minoralar eng ko'p tarqalgan reaktorlardir, ularni sulfat kislota, nitrat kislota ishlab chiqarishda, koks gazini qayta ishlashda, qator organik sintez ishlab chiqarishlarida va shunga o'xshashlarda keng qo'llaniladi.

Barbotajli reaktorlar (23- rasm), G-S jarayonning tavsifiga, reaktorning berilgan foydali ish koeffitsienti (FIK)ga va talab qilinayotgan selektivlikka qarab, bittadan bir necha o'n qalpoqsimon yoki elakli tarelkalarga ega bo'lishi mumkin. Har bir tarelkada barbotaj yo'li bilan suyuqlik hajmidagi gazni disperslash, ya'ni tarelkadan ohayotgan suyuqlik qatlami orqali gaz puffakchalarini o'tkazish yuz beradi. Har bir tarelkada fazalar kesishgan oqim prinsipi bo'yicha o'zaro ta'sirlanadi, lekin minora balandligi bo'yicha qarama-qarshi oqim prinsipiga rioya qilinadi. Barbotajli reaktorlar kimyoviy texnologiyada - soda ishlab chiqarishda, kislotalarni koncentrlashda, neftni qayta ishlashda, distilyatsiya va rektifikatsiya jarayonlari uchun, organik moddalar texnologiyasida ham keng qo'llaniladi. Bu reaktorlar nasadkali minoralarga nisbatan tuzilishi bo'yicha ancha murakkab, ularni ishlatish katta xarajatlar bilan bog'liq, lekin ular suyuqlik va gazning ancha yuqori sarfini ta'minlaydi, ancha jadal ishlaydi, suyuq aralashmalarning juda yaxshi ajratish imkoniyatini ta'minlaydi.

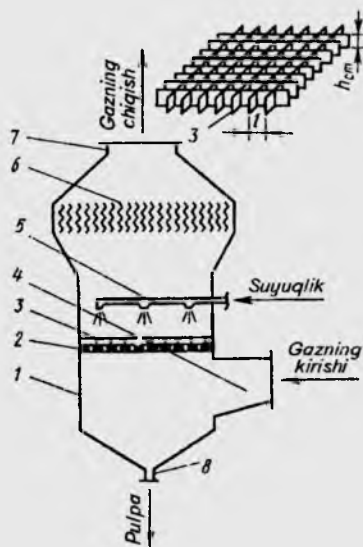
Polga o'rnatilgan suyuqlik sachratgichli minora 24- rasmda ko'rsatilgan. Bu turdagi reaktorlarda (shuningdek suyuqlik sachratgichli polda o'rnatilgan kameralarda) suyuq faza sirtini kengaytirish uni disperslash bilan, ya'ni hajmda yoki gaz oqimida siqilgan havo yoki mexanik yo'l bilan sachratish, purkash yuz beradi. Polga o'rnatilgan sachratgichli minorali reaktor, masalan, sulfat kislota ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

Ko'pikli apparatlar (25- rasm) energiya sarfiningkamligi,

ishlash tezligi bo'yicha barbotajlilardan ancha ustun. Ko'pikliapparatlarda gaz oqimi pastdan yuqoriga panjara orqali shunday tezlikda o'tadiki, bunda gazning suyuqlikka ishqalanish tezligi uni (suyuqlikni) massasining tenglashtiradi. Natijada gaz puffakchalari va ingichka oqimlar bilan aralashib ketgan zich muallaq (suzib yuruvchi) tez harakatlanuvchi plyonkalar, tomchilar, suyuqlikning tizillagan oqimlari ko'rinishida harakatlanadigan ko'pik qatlami hosil bo'ladi. Apparat kesimidagi gazning tezligi 1 dan 4,5m/s (barbotaj apparatlardan 2 - 4 marta katta) ni tashkil etishi mumkin. Gazning ancha yuqori tezliklarida ko'pikning muallaq qatlami buzilib ketadi va muallaq tomchilar oqimi ko'rinishida gaz bilan uchib ketadi. Gazning tezligi 1 m/s dan kam bo'lganda suyuqlik panjara orqali oqib o'tadi va apparatning ishi buziladi. Ko'pik stabilizatori tik joylashgan kesishgan



24- rasm. Suyuqlik sachratgich-li yerga joylashtirilgan minora: 1 - korpus; 2 - qo'sh suyuqlik purkagich; 3 - yakka suyuqlik sachratgich.



25- rasm. Ko'pikli apparat. 1 - korpus; 2 - panjara; 3 - ko'pik stabilizatori; 4 - gazning kirishi; 5 - suyuqlikni berish; 6 - purkalgan suyuqlikni tutgich; 7 - gazning chiqishi; 8 - pulpani chiqishi.

plastinkalardan iborat panjarani ifodalaydi. U ko'pik balandligining bir xilligini va apparat kesimi bo'yicha gazning bir maromdagi tezligini ta'minlaydi. Shuningdek tuzilishi bo'yicha barbotajlilar bilan o'xshash (22- rasm) ko'pik stabilizatorlarsiz va suyuqlik qayta quyiladigan apparatlar qo'llaniladi.

Absorbtsion - desorbtsion jarayonlar uchun asosan qayta quyiladigan quvurlarli ko'p tokchali ko'pikli, ba'zan esa parallel qurilmalarsiz reaktorlar qo'llaniladi; oxirgi holda kirayotgan barcha suyuqlik sekin - asta panjara teshigi orqali yuqori tokchadan keyingi past tokchaga gazga qarama - qarshi, u bilan o'zaro ta'sirlanib har bir tokchada ko'pik qatlami hosil qilib, oqib o'tadi. Tokchalar soni berilgan FIK va jarayonning selektivligi bilan aniqlanadi.

4.4. Gaz - qattiq (G-Q) tizimda jarayonlar va reaktorlar

G-Q tizimda nokatalitik jarayonlar kimyo sanoatida keng qo'llaniladi. Ularga qattiq sorbentlarda gazlarning adsorbtsiyasi va desorbtsiyasi, qattiq moddalar bug'larini haydash va kondensatlash, qattiq yoqilg'ining pirolizi, qattiq materiallarni kuydirishning har xil ko'rinishlari kiradi. G-Q tizimi uchun qattiq materiallarni kuydirish va adsorbtsion jarayonlar ayniqsa o'ziga xosdir.

Kuydirish - bu qattiq va gazsimon mahsulotlar olish maqsadida, shuningdek qattiq materiallarga mexanik mustahkamlik (silikatlar texnologiyasi) berish uchun donador qattiq materiallarni yuqori haroratda qayta ishlashdir. Kuydirishda har xil fizik-kimyoviy jarayonlar - piroliz, haydash, dissotsiatsiyanish, kalsinatsiyanish va boshqalar - gazsimon va qattiq reagentlar orasida qattiq fazada, shuningdek gaz fazada kimyoviy reaksiyalar bilan birga borishi mumkin. Kuydirish jarayonida, boshqa fazalar bilan o'zaro ta'sirlanuvchi suyuq faza hosil bo'lishi bilan qattiq moddalarning qisman suyuqlanishi yuz beradi. Kuydirishda asosiy aylanishlardan biri - bu qattiq moddalarning termik dissotsiatsiyanishidir.

Adsorbtsiya - bu gazlarning qattiq sorbentlar sirtiga yutilish jarayonidir. Gazlarning adsorbtsiyasi qimmatli uchuvchan erituvchilarni ushlab qolish uchun qo'llaniladi. Adsorbtsiyalangan

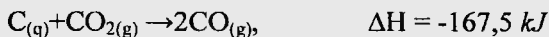
erituvchilarni keyingi desorbsiya (uchirish) bilan ularni regeneratsiyasi (rekuperatsiyasi) amalga oshiriladi. Adsorbsiya havoni zaharli gazlardan va bug'lardan tozalash uchun, murakkab gazli aralashmalarni komponentlarga ajratish va hokazolar uchun qo'llaniladi. Adsorbsiya va desorbsiya geterogen katalizda muhim rol o'ynaydi, chunki ular moddaning katalitik aylanish bosqichlari hisoblanadi. Adsorbsion jarayonlar qattiq sorbentning faqat sirtida yuz beradi.

Adsorbsion jarayonlarning muvozanati gaz va qattiq sirt orasida gaz komponentning taqsimlanish qonuni bilan tavsiflanadi. Adsorbsion muvozanat adsorbsiya izoterma tenglamasi bilan ifodalanadi va u Lengmyur izoterma shaklida quyidagi ko'rinishga ega:

$$m = \frac{m_{\max} A p_i^*}{1 + A p_i^*}, \quad (4.26)$$

bu yerda m - sorbentning massa (yoki hajm) birligiga yutilgan modda miqdori; A - sorbentning va yutilgan moddaning xossalari bog'liq konstanta; $m_{\max}$ - monoqatlam sig'imi (barcha faol markazlarni qoplashdagi maksimal adsorbsiya); p_i^* - adsorbsiyalanayotgan i - gazning muvozanat parsial bosimi.

Qaytar kimyoviy reaksiyalarda sodir bo'ladigan qattiq va gazsimon reagentlarning o'zaro ta'sirlari uchun muvozanat konsentratsiyalari va mahsulotning muvozanatli chiqishi x_{mah} faqat gazsimon reagentlar va reaksiya mahsulotlarining muvozanat konsentratsiyalari orqali ifodalanuvchi, muvozanat konstantasi yordamida hisoblanadi, chunki qattiq moddalarning to'yingan bug'larining bosimi kam va barqarordir. Agar reaksiya gaz mollar soni o'zgarmasdan borsa, u holda muvozanat faqat haroratga bog'liq va bosimga bog'liq emas. G-Q tizimda, gaz mollar soni o'zgarib boruvchi reaksiyalarning muvozanati haroratga va bosimga bog'liq. Masalan, (gazogeneratorlarda va domna pechlarida)



reaksiya bo'yicha CO_2 gazini qaytarishda haroratning ko'tarilishi va

bosimning pasayishi bilan CO gazining chiqishi ortadi. Bu reaksiyaning muvozanat konstantasi

$$K_p = \frac{(p_{CO}^*)^2}{p_{CO_2}}$$

$$x_p = \frac{p_{CO}^*}{P} \quad \text{va} \quad 1 - x_p = \frac{p_{CO_2}^*}{P} \quad \text{bo'lgani uchun}$$

$$K_p = \frac{x_p^2 P^2}{(1 - x_p) P} = \frac{x_p^2 P}{1 - x_p} \quad (4.27)$$

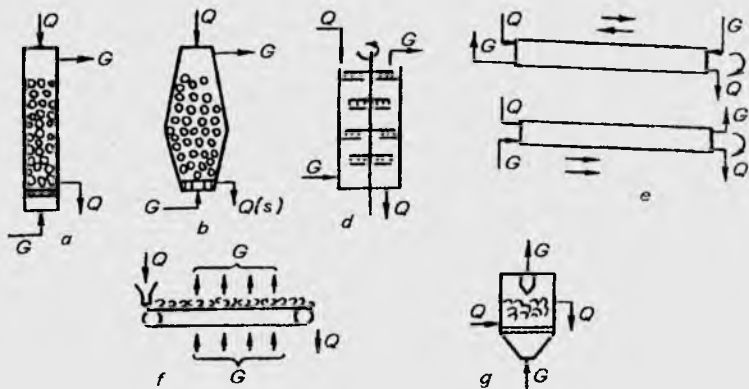
Kuydirish va qattiq moddalarni gazlashtirishning ko'pchilik yuqori haroratli jarayonlari uchun muvozanat deyarli butunlay eng so'nggi mahsulot tomonga siljiydi va shuning uchun faqat kinetik qonuniyatlar ko'riladi.

Geterogen jarayon mexanizmining tezlikka ta'siri. G-Q tizimda boruvchi jarayonlarning tezligini, xususan qattiq materiallarning kuydirish kinetikasini o'rganishda ko'pincha reaksiyaga kirishmagan yadroli sferik zarracha modelini asos deb qabul qilinadi. Shu modelga asosan kimyoviy reaksiya avvalo qattiq zarrachalar sirtida yuz beradi, keyin esa, reaksiyaning qattiq, serg'ovak mahsulotlar qatlami hosil bo'lishi bilan asta - sekin zarrachaga kiradi. Jarayonning elementar bosqichlari quyidagilar: 1) gazsimon reagentning gaz oqimidan qattiq sirtga diffuziyasi; 2) gazsimon reagentning "kullar" qatlami orqali ichki diffuziyasi; 3) qattiq reagentning sirtidagi kimyoviy reaksiya; 4) reaksiyaning gazsimon mahsulotlarining "kullar" qatlami orqali diffuziyasi; 5) gazsimon mahsulotlarning gaz oqimi yadrosiga tashqi diffuziyasi. Mazkur model uchun qattiq va gazsimon reagentlarning o'zaro ta'sirining umumiy kinetik tenglamasi

$$u = kF\Delta c = \frac{1}{1/k_g + 1/k_z + 1/k_q} F\Delta c, \quad (4.28)$$

ko'rinishga ega, bu yerda u - reaksiyaning zarracha markazigacha siljishi uchun zarur bo'lgan τ vaqt orasidagi jarayonning o'rtacha tezligi, k_g - massa uzatish koeffitsienti ($1/k_g$ - gazli chegara plyonkaning qarshiligi); k_q - qattiq sirt birligiga tegishli kimyoviy reaksiyaning tezlik konstantasi; $1/k_e = r_z/2D$ - o'rtacha qalinligi $r_z/2$ ga teng reaksiya qattiq mahsulotlari qatlamining qarshiligi; r_z - zarracha radiusi; D - zarracha g'ovaklaridagi gazning ichki diffuziya koeffitsienti; Δc - gaz fazasidagi gazsimon reagentning konsentratsiyasiga ekvivalent, jarayonning harakatlantiruvchi kuchi; $\Delta c = c_g$.

G-Q tizimda jarayonlar uchun reaktorlarning asosiy turlari. Bu reaktorlar 26- rasmda ko'rsatilgan. Ishlab chiqaruvchi



26- rasm. Politermik (a-f) va izotermik (g) tartiblar uchun gaz va qattiq (G-Q) reagentlar qatnashgan jarayonlar uchun reaktorlarning turlari: a - qarama-qarshi oqimli (qattiq materiallarni porsiyalar bilan ortish va tushirish) ; b - qarama-qarshi oqimli harakatlanuvchi qattiq fazali, bekami-ko'st siqib chiqarish; d - tokchali, mexanik qorishtirgichli, gaz bo'yicha bekami-ko'st siqib chiqarish; e - barabanli, aylanuvchi korpusli, gaz bo'yicha bekami-ko'st siqib chiqarish; f - qatlamni mexanik aralashtirish bilan gaz bo'yicha bekami-ko'st siqib chiqarish, kesishgan oqim; g - muallaq qatlamli kesishgan oqim.

yuqori haroratli ba'zi jarayonlar avtoklavlarda, kontakt apparatlarda, qozonlarda, bug'latish apparatlarida va shunga o'xshashlarda olib

boriladi. Qattiq va gazsimon moddalar orasidagi ko'pchilik nokatalitik jarayonlar kimyoviy reaksiyalarga asoslangan va yuqori haroratlarda amalga oshiriladi. Bunday jarayonlar uchun qo'llaniladigan kimyoviy reaktorlar o'ziga xos umumiy xususiyatga ega va pechlar deyiladi.

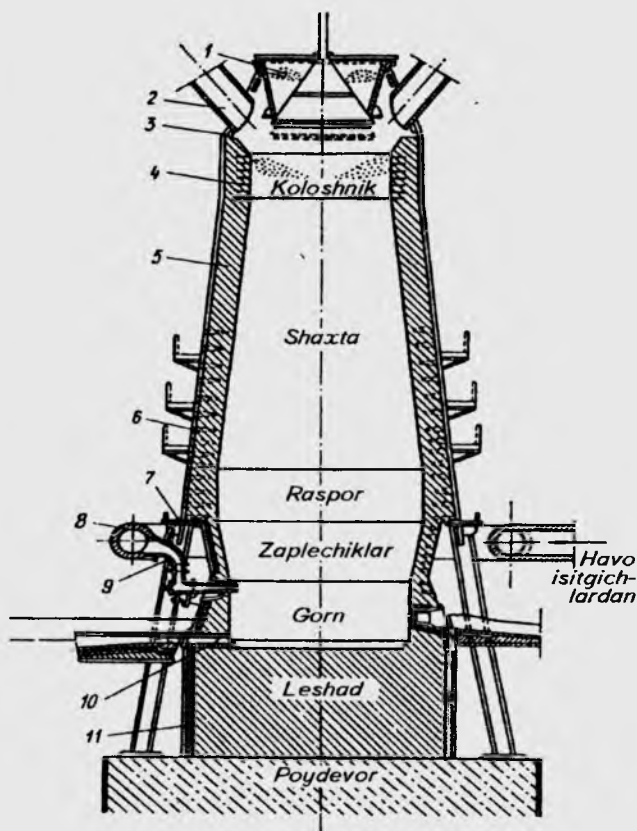
Ba'zi tipik pechlar. Umumiy kimyoviy texnologiyada har xil kimyoviy texnologik jarayonlarni amalga oshirish uchun mo'ljallangan pechlar ko'riladi. Shu nuqtayi nazardan pechlarni u yoki bu turga, ularning tuzilishi va ishlash prinsipi bo'yicha kirgizish eng qulay. Tokchali, qaynovchi qatlamli, naysimon, shaxtali, aylanuvchi barabanli, vannali va elektr pechlar eng ko'p tarqalgan.

Shaxtali pechlar xomashyo aralashmasi (shixta) tarkibiga kiruvchi, qattiq yoqilg'ining oksidlanishi hisobiga qizdirilayotgan material o'zida issiqlik ajralishi bilan bevosita qizdiriluvchi yoqilg'ili pechlarni ifodalaydi. Shixta pechda filtrlovchi qatlam hosil qiladi va u sirtida hamda bo'laklar g'ovaklarida shixta bilan reaksiyaga kirushuvchi, berilayotgan havo gazlar oqimiga qarama-qarshi harakatlanadi. Ikkala faza bekami-ko'st siqib chiqarishga yaqin tartibda bo'ladi.

Shaxtali pechning tipik vakili domna pechidir. Domna pechi (27- rasm) quyidagi asosiy qismlar: to'ldiruvchi apparatdan, *koloshnik*, shaxta, *raspor*, zaplechiklar, *gorn*, *furmlar* va *leshaddan* tashkil topgan. To'ldiruvchi apparat yordamida har 10 - 15 minutda shixtani koloshnikka solinadi. Koloshnikdan gaz chiqarish tarmoqlari orqali gaz chiqarib yuboriladi.

Xomashyo shixta kesik konus ko'rinishiga ega shaxta bo'yicha pastga harakatlanadi, qizdiriladi, bundan keyin temirning qaytarilish jarayoni yuz beradi. Gornga yoqilg'ining yonishi uchun furn orqali issiq havo beriladi. Furn atrofida harorat 1600 - 1800°C ga yetadi. Raspor atrofida (900°C) va zaplechiklarda (1000° C) qaytarilgan metall temir yuqori harorat zonasidan o'tadi, eriydi, uglerod bilan to'yinadi va cho'yan ko'rinishida gornga oqib tushadi.

Shlak va cho'yan vaqti-vaqti bilan *lyotka* orqali pechdan chiqarib olinadi. Domna pechining po'lat qobig'i o'tga chidamli shamotli qisht bilan *futerovka* qilinadi. O'tga chidamli futerovka maxsus sovitgichlar bilan sovitiladi. Domna pechlarining samaradorligini ularning asosiy ishni bajaradigan hajmini



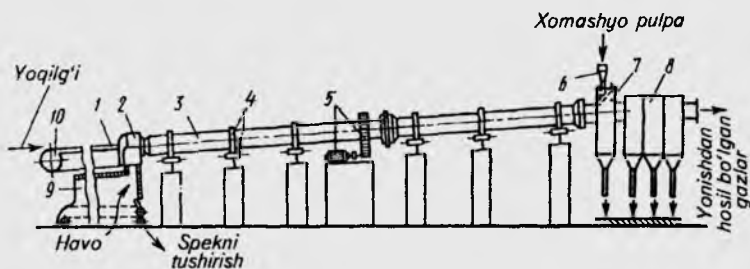
27- rasm. Domna pechi: 1 - soluvchi apparat; 2 - pech boshi; 3 - po'lat kojux; 4, 5 - futerovka; 6 - sovitgichlar; 7 - tayanch halqa; 8 - halqasimon havo uchun lyotka; 11 - furmli tarmoq.

kattalashtirish bilan oshiriladi. Zamonaviy domna pechlari $5000m^3$ gacha hajmga ega va yiliga 4 mln.t. po'lat eritishni ta'minlaydi.

Aylanuvchi barabanli pech o'tga chidamli qisht bilan futerovka qilingan va gorizontaliga uncha katta bo'lmagan og'ma ostida tayanch rolklarga o'rnatilgan po'lat barabanni ifodalaydi.

Baraban tishli g'ildirak va elektomotor uzatmasi yordamida 0,5 - 2,0 *ay/min* tezlik bilan o'z o'qi atrofida aylanadi. Aylanishda reaksiyon sirtning kattalashishi va qattiq hamda gazsimon reagentlarning aralashishi yuz beradi; qattiq materiallar gaz oqimida sochiladi.

Barabanli pechlar ko'pincha asosan alanga va qizigan yoqilg'i gazlar bilan kuydirilayotgan materialni bir-biriga bevosita yaqinlashishi hisobiga bevosita qizdirish agregatlarini ifodalaydi. Aylanuvchi barabanli pechlar o'lchamlarining kattaligi (uzunligi 200m gacha, diametri 5m gacha), qurilma unumdorligining yuqoriligi va boshqarishning soddaligi, ishlashda chidamliligi bilan ajralib turadi. Shu sababli barabanli pechlar keng tarqalgan va sement hamda boshqa silikat materiallar, gil tuproq, soda, ishqorlar, tuzlar va ko'pgina boshqa moddalar ishlab chiqarishda qo'llanuvchi tipik pechlar va quritish qurilmalari hisoblanadi. 28- rasmda sement klinkeri ishlab chiqarish uchun aylanuvchi barabanli pech ifodalangan.



28 - rasm. Aylanuvchi barabanli pech: 1 - gorelka; 2 - pech boshi; 3 - baraban; 4 - bandaj va tayanch g'ildiraklari; 5 - pech uzatmasi; 6 - ta'minlovchi; 7 - chang o'tiruvchi kamera; 8 - elektr filtri; 9 - spekning kolosnikli sovitgichlari; 10 - yoqilg'i berish uchun ventilyator.

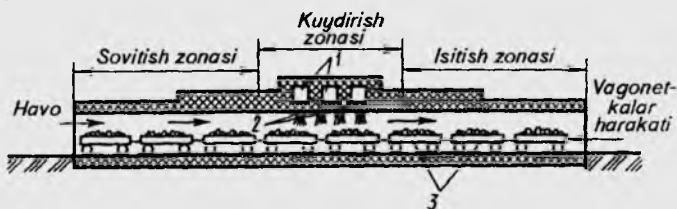
Boshlang'ich shixta (xomashyoli aralashma) pechning yuqori qismiga solinadi va pechning pastki qismiga beriladigan gazsimon, suyuq yoki chang ko'rinishidagi yoqilg'i yonganda hosil bo'luvchi gazlarga qarama-qarshi oqimda harakatlanadi..

Xomashyo aralashmasi pechda quritish, kalsinatsiya (900 - 1200°C), pishirish (1300 - 1450°C) va sovitish zonalaridan o'tadi.

Pishirilgan material (klinker) pechning quyi qismidan chiqariladi. Xuddi shu prinsip bo'yicha boshqa ishlab chiqarishlarda

barabanli pechlar ishlatiladi. Ulardan ba'zilar (masalan, soda kalsinatsiyalash pechi) to'g'ri oqimli prinsip bo'yicha ishlashi mumkin.

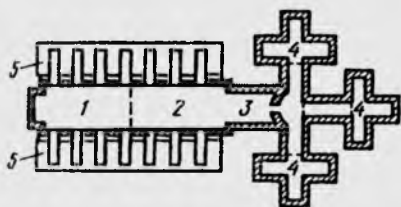
Tunnelli pech o'tga chidamli g'isht bilan qoplangan uzunligi 200m gacha bo'lgan kanalni ifodalaydi (29- rasm).



29- rasm. Tunnelli pech (bo'ylama kesim): 1 - havo berish uchun kanallar; 2 - goretka; 3 - kuydirilgan materialli vagonetkalar.

Kanal ichida rels bo'yicha kuydirilayotgan material yoki buyumlar to'ldirilgan vagonetka yoqilg'i gazlar oqimiga, keyin esa havo oqimiga (sovitish zonasida) qarama-qarshi harakatlanadi. Bu bevosita qizdirish pechlar - kuydirish zonasida gaz yoki mazut yonadi. Tunnelli pechlar o'tga chidamli va boshqa keramik buyumlarni kuydirish uchun keng qo'llaniladi.

Ichida qattiq material suyuqlanadigan va suyuq holatda keyingi termik va kimyoviy qayta ishlanadigan pechlar **vannali** deyiladi. Bu bevosita qizdiriladigan yoqilg'ili pechlar; qizdirilayotgan materialga issiqlik gazlarni yonishidan konveksiya va yoqilg'ining yonish alangasi, qizib turgan pechning devorlari va gumbazidan nur sochilishi bilan beriladi. Vannali pechlar po'lat, rangli metall ishlab chiqarishda, shisha pishirishda keng qo'llaniladi. Eng ko'p tarqalgan vannali issiqlik qaytariluvchi pechlarda issiqlik o'tkazish yonayotgan yoqilg'i alangasidan va qizdirilgan gumbaz issiqligidan qizdirilayotgan materialga "qaytarish" bilan amalga oshiriladi. Bunday pechlarga shisha pishirish pechi misol bo'la oladi (30- rasm).



30- rasm. Shisha pishirish pechining sxemasi (yuqoridan ko'rinishi): 1 - pishirish zonasi; 2 - tindirish zonasi; 3 - sovitish zonasi; 4 - ishlab chiqarish zonasi; 5 - tutun kanallari.

orasida (bilvosita) hosil bo'ladigan yoy issiqligi hisobiga amalga oshiriladi. Birgalikdagi pechlar ikkala prinsiplarni qo'shib olib borganda, ya'ni yoy va materialning qarshiligidan foydalanib ishlaydi.

Elektr pechlari qarshilik, yoyli, birgalikdagi va induksion pechlarga bo'linadi. Qarshilik pechlarida katta qarshilikka ega tok o'tgazgich bo'lib, yo kuydirilayotgan material (bevosita qizdirish), yoki maxsus o'tkazgichlar (bilvosita qizdirish) xizmat qilishi mumkin. Yoyli pechlarda materialni qizdirish yo elektrod va qizdirilayotgan material orasida (bevosita qizdirish) yoki ikki elektrod

4.5. Qattiq-suyuq (Q-S) tizimlar uchun jarayonlar va reaktorlar

Ko'pgina kimyoviy ishlab chiqarishlar qattiq va suyuq reagentlar ishtirokidagi erigan moddalarning qattiq yutuvchilar bilan adsorbsiya va desorbsiya, erish va eritmalaridan kristallanish, suyuqlanish va suyuqlanmadan kristallanish, suyuq monomerlarning qattiq polimerlarga polimerlanishi, qattiq jismlarni suyuqlikda disperslanishi va boshqa jarayonlarga asoslangan.

Faollashtirilgan ko'mir, silikagel, seolitlar va boshqa adsorbentlarda **adsorbsiyalash** bilan eritmada metallar ajratib olinadi, surkov moylari va boshqa neft mahsulotlari tozalanadi, texnik eritmalar tiniqlashtiriladi (rangsizlantiriladi), burg'ilash suvlaridan yod ajratiladi. Yuqori molekulyar ion almashinuvchi smolalar sorbentlar sifatida katta ahamiyatga ega. Ular yordamida suvni yumshatish, eritma va pulpalaridan uran olish, formalin, spirt, shakar, vinolarni aralashmalardan tozalash kabi keng ko'lamli amallar bajariladi. Desorbsiya bilan, bir vaqtda sorbentni regeneratsiyalab, konsentrlanganroq ko'rinishdagi moddalar ushlab qolinadi.

Qattiq moddalarni suyuqlikda **eritish** - kimyoviy

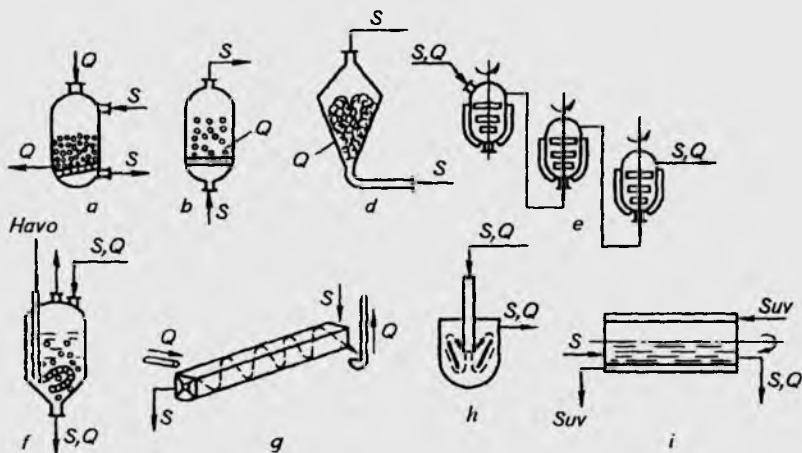
texnologiyada eng ko'p tarqalgan usullardan biridir. Eritishni shartli ravishda fizik va kimyoviyga ajratish mumkin. Birinchi holda faqat kristall panjaraning buzilishi yuz beradi va erigan komponent kristallanishi yo'li bilan qattiq ko'rinishda yana ajralishi mumkin. Eritishning bunday turini mineral tuzlar ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Kimyoviy eritishda erituvchi va erigan moddaning o'zaro ta'sirida uning tabiati o'zgaradi va moddaning boshlang'ich ko'rinishidagi kristallanishi, odatda, mumkin emas.

Metallar sirtiga kimyoviy ishlov berishda, mis chiqindilaridan va sulfat kislotasi yordamida mis kuporosini olishda metallarning kislotalarda erishi o'ziga xos misol bo'la oladi.

Qattiq moddalarning tanlash xususiyatiga asoslangan eritish - aralashma komponentlarining turli erituvchilarda har xil eruvchanligiga asoslangan - ajratib olish va ishqor bilan yuvish texnologiyada muhim ahamiyatga ega. Eritish, ajratib olish, ishqor bilan yuvish jarayonlari amaliyotda, odatda erituvchilarda kristallanish bilan birga boradi. Kristallanish ayniqsa tuzlar va mineral o'g'itlar ishlab chiqarishda, metallurgiyada keng qo'llaniladi.

Q-S tizimda muvozanat fazalar qoidasi bilan tasniflanadi va faza holatining diagrammalari bilan ifodalanadi. Silikat materiallar texnologiyasi, mineral tuzlar texnologiyasi, kalcinirlangan soda texnologiyasi fazali diagrammalar yordamida hisoblashlarga asoslangan. Qattiq va suyuq reagentlar ishtirok etgan qaytar kimyoviy jarayonlar uchun muvozanat kimyoviy reaksiyalarning suyuq fazadagi muvozanat konstantalari bilan tavsiflanadi.

Qattiq-suyuq jarayonlar uchun reaktorlar (31- rasm), xuddi S-G reaktorlaridek, tipik kimyoviy apparatlar hisoblanadi. Ularda fizik amallar (eritish, ekstraksiyalash, kristallash) bilan birga kimyoviy jarayonlar ham amalga oshiriladi. Fazalarning tegish sirtlarining rivojlantirish usullari va ularning nisbatan aralashishi qattiq fazada boruvchi o'zgarishlarga bog'liq. Qattiq zarrachalarning o'lchami va shakli o'zgarganda (erish) aralashtiruvchi qurilmaga ega reaktorlar keng qo'llaniladi.



31- rasm. Qattiq va suyuq (Q-S) reagentlar qatnashgan jarayonlar uchun reaktorlar turlari: a - qattiq reagentli filtrlovchi qatlamli, b - muallaq qatlamli reaktorlar (b - oddiy muallaq qatlamli; d - filtrlovchi qatlamli) e - g aralashtiruvchi qurilmali reaktorlar (e - mexanik qorishtirgichli; f - pnevmatik aralashtiruvchi; g - shnekli); h - purkov sirkulyatsion aralashtirgich; i - naysimon (barabanli) reaktor; Q - qattiq reagentlar; S - suyuq reagent.

Fazalarning nisbatan aralashishini tezlatishning boshqa usullari - bu suyuqlikni qattiq materialning filtrlovchi yoki muallaq qatlamidan o'tkazishdir. Bu usul qattiq zarrachalar shakli va o'lchamini o'zgartirmaganda ham (ion almashinish) qo'llaniladi.

Filtrlovchi qatlamli reaktorlar (31- rasm, a), qattiq g'ovak materialning (adsorbentning, *spyokning*) qatlamini ushlab turuvchi va u orqali suyuqlik o'tkaziluvchi gorizontaal yoki og'ma panjara mahkamlangan minorani ifodalaydi. Filtrlovchi qatlamli reaktorlar, bekami-ko'st siqib chiqarishga yaqin tartibda ishlaydi; ularning jadalligi past. Muallaq qatlamli qattiq modda bo'lgan reaktorlar (31- rasm, b, d) to'liq aralashtirishga yaqin tartibda uzluksiz ishlaydi. Qattiq va suyuq fazalarning zichliklarining farqi uncha katta bo'lmaganda va qattiq zarrachalarning o'lchamlari kichik bo'lganda favvora bo'lib otilib chiquvchi qatlamli reaktorlar

qo'llanilishi mumkin (31- rasm, *d*). Bunday reaktorlarda metall tokchalar (panjaralar) bo'lmaydi, bu agressiv muhitni qo'llashga imkon beradi. Eritish, ishqor bilan yuvish, ekstraksiyalash, polimerlash uchun mexanik va pnevmatik (31- rasm, *e, f*), shuningdek aralashtirishning boshqa usullari, masalan, shnekli (31- rasm, *g*) va tizillatib otish apparatlari (31- rasm, *h*) keng qo'llaniladi. Aralashtiruvchi qurilmali (shneklidan boshqa) reaktor to'liq aralashtirishga yaqin tartibda ishlaydi va shuning uchun izotermikdir. Aralashtirish turidagi reaktorlar (31- rasmlar, *e, f*) gomogen suyuq fazali o'zaro ta'sirlar uchun (19- rasmga qarang), shuningdek aralashmagan suyuqliklarning (geterogen S-S tizim) o'zaro ta'siri uchun qo'llaniladi. Kristallanish jarayoni ko'pincha, bekami-ko'st siqib chiqarishga yaqin tartibda ishlovchi, barabanli naysimon reaktorlarda (31- rasm, *i*) olib boriladi.

Suyuq va qattiq reagentlarni *o'zaro* ta'siri uchun reaktorlar futerovkalash, zamazkalash, gummirovkalash (rezina qoplama), emallash va boshqalar bilan zanglab yemirilishdan himoyalangan qora metallardan tayyorlanadi.

4.6. Qattiq-qattiq (Q-Q), suyuq-suyuq (S-S) ko'p fazali tizimlardagi jarayonlar

Ikki va ko'p qattiq fazalar (Q-Q) ishtirok etgan jarayonlar odatda qattiq moddalarni kuydirishda ularni pishirishni ifodalaydi.

Pishirish - bu changsimon yoki kukunsimon materiallarni suyuqlanish harorati t_{su} dan past haroratda qizdirib, ulardan qattiq g'ovakli bo'laklarni olishdir. Diffuziya tezligining kichikligi va fazalararo F sirtning kam rivojlanganligi sababli suyuq va gazsimon fazalar ishtirokisiz qattiq moddalar orasidagi reaksiya juda sekin boradi. Aslida qattiq moddalarni sanoat miqyosida aralashmada pishirish jarayonlari gaz yoki suyuq faza ishtirokida boradi. Pishirish metallurgiyada rudalarni aglomeratlashda, gil tuproq (alyuminiy oksidi) ishlab chiqarishda qo'llaniladi; pishirish jarayonlari silikat materiallar va bog'lovchi moddalar - buyumlari, keramika, o'tga chidamli materiallar va boshqalar texnologiyasida

ayniqsa keng foydalaniladi.

Aralashmaydigan ikki suyuq fazada (S-S) reagentlar orasida yuz beruvchi jarayonlar ekstraksiyalash, emulsiyalash va deemulsiyalashni o'z ichiga oladi. Ekstraksiyalash har xil erituvchilarda suyuqliklarning tanlab erituvchanligiga asoslangan. U shu holda qo'llaniladiki, agar suyuq aralashmaning rektifikatsiyalash mumkin bo'lmasa (termik chidamlilikning pastligi, komponentlarning qaynash haroratlarining yaqinligi va boshqalar). Ekstraksiyalash neft mahsulotlarini tozalashda, smola ustidan va oqova suvlardan fenolni ajratib olishda, anilin, brom, yod ishlab chiqarishda, kokslash va yarim kokslashda foydalaniladi. **Emulsiyalash** bir suyuqlikni ikkinchi suyuqlikga disperslash jarayonidir, **deemulsiyalash** esa - emulsiyalarning boshlang'ich suyuqliklarga qatlamlanishidir. Emulsiyalar va demak, emulsiyalash dori-darmon, oziq-ovqat mahsulotlari, pigmentlar va bo'yoqlar ishlab chiqarishda, shuningdek emulsion polimerlash usuli bilan ko'pgina yuqori molekulyar birikmalarni olish uchun qo'llaniladi. Ultratovush yoki boshqa usullarni qo'llab, suv bilan neftning emulsiyasini buzish yo'li bilan uni suvsizlantirish deemulsiyalashga misol bo'la oladi.

Geterogen suyuq fazali jarayonlar uchun reaktorlar gomogen reaktorlarga o'xshashdir (19- rasmga qarang) ular odatda aralashtiruvchi qurilmaga va ichki issiqlik almashtirgichlarga ega. Ishlab chiqarishda aralashmaydigan suyuqliklarning o'zaro ta'siri uchun vaqti-vaqti bilan va uzluksiz ishlaydigan, yagona va birin-ketin joylashgan bir necha reaktorlar ishlatiladi (19, 31- rasmlarga qarang). Ekstraksiyalash suyuq fazalarning qarama-qarshi tartibda harakatlanganda: og'ir suyuqlik yuqoridan quyiga, yengillari esa quyidan yuqoriga nasadkali yoki to'r tokchalarli minoralarda amalga oshiriladi.

Ko'p fazali tizimlar va ularga mos jarayonlar ko'pgina kimyoviy ishlab chiqarishlarda uchraydi. Tipik ko'p fazali jarayonlarga metallurgiyada, ikki-uch qattiq, ikki suyuq va gazsimon fazalar ishtirok etadigan cho'yan va po'lat eritishni, uglerod (IV) oksidi va ammiak bilan to'yintirilgan natriy xlorid eritmasining o'zaro ta'siri natijasida qattiq natriy gidrokarbonati hosil bo'ladigan soda

ishlab chiqarishda ammiak tuz eritmasini karbonizatsiyasini va boshqalarni kiritish mumkin. Ko'p fazali jarayonlarning tezligi ikki qandaydir fazalar orasidagi eng sekin o'tuvchi o'zaro ta'sir bilan aniqlanadi.

5- bob. Katalitik jarayonlar va reaktorlar

Katalizatorlarni qo'llash kimyoviy reaksiyani ming va hatto million marta tezlashtirishga imkon beradi, shuning uchun kataliz kimyo sanoatining turli tarmoqlarida keng tarqalgan. 70% ga yaqin kimyoviy ishlab chiqarishlar katalitik bosqichlarni o'z ichiga oladi. Qator sanoat jarayonlarini faqat katalizatorlar qo'llanishi natijasida amalga oshirishga erishildi, xususan, bularga ammiak, nitrat va sulfat kislotalari, sintetik kauchuk keng ko'lamli ishlab chiqarishlar kiradi.

Oksidlanish, gidrogenlash, degidrogenlash, gidratlash va boshqa reaksiyalarni tezlatish uchun organik sintezda katalizni qo'llash turli-tumandir. Katalizatorlar yordamida yuqori polimer moddalarning sintezi uchun asosiy yarim mahsulotlar olinadi va qator polimerlash hamda polikondensatlash jarayonlari o'tkaziladi. Avto- va aviatsion transportni motor yoqilg'ilari bilan ta'minlashda neft mahsulotlarining katalitik kreking va riforming jarayonlari katta ahamiyatga ega.

5.1. Katalizning mohiyati va turlari

Kimyoviy reaksiyalar tezligini oshirish yoki ularni reaksiyada qatnashayotgan moddalar - katalizatorlar ta'sirida reagentlar bilan oraliq kimyoviy o'zaro ta'sirga kirib, lekin kataliz hodisasi tugashi bilan o'zining kimyoviy tarkibini tiklovchi qo'zg'atish **kataliz** deyiladi.

Odatda katalizator reagentlar bilan ko'p marta oraliq kimyoviy o'zaro ta'sirlashadi va bunda katalizator o'zining massasidan ming marta ortiq bo'lishi mumkin bo'lgan miqdorda mahsulot hosil bo'ladi. Bu har xil kimyoviy mahsulotlar ishlab chiqarishda katalizni keng qo'llashning asosiy sabablaridan biri hisoblanadi.

Reagentlar va katalizatorning faza holati prinsipi bo'yicha katalitik jarayonlar ikki asosiy guruhga bo'linadi: **gomogen va geterogen**.

Gomogen katalizda katalizator ham, reagentlar ham bitta fazada – gaz yoki suyuq fazada bo'ladi. Geterogen katalizda katalizator va reagentlar yoki reaksiya mahsulotlari har xil fazada bo'ladi; odatda qattiq katalizatorlar qo'llaniladi.

Mikrogeterogen, shu jumladan katalizator kolloid holatida bo'lgan fermentativ kataliz gomogendan geterogenga o'tuvchi hisoblanadi.

Oddiy bir marshrutli reaksiyalarda katalizatorning ta'siri muvozanatni siljitmaydi, faqat berilgan haroratda unga erishishni tezlashtiradi.

Katalizatorlarning ta'siri, harakatlantiruvchi kuch Δc ga ta'sir qilmasdan, reaksiyaning tezlik konstantasi k ni istagancha kattalashtirishdan iborat.

Katalizatorning tezlashtiruvchi ta'siri katalizator ishtirokida reaksiya yo'lni o'zgartirish natijasida yoki katalizatorning boshlab beruvchi ta'sirida reaksiyaning zanjirli mexanizmi bo'yicha amalga oshirish sababli kimyoviy reaksiyaning faollashuv energiyasini pasaytirishdan iborat.

Katalizator ishtiroki bilan reaksiya yo'l o'zgarganda reaksiya katalizatorsiz bevosita reaksiyaga nisbatan faollashtirish energiyasini kam talab qiluvchi qator elementar bosqichlar orqali boradi. Reaksiya tezligi qancha katta bo'lsa, faollanish energiyasi E shuncha kichik bo'ladi va natijada hatto faollanish energiyasi kam pasayganda reaksiya tezligining eksponencial

$$k = k_0 e^{-E/RT} \quad (5.1)$$

bog'liqligi anchagina o'sadi. Katalitik reaksiyalarning ba'zi turlarida E kamayishi bilan bir vaqtda (5.1) tenlamada eksponencial oldidagi koeffitsient k_0 kichiklashadi. Buning natijasida katalizatorlarni qo'llash bilan konstantaning va mos ravishda reaksiya tezligining ortishi, E ni kamayishi hisobiga, mo'ljallanganga nisbatan bir necha marta kamayadi. Nokatalitik reaksiyalarga nisbatan k_0

o'zgarmaydigan katalitik reaksiyalar uchun katalizatorli va katalizatorsiz reaksiyalarning tezlik konstantalari k_{kat} va k ning nisbati bilan aniqlanuvchi, katalizatorning tezlashtiruvchi ta'siri uning faolligi F bilan o'lchanadi:

$$F = \frac{k_{kat}}{k} = \frac{e^{-(E_{kat} / RT)}}{e^{-(E / RT)}} k_0 e^{-E / RT} = e^{\Delta E / RT}, \quad (5.2)$$

bu yerda ΔE - katalitik reaksiyaning nokatalitikka nisbatan faollanish energiyasining pasayishi:

$$\Delta E = E - E_{kat}$$

Kimyoviy reaksiyaning harakatlantiruvchi kuchi o'zgarmas bo'lganda katalizatorning faolligi (5.2) tenglama bo'yicha yoki

$$F = u_{kat} - u(1 - \varphi_{kat}) \quad (5.3)$$

formula bo'yicha aniqlanadi, bu yerda u_{kat} va u - katalizator ishtirokida va ishtirokisiz kimyoviy reaksiyaning tezligi; φ_{kat} - katalizator bilan band qilingan reaksiya fazaning hajm ulushi.

Har xil sharoitlarda, qandaydir kimyoviy reaksiya katalizatorining faolliklarini taqqoslash uchun, faollikni katalitik jarayonning jadalligi orqali ifodalash mumkin, ya'ni

$$F = G_m / v \tau, \quad (5.4)$$

bu yerda G_m - τ vaqt orasida olingan mahsulotning massasi.

Katalizatorlar diffuziyani tezlashtirmaydi, shuning uchun, kimyoviy va diffuzion bosqichlarning tezligi solishtirib bo'ladigan katalitik jarayonlarda, katalizatorning faolligi nafaqat kimyoviy reaksiyaning tezligi bilan, balki oqim yadrosidan katalizator sirtiga va katalizator g'ovaklari ichida diffuziya koeffitsientlari bilan ham aniqlanadi. Katalizatorning faolligi umumiy holda texnologik

tartibning ko'p parametrlari va katalizatorning fizik xossalarining funksiyasi bo'lishi mumkin.

$$F = f(c_{kat}, c_f, c_b, c_{mah}, c_{ar}, T, P, S_{sol}, \bar{d}_d, r_e, w, M_b, M_{mah}, \dots), \quad (5.5)$$

bu yerda c_{kat} , c_f , c_b , c_{mah} , c_{ar} - mcs ravishda katalizator, faollashtiruvchi, boshlang'ich reagentlar, mahsulot, aralashmalarning konsentratsiyalari; T - harorat; P - bosim; S_{sol} - katalizatorning solishtirma sirti; $\bar{d}_d$ - katalizator donalarining o'rtacha o'lchami (diametri); r_e - katalizator g'ovaklarining ekvivalent radiusi; w - jarayonning tezligiga ta'sir qiluvchi, lekin diffuzion sohadan tashqarida boruvchi, reagentlar oqimining chiziqli tezligi; M_b , M_{mah} - boshlang'ich reagentlarning va reaksiya mahsulotlarining molyar massasi.

F bog'liqliklar uni aniqlovchi har bir parametrdan chiziqli emas. (5.5) tenglama parametrlarining bittasidan F bog'liqliklarni tajriba asosida aniqlaganda boshqalari o'zgarmas bo'lishlari kerak.

Gomogen va geterogen katalizda yuz berayotgan barcha katalitik reaksiyalar katalizatorning reaksiyaga kirishuvchi moddalar bilan o'zaro ta'sir turi bo'yicha ikki asosiy sinfga bo'linadi: **oksidlanish - qaytarilish (gomolitik)** va **kislota - asosli (geterolitik)** o'zaro ta'sirlar.

Elektron oksidlanish - qaytarilishli katalizning umumiy mexanizmi, reaksiyaga kirushuvchi molekulalarda elektron o'tishlarni osonlashtiruvchi katalizator va reagentlar orasidagi elektronlarning almashinishidan iborat. Odatdagi ion, kislota - asosli katalizning mexanizmi katalizator va reaksiyaga kirushuvchi molekulalar orasida protonlar yoki ionlar (kationlar va anionlar) almashinishidan iborat. Hosil bo'lgan oraliq faollashtirilgan komplekslar turg'un emas va parchalanib ketadi yoki boshqa molekulalar bilan reaksiyaga kirishadi. Ikkala holda ham katalizator regeneratsiyalanadi.

Oksidlanish - qaytarilish reaksiyalariga ko'p sonli oksidlash, gidrogenlash, degidrogenlash jarayonlari kiradi. Oksidlanish - qaytarilish reaksiyalari uchun tipik katalizatorlar bo'lib Fe, Cu, Ag, Ni, Pt, Pd va boshqa metallar va valentligi o'zgaruvchi metall oksidlari,

o'zgarmaydigan katalitik reaksiyalar uchun katalizatorli va katalizatorsiz reaksiyalarning tezlik konstantalari k_{kat} va k ning nisbati bilan aniqlanuvchi, katalizatorning tezlashtiruvchi ta'siri uning faolligi F bilan o'lchanadi:

$$F = \frac{k_{kat}}{k} = \frac{e^{-(E_{kat}/RT)}}{e^{-(E/RT)}} k_0 e^{-E/RT} = e^{\Delta E/RT}, \quad (5.2)$$

bu yerda ΔE - katalitik reaksiyaning nokatalitikka nisbatan faollanish energiyasining pasayishi:

$$\Delta E = E - E_{kat}$$

Kimyoviy reaksiyaning harakatlantiruvchi kuchi o'zgarmas bo'lganda katalizatorning faolligi (5.2) tenglama bo'yicha yoki

$$F = u_{kat} - u(1 - \varphi_{kat}) \quad (5.3)$$

formula bo'yicha aniqlanadi, bu yerda u_{kat} va u - katalizator ishtirokida va ishtirokisiz kimyoviy reaksiyaning tezligi; φ_{kat} - katalizator bilan band qilingan reaksiya fazaning hajm ulushi.

Har xil sharoitlarda, qandaydir kimyoviy reaksiya katalizatorining faolliklarini taqqoslash uchun, faollikni katalitik jarayonning jadalligi orqali ifodalash mumkin, ya'ni

$$F = G_m / v \tau, \quad (5.4)$$

bu yerda G_m - τ vaqt orasida olingan mahsulotning massasi.

Katalizatorlar diffuziyani tezlashtirmaydi, shuning uchun, kimyoviy va diffuzion bosqichlarning tezligi solishtirib bo'ladigan katalitik jarayonlarda, katalizatorning faolligi nafaqat kimyoviy reaksiyaning tezligi bilan, balki oqim yadrosidan katalizator sirtiga va katalizator g'ovaklari ichida diffuziya koeffitsientlari bilan ham aniqlanadi. Katalizatorning faolligi umumiy holda texnologik

tartibning ko'p parametrlari va katalizatorning fizik xossalarining funksiyasi bo'lishi mumkin.

$$F = f(c_{kat}, c_f, c_b, c_{mah}, c_{ar}, T, P, S_{sol}, \bar{d}_d, r_e, w, M_b, M_{mah}, \dots), \quad (5.5)$$

bu yerda c_{kat} , c_f , c_b , c_{mah} , c_{ar} - mos ravishda katalizator, faollashtiruvchi, boshlang'ich reagentlar, mahsulot, aralashmalarning konsentratsiyalari; T - harorat; P - bosim; S_{sol} - katalizatorning solishtirma sirti; $\bar{d}_d$ - katalizator donalarining o'rtacha o'lchami (diametri); r_e - katalizator g'ovaklarining ekvivalent radiusi; w - jarayonning tezligiga ta'sir qiluvchi, lekin diffuzion sohadan tashqarida boruvchi, reagentlar oqimining chiziqli tezligi; M_b , M_{mah} - boshlang'ich reagentlarning va reaksiya mahsulotlarining molyar massasi.

F bog'liqliklari uni aniqlovchi har bir parametrdan chiziqli emas. (5.5) tenglama parametrlarining bittasidan F bog'liqliklarni tajriba asosida aniqlaganda boshqalari o'zgarmas bo'lishlari kerak.

Gomogen va geterogen katalizda yuz berayotgan barcha katalitik reaksiyalar katalizatorning reaksiyaga kirishuvchi moddalar bilan o'zaro ta'sir turi bo'yicha ikki asosiy sinfga bo'linadi: **oksidlanish - qaytarilish (gomolitik)** va **kislota - asosli (geterolitik)** o'zaro ta'sirlar.

Elektron oksidlanish - qaytarilishli katalizning umumiy mexanizmi, reaksiyaga kirishuvchi molekulalarda elektron o'tishlarni osonlashtiruvchi katalizator va reagentlar orasidagi elektronlarning almashinishidan iborat. Odatdagi ion, kislota - asosli katalizning mexanizmi katalizator va reaksiyaga kirishuvchi molekulalar orasida protonlar yoki ionlar (kationlar va anionlar) almashinishidan iborat. Hosil bo'lgan oraliq faollashtirilgan komplekslar turg'un emas va parchalanib ketadi yoki boshqa molekulalar bilan reaksiyaga kirishadi. Ikkala holda ham katalizator regeneratsiyalanadi.

Oksidlanish - qaytarilish reaksiyalariga ko'p sonli oksidlash, gidrogenlash, degidrogenlash jarayonlari kiradi. Oksidlanish - qaytarilish reaksiyalari uchun tipik katalizatorlar bo'lib Fe, Cu, Ag, Ni, Pt, Pd va boshqa metallar va valentligi o'zgaruvchi metall oksidlari,

xususan Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , CuO , V_2O_5 va boshqalar xizmat qiladi. Kislota asoslilarga: gidrotatsiya va degidrotatsiya, gidroliz, polimerlash, polikondensatlash, kreking, izomerlash, alkillash reaksiyalari kiradi.

Kislota - asosli reaksiyaning tipik katalizatorlari - kislotalar va asoslar, shu jumladan H_2SO_4 , H_3PO_4 , SiO_2 , Al_2O_3 , NaOH va boshqalardir. Murakkab ko'p komponentli katalizatorlar, oksidlanish - qaytarilish reaksiyalarini qanday bo'lsa, kislota - asoslilarni ham xuddi shunday bir vaqtda tezlashtirishlari mumkin.

Tanlovchan (selektiv) katalizatorlar ko'p marshrutli reaksiyalarda bir-nechta mumkin bo'lgan reaksiyalardan bitta maqsadlisini tezlashtiradi. Bunday kataliz, katalizatorlarning tanlovchanligi bitta foydali reaksiyaning kuchli tezlashuviga imkon berib, jarayonni past haroratda o'tkazib, bo'lishi mumkin bo'lgan boshqa reaksiyalarni to'xtatib, organik mahsulotlar ishlab chiqarishda ayniqsa muhim. Katalizator ta'sirining tanlovchanligini

$$S_{kat} = \frac{G_m}{G} = \frac{G_m}{G_m + G_{or}}, \quad (5.6)$$

munosabat bilan ifodalash mumkin, bu yerda G_m -maqsadli mahsulotga aylangan asosiy boshlang'ich modda miqdori, *mol* yoki *kg*; G_{or} - oraliq reaksiyaga kirishgan boshlang'ich modda miqdori, *mol* yoki *kg*; G - aylangan asosiy boshlang'ich moddaning umumiy miqdori, *mol* yoki *kg*. Har xil tanlovchan katalizatorlarni qo'llab, xuddi o'sha boshlang'ich moddalardan turli-tuman mahsulotlar olish mumkin.

Reaksiyaning oraliq yoki oxirgi mahsulotlaridan biri katalizator bo'lgan reaksiyalar **avtokatalitik** deyiladi. Masalan, zanjir reaksiyalarda erkin radikallar avtokatalizatorlar vazifasini bajaradi. Portlovchi moddalarning parchalanishi, yonishi, polimerlanishi va boshqalar avtokatalitiklarga kiradi.

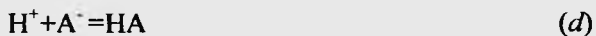
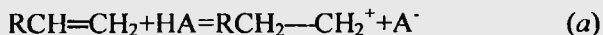
Avtokataliz uchun **induksiya davri** deb ataluvchi, boshlashqich davrda reaksiya tezligining kichikligi va katalizator sonining ko'payishi natijasida keyingi davrda mahsulot chiqishining tez o'sishi o'ziga xosdir. Keyinchalik mahsulotning chiqishi, xuddi oddiy reaksiyalardagidek, massalar ta'siri qonuniga asosan ortadi.

Zanjir reaksiyalarni qo'zg'atish uchun boshlang'ich aralashmaga odatda, boshlang'ich modda bilan reaksiyaga kirishib, zanjir hosil bo'lishini, ya'ni birinchi erkin radikallar paydo bo'lishini qo'zg'atuvchi modda - **inisiator** qo'shiladi va shunday qilib katalizatorga o'xshab reaksiyani tezlashtiradi.

5.2. Gomogen va geterogen kataliz

Gomogen kataliz. Bunday kataliz gaz yoki suyuq fazada o'tishi mumkin. Gomogen katalizning mexanizmi reagentlar va katalizatorlar orasida xuddi o'sha fazada (gaz yoki suyuq) mavjud bo'lgan beqaror oraliq birikmalar hosil bo'lishidan iborat. Birikmalar parchalangandan keyin reaksiya mahsuloti hosil bo'ladi, katalizator esa regeneratsiyalanadi. Geterogen-katalitik reaksiyalardan farqli o'laroq gomogenlarda oraliq birikmalarining tarkibini qator hollarda tahlil bilan aniqlash mumkin. Gomogen kataliz jarayonlari o'zaro reaksiyaga kiishuvchi moddalar va katalizator bilan ta'sir turi bo'yicha oksidlanish - qaytarilish va kislota-asoslilarga tasniflanadi. Kislotali katalizda proton (yoki musbat ion) avvalo katalizatoridan reaksiyaga kirishuvchi molekulaga o'tadi; asosli katalizatorlarda esa boshida katalizator protonning akseptori yoki reagent molekulasiga nisbatan anion donori vazifasini bajaradi. Katalitik reaksiyaning keyingi bosqichida proton qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanadi va katalizator o'zining tarkibini tiklaydi.

Bunday tur bo'yicha eritmalarda gidratlanish, degitratlanish, gidroliz, eterefikatsiyalash, polikondensatlash reaksiyalari boradi. Eritmada kislota-asosli katalizga kislotalar (HA) bilan katalizlanayotgan olefinlarni spirtlarga gitratlanishi misol bo'la oladi. Bu umumiy ko'rinishda quyidagicha ifodalanadi:



(a) bosqichda katalizator protonning donori vazifasini bajaradi; (b) bosqichda katalizator regeneratsiyalanadi.

Oksidlanish darajasi o'zgaruvchi metallar: mis, marganes, temir ionlari bilan tezlashtiriluvchi, eritmalarda oksidlanish - qaytarilish katalitik reaksiyalari ham ionlilarga kiradi.

Gaz fazali gomogen kataliz, ya'ni reagentlar ham katalizator ham gazlar bo'lgan jarayon, nisbatan kam qo'llaniladi. Bunga katalizator - bug'simon trietilfosfat ishtirokida sirka kislotasining bug'larda degidratlash, azot oksidlari bilan tezlashtiriladigan, metanni formaldegidga havo kislorodi bilan oksidlanishi misol bo'la oladi

Gaz fazali kataliz molekulyar va radikal zanjir mexanizmi bo'yicha amalga oshirilishi mumkin.

Katalitik reaksiyaning **molekulyar mexanizmida** katalizator va reaksiyaga kirishuvchi moddalar orasida atomlarning almashinishi yuz beradi.

Gomogen katalizning **radikal mexanizmi** gaz fazada qanday bo'lsa, suyuq fazada ham shunday bo'lishi mumkin. Katalizator, reaksiyaning zanjir mexanizmi bo'yicha yo'naltiruvchi, boshlab beruvchi vazifasini bajaradi. Bevosita reaksiya jarayonida zarrachalar - erkin radikallar energiyasining ko'p hosil bo'lishi natijasida tezlanishga erishiladi. Bunday mexanizm bo'yicha gazlarda ba'zi oksidlash reaksiyalari, suyuq fazada polimerlanish va shunga o'xshashlar o'tadi.

Gomogen katalitik jarayonning tezligi boshlang'ich moddalarning va katalizatorning konsentratsiyasi ortishi bilan harakatlanuchi massalar qonuniga muvofiq o'sadi.

Haroratning, bosimning va aralashtirishning gomogen - katalitik reaksiyalar tezligiga ta'siri gomogen jarayonlarning kinetik qonuniyatlariga o'xshash. Gomogen katalizning asosiy kamchiligi oxirgi mahsulotli aralashmadan (suyuqlikdan yoki gazdan) katalizatorni ajratishning qiyinligidadir, buning natijasida katalizatorning bir qismi qaytmas yo'qotiladi, mahsulot esa u bilan ifloslanadi. Geterogen katalizda gaz yoki suyuq reaksion aralashma qattiq katalizatoridan oson ajraladi.

Geterogen kataliz. Katalizning bu turi sanoatda keng qo'llaniladi. Aksari ko'pchilik muayyan sanoat geterogen katalitik

jarayonlari, garchi reaksiyaga kirishuvchi moddalar va katalizator orasida faza holati bo'yicha boshqa birikmalar ma'lum bo'lsa ham, qattiq katalizatorlar qatnashgan gazsimon moddalar orasidagi reaksiyalarga asoslangan.

Kataliz jarayonini tushuntiruvchi bir necha turli nazariyalar mavjud. Bu nazariyalardan har biri, bir-birini to'ldirib va rivojlantirib, qattiq katalizatorlarning tezlashtiruvchi ta'sirini tushuntiradi.

Ko'pchilik nazariy qoidalardan ko'rinadiki, kataliz uchun **faol markazlar**, ya'ni yuqori faollikka ega sirtning bir jinsli bo'lmagan qismlari muhim rol o'ynaydi. Katalizning barcha nazariyalari uchun, ayrim fazalar hosil qilmaydigan va sof kimyoviy tahlil bilan aniqlanmaydigan, katalizatorning qattiq sirtida adsorbsion turdagi oraliq birikmalarining hosil bo'lishi hisoblanadi. Bu birikmaning tuzilishi har xil gipotezalarda (taxminlarda) turlicha: faol kompleks yoki faol ansambl (uyg'un birlik), aniq geometrik tuzilish - **multipl**et yoki katalizatorning erkin elektronlari ishtirok etgan kimyoviy birikma ko'rinishida ifodalanadi. Oraliq birikmalarining xossalari reaksiyaning yo'nalashini, agar jarayon kinetik sohada borsa, u holda tezligini aniqlaydi.

Zanjir reaksiyalar uchun kataliz odatda geterogen - gomogen tavsifga ega, ya'ni katalizator sirtida gaz yoki suyuqlik hajmida reaksiya qo'zg'atuvchi (gomogen bosqich) radikal (geterogen bosqich) hosil bo'ladi.

Qattiq katalizatorlarni odatda, katta bo'lmagan g'ovakli zarrachalar, habblar (tabletkalar), donalar ko'rinishida tayyorlanadi va qo'llaniladi. Bunda g'ovak devorlarining ichki sirti zarraning tashqi sirtidan yuzlab va minglab marta ortiq bo'lishi mumkin.

G'ovakli qattiq katalizatorlarning **katalitik faolligini** ularning kimyoviy tarkibi bilan ham va zarrachalarnig shakli, g'ovaklar va zarracha ichki sirtinining hajmi va o'lchovi majmuasini nazarda tutuvchi, g'ovakli tuzilma bilan ham aniqlanadi. Katalizatorning faolligi reagentlar uchun kirish mumkin bo'lgan sirtga proporsional, lekin mayda g'ovakli katalizatorlarda ichki sirt, diffuzion sekinlashish hisobiga, ancha to'liqmas foydalanilgan bo'lishi mumkin.

G'ovakli qattiq katalizatorlarda kataliz jarayoni quyidagi elementar bosqichlardan tashkil topgan: 1) reaksiyaga kirishuvchi

moddalarning oqim yadrosidan katalizator zarrachalari sirtiga diffuziyalari; 2) reagentlarning katalizator zarrachalari g'ovaklarida diffuziyalari; 3) sirtqi kimyoviy birikmalar - faollashtirilgan komplekslar: reagentlar - katalizator hosil bo'lishi bilan, katalizator sirtida faollashtirilgan adsorbsiya (xemosorbsiya); 4) sirtqi komplekslar: mahsulot - katalizator hosil bo'lishi bilan, atomlarning qaytadan guruhlariga bo'linishi; 5) mahsulotning sirtidan desorbsiyasi; 6) katalizator zarrachalari g'ovaklarida mahsulotning diffuziyalari; 7) mahsulotning katalizator zarrachalari sirtidan oqim yadrosiga diffuziyalari.

Geterogen katalitik jarayonning umumiy tezligi ayrim bosqichlarning nisbiy tezliklari bilan aniqlanadi va ularning eng sekini bilan belgilash (limitlash) mumkin. Eng sekin bosqich ba'zan katalizatorning sirtidagi kimyoviy o'zaro ta'sirlarning biri, ba'zan esa diffuzion jarayonlar bo'lib chiqadi.

Aniqlovchi bosqichga bog'liq holda, kinetik, tashqi diffuzion va ichki diffuzion sohalarida yuz beruvchi katalitik jarayonlar farqlanadi.

Kinetik sohada jarayonning tezlik konstantasi diffuziya koeffitsientlariga bog'liq emas. Kinetik tenglama asosiy texnologik parametrlarning katalitik jarayon tezligiga ta'sirini hisobga olishi kerak. Gazsimon reagentlar uchun

$$u = k_0 e^{-E/RT} \Delta p P^n \beta_0, \quad (5.7)$$

bu yerda Δp - reagenlarning $P \approx 0,1$ MPa (*lat*) parsial bosimlarda ifodalangan jarayonning harakatlantiruv-chi kuchi; P - o'lchovsiz bosim, ya'ni ichki bosimning normal atmosfera bosimiga nisbati; n - reaksiyaning umumiy tartibi; β_0 - normal bosimga va normal haroratga qayta hisoblash koeffitsienti.

Odatda, jarayonlar kinetik sohada, reagentlar oqimining turbulent tartibida va nisbatan past haroratda kichik o'lchamli zarralar va yirik g'ovakli faolligi kam katalizatorlarda o'tadi. Kinetik sohada katalitik jarayonlarning tezligini oshirishga eng avvalo haroratni ko'tarib erishiladi. Kinetik sohada jarayonning umumiy tezligi

katalizning 3-5- bosqichlari - boshlang'ich moddaning adsorbsiyasi, atomlarning qayta guruhlanishi va mahsulotning desorbsiyasi tezliklarining munosabati bilan aniqlanadi; bunda deyarli hamma vaqt reaksiyaning tartibi, kimyoviy tenglamaga mos, uning molekulyarligidan kichik.

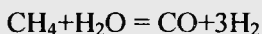
Katalitik aylanish (sintez) mexanizmining ikki fizik modeli bo'lishi mumkin.

1. Ikki (A va B) reagent adsorbsiyalanadi va keyin ularning (K) katalizatorida, keyingi desorbsiya bilan, o'zaro ta'siri yuz beradi, ya'ni navbatdagi bosqichlar o'tadil) $A+K \rightleftharpoons AK^{\#}$; 2) $B+K \rightleftharpoons BK^{\#}$; 3) $AK^{\#}+BK^{\#} \rightarrow ABK^{\#}$; 4) $ABK^{\#} \rightleftharpoons D+K$, bu yerda K - katalizatorning faol markazi; $AK^{\#}$, $BK^{\#}$, $ABK^{\#}$ - katalizator sirtidagi faollashtirilgan komplekslar.

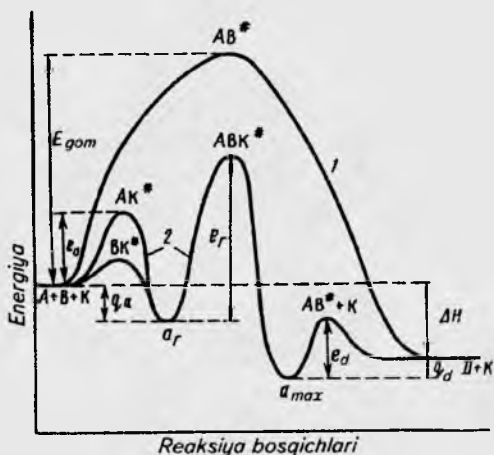
32- rasmda reaksiya bosqichlari bo'yicha tizimning energetik holatining taxminiy o'zgarish grafigi keltirilgan. Bu misolda $E_{gom} > e_r > e_a > e_d$. Umuman olganda $e_a > e_r$ bo'lishi mumkin, u holda (1) bosqich muvozanatda bo'lmaydi, 32- rasmda esa $AK^{\#}$ faollashtirilgan adsorbsiya mahsuloti eng katta maksimumga ega bo'ladi.

2. Bitta reagent, masalan A, adsorbsiyalanadi, keyin u gazli (suyuq) muhitdan uchib kelib to'qnashgan ikkinchi B reagentning molekullari bilan reaksiyaga kirishadi. Bu holda katalitik jarayonning bosqichlari: 1) $A+K \rightleftharpoons AK^{\#}$; 2) $AK^{\#}+B \rightleftharpoons BAK^{\#}$; 3) $BAK^{\#} \rightleftharpoons D+K$ tenglamalar bilan ifodalanadi. Ammiak sintezi shunday yuz beradi (q.[2], 2- §): azot katalizator yuzasida adsorbsiyalanadi, vodorod molekullari uchib kelib to'qnashadilar va u bilan reaksiyaga kirishadi.

Endotermik reaksiya mahsulotining chiqishi harorat ko'tarilishi bilan uzluksiz ortadi. Metanning suv bug'i bilan nikelli katalizatorlardagi o'zaro ta'siri endotermik reaksiyaga tipik misol bo'lishi mumkin:



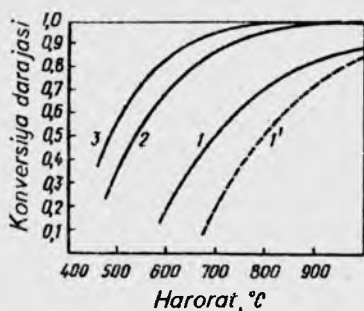
Metanning aylanish darajasi x ning reagentlar haroratiga va konsentratsiyasiga bog'liqligi 33- rasmda keltirilgan. Harorat ko'tarilishi bilan aylanish darajasi, ya'ni vodorod va CO ning chiqishi ortadi. Suv bug'i stehiometrik sarf bo'lganda (1 egri chiziq)



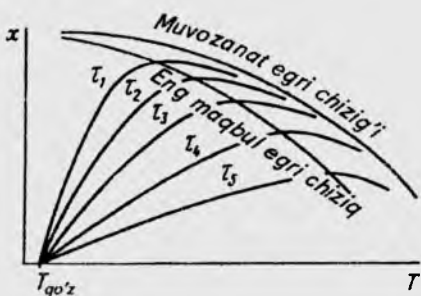
32- rasm. Ikkala (1) va bitta (2) reagentlarning adsorbsiyalangan kimyoviy reaksiya bosqichlari bo'yicha reaksiyaga kirishuvchi tizim energiyasining o'zgarishi: A va B - boshlang'ich reagentlar; D - reaksiya mahsuloti; $AB^{\#}$ - gomogen (nokatalitik) reaksiyada faollashtirilgan oraliq kompleks; $AK^{\#}$, $BK^{\#}$, $ABK^{\#}$ - katalitik reaksiyaning oraliq faollashtirilgan komplekslari; E_{gom} - gomogen reaksiyaning faollanish energiyasi; e_a , e_b , e_r - katalizator sirtida adsorbsiya, desorbsiya va kimyoviy aylanishning faollanish energiyalari; q_a va q_d - adsorbsiya va desorbsiya issiqligi; ΔH - yakuniy entalpiya, ya'ni ekzotermik reaksiyaning issiqligi.

metanning deyarli to'liq aylanishiga muvozanat holatida faqat 900°C dan yuqori haroratda erishish mumkin. Suv bug'ining konsentratsiyasini oshirish past haroratlarda reaksiya muvozatini o'ngga ancha siljitishga imkon beradi (2 va 3- egri chiziqlar). Bosimni ko'tarish ham konsentratsiyani oshirishga o'xshash ta'sir qiladi. Endotermik reaksiyalarda x mahsulotning amalda chiqishi muvozanatga o'xshash o'zgaradi.

Endotermik jarayonlarda eng yuqori jarayon tezligiga va aylanish darajasiga erishish uchun haroratni maksimal oshirish kerak. Bu qonuniyatlar uglevodorodlarning suv bug'i bilan konversiyasi, uglevodorodlarni degidrogenlash, degidratlash va boshqalar uchun o'ziga xosdir.



33- rasm. Metanning aylanish darajasining boshlang'ich gaz tarkibi har xil bo'lganda (endotermik jarayon) haroratga bog'liqligi: 1 - hr $\text{CH}_4 : \text{H}_2\text{O} = 1:1$ bo'lganda; 2 - hr $\text{CH}_4 : \text{H}_2\text{O} = 1:2$ bo'lganda; 3 - hr $\text{CH}_4 : \text{H}_2\text{O} = 1:3$ bo'lganda 1' - $\text{CH}_4 : \text{H}_2\text{O} = 1:1$ bo'lganda amaldagi chiqish.



34- rasm. Kontaktlashning har xil vaqtida:

$$\tau_1 > \tau_2 > \tau_3 > \tau_4$$

(ekzotermik jarayon) x mahsulot chiqishining T haroratga bog'liqligi

ko'tarilishi bilan mahsulotning muvozanatli chiqishi uzluksiz kamayadi, amaldagi chiqish esa past haroratlarda ortadi va eng maqbul haroratda maksimum orqali o'tib, yuqori haroratlarda kamayadi (34- rasm).

Reaksiyon apparatlarni hisoblashni amalga oshirishga imkon beruvchi, reaksiyaga kirishuvchi moddalarning katalizator bilan **kontaktlanish (bir - biriga tegish) vaqti** - katalitik jarayonlarning muhim texnologik tavsifidir. Kontaktlanish vaqti

$$\tau = v_{er} / V_{ar},$$

$$(5.8)$$

tenglik bilan aniqlanadi, bu yerda v_{er} - katalizatorning erkin hajmi, m^2 ; V_{ar} - katalizator orqali o'tuvchi reaksiyaga kirishuvchi aralashmaning hajmi, m^3/s .

Amaliyotda ko'proq kontaktlanishning "soxta" vaqtdan foydalaniladi:

$$\tau = v_{kat} / V_{ar}, \quad (5.9)$$

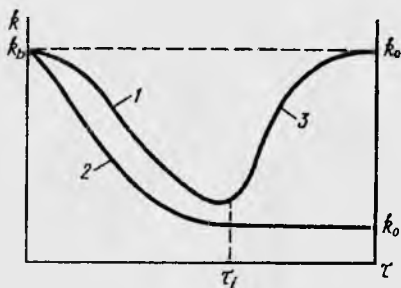
bu yerda v_{kat} - katalizator qatlamining hajmi, m^3 . Kontaktlanish vaqti τ (yoki τ ga teskari gazning hajm tezligi) ko'pgina katalitik reaksiyalar uchun bir xildir. Kontaktlanish vaqtini ko'paytirish bilan oddiy qaytar katalitik reaksiya mahsulotining chiqishi ortadi (34-rasmga qarang), kontaktlash apparatining G/τ jadalligi esa pasayadi (2-rasmga qarang).

Katalizatorning zaharlanishi - bu kontakt zaharlari deb ataluvchi, miqdori uncha ko'p bo'lmagan moddalar ta'siri natijasida faollikning qisman yoki to'liq yo'qolishidir. Kontakt zaharlari odatda boshlang'ich reagentlarga (gazlarga, suyuqliklarga) aralashma ko'rinishida kiradi. Faollikning yo'qolishi katalizatorning faol sirtining qisman yoki to'liq yo'q bo'lishi natijasida yuz beradi. Berilgan zahar va katalizator uchun zaharlanish mexanizmi o'ziga xos va ko'p xildir. U katalitik faol bo'lmagan birikmalar, katalizatorning faol markazlarida zaharning faollashtirilgan adsorbsiyasi, zahar yoki uning hosilasining katalizator sirtida kristallanishi bilan, zaharning o'zaro ta'sirlanishi natijasida boshlanadi.

Zaharlanish qaytar yoki qaytmas bo'lishi mumkin. Qaytar zaharlanishda katalizatorning faolligi faqat zaharlarning kirayotgan aralashmada bo'lish vaqtida pasayadi. Sof aralashma kelganda zahar birikmalari katalizator bilan parchalanadi, adsorbsiyalangan zahar bug'lanib ketadi va reaksiya mahsuloti bilan chiqariladi. Qaytmas zaharlanish o'zgarmas hisoblanadi; zaharlangan katalizatorni apparatdan tushiriladi va yangilari bilan almashtiriladi yoki esa zahar yoki katalizator ekstraksiyalash bilan kontaktli massadan regeneratsiyalanadi. 35-rasmda kirayotgan aralashmada zaharning konsentratsiyasi o'zgarmas bo'lganda qaytar yoki qaytmas zaharlanishning o'ziga xos egri chiziqlari (mos ravishda 1 va 2) ko'rsatilgan. Sof aralashma kelganda qaytar zaharlangan katalizatorning faolligi 3 egri chiziq bo'yicha tiklanadi.

Katalizatorning zaharlanishini

$$\alpha = \frac{dk}{kdG_i} \quad (5.10)$$



35- rasm. Katalizator zaharlanganda katalitik reaksiyaning tezlik konstantasi k ning boshlang'ich k_0 dan oxirgi k_{ox} gacha o'zgarishi; 1 - qaytar zaharlanish; 2 - qaytmas zaharlanish; 3 - qaytar zaharlanishda faollikning tiklanishi.

formula bo'yicha aniqlash mumkin, bu yerda $G_i - \tau_i$ vaqtda katalizatorning massasi birligiga gaz bilan kirayotgan zaharning massasi.

Metall katalizatorlar, ayniqsa nodir metallardan tayyorlanganlar, zaharlarga eng ko'p ta'sirchandır. Oksidli katalizatorlar zaharlarga kam ta'sirchan.

Katalizatorlarni zaharlanishdan himoya qilish uchun reaksiyon aralashma oldindan kontaktli zaharlardan tozalanadi. Bunda tanlovchi erituvchilar bilan gazli aralashmalardan zaharlarni absorbsiyalash, ularni qattiq yutuvchilar bilan sorbsiyalash, elektrofiltrlarda tomchilarni kondensatlash va ushlab qolish, mexanik filtrlash va hokazo usullar qo'llaniladi. Tozalovchi qurilmalar odatda kontakt apparatlarga nisbatan ancha ulkan. Zaharliligi kam katalizatorlarni qidirish - bu texnik taraqqiyotning eng katta masalalaridan biridir.

Zaharlanishdan tashqari katalizatorning faolligi, birinchidan yuqori haroratlarda faol sirtning kichiklashishi tufayli, kristallarning rekristallanishidan, qizish natijasida yaxlitlanishidan, erishidan; ikkinchidan, katalizator sirtini aralashmalar, masalan, (gazda) chang bilan yoki katalizda hosil bo'luvchi qattiq moddalar bilan mexanik ekranlashdan pasayishi mumkin.

5.3. Qattiq katalizatorlarning xossalari va ularni tayyorlash

Sanoat qattiq katalizatorlari odatda, alohida moddalar hisoblanmaydi. Ular odatda **kontakt massa** deb ataluvchi murakkab aralashmani ifodalaydi. Kontakt massada ayrim moddalarning

o'zi katalizator hisoblanadi, boshqalari esa faollashtiruvchilar (o'zga ko'rinishga, shaklga keltiruvchilar) va tarqatuvchilar vazifasini bajaradi. **Faollashtiruvchilar yoki harakatga keltiruvchilar (promotorlar)** deb, asosiy katalizatorlarning faolligini oshiruvchi moddalarga aytiladi. Faollashtiruv yuqori katalitik faollikka ega mahsulotlar hosil bo'lishi bilan, qo'shimchalarni katalitik modda bilan kimyoviy o'zaro ta'siri natijasida yuz berishi mumkin. Qo'shimchalar katalizator bilan yuqori katalitik faollikka mos, elektron tuzilishli qattiq eritmalar hosil qilishi mumkin. Faollashtiruvchi ba'zan katalitik faol modda sirtini kattalashtiradi yoki katalizatorning issiqbardoshligini oshiradi, ba'zan esa asosiy katalizatorning kontakt zaharlaridan himoyalash vazifasini bajaradi.

Tarqatuvchilar yoki tregerlar deb, eritmadan cho'ktirish yoki boshqa usul bilan katalizatorga kiritiluvchi issiqbardosh, mustahkam, g'ovakli moddaga aytiladi. Katalitik moddalarni g'ovakli tarqatuvchiga kiritish ularni juda mayda disperslashni ta'minlaydi, g'ovaklarning eng maqbul o'lchamlarida katta solishtirma sirt vujudga keltiradi va katalizatorning issiqbardoshligini oshiradi, chunki uning tarqatuvchi sirtiga tarqalgan kristallarini pishishi qiyinlashgan. Bundan tashqari, platina, palladiy, kumush va boshqalar kabi qimmatbaho katalitik moddalarni tejashga erishiladi. Tarqatuvchi odatda faollashtiruvchi kabi ta'sir qiladi. Tarqatuvchi sifatida ko'pincha alyuminiy oksidi silikagel, sintetik alyumosilikatlar (kaolin, asbest, har xil tuzlar), faollashtirilgan ko'mir ishlatiladi.

Sanoat katalizatorlariga quyidagi asosiy talablar qo'yiladi: yetarlicha yuqori faollik, kontakt zaharlar ta'siriga chidamlilik, ajratuvchanlik, turg'unlik, yetarlicha issiqlik o'tkazuvchanlik, issiqbardoshlik, mexanik mustahkamlik, arzonlik. Qaynovchi qatlamli reaktorlar katalizatorlariga qo'shimcha - zarrachalarning bir-biriga, reaktor va issiqlik almashtirgich qurilmalari devorlariga urilganda va ishqalanganda yeyilmasligi talab qilinadi.

Katalizatorlar tayyorlashning asosiy usullari. Katalizatorlar tayyorlashning bir necha usullari mavjud.

1. Kontakt massani keyingi muayyan shaklga keltirish va qizdirish bilan eritmadagi gidroksidlarning yoki karbonatlarning,

ularni tarqatuvchi bilan birgalikda yoki tarqatuvchisiz, tuzlarini cho'ktirish (cho'ktirilgan katalizatorlar). Kislota - asosli reaksiyalarning katalizatorlari komponentlarni birgalikda cho'ktirish bilan, masalan, gellarni (alyuminiysilikat, silikagel) birgalikda koagulyatsiyalab tayyorlanadi.

2. Aralash katalizatorlar yoki faollashtiruvchi va tarqatuvchi, shuningdek bog'lovchi moddali katalizatorlar olish bilan kukunlarni aralashtirish va birgalikda presslash.

3. Bir necha moddalarni (metallarni yoki oksidlarni) oksidlardan vodorod (masalan ammiak sintezida temir katalizator) yoki boshqa gazlar bilan metallarni keyingi qaytarish bilan, ba'zan metallardan birini keyingi ishqorga solish bilan suyultirish. Hidrogenlashning skeleti nikelli katalizatori nikel bilan alyuminiyni suyultirib, oxirgini ishqorga solish bilan tayyorlanadi. Ba'zan katalizatorlarni juda mayda setka ko'rinishida har xil metallarning qotishmalaridan (ammiakni oksidlash uchun platina-palladiy-rodily setkalar) tayyorlanadi.

4. Tarkibida katalizator va faollashtiruvchi bo'lgan g'ovakli tarqatuvchini eritma bilan shimdirish, keyingi quritish va qizdirish bilan. Bu ko'rinishdagi katalizatorlarga metalli, oksidli, tuzli, kislotali va asoslilar kiradi.

5. Suv ostida Volta yoyi bilan metallni parlatish yo'li bilan eng keng yoyilgan sirtga ega kolloidlar olish (kolloid katalizatorlari). Bu usulda kolloidal holatida juda yuqori faollikka ega bo'lgan, oltin, kumush hamda platina, palladiy, osmiy va VIII guruhning boshqa nodir metallaridan foydalaniladi.

Katalizatorlar sifatida ba'zi minerallar va ularning aralashmalari, masalan alyumosilikatlar, temir oksidlari, boksitlar va shunga o'xshashlar ham qo'llaniladi.

6- bob. Kimyo-texnologik tizimlar (KTT)

Kimyo, neftkimyo sanoatida va ularga yaqin tarmoqlarda ishlab chiqarish jarayonlari, chiqarilayotgan mahsulotlar xilining ko'pligi va juda murakkabligi bilan tavsiflanadi. Bu barcha jarayonlarning umumiy o'ziga xos xususiyati shundaki, boshlang'ich

xomashyoni maqsadli mahsulotga aylantirish uchun qayta ishlashning yetarlicha ko'p sonidagi funksional turli-tuman bosqichlari zarur. Ba'zi bosqichlarning o'tish sharoitlari juda ham har xil bo'lishi mumkin: gazsimon uglevodorodlarni elektrokrekninglashda yuqori (1500°C) haroratdan havoni ajratishda juda past haroratlarga; ammiak va metanol ishlab chiqarishda yuqori bosimdan vakuumli haydash jarayonlarida - pastgacha.

Ba'zi texnologik jarayonlarning katta sifatii va miqdorii turli-tumanliklariga, ularning quvvatining har xilligi, mahsulotlarning farqlanishi, borish sharoitlari va hokazolarga qaramasdan ular hammasi umumii xossalarga ega; chunonchi: alohida o'zaro bog'liq qismlardan tashkil topgan, tuzilishi murakkab hisoblanadi; moddani va energiyani qayta ishlaydilar va bundan tashqari boshqa qo'shni ishlab chiqarishlar bilan bog'langan. Tizimlarning umumii nazariyasi terminologiyasidan foydalanib, bunday texnologik komplekslarni **murakkab tizimlar** deb; ko'rilyotgan holda **kimyo-texnologik tizimlar** (KTT) deb atash mumkin.

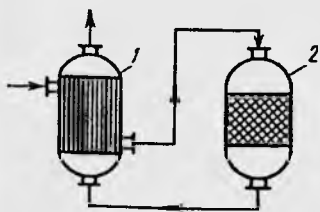
6.1. KTT tushunchasining ta'rifi. KTTning tuzilishi

Kimyo-texnologik tizimlar berilgan sifatdagi va talab qilingan miqdordagi mahsulotni olish maqsadida fizik-kimyovii jarayonlar va ularni o'tkazish uchun vositalar majmuini ifodalaydi.

KTT, KTT oldiga qo'yilgan maqsadga erishish uchun zarur texnologik omillar boruvchi, elementlardan va ayrim qismlardan tashkil topgan. KTTni o'rganish amaldagi va yangidan loyihalashtirilyotgan ishlab chiqarishlarni optimallashtirishda eng katta samaraga erishishga imkon beradi. Buning sababi shundaki, kimyo-texnologik tizimni tashkil etuvchi elementlarning funksional-o'zaro bog'langanliklari hisoblanadi.

Masalan, 36- rasmda ko'rsatilgan tizimda, xomashyoning boshlang'ich oqimi reaksiya aralashma issiqligi hisobiga qiziydi, shu bilan birga reaktorda ajralayotgan issiqlik miqdori oqimning issiqlik almashtirgichdan chiqishdagi haroratiga bog'liq.

Mahsulotlarni taqsimlash tizimida absorber va rektifikatsion minora orasida xuddi shunday bog'lanish mavjud. Ancha jadal



36- rasm. Tarkibida 1 -
 issiqlik almashtirgich va 2 -
 reaktor bo'lgan texnologik
 sxemaning qismi.

ishlaydigan absorber rektifikatsiyaga kam talablar qo'yadi. Bundan tashqari, tizim, ayrim elementlarning xossalariidan farqlanuvchi, yangi xossalarga ega bo'lishi mumkin. Masalan, 36- rasmdagi sxema uchta statsionar tartibga ega, ulardan biri beqaror, lekin KTT elementlarining har biri (reaktor va issiqlik almashtirgich) alohida faqat turg'un statsionar tartibga ega.

“Tizim” va “element”

tushunchalari - nisbiydir, ya'ni biror

tizim boshqa ancha ulkan masshtabli tizimning elementi bo'lishi mumkin, tizimning elementi esa tashkil etuvchi qismlarga taqsimlangan bo'lishi mumkin (masalan ko'p tokchali reaktor).

Shunga qaramasdan ko'pincha, kiruvchi material va energetik oqimlar o'zgaruvchilari $x_1, x_2, \dots, x_m$ ni chiquvchi material va enegetik oqimlarning fizik o'zgaruvchilari $y_1, y_2, \dots, y_n$ ga sifatii yoki miqdoriy o'zgartiruvchi, kimyo-texnologik jarayon boruvchi apparat KTTning elementi deb nazarda tutiladi. Masalan, oltingugurt (IV) oksidini oksidlash reaktorida kiruvchi oqimning fizik parametrlarining sifatii (reaktorning chiqishida yangi komponent - oltingugurt oksidi qatnashadi) va miqdoriy (ekzotermik reaksiya natijasida moddaning konsentratsiyasi, harorati o'zgaradi) o'zgarishlar boradi. Elementning kiruvchi va chiquvchi o'zgaruvchilaridan tashqari konstruktiv va texnologik parametrlari farqlanadi. Konstruktiv parametrlar: apparatning geometrik tavsiflari, reaktordagi katalizator hajmi, rektifikatsion minoradagi tarelkalar soni, issiqlik almashinish sirtining yuzasi va issiqlik almashtirgichdagi quvurlarning joylashishi hisoblanadi. Texnologik parametrlar - bu kimyoviy reaksiyalarning tezlik konstantalari, **flegma soni**, rektifikatsion minora uchun oziqlanish tarelkasining raqami, absorbyerdagi namlashtirishning zichligi va hokazolardir. Konstruktiv va texnologik o'zgaruvchilar jarayonni boshqarishga imkon beradi, shuning uchun ularni boshqaruvchi o'zgaruvchilar yoki

oddiygina boshqaruvchilar deyiladi. Shunday qilib KTTning har bir elementi

$$Y=F(X, U) \quad (6.1)$$

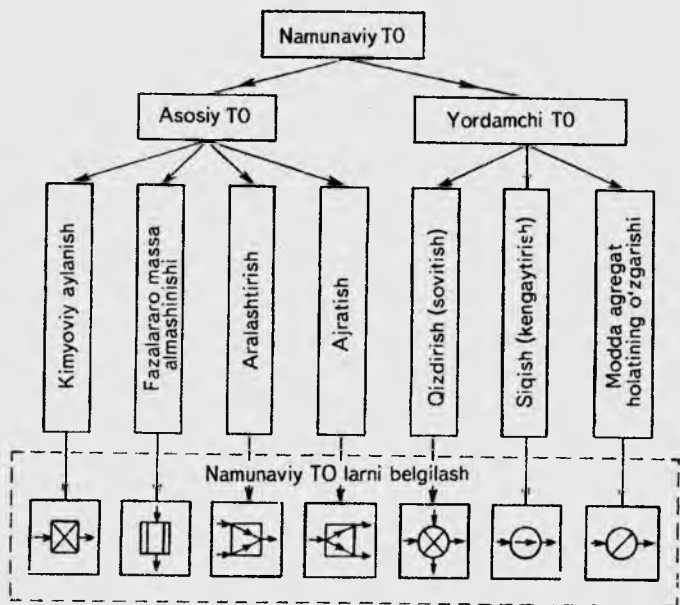
funksional bog'liqlik bilan ifodalanishi mumkin bo'lgan almashtirishni amalga oshiradi, bu yerda X va Y - kiruvchi va chiquvchi oqimlar parametrlarining vektorlari, U - konstruktiv va texnologik o'zgaruvchilarning vektori. (6.1) bog'liqlikning ko'rinishi muayyan apparatda boruvchi jarayonnig fizik-kimyoviy tabiati bilan aniqlanadi.

Apparatlarda o'tuvchi jarayonlar, asosiy va yordamchilarga bo'linuvchi sxemalarda namunaviy texnologik operatorlar (TO) ko'rinishida ifodalanadi (37- rasm). Shunday operatorlar yordamida, operatorlarni har xil texnologik bog'lar bilan birlashtirib, KTTning har xil tuzilmalarini qurish mumkin.

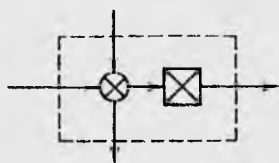
KTT tarkibiga kiruvchi ayrim apparatlar bir nechta namunaviy TO vazifasini bajarishi mumkin. Masalan, kimyoviy reaktor bir vaqtda kimyoviy aylanishning va issiqlik almashinishning elementi vazifasini amalga oshirishi mumkin. Shuning uchun sxemada bunday reaktor 38- rasmda ko'rsatilgandek ikki TO majmui ko'rinishida ifodalanishi mumkin.

Muayyan KTT ancha murakkabligi, tuzilishlarning turli-tumanligi bilan ham ajralib tursalar ham, deyarli barcha tizimlar elementlarini dekompozitsiyalash va agregatsiyalash (bir nechta elementlarni **superelement** deb ataluvchiga birlashtirish) yordamida ularni oqimlar yo'nalishlarini o'ziga xos munosabatda birlashtiruvchi kam sonli namunaviy tuzilishlarga keltiriladi.

Ketma-ket texnologik bog' - bu shunday bog'ki (39-rasm, a), bunda bir elementdan chihayotgan oqim keyingi uchun kiruvchi hisoblanadi va barcha texnologik oqimlar tizimning har bir elementi orqali ko'pi bilin bir marta o'tadi. Elementlarning ketma-ket birikishi - kimyoviy texnologiyada asosiy usuldir, chunki u sifatiy har xil elementlarda xomashyoning qayta ishlashda ko'p qadamli prinsipga mos keladi.



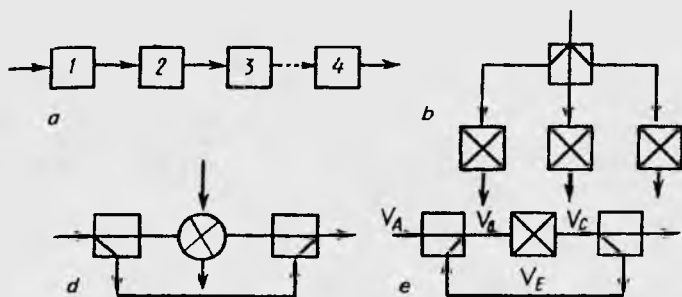
37- rasim. *Namunaviy texnologik operatorlarning tasnifi.*



38- rasim. *Kimyoviy reaktor ikki namunaviy TO majmui sifatida.*

**Parallel texnologik bog`** - bu shunday bog`ki, bu yerda KKT i-elementdan oldin chiquvchi oqim bir necha parallel qism oqimlarga bo`linadi (39- rasim, b). Parallel texnologik bog` KKTning quvvatini, ishonchliligini, moslashuvchanligini oshirish uchun, shuningdek bitta boshlang`ich modda asosida ikki yoki bir necha mahsulotlarni parallel olishda qo`llaniladi.

Ketma-ket - aylanib o`tuvchi texnologik bog` (baypas) - bu shunday texnologik bog`ki, uni amalga oshirganda bir elementdan chiquvchi oqimning qismi apparatlarning ketma-ket



39- rasm. Texnologik bog'larning turlari: a - ketma-ket; b - parallel; d - ketma-ket aylanib o'tuvchi (baypas); e - teskari.

zanjirida KKTning ba'zi elementlarini chetlab o'tadi, keyin esa asosiy oqim bilan birlashadi. Bunday bog'ga: oqimlarning bo'luvchisi, issiqlik almashtirgich, issiqlik almashtirish bo'limi chiqishida haroratni boshqarish uchun oqimlarni aralashtirgich (39- rasm, d) apparatlar zanjiri misol bo'ladi. Bundan tashqari, baypas keyingi aralashtirish bilan qayta ishlash tizimlarida keng qo'llaniladi, bunda mahsulotning

berilgan tarkibni va sifatini ta'minlash uchun barcha oqimni emas, balki faqat uning qismini qayta ishlash zarur. Oqimlar shunday aralashtiriladiki, ma'lum sifatli mahsulot hosil bo'lsin.

Teskari texnologik bog' (39- rasm, e) KTTning keyingi elementining chiqishini avvalgisining kirishi bilan bog'lovchi, resirkulyatsion oqim bo'lishi bilan tavsiflanadi. Teskari texnologik bog' tizim xuddi o'sha elementga oqimning ko'p marta qaytishini nazarda tutadi. Bariy sulfat, ammiak, metanol sintezi, dizel yoqilg'ilarini gidrotozalash, naftalinni sulfidlash KTTi teskari bog'li KTTga namunaviy misollar hisoblanadi.

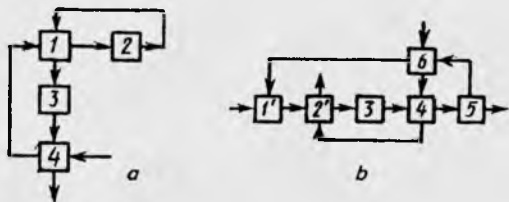
Texnologik tuzilishning o'ziga xos xususiyatlari bo'yicha KTT uzilgan va tutashlarga bo'linadi. Uzilgan KTTda texnologik oqimlar tizimning ixtiyoriy elementi orqali faqat bir marta o'tadi. **Tutash KTT** deb tarkibida massa (39- rasm, e), energiya (40- rasm, a) yoki birgalikda (40- rasm, b) oqimlar bo'yicha hech bo'lmaganda bitta teskari texnologik bog' bo'lganlarga aytiladi.

Teskari bog'larning tavsifi uchun

$$R = V_E/V_B = V_E/V_C$$

resirkulyatsiya nisbatining koeffitsientidan, shuningdek

$$K_{ts} = V_B/V_A = V_C/V_D$$



40- rasm. Tutash KTT: a - energiya oqimlari bo'yicha; b - birgalikda; 1, 4, 6 - issiqlik almashtirgichlar; 2, 3 - reaktorlar; 5 - separator; 1' - aralashtirgich; 2' - kompressor.

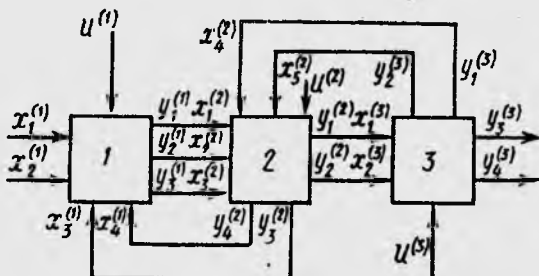
resirkulyatsiyalash koeffitsientidan foydalaniladi, bu yerda V_A , V_B , V_C , V_D , V_E - (A) kirish, (B, C) ichki, (D) chiqish va (E) teskari texnologik oqimlarning yalpi sarflari (39- rasm, e).

6.2. KTT ishini tavsiflovchi o'zgaruvchi kattaliklarning tasnifi

41- rasmda ifodalangan KTTni ko'raylik.

$\mathbf{X}^{(k)} = (x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_m^{(k)})$; $\mathbf{Y}^{(k)} = (y_1^{(k)}, y_2^{(k)}, \dots, y_n^{(k)})$; $\mathbf{U}^{(k)} = (u_1^{(k)}, u_2^{(k)}, \dots, u_r^{(k)})$ kattaliklar KTTning k - elementining kiruvchi, chiquvchi va boshqarish vektorlarini ifodalaydi. Boshqa elementlarning chiquvchi o'zgaruvchilari bo'lmagan KTT elementlarining kiruvchi o'zgaruvchilari muayyan KTTning kiruvchi o'zgaruvchilari (41- rasmda $x_1^{(1)}$, $x_2^{(1)}$ o'zgaruvchilar), boshqa hech qanday elementlarning kiruvchi o'zgaruvchilari bo'lmagan KTT

elementlarining chiquvchi o'zgaruvchilari, $(y_3^{(3)}, y_4^{(3)})$ - chiquvchi o'zgaruvchilar, boshqalari esa **oraliq o'zgaruvchilar** deyiladi.



41- rasm. KTTning faoliyatini tavsiflovchi o'zgaruvchi miqdorlarning tasnifini tasvirlovchi sxema.

KTT oqimlari sarf, harorat, bosim va muhit tarkibini aniqlovchi vektor kattaliklar bilan tavsiflanishi mumkin. Bu holda elementlar orasidagi bog'lar sxemada bitta chiziqli bilan belgilanadi. Son jihatdan oqimlar holatlari parametrlarining soniga teng, skalyar kattalik parametriklik deyiladi.

KTT elementlari orasidagi bog'lar

$$x_i^{(k)} = y_j^{(h)} \quad (6.2)$$

munosabatlar bilan beriladi, ya'ni k - blokning i - kirish o'zgaruvchisi bir vaqtda h - blokning j - chiquvchi o'zgaruvchisi hisoblanadi. Bu tenglamalar KTTning tuzilishini tasniflaydi. Masalan, ko'rilayotgan KTT tuzilishini quyidagi tenglamalar beradi:

$$\begin{aligned} x_1^{(2)} &= y_1^{(1)}; x_2^{(2)} = y_2^{(1)}; x_3^{(2)} = y_3^{(1)}; \\ x_4^{(2)} &= y_1^{(3)}; x_5^{(2)} = y_2^{(3)}; x_3^{(1)} = y_3^{(2)}; \\ x_4^{(1)} &= y_4^{(2)}; x_1^{(3)} = y_1^{(2)}; x_2^{(3)} = y_2^{(2)}. \end{aligned} \quad (6.3)$$

KTT elementlarining matematik tasnifi

$$y_i^{(k)} = f_i^{(k)}(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_m^{(k)}, u_1^{(k)}, \dots, u_r^{(k)}) \quad (6.4)$$

ko'rinishga ega.

KTT elementlarining texnologik bog'larining (6.3) tenglamalar tizimi (6.4) tizimning ayrim elemenlarining matematik tasnifi bilan birgalikda KTTning matematik modelini ifodalaydi.

(6.3) va (6.4) tenglamalarga kiruvchi barcha o'zgaruvchilar **ma'lumot beruvchilar** deyiladi. KTTni loyihalashda ma'lumot beruvchi o'zgaruvchilar **loyihada ko'rsatilganlarga** va **hisoblab aniqlanadiganlarga** bo'linadi. Loyihada ko'rsatilgan o'zgaruvchilar orasida aniq belgilangan va optimallashtiruvchilar ajratiladi. Loyihada ko'rsatilgan o'zgaruvchilarga texnologik parametrlar (oqimlar holatlarining parametrlari: sarf, bosim, harorat, tarkib, katalizatorning faolligi, absorbyerda namlashning zichligi va hokazolar) va elementlarning konstruksion parametrlari (apparatlarning tuzilish turi, ularning o'lchamlari, soni) kiradi. Loyihada ko'rsatilgan o'zgaruvchilar loyihada belgilangan ma'lumotlarga ko'ra joylashadi.

KTT ishlashining eng maqbul tartibini topish uchun, loyihada ko'rsatilgan o'zgaruvchilarning berilgan qiymatlarida almashtirish mumkin bo'lgan o'zgaruvchilar **optimallashtiruvchilar** deyiladi.

Ta'kidlash zarurki, ma'lumot beruvchi barcha o'zgaruvchilar to'plamidan ozodlari (erkin o'zgaruvchilar) sifatida KTTning faqat loyihada ko'rsatilgan o'zgaruvchilari tanlab olinishi mumkin.

Ma'lumot beruvchi o'zgaruvchilar soni va o'zgaruvchilar orasida mavjud bo'lgan ma'lumot beruvchi bog'lar yoki shartlar soni orasidagi ayirma L KTTning **erkinlik darajalar soni** deyiladi. U KTTni optimizatsiyalashda almashtirish mumkin bo'lgan erkin o'zgaruvchilar sonini ifodalaydi.

6.3. KTT xossalarini baholash

Massa- va issiqlik almashinish jarayonlarining ichki bog'liqligi, xomashyo sarfining ko'pligi, qurilmani tiklashga sarflanadigan mablag'ning salmoqliligi va hokazolar sababli KTT

ko'pchiligi yo yuqori darajada (ijobiy xossalar) yoki past darajada (salbiy xossalar) ifodalanishi mumkin bo'lgan har xil xossalar to'plami bilan tavsiflanadi.

Berilgan tizim u yoki bu xossaga qanday darajada ega ekanligini miqdoriy baholash uchun KTT xossalarini baholash usullaridan foydalaniladi. KTTning u yoki bu xossasining baxosini ifodalovchisi sifat yoki xossa parametri, sifat yoki xossa mezon, KTT sifatining mezon, optimallashtirish munosabati bilan esa - **optimallik mezon** deyiladi.

Quyidagi mezonlarning katta guruhi farqlanadi: xomashyo, energiyadan foydalanish va ishlab chiqarilayotgan mahsulotning sifat darajasini baholash mezonlari: aylanish darajasi, selektivlik, FIK va hokazo mezonlar; KTT faoliyatining sifatini baholash mezonlari: chidamlilik, ta'sirchanlik, mustahkamlik va boshqalar kabi xossalarni baholash mezonlari; ekologik mezonlar; ijtimoiy-psixologik mezon: u tizimning boshqaruvchanligini, joylarda ishlash sharoitlarini va hokazolarni tavsiflaydi; iqtisodiy mezonlar: sarflangan mablag', tannarx, sarflangan xarajatlar, foyda va shunga o'xshashlarni baholovchi mezonlar.

KTTning sifat mezonlari, o'zgaruvchilari va parametrlari orasidagi

$$F=F(X, Y, U, P, \tau) \quad (6.5)$$

bog'liqlik sifat modeli yoki maqsadli funksiya deyiladi, bu yerda X, Y - kiruvchi va chiquvchi oqimlar holatlari parametrlarining vektorlari; U - boshqarishlar vektori; P - (fizik-kimyoviy, iqtisodiy va hokazo) parametrlar vektori; τ - vaqt (dinamika, mustahkamlik va hokazo alomatlar uchun). Maqsadli funksiya algoritmi (dastur, korrelyatsion bog'liqlik va hokazo) ko'rinishida analitik berilishi mumkin.

Atamalarning izohli luq`ati

avtoklav - moddalarni yuqori bosim ostida qizdirish uchun ishlatiladigan germetik qopqoqli idish, qurilma;

entalpiya - kimyoviy reaksiya vaqtida ajralib chiqqan yoki yutilgan issiqlik miqdori.

flegma soni - rektifikatsion kolonnani yuqori tarelkasiga boyitish uchun qaytib tushadigan distillyat bir qismining son miqdori;

forsunka - suyuq yoki kukunsimon moddalarni purkab beruvchi asbob;

furm - arava;

futerovka - pechlarning ichini o'tga bardoshli material bilan ishlab chiqmoq;

gorn - domna pechining pastki qismi, o'choq;

inversiya - o'rin almashinish;

izomerlanish - bir necha moddalarning sifat va miqdor tarkiblari hamda molekulyar og'irliklari bir xil bo'lib, fizik va kimyoviy xossalarining turlicha bo'lish hodisasi;

kalkulyatsiya - tovar, mahsulot va shunga o'xshashlarning tannarxini yoki olish-sotish baxosini hisoblab chiqish;

kojux - turli mexanizmlarning ustini o'rab turuvchi qoplamasi;

kolosnik - o'txona panjarasi;

koloshnik - domna pechining ruda, flyus va yoqilg'i tashlaydigan yuqori qismi;

konservant - moddalarni buzilishidan saqlovchi reagent;

konstruksiya - murakkab inshoot, mexanizm va shu kabilar yoki ularning tayyor murakkab qismi;

konveksiya - issiqlikning muhit oqimi tufayli ko'chishi, tarqalishi;

legirlamoq - metallga boshqa metall qo'shib fizik- kimyoviy xususiyatlarini yaxshilamoq;

lyotka - metallurgiya pechlarida erigan metall yoki shlak oqib chiqadigan teshik;

porsiya - biror narsaning muayyan miqdori;

raspor - inshootlarda: tik (vertikal) yo'nalishda ta'sir qiluvchi kuchning gorizontaal yo'nalishda tarqaladigan bosimi;

rekonstruksiya - tiklash yoki ilgarigi holiga keltirish;

shnek - nov ichida aylanadigan parma shaklidagi valdan iborat moslama;

soplo - konus naycha;

spyok - changsimon yoki kukunsimon materiallardan suyuqlanish haroratidan past haroratda qizdirib olingan g'ovakli qattiq bo'lak;

stexiometriya - o'zaro kimyoviy birikuvchi ikki moddaning og'irliklari orasidagi yoki qismlari orasidagi nisbat haqidagi ta'limot;

turbulentlash - suyuqlik yoki gazlar oqimlarida kuzatiladigan hamda bu oqimlarda turli o'lchamli ko'plab uyurmalar hosil bo'ladigan hodisa;

siklon - havoni yoki gazni har xil qattiq jismlardan tozalaydigan apparat;

Adabiyotlar

1. Амелин А.Г., Малахов А.И., Зубова И.Е., Зайцев В.И. Общая химическая технология. - М.: Химия, 1977.- 400 с.
2. Арипова М.М. Умумий кимёвий технология. Ўқув қўлланма. II қисм–Тошкент, ТошДТУ.- 2008.- 119 бет.
3. Артеменко А.И. Органическая химия. – М.: Высшая школа, 1987. – 432 с.
4. Бесков В.С. Общая химическая технология. – М.: ИКЦ Академкнига, 2006.- 452 с.
5. Бесков В.С., Сафронов В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии. - М.: Химия, 1999. - 470с.
6. Гальперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. –М.: Химия, 1981. - 384 с.
7. Долгов В.Н. Катализ в органической химии.-Гос. научно-тех. изд. хим. лит.-Л.-1959.-808с.
8. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов.- М. : Химия, 1982.- 288 с.
9. Кондауров Б.П., Александров В.И., Артёмов А.В. Общая химическая технология. - М.: Академия, 2005. - 336 с.
10. Мельников Н.Н. Химия и технология пестицидов. - М.: Химия, 1974. - 768 с.
11. Мухленов И.П., Горштейн А.Е., Тумарина Е.С., Кузичкин Н.В. Основы химической технологии. – М.: Высшая школа, 1991. - 464 с.
12. Тулаев Б.Р. Ёқилғи - мойлаш материаллари ва совитувчи суюқликлар. Ички ёнув двигателлари учун ёнилғилар химмотологияси. - Тошкент.: ТошДТУ, 2003. - 159 б.
13. Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Закиров С.Г. Кимёвий технология асосий жараён ва қурилмалари. – Т: Шарқ, 2003. - 644 б.

Elektron adabiyot

Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г. Общая химическая технология. – М.: ИКЦ Академкнига, 2005.- 528 с.
<http://www.domisolki.ru/>

MUNDARIJA

	Kirish.....	3
	Kimyoviy texnologiyaning nazariy asoslari.....	5
1-bob	Kimyo sanoatining ahamiyati va ivojlanishi.....	5
1.1.	Aholi ehtiyojini qondirish va texnikaviy taraqqiyot uchun kimyo sanoatining ahamiyati.....	6
1.2.	Kimyoviy texnika va texnologiya rivojlanishining asosiy yo'nalishlari.....	7
1.3.	Hayot ta'minoti muammolari va kimyo sanoati.....	11
1.4.	Kimyoviy mahsulotlarning sifati va tannarxi.....	14
2-bob	Kimyoviy texnologining asosiy qonuniyatlari.....	16
2.1.	Kimyo-texnologik jarayon haqida tushuncha.....	16
2.2.	Kimyo-texnologik jarayonlarning tasnifi.....	18
2.3.	Texnologik jarayonlarda muvozanat.....	22
2.4.	Texnologik jarayonning tezligi.....	28
2.5.	Jarayon tezligini oshirish usullari.....	40
2.6.	Texnologik hisoblar.....	46
3-bob	Kimyoviy reaktorlar.....	52
3.1.	Kimyoviy reaktorlarga qo'yiladigan talablar.....	53
3.2.	Kimyoviy reaktorlar tasnifi.....	55
3.2.1.	Reagentlarni kiritish va chiqarish usullari.....	55
3.2.2.	Harakat tartibi va reagentlarni aralashtirish.....	57
3.2.3.	Harorat tartibi.....	60
4-bob	Nokatalitik jarayonlar va reaktorlar.....	65
4.1.	Gomogen jarayonlar va reaktorlar.....	66
4.2.	Geterogen jarayonlarning qonuniyatlari.....	77
4.3.	Gaz - suyuqlik (G-S) tizimi uchun jarayonlar va reaktorlar...	82
4.4.	Gaz qattiq (G-q) tizimda jarayonlar va reaktorlar.....	89
4.5.	Qattiq-suyuq (q-S) tizimlar uchun jarayonlar va reaktorlar...	97
4.6.	Qattiq-qattiq (q-q), suyuq-suyuq (S-S) ko'p fazali tizimlardagi jarayonlar.....	100
5-bob	Katalitik jarayonlar va reaktorlar.....	102
5.1.	Katalizning moqiyati va turlari.....	102
5.2.	Gomogen va geterogen kataliz.....	107
5.3.	Qattiq katalizatorlarni xossalari va ularni tayyorlash.....	115

6-bob	Kimyo-texnologik tizimlar (KTT).....	117
6.1.	KTT tushunchasining ta'rifi. KTT ning uzilishi.....	118
6.2.	KTT ishini tavsiflovchi o'zgaruvchi kattaliklarning tasnifi...	123
6.3.	KTT xossalarini baholash.....	125
	Atamalarning izoqli luqati.....	127
	Adabiyotlar.....	129

Mukarram Majidovna Aripova, Ma`ruf Nabievich Musayev

UMUMIY KIMYOVIY TEXNOLOGIYA

O'quv qo'llanma
I qism

Muharrir

M.M.Botirbekova

