

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

**Ф.М. МИРЗАЕВ, В.А. ЛИНКЕВИЧ,  
Т.А. ОТАҚЎЗИЕВ, Х. МИРЗАҚУЛОВ**

# **КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯНИНГ НАЗАРИЙ АСОСЛАРИ**

ТОШКЕНТ  
2012

**Тақризчилар:**

ЎзР ФА академиги, кимё фанлари доктори,  
профессор *С. Т. Тўхтаев*,  
кимё фанлари доктори, профессор *Н. П. Исмоилов*

**Мирзаев, Ф. ва бошқ.**

Кимёвий технологиянинг назарий асослари (дарслик). / Ф.М. Мирзаев, В.А. Линкевич, Т.А. Отакўзиев, Ҳ.Ч. Мирзақулов. – Т., 2012. – 136 б.

Ушбу китобда умумий кимёвий технологиянинг назарий асосларини ташкил этувчи маълумотлар-асосий кимёвий (гомоген, гетероген, каталитик) жараёнлар тавсифлари, уларнинг тезлигига таъсир килувчи омиллар, кимёвий мувозанат, кимёвий реакторларнинг турлари, уларни ҳисоблаш формулалари ва чизмалари келтирилган ҳамда кимёвий реакторларда кечадиган реакцияларнинг хусусиятлари баён этилган.

Дарслик кимёвий технологиянинг барча йўналишлари бўйича таҳсил олувчи олий ўқув юрғларининг бакалаврлари, илмий ходимлари ва ўқитувчиларига мўлжалланган.

---

## КИРИШ

Технология-юнонча сўз бўлиб, технос-санъат ва касб деган маънони билдиради, логия кўшимча эса—билим, фан демакдир. Шундай қилиб, технология—бу касбнинг сирларини ўргатувчи фанлардан биридир. Технология хом ашёни халқ истеъмоли буюмларига ва ишлаб чиқариш воситаларига айлантириш жараёнларини ўрганувчи фандир. Технология икки хил бўлиши мумкин:

1-механик технология

2-кимё технология

Механик технология жараёнида хом ашёнинг таркиби ва хусусияти ўзгармасдан, фақат унинг шаклигина ўзгариши мумкин. Масалан: ёғочдан мебел ишлаш, металлдан турли хил буюмлар яратиш в ҳаказо.

Кимё технологиясида эса, модданинг шаклигина эмас, балки унинг бутун хоссалари ва таркиби ўзгариши мумкин.

Шундай қилиб, кимё билан боғлиқ бўлган технология кимёвий реакцияларнинг иши жараёнларини ўрганади. Бирор хом ашёдан маҳсулот олиш жараёни бир қанча босқичлардан иборатдир. Ушбу босқичлар (масалан: хом ашёни бойитиш, майдалаш, ажратиш, куйдириш ва ҳ.к) технологик операциялар деб аталади. Ана шу операцияларни маълум тартибда олиб бориш тизими технологик тизим деб аталади.

Технологиянинг асосий вазифаларидан бири ана шу оптимал қулай технологик тизимларни яратишдан иборат. Ҳар бир технологик операция ишлаб чиқариш мобайнида аниқ қулай шароитда олиб борилиши керак (қулай температурада, босимда, концентрация ва б.), шу қулай (оптимал) шароитларни аниқлаш кимё технологиясининг асосий вазифаларидан биридир. Бу шароитларни аниқлаш учун эса кимёвий жараённинг назарий асослари-

ни чукур ўрганиб чиқиш керак. Бунинг учун физика, математика, умумий кимё, физик-кимё, термодинамика, электротехника ва бошқа илмларнинг турли қонуниятларидан фойдаланилади.

Шундай қилиб, кимё технологиясининг назарий асосларини ишлаб чиқиш керак. Ҳар бир технологик операциялар учун қулай оптимал шароит аниқлангандан сўнг, шу жараёни ўтказиш учун техника талабига жавоб берадиган унумли реакторларни ва аппаратларни танлаш керак. Технологик жараёнларни тўғри олиб бориш ва жараённинг техник-иқтисодий кўрсаткичлари шу аппаратларни тўғри танлашга боғлиқдир. Шу сабабли технологияда кимёвий реактор назариясига, таснифига, уларнинг ишлаш маромига катта эътибор берилади. Технологиянинг вазифаси юқорида кўрсатилган масалалар билан чекланиб қолмай, балки яна ишлаб чиқаришни тўғри ташкил қилиш ва хом ашёнинг сифатини узлуксиз кузатиб туриш ва бошқалардан ҳам иборатдир.

Танланган технологиянинг афзаллигини аниқлаш учун аввал унинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини аниқлаш керак. Бунинг учун, маҳсулотнинг таннархини ҳисоблаш, сарфланган маблағлар миқдорини назарда тутиш керак.

---

---

## **КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯНИНГ МАҚСАДИ, ВАЗИФАЛАРИ ВА АҲАМИЯТИ**

Мураккаб ишлаб чиқаришни бошқариш, технологик тажрибаларни умумлаштириш, бир ишлаб чиқаришдан бошқасига мақсадга мувофиқ технологик услуб ва усулларни қўллаб ўтказиш учун кенг техникавий дунёқарашга эга бўлиш, кимёвий-технологиянинг умумий қонуниятлари ҳамда усуллари—турларини чуқур билиш зарур. Шунинг учун ҳозирги вақтда кимёгар-технолог бакалаврлар тайёрлашда кимёвий технология назарий асосларининг аҳамияти ортиб бормоқда.

Умумий кимёвий технология курси ўз олдига кимёвий жараёнларни ва асосий реакция кечадиган аппаратларни ўрганишни мақсад қилиб қўяди.

У икки асосий қисмдан таркиб топган:

### **Кимёвий технологиянинг назарий асослари**

Бу қисмда кимёвий технологиянинг асосий қонуниятлари келтирилади ва кимё саноатининг хилма-хил тармоқларида қўлланиладиган кимёвий жараёнлар ҳамда аппаратларнинг энг муҳим турлари ҳақидаги маълумотлар баён этилади.

### **Муҳим кимёвий ишлаб чиқариш**

Мазкур қисмда биринчи баён этилган муҳим халқ хўжалиги аҳамиятига эга бўлган ишлаб чиқариш мисолида умумий тамойиллар, қонуниятларнинг амалий татбиғи ўрганилади.

Умумий кимёвий технология курсининг вазифаси кимёвий технологик жараёнларнинг умумий қонуниятларини ўрганиш ва уларни маълум бир ишлаб чиқаришга амалда татбиқ этишдан иборат.

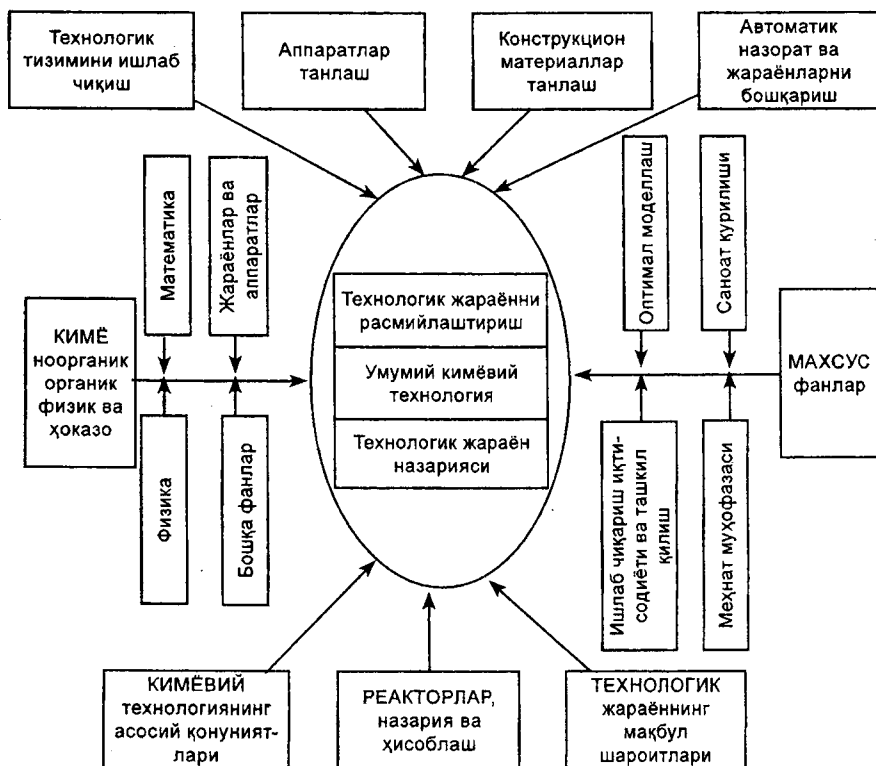
Бу қисм алоҳида курс сифатида 6 семестрда ўтилади. Шунинг учун бу дарсликда унинг устида тўхтаб ўтилмайди.

### Кимёгар-технолог бакалаврлар тайёрлашда кимёвий технология курсининг аҳамияти

Кимёвий технологияда кечадиган жараёнлар бешта асосий гуруҳга бўлинади:

1. Операция характериға кўра.
2. Диффузион (масса алмашинуви).
3. Механик.
4. Иссиқлик.
5. Кимёвий.

### Кимёгар-технолог бакалаврлар тайёрлаш тизими



Жараёнларнинг ушбу тизимда кўрсатилган дастлабки тўрт гуруҳи «Жараёнлар ва аппаратлар» курсида, бешинчиси эса «Умумий кимёвий технология» курсида ўрганилади. Бу курсда талаба фақат алоҳида аппарат ёки жараёнлар билангина танишиб қолмасдан, балки умуман кимёвий-технологик жараёнларнинг моҳияти ва унинг расмийлаштирилиши билан ҳам батафсил танишади.

### **Кимё саноатининг техника тараққиётидаги аҳамияти. Аҳоли эҳтиёжини қондириш**

Кимё саноати халқ хўжалигини кўплаб миқдордаги ҳар турли маҳсулотлар билан таъминлайди. Буларсиз жамият тараққиёти амримаҳол бўлур эди. Ҳозирги саноат тармоқлари (металлургия, машинасозлик ва ҳоказо) кимё туфайлигина илдам ривожланади. Чунончи, ёғочни кимёвий ишлаш йўли билан пластмасса, активлаштирилган кўмир, тутунсиз порох, сирка кислота, этил ва метил спирти, ацетон, канифол, ароматик бирикмалар ва бошқалар олинади.

Халқ хўжалигини кимёлаштириш техника тараққиётининг асосий йўналишларидан биридир. Кимёлаштириш деганда кимёвий усул, жараён ҳамда материалларни халқ хўжалигига жорий этиш тушунилади. Бу эса ишлаб чиқаришни мақсадга мувофиқ ривожлантириш, хом ашёдан комплекс фойдаланиш, чиқиндисиз ишлаш имконини беради. Масалан, минерал ўғит ва заҳарли кимёвий моддаларсиз қишлоқ хўжалигини жадаллаштириш ҳақида гап ҳам бўлиши мумкин эмас. Ўз навбатида, пластмасса, синтетик толалар, синтетик ювувчи воситалар ҳам борган сари турмушимиздан кенг ўрин олмоқда.

### **Кимё саноатида техника тараққиёти асосий йўналишлари**

Кимё саноатининг ривожланиши кўп жиҳатдан кимёвий техникани такомиллаштириш билан белгиланади.

Техника тараққиётининг бош мақсади меҳнат унумдорлигини ошириш ҳамда маҳсулот сифатини ошириб, унинг таннархини пасайтиришдир.

Ривожланишнинг асосий йўналишлари:

- 1) унумдорликни ошириш;
- 2) аппаратларнинг иш суръатини ошириш;
- 3) сермехнат жараёнларни механизациялаштириш;
- 4) автоматлаштириш ва дистанцион (масофадан туриб) бошқариш (АСУТП);
- 5) даврий жараёнларни узлуксиз жараёнлар билан алмаштириш;
- 6) реакция иссиқлигидан фойдаланиш;
- 7) чиқиндисиз ишлаб чиқаришни яратиш.

Булар ичида энг муҳими биринчи йўналишдир. Аппаратлар, машиналар, цех ва заводлар ишининг асосий кўрсаткичи унумдорликдир.

Унумдорлик ( $\pi$ )—вақт бирлигида ишлаб чиқарилган маҳсулот ёки қайта ишланган хом ашё миқдоридан ёки ҳажмидан ( $V$ ) иборатдир:

$$\pi = G/\tau \text{ (кг/с ёки т/с ёки т/сутка)}$$

$$\pi = V/\tau \text{ (м}^3\text{/с ёки м}^3\text{/сутка)}$$

Аппаратнинг иш унумдорлигини оширишга унинг ўлчамини катталаштириш ёки ишни жадаллаштириш йўли билан эришиш мумкин.

Аппарат унумдорлигини ошириш металл (конструкцион материал)ни тежашга, ҳажм бирлигида ишлаб чиқарилаётган маҳсулот миқдорини оширишга олиб келади. Айни вақтда, цехлар қурилиши ва уларни ремонт қилишга кетадиган харажат, шунингдек, ишлатиш сарфи камаяди, ишчиларнинг меҳнат унумдорлиги ортади. Масалан: сульфат кислота ва аммиак ишлаб чиқариш асосий реакторларининг қуввати сўнгги 20 йилда 30 ҳисса ортди. Бунга аппаратлар ўлчамларини оширмай туриб, уларнинг унумдорлигини кўтариш ҳисобига эришилди.

Муайян аппарат ўлчамларини ифода этувчи бирон бир миқдорда олинган унумдорлик (ҳажмга — « $V$ » ёки кесим майдонига « $F$ ») аппарат ишининг суръати « $J$ » дейилади.

Одатда, аппарат иш суръати унинг унумдорлиги ҳажмига  $V$  ( $\text{м}^3$ ) ёки кесим майдонига  $F$  ( $\text{м}^2$ ) нисбати билан аниқланади:



$$J = \pi/Vp = G/\tau \cdot Vp \quad (\text{кг/с.м}^3 \text{ ёки т/с.м}^3)$$

$$J = V/\tau \cdot Vp \quad (\text{м}^3/\text{с.м}^3 \text{ ёки с}^{-1})$$

$$J = \pi/F = G/\tau \cdot F \quad (\text{кг/с.м}^2)$$

$$J = V/\tau \cdot F \quad (\text{м}^3/\text{с.м}^2 \text{ ёки м/с})$$

Аппарат иш суръатининг ортишига икки йўл билан эришиш мумкин:

- 1) машина ва аппаратлар конструкцияларини яхшилаш;
- 2) муайян турдаги аппаратларда технологик жараёнларни такомиллаштириш.

Аппарат ишининг суръати жараён тезлигига мутаносибдир.

Иш суръати, аввало аралашиш тезлигининг ортишига ҳамда туташув фазаларининг ёндошув юзаларининг ошиши ҳисобига кўтарилади. Суръатни жадаллаштириш учун катализатор қўлланилади ва аралаштириш орқали реакцияда иштирок этадиган моддалар ҳарорати, босим концентрацияси оширилади (ҳарорат 0°C дан 1000 гача, босим мутлақ вакуумдан 1000 атмосферагача, кучланиш юз минглаб вольтгача). Мазкур омилларни қўллаш аппаратлар ва реагентларнинг чидамлигига, шунингдек иқтисодий самарадорлигига боғлиқдир.

**Механизация**—инсоннинг жисмоний меҳнатини машина меҳнати билан алмаштириш бўлиб, меҳнат унумдорлигининг ортишига, ходимлар сонининг қисқаришига, аппарат иши самарадорлигининг ортишига олиб келади. Комплекс механизацияни жорий этиш меҳнат унумдорлигини оширади. Механизациянинг асосий вазифаси-ортиш, тушириш ва ташишдир.

**Автоматлаштириш** — бевосита одамнинг иштирокисиз ёки унинг назорати остидагина жараёнларни амалга ошириш имконини берадиган ускуналарни қўллашдир. Бу механизациянинг юксак босқичи бўлиб, меҳнат унумдорлигини ошириш ва мақбул иқтисодий кўрсаткичлар бўйича ўлчагич (датчик), созлагич ва механизм ижрочиси каби уч асосий асбоб ёрдамида амалга оширилади. Энг мураккаб ҳолларда ЭҲМ, яъни кибернетикадан фойдаланилади. Айрим ҳолларда дистанцион бошқарув қўлланилади—бу автоматлаштиришнинг номукамал даражасидир. Ўлчагич ва ижрочи механизм ҳамда созлагич—одам (тўла автоматлаштиришни

қўллаш ҳали мураккаб ва мақсадга мувофиқ бўлмаган шароитларда) бор, холос. Ҳозирги вақтда корхоналарда тўла автоматлашган бошқарув тизимлари (АБТ), технологик жараёнларни автоматик бошқарув тизимлари (ТЖАБТ) жорий этиляпти.

## **КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁНЛАРНИНГ ТЕХНИК-ИҚТИСОДИЙ КЎРСАТКИЧЛАРИ**

Кимёвий маҳсулотнинг сифати, яъни унинг таркиби ва хусусиятлари ГОСТ (давлат стандарти) талабларини қондириши керак. Стандартларни тузишда истеъмолчининг талаблари ва ишлаб чиқариш имкониятлари ҳисобга олинади. Баъзан истеъмолчи талабига боғлиқ равишда бир турдаги маҳсулотга бир неча стандарт бўлади. Янги, ҳали стандартлаштирилмаган маҳсулот турларига талаблар вақтинчалик идоравий техник шартлар (ТШ) билан белгиланади.

Маҳсулот таннархи сиёсий иқтисод ва кимё саноати иқтисоди курсларида ўрганилади. Муайян корхонанинг маҳсулот тайёрлаш ва сотишга кетган харажатининг пулдаги ифодаси тўлиқ таннарх деб юритилади.

Фақат маҳсулот тайёрлашгагина сарфланадиган харажат фабрика- завод таннархидир.

Фабрика- завод таннархи қуйидаги асосий қисмлардан таркиб топади:

1. Кимёвий жараёнларда бевосита иштирок этувчи хом ашё, ярим маҳсулотлар ва асосий материаллар.

2. Технологик мақсадлар учун ёқилғи ва энергия.

3. Асосий ишлаб чиқаришда иштирок этувчи ишчилар маоши.

4. Амортизация-бино, иншоот ва ускуналар каби асосий ишлаб чиқариш фондларининг емирилишини қоплаш учун чегирма.

5. Асосий ишлаб чиқариш фондларини сақлаш ва жорий ремонт қилиш учун цех харажати (ёрдамчи ишчилар маоши ва ремонт ҳақи, шунингдек цех маъмурий-бошқарув ходимларини сақлаб туриш, меҳнат муҳофазаси ва техника хавфсизлигига сарфланадиган маблағлар).

6. Умумзавод харажатлари.

Маҳсулот ишлаб чиқаришнинг энг муҳим қисми хом ашё-дир. Хом ашё кимё саноатидаги жами таннархнинг 60–70 фоизини ташкил қилади. Иссиқлик ва энергия қарийб–10%, маош –4%, амортизация –3–4%. Таннарх таҳлилидан уни пасайтириш йўллари тавсия этилади.

Ишлаб чиқариш куйидаги туркумларга бўлинади:

- кўп материал талаб қиладиган;
- кўп энергия талаб этадиган;
- кўп меҳнат талаб қиладиган.

Энергиядан тежамкорлик билан фойдаланиш мезони энергиядан фойдаланиш коэффициентидир:

$$\eta_E = \frac{W_\tau}{W_{\text{пр}}} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

бунда:  $W_\tau$  – энергиянинг назарий сарфи;  $W_{\text{пр}}$  – энергиянинг амалий сарфи.

Кимё корхоналарида барча энергия турлари ичида иссиқлик энергияси биринчи ўринда туради. Иссиқликдан фойдаланиш даражаси иссиқлик фойдали иш коэффициентини орқали ифодаланади:

$$\eta_\tau = \frac{Q_\tau}{Q_{\text{пр}}} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

бунда:  $Q_\tau$  – иссиқликнинг назарий сарфи,  $Q_{\text{пр}}$  – иссиқликнинг амалий сарфи.

### Реакция маҳсулотининг чиқиши

Бу олинган модда ҳақиқий миқдорининг ( $G_p$ ) энг юқори даражадаги имкониятга ( $G_m$ ) нисбатидир:

$$X_p = \frac{G_p}{G_m} \text{ ёки } X_p = \frac{G_p}{G_m} \cdot 100\%$$

Қайтмас жараёнлар учун моддаларнинг энг юқори миқдори реакциянинг стехиометрик тенгламаси бўйича белгиланади. Бунда маҳсулот бир қисмининг исроф бўлиши ёки реакциянинг тўлиқ тугашидан илгари тугаши сабабли энг юқори миқдорга ( $G_m$ ) эришиб бўлмайди.

Агар жараён қайтар бўлса, мувозанатли чиқиш тушунчаси киритилади. Мувозанатли чиқишда юқоридаги формуланинг су-

ратида модданинг ҳақиқий миқдори ўрнига унинг мувозанатга эришилгандаги миқдори қўйилади:

$$X_{\phi} = \frac{G_{\phi}}{G_m} \quad (1.3)$$

$$X_{\phi} = \frac{G_{\phi}}{G_m} \cdot 100\% \quad (1.3.a)$$

Бу мувозанатли ёки назарий чиқишдир. Мувозанатли чиқишлар учун назарий ёки ҳақиқий чиқиш ( $X_{\phi}$ ) тушунчаси кири-тилади—бу ҳақиқий олинган маҳсулот миқдори ( $G_{\phi}$ )нинг мувозанатга эришишда олинган ( $G_p$ ) миқдорига нисбатидир:

$$X_{\phi} = \frac{G_{\phi}}{G_m} \cdot 100\% \quad (1.4)$$

маҳсулотга айланиш даражаси

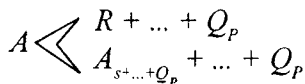
$$X = \frac{G_H - G_K}{G_H} \quad (1.5)$$

бунда:  $G_H$ —асосий модданинг дастлабки миқдори;  $G_K$ —дастлабки модданинг жараён охиридаги миқдори. ( $G_H - G_K$ )—сарфланган асосий модда миқдори.

Масса ўтказиш (алмаштириш) жараёнлари учун бундай усул фазалараро ўтиш даражаси деб юритилади.

Селективлик (сайланиш, танланиш) бирон мақсадга қаратилган миқдорининг олинадиган маҳсулотнинг умумий миқдорига мураккаб, параллел реакциялари кечувчи жараёнлар орқали ифодаланади.

Масалан:



ва мақсадли маҳсулот ( $R$ ) бўлса, бунда селективлик қуйидагича бўлади:

$$G_R = \frac{G_R}{G_K - G_S} \cdot 100\%$$

Чунки мазкур реакция учун  $G_R + G_S = G_{A_0} - G_A$  бўлган-лигидан

$$G_R = G_{A_2} = \frac{G_R}{G_{A_0} - G_A} \cdot 100\%$$

Сарфланиш коэффициенти (хом ашё, сув, энергия ва ҳаказо бўйича)

$$\beta = \frac{Q}{G}$$

бунда:  $Q$ —хом ашё, реагент ва ҳоказо сарфи,  $G$ —маҳсулот миқдори.

$$\beta = [т/т], [м^3/т], [квт/с/т]$$

### Мувозанат

Маълумки, кимёвий жараёнлар қайтар ва қайтмас турларга бўлинади. Қайтмас жараёнлар фақат бир йўналишдагина кечади.

Барча қайтар кимёвий-технологик жараёнлар мувозанатга интилади. Бунинг натижасида тўғри ва тескари жараёнлар тезлиги бараварлашади, таркибий қисмлар нисбати эса ташқи шароит ( $T$ ,  $P$ ,  $IS$ ) ўзгаргунга қадар ўзгаришсиз қолади. Чунки шароит ўзгарганда мувозанат бузилади ва тизимда мувозанатнинг тикланишига олиб келувчи беихтиёр жараёнлар (диффузион ва кимёвий) рўй беради.

Кимёвий мувозанатга термодинамиканинг 2-қонунини умумий тарзда қўллаш мумкин: «Иҳоталанган системада кимёвий мувозанат шароитларидан бири энтропия максимумидир ( $S$ )».

Мувозанат ҳолатида энтропиянинг янада ўзгариши (беихтиёр кечадиган барча қайтар жараёнлар учун мажбурий) рўй бермайди, яъни:

$$dS = 0 \quad (1.6)$$

Асосий параметрларнинг гомоген ва гетероген тизимларда мувозанатга сифат жиҳатидан таъсири термодинамиканинг иккинчи қонунида ўз ифодасини топган Ле-Шателье принципи бўйича белгиланади: «Ташқи таъсир туфайли мувозанат ҳолатидан чиқарилган тизимда уни мувозанатдан чиқариш учун таъсирни сусайтиришга қаратилган ўзгаришлар рўй беради». Мисол учун экзотермик реакцияни кўриб ўтайлик:

$$mA + nBp \leftrightarrow pD + Qp \quad (1.7)$$

бунда:  $m$ ,  $n$  ва  $p-A$ ,  $B$  ва  $D$  моддалар молекулалари сони,  $Qp$ -реакциянинг иссиқлик эффекти. Моддалар ҳажмларини  $V$  тарзида ифодалаб шундай қабул қилишимиз мумкин:  $V_A + V_B > V_D$ , яъни реакция ҳажмнинг камайиши билан кечади.

Ле-Шателье принципини газ аралашмаси компонентини суюқлик билан абсорбциялашнинг гетероген экзотермик жараёнига қўллаб, шуни аниқлаш мумкинки, суюқликда газнинг мувозанатли концентрацияси ёки абсорбциянинг мувозанатли даражаси ҳароратнинг пасайиши, умумий босимнинг ортиши, шунингдек, суюқлик устида сингиган компонент парциал босимининг камайиши туфайли орта боради. Парциал босимнинг бундай камайишига маҳсулотни абсорбция зоҳасидан чиқариш (масалан, қаттиқ кристаллар тарзида чўктириш) йўли билани эришилади.

Қаттиқ кристалл модданинг суюқликда эрувчанлиги, агар жараён эндотермик бўлса, ҳароратнинг кўтарилиши билан ортаверади.

Мувозанат константаси силжима мувозанатни миқдорий ўлчаш учун хизмат қилади. Физик-кимё курсида у термодинамик миқдор сифатида ифодаланади. Бироқ, уни массалар таъсири қонунидан ҳам келтириб чиқариш мумкин: «Кимёвий реакция тезлиги айна вақтда реакцияга киришувчи моддалар моляр концентрацияларининг кўпайтмасига пропорционалдир».

Тўғри реакция тезлиги:

$$U_1 = K_1[A]^m[B]^n \quad (1.8)$$

Тескари реакция тезлиги:

$$U_2 = K_2[D]^p \quad (1.9)$$

бунда:  $K_1$  ва  $K_2$  – тўғри ва тескари реакциялар тезлиги константалари,  $[A]$ ,  $[B]$  ва  $[D]$  эса айна вақтда реакцияда иштирок этаётган моддаларнинг моляр концентрациясидир.

Мувозанат шароитида  $\bar{U}_1 = \bar{U}_2$  ёки

$$K_1[A^*]^m[B^*]^n = K_2[D^*]^p; \quad (1.10)$$

бундан;

$$K_p = \frac{K_1}{K_2} = \frac{[D^*]^p}{[A^*]^m[B^*]^n} \quad (1.11)$$

бунда:  $D^*$ ,  $A^*$ ,  $B^*$  – мувозанатли концентрациялар.

Газлар учун « $K$ »ни реакцияга кириши « $P$ » компонентларнинг парциал босими орқали (масалан, атмосферада), компонентларнинг концентрацияси ( $C$ ) (масалан, мол/м<sup>3</sup>) ва ниҳоят уларнинг моллар улушида ( $N$ ) ифодалаш мумкин. Шунга мувофиқ  $K_p$ ,  $K_c$  ва  $K_N$  тарзида ифодаланган мувозанат константалари вужудга келади. Улар ўзаро тенгламалар билан боғланган:

$$K_p = K_c[RT]^{\Delta N} \quad (1.12)$$

$$K_p = K_N P^{\Delta N} \quad (1.13)$$

бунда:  $P$  – газ аралашмасининг умумий босими;  $\Delta N$  – реакция оқибатида газ моддалари сонининг ўзгариши.

Модел реакция учун  $mA + nB \rightleftharpoons D + Q$ ,

$$\Delta N = p - (m + n)$$

Одатда мувозанатли концентрациялар номаълум бўлиб, маълум илк концентрацияларда « $K$ »нинг миқдори бўйича белгиланади – булар тажриба орқали аниқланган ёки ҳарорат ва босимга боғлиқ тарзда аналитик ҳисоблаб чиқилган бўлиб, маълумотномаларда (справочникларда) келтирилади.

« $K$ »ни тажриба маълумотлари бўйича аниқлаш, маҳсулотнинг чиқиши орқали ифодаланиб амалга оширилади.

Мувозанатли маҳсулот чиқиши  $X_p$  орқали, « $K$ »нинг қийматини ҳисоблаш реакция турига қараб белгиланади.

Куйидаги реакция бўйича формула чиқаришни кўриб ўтайлик:



бунда:  $X_p$  – « $D$ » маҳсулотнинг мувозанатли чиқиши.

$P_A^*$ ,  $P_B^*$ ,  $P_D^*$  мувозанатли газ аралашмасида  $A$  ва  $B$  дастлабки моддаларнинг ҳамда  $D$  – реакция маҳсулотининг парциал боси-

ми. Дастлабки моддаларнинг стехиометрик нисбатини соф газ аралашмасида шундай қайд этиш мумкин:

$$P = P_a^* + P_b^* + P_d^* \quad (1.15)$$

$$X_p = \frac{G_d}{G_m} = \frac{P_d^*}{P} \quad (1.16)$$

$$\frac{P_a^*}{P} = \frac{P_b^*}{P} = 1 - X_p \quad (1.17)$$

$$\frac{P_a^*}{P} = \frac{P_b^*}{P} = \frac{1 - X_p}{2} \quad (1.18)$$

Мувоzanат константаси:

$$K = \frac{[D^*]}{[A^*][B^*]} = \frac{P_d^*}{P_a^* \cdot P_b^*} \quad (1.19)$$

Парциал босимнинг (1-19) қийматиға (1-16), (1-17) ва (1-18) дан киришиб, шуни оламиз:

$$K = X_p \cdot P / \left( \frac{1 - X_p}{2} \right)^2 \cdot P^2 = 4X_p / (1 - X_p)^2 \cdot P \quad (1.20)$$

Шундай қилиб, ҳар қандай қайтар реакция учун « $X_p$ » ва « $K$ »ни боғловчи тенгламалар олиш мумкин.

Масалан:  $A + B \rightleftharpoons 2D$  реакцияси учун:

$$K = 4X_p^2 / (1 - X_p)^2 \quad (1.21)$$

(1-20) ва (1-21) тенгламаларни  $X_p$  га нисбатан ечиб, шуни аниқлаш мумкинки, Ле-Шателье принциғига мувофиқ, биринчи ҳолатда маҳсулот чиқиши босим кўтарилишиға боғлиқ равишда ортади, иккинчи ҳолатда эса у босимға боғлиқ эмас.

Олинган тенгламалар идеал газлар ўртасидағи ёки реакцияға киришаётган моддалар нисбати стехиометрияға яқин чексиз суюлтирилган эритма компонентлари ўртасидағи оддий реакциялар учун тўғридир.

Амалда реакциядағи компонентларнинг учувчанлиғи ҳамда фаоллиғини ҳисобға олиш керак.

Кимёвий реакциянинг формал тенгламасида стехиометрик коэффициентға амал қилиб бўлмайди. Бунда жараённинг ха-



қиқий механизмини билиш керак. Масалан, реакция  $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{a})$ .

Реакциянинг стехиометрик нисбатидан келиб чикиб тўғри жараённинг тезлиги учун (а) ни 3-даражали тенглама сифатида ёзиш мумкин:

$$\bar{U}_1 = K_1 C_{\text{NO}}^2 \cdot C_{\text{O}_2} \quad (1.22)$$

Бунда мазкур реакция мувозанатининг константаси:

$$K_c = (C_{\text{NO}_2}^*)^2 / (C_{\text{NO}}^*)^2 (C_{\text{O}_2}^*) \quad (1.22)$$

Бирок жараён амалда икки изчил реакция бўйича кечади:



Улардан ҳар бири 2-даражали тезлик тенгламаларида ифодаланadi. Жараённинг умумий тезлиги ҳам 2-даражали тенгламада ифода этилади. Ишлаб чиқариш шароитларида жараённинг умумий тезлиги реакция мувозанат константасининг кичик миқдори билан чекланади (б). Бинобарин, жараённинг мувозанати ҳам қуйидаги тенглама билан тавсифланади:

$$K_c = C_{\text{N}_2\text{O}_2}^* / (C_{\text{NO}}^*)^2 \quad (1.23)$$

Каталитик жараёнлар учун реакция тартиби уларнинг кимёвий тенгламаси бўйича молярлигидан деярли ҳар вақт паст бўлади.

Масалан:  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$  нокаталитик оксидланишда реакция тартиби  $n = 3$ , оксид-темир катализаторда  $n = 2,5$  ванадий катализаторида  $n = 1,8$ , платина катализаторида  $n = 1$ .

Бирок катализаторлар мувозанат ҳолатига таъсир этмайди ва каталитик жараён учун мувозанат константаси гомоген нокаталитик реакция молярлигига мувофиқ келади:

$$K_c = \frac{(C_{\text{SO}_3}^*)^2}{(C_{\text{SO}_2}^*)^2 C_{\text{O}_2}^*}$$

Агар реакция мураккаб бўлмай кимёвий тенглама коэффициентлари реакция тартибига мувофиқ келса, бирок тар-

кибий қисмлардан бири ниҳоятда ортиқча миқдорда олинган бўлса, унинг кинетик тенгламадаги концентрациясини ҳисобга олиш мақсадга мувофиқ эмас, зеро у реакция давомида амалда ўзгармайди.

$C_b \rightarrow 1$  (мол улушларида) модел реакцияси учун кинетик тенгламани қуйидаги шаклда қабул қилиш ва қайд этиш мақсадга мувофиқ:

$$U_1 = K_1^1 C_A^m \text{ ва } U_2 = K_2 C_d^p$$

Бунда:  $K_1^1 = K_1 C_b^n$  тегишлича:

$$K = \frac{K_1^1}{K_2} = \frac{(C_d^*)^p}{(C_A^*)^m} \quad (1.24)$$

Сув кўп маротаба ортиқча бўлганида гидролиз, гидратация ва кристаллогидратларнинг ҳосил бўлиши жараёнлари учун константалар шундай аниқланади.

С–Қ тизими учун кинетик тенгламада барча таркибий қисмларни ҳисобга олиш шарт эмас. Агар реакция суюқ муҳитда кечса, бироқ таркибий қисмлардан бири кам эрувчан бўлса ва у суюқ муҳитда ҳам, қаттиқ муҳитда ҳам учраса, реакцияда у сарфлангани сайин эриш рўй беради ва кам эрувчан модданинг суюқликдаги концентрацияси амалда доимий бўлиб қолади. Ҳатто бундай таркибий қисм озроқ миқдорда ортиқча бўлса, ҳисоб-китобни мураккаблаштирмаслик учун уни тенгламаларда ҳисобга олмаслик керак.

Масалан:  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + 2\text{NaOH}$  реакция  $80^\circ\text{C}$  да ва ортиқ миқдордаги  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – оҳак сути,  $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$  майда зарраларининг сувли эритмаси) иштирокида кечади. Бунда  $\text{CaCO}_3$  сувда қийин эрийди ва  $\text{NaOH}$  концентрацияси  $100\text{--}130 \text{ дм}^3$  га етгунига қадар чўкма вужудга келади.

Шаклан:

$$K = \frac{[\text{CaCO}_3][\text{NaOH}^*]^2}{[\text{Ca}(\text{OH})_2^*][\text{Na}_2\text{CO}_3^*]} \quad (1.25)$$

Бироқ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ( $C_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \rightarrow 0$ ) ва  $\text{NaOH}$  концентрацияларининг  $0$  дан  $120 \text{ г/дм}^3$  гача кучли ўзгаришини ҳамда эритмада  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

ва  $\text{CaCO}_3$  концентрацияларининг нисбатан озроқ ўзгаришини ҳисобга олиб, муайян ҳарорат учун реакция мувозанати константаси қуйидаги тенглама бўйича аниқланади:

$$K^1 = \frac{[\text{NaOH}^*]^2}{[\text{Na}_2\text{CO}_3^*]}, \text{ бунда } K^1 = K \frac{[\text{Ca}(\text{OH})_2^*]}{[\text{CaCO}_3^*]} = \text{const} \quad (1.26)$$

Шунингдек, газ-қаттиқ тизимларда ҳам формулалар соддалашади.

« $K$ »ни ҳисоблаш учун кўпгина стандарт жадваллардан фойдаланилади, бунда олатда, иссиқлик ҳосил бўлиш қийматлари ( $q_p$ ) ёки  $\Delta H$  (Ж/мол), ҳосил бўлишнинг изобар-изотермик потенциаллари  $\Delta Z$ , эркин энергия ўзгариши  $\Delta F$  ҳамда мутлақ энтропиялар  $S$  стандарт ҳолатда, яъни  $25^\circ\text{C}$  ва 1 атмосферада берилган бўлади.

Масалан:

$$\lg K_p = \frac{\Delta F}{19,1T} \quad (1.27)$$

ёки 
$$\lg K_p = \frac{T\Delta S - \Delta H}{19,1T} \quad (1.28)$$

Лекин, ушбу формулалар бўйича ҳисоблаш учун жараён механизмини аниқлаш, яъни реакциянинг умумий эмас, балки ҳақиқий тенгламалари зарур. Мувозанат константаларининг ҳароратга боғлиқлиги изобаралар тенгламасида ифода этилади:

$$\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{Q_p}{RT^2} \quad (1.29)$$

Маълум  $K_{p1}$ ,  $T_1$  ва  $Q_p$  да (реакциянинг иссиқлик эффектида) бу тенглама мувозанатнинг номаълум константасини аниқлаш учун  $T_2$  да доимий босимда ҳисоб тарзида қўлланилади:

$$\lg \frac{K_{p2}}{K_{p1}} = \frac{Q_p}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (1.30)$$

бунда:  $R = 8,32$  Ж/мол. Град.-газ доимийлиги.

Унинг қийматларини қўйиб ва унли логарифмга ўтиб, қуйидагини оламиз:

$$\lg \frac{K_{p2}}{K_{p1}} = \frac{Q(T_2 - T_1)}{19,1T_1 \cdot T_2} \quad (1.31)$$

Бу тенгламалар  $Q_p$  нинг доимий қийматида ( $T_1$  да аниқланган) интегралл аниқланган ва шу сабабли ҳароратнинг кичикроқ интервалида  $Q_p$  нинг бирмунча ўзгаришига мувофиқ тарзда қўлланилиши мумкин.

Ҳарорат анча ўзгарганида  $K_p$  ни ҳисоблаш учун қуйидаги тенглама қўлланилади:

$$\lg K_p = \frac{q^0 q_p^0}{2,3RT} \pm \frac{\Delta a_0}{R} \lg T \pm \frac{\Delta a_1}{4,6R} T \pm \frac{\Delta a_2}{13,8R} T^2 \pm K_1 \quad (1.32)$$

Бунда,  $\Delta a_0$ ,  $\Delta a_1$  ва  $\Delta a_2$ —Нерст иссиқлик тенгламалари коэффициентидир. Техник ҳисоблар учун кўпинча ҳисобларнинг аниқлиги чегараланади:

$$\lg K_p = \frac{a}{T} \pm K_1 \quad (1.33)$$

бунда:  $a = \pm \frac{q_p^0}{2,3R}$  (экзотермик реакциялар учун (+) эндотермик реакциялар учун «-» қўйилади).

### Гетероген реакцияларда мувозанат

Гетероген системаларда мувозанат маҳсулотнинг мувозанатли чиқишини аниқловчи ҳароратга, босимга ва реакцияга киришувчи моддаларнинг концентрациясига боғлиқ бўлиб, ситемадаги ҳар бир фазанинг кимёвий мувозанат константаси (I-II)–(I-33) тенламаларига биноан аниқланади. Фазалар ўртасидаги мувозанат эса моддалар тақсимланиши қонуни ва фазалар қондаси асо-сида олиб борилади.

а) фазалар қондаси

У эркинлик даражасини, яъни икки ва кўпфаза-ли системаларда бошқаларга боғлиқ бўлмаган ҳолда фазалар сонини ўзгартирмасдан туриб, бир-бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда омиллар ( $I, P, C_1, C_2$ ) сонини ҳисоблаб чиқиш имконини беради;

$$C = K + \Pi - \Phi$$

бунда:  $C$ —эркинлик даражалари сони (вариантлик),  $K$ —мустақил кимёвий компонентлар сони,  $\Pi$ —мувозанатга таъсир этувчи ташқи параметрлар сони,  $\Phi$ —фазалар сони.

Технологияда фаза мувозантини аниқлаш учун ҳолат диаграммалари кенг қўлланилади, буларда, масалан, эриш ҳарорати ёки қайнаш ҳарорати таркиб функцияси сифатида бўлади. Бу диаграммалар тажриба маълумотлари асосида тузилади.

Бу диаграмма С-Қ система учун. Нуқта система учун. Нуқта «а» ва «в»—А ҳамда В соф моддаларнинг эриш ҳарорати (яъни бир компонентли  $K=1$  ва икки фазали  $\Phi=2$  системалар, булар учун  $P=\text{const}$  ва мувозанатга фақат ҳарорат таъсир этади,  $\Pi=1$ ) Система вариантсиз  $C=1+1-2=0$ , яъни фазалар сонини ўзгартирмай туриб ҳароратни ўзгартириб бўлмайди.

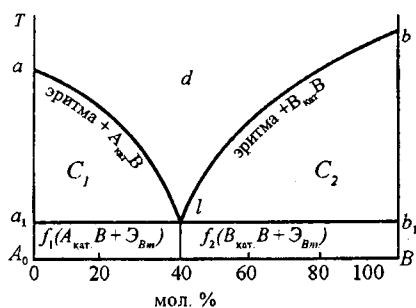
Нуқта «е» — эвтектик нуқта — эвтектиканинг, яъни қаттиқ ва суюқ ҳолатларда доимий таркибга (60% А моддалари ва 40% В моддалари) эга бўлган аралашма ҳароратига мувофиқ келади. Бунда икки қисмли система ҳам вариантсиз:  $C=2+1=0$ . «d» области— $C=2+1-1=2$  бўлган А ҳамда В моддаларининг бир хилдаги суюқ эритмаси, яъни ҳароратни ва концентрацияни янги фаза ҳосил бўлишига йўл қўймасдан ўзгартириш мумкин.

«а е в» чизиғи қаттиқ фаза ҳосил бўлиши (йўқолиши); «е в» чизиғи В моддаларининг кристалга айланишининг бошланиши ёки эришнинг тугалланиши  $C=2+1-2=1$ ;

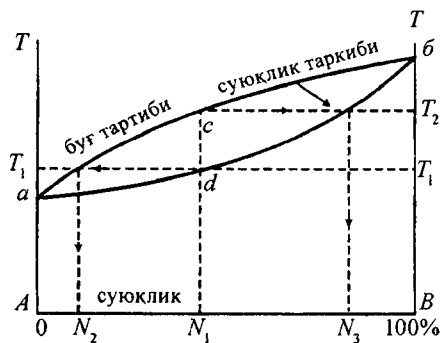
«С<sub>1</sub>» области—(А + В) эритмасида А моддаларининг кристалланиши (эриши), С<sub>2</sub> области — В моддаларининг кристалланиши (эриши)  $C=2+1-2=1$ ;

«а<sub>1</sub> в<sub>1</sub>» чизиғи—А ва В кристаллари эвтектик аралашмаси тизимининг бутунлай қотиши (ёки эриши);

«е»—нуқта икки суюқлик аралашмасининг қайнаш нуқтасига тўғри келади.



1-расм. Икки ўзаро эримайдиган компонентлар учун эриш (кристалларга айланиш) диаграммаси.



2-расм. Бир-бирида чексиз эрийдиган, Қ-С системасида гомоген ва суюқ, қаттиқ эритмалар ва шунга мувофиқ тарзда С-Қ системасига гомоген фазалар ҳосил қилувчи А ҳамда В моддалари учун диаграмма

Ана шу диаграмманинг ўзи (Қ-С учун С-Г ҳолати учун, яъни икки аралашмайдиган суюқликнинг қайнаш диаграммаси сифатида ҳам қўлланиши мумкин. Енгил фазадан (Г) оғирроқ фазага (Ж) ўтиш ёки аксинча ўтиш бунда  $G-K$  системага ўхшаш кечади.

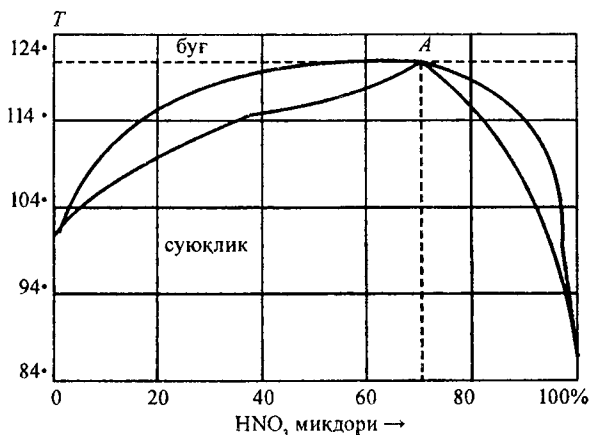
$N_1$  таркибли суюқлик ( $A = 47\%$ ,  $B = 53\%$ ),  $t_1$  ҳароратда қайнайди, бунда:  $N_2$  ( $A = 80\%$ ,  $B = 20\%$ ) таркибли буг ҳосил бўлади, суюқлик эса «В» билан бойийди ва унинг қайнаш ҳарорати «а в» эгри чизиғи бўйича кўтарилади, тегишли бугнинг таркиби ҳам ўзгаради. Суюқликнинг бугланиши  $t_2$  да ва  $N_3$  ( $A = 14\%$ ,  $B = 86\%$ ) таркибда тугайди.

Буглар таркибини аниқлаш учун ҳайдашда Ле-Шателье принциpidан фойдаланилади, у Коновалов қонунида ўз ифодасини топади: «Буг шундай таркибий қисм билан бойийдики, уни суюқликка қўшиш суюқлик устидаги бугнинг босимини оширади».  $A$  ва  $B$  таркибий қисмлари қаттиқ эритма («а» ва «в»-соф  $A$  ва  $B$  моддаларининг эриш ҳароратлари) ҳосил қилганида Қ-С системасида ҳам шу диаграммадан баъзан фойдаланилади.

«асв» чизиқ-«ликвидус» эгри чизиғи-кристалланишнинг бошланишига (ёки эришнинг тугашига) мувофиқ келади, «а о в» чизиқ «солидус» чизиғи эса тўла қотишга (ёки эришнинг бошланишига) мувофиқ келади.

Т.А-азеотроп нукта  $68,4\%$   $HNO_3$  га тенг. Қайнаш ҳарорати- $121,9^\circ C$ .

3-компонентли система учун хос хусусиятлардан бири (масалан эриш ва қайнаш ҳарорати) таркиб функцияси сифатида Гиббс учбурчаги диаграммасини тузиш билан белгиланади.



3-расм. Азеотроп аралашма ҳосил қилувчи икки ўзапро эрувчи суюқликлар диаграммаси.

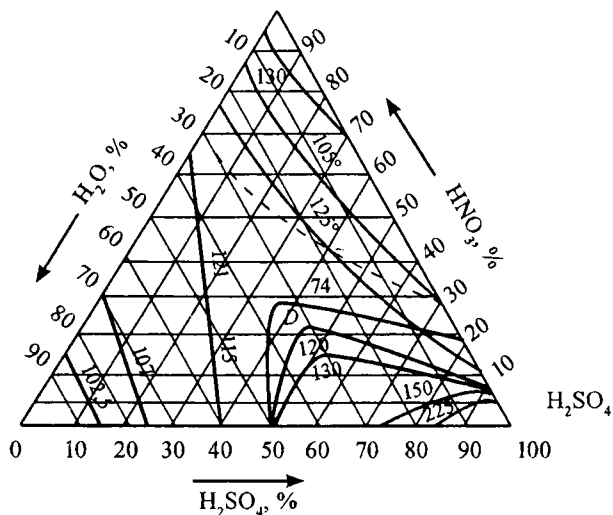
Бундай диаграмма тенг томонли учбурчак шаклида бўлиб, унинг чўққиси соф моддаларга мувофиқ келади:

Масалан:  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--HNO}_3\text{--H}_2\text{O}$  аралашмасининг қайнаш диаграммаси кенг қўлланади.

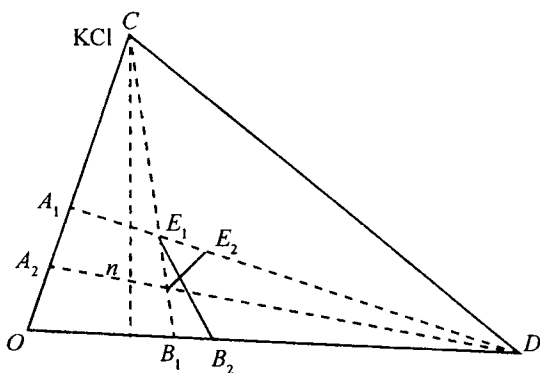
«D» нуқтада:  $\text{HNO}_3\text{--}26\%$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--}40\%$ ,  $\text{H}_2\text{O--}34\%$  таркибли эритма  $125^\circ\text{C}$  ҳароратда қайнайди.

Баъзан ўзаро эрувчан моддалар диаграммалари мураккаблашади. Масалан:  $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{O}$  диаграммасида буғ таркиби чизиги (юқори) энг юқори бўлади, суюқлик таркиби чизиги эса энг юқори даражада кесишувчи икки тармоқдан иборат бўлади. Ҳарорат максимумига мувофиқ келувчи моддаларнинг азеотроп аралашмаси буғ ва суюқликнинг таркиби айнан бир хил бўлади. Бу Коноваловнинг иккинчи қонунида ўз ифодасини топган: «Суюқлик таркиби ўзгаришсиз ҳолда ҳайдалади». Бундай диаграммалар гуёки икки оддий диаграммадан таркиб топгандек.

Бу диаграмма тенг ёнли тўғри бурчакли учбурчак тарзида ифодаланган. «C» чўққисида  $\text{KCl}$  нинг соф тузи, «D» чўққисида эса  $\text{--NaCl}$ ,  $\text{A}_1\text{E}_1\text{B}_1$  ва  $\text{A}_2\text{E}_2\text{B}_2$ —икки тузнинг сувда биргаликда эриши изотермаси.



4-расм. Учта ўзаро эрувчан сууюкликлар ( $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$ ) диаграммаси.



5-расм. Икки тузнинг сувда ўзаро эрувчанлиги диаграммаси ( $\text{KCl-NaCl-H}_2\text{O}$  системаси)  $A_1E_1B_1-100^\circ\text{C}$ ;  $A_2E_2B_2-25^\circ\text{C}$ ;  $A_2E_2C$ —KCl кристалланиш майдони;  $B_2E_2D$ —NaCl кристалланиш майдони; E— иккиланган эвтоник нукта;  $A_1E_1$ —KCl эритмасининг тўйиниши;  $A_2E_2$ — KCl эритмасининг тўйиниши;  $B_1E_1$ — NaCl эритмасининг тўйиниши;  $B_2E_2$ — NaCl эритмасининг тўйиниши.



Диаграмма ҳар иккала тузнинг сувда турлича эришига ҳамда ҳарорат ўзгариши билан ана шу эрувчанликнинг ўзгаришига асосланган галурик усул воситасида силвинитни ажратишда (KCl, NaCl) амалий ҳисоб-китоблар учун қўлланади.

### Тақсимлаш қонуни

Бу қонун муайян ҳароратда системанинг икки фазасидаги моддалар концентрацияси ўртасидаги нисбатни белгилайди.

Г–С системаси учун—Генри қонуни (хусусий ҳол):

$$P = \Psi X$$

бу ерда:  $P$ —газда ютилаётган компонентнинг мувозанат ҳолатидаги парциал босими,  $X$ —компонентнинг суюқликдаги мувозанат эрувчанлиги, моляр улушида;  $\Psi$  — Генри константаси, босим ўлчамига эга. «Газда ютиладиган таркибий қисмнинг парциал босими унинг эритмадаги моляр улушига ( $x$ ) мутаносибдир» ёки Раул қонунига кўра: «Соф эритувчи бўғининг эритма устидаги босими ҳар вақт соф эритувчи буғи босимидан кам бўлади».

$$P_1 = P_1^0 \cdot N_1$$

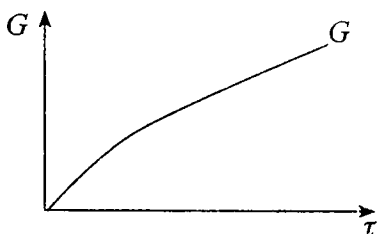
бу ерда:  $P_1^0$  — соф эритувчи тўйинган буғининг босими;  $P_1$  — соф эритувчи тўйинган буғининг эритма устидаги босими;  $N_1$  — эритувчи граммoleкула улуши;  $N_2$  — эриган модданинг граммoleкула улуши.

$$(P_1^0 - P_1) = P_1^0 \cdot N_2$$

### Технологик жараёнлар тезлиги

Технологик жараён тезлиги тўғри, тескари ва қўшимча реакциялар, шунингдек дастлабки моддаларнинг реакция майдонига диффузияланиши ҳамда реакция майдонидан маҳсулотларнинг диффузияланишининг умумий тезликлари микдори йиғиндисидир.

Одатда, дастлабки моддалар концентрацияси камайгани сайин реакциянинг умумий тезлиги камайиши туфайли кўзда тутилган кўрсаткичга эришилмайди:



6-расм. Маҳсулот миқдори ( $G$ )нинг вақт ( $\tau$ ) бўйича ўзгариши.

$$U = \bar{U}_1 - \bar{U}_2$$

Изоляцияланган системада массалар таъсири қонунига мувофиқ олинган маҳсулот миқдори ( $G$ ) юқорига йўналган логарифмик эри чизик бўйича ўзгаради:

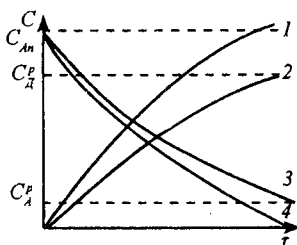
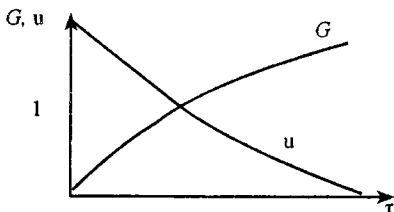
### Жараён тезлигининг асосий формулалари

Кўп ҳолларда умумий тезликни  $\frac{dG}{d\tau}$  маҳсулот миқдорининг вақт « $t$ » бўйича кўпайиши, ўлчами (кг/соат) ва аппаратнинг иш унумдорлиги тарзида тасаввур этиш қулай.

Гомоген муҳит учун тезликни маҳсулот концентрациясининг вақтга қараб ортиши орқали ифодаласа бўлади:

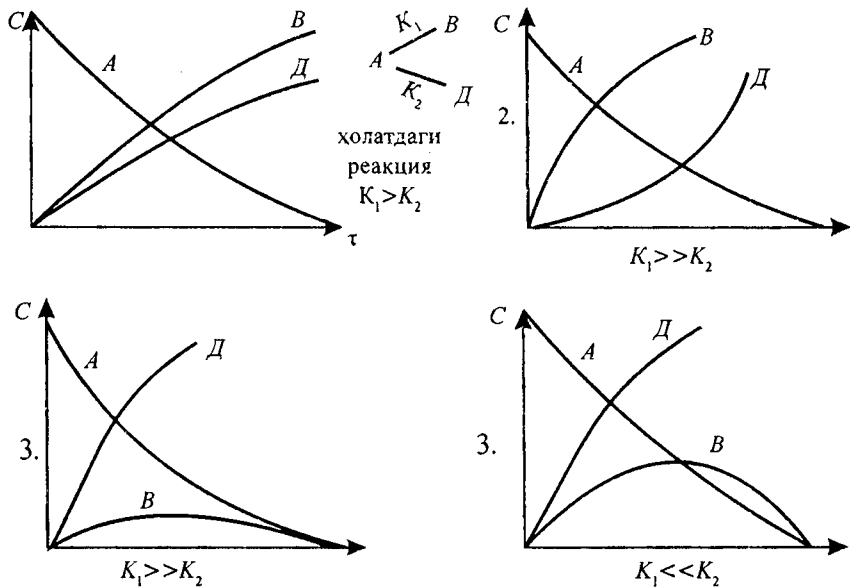
$$U = \frac{dC_n}{d\tau}$$

Бундай ифода шуниси билан қулайки, у аппарат ўлчамига боғлиқ эмас, зеро  $C_n$  реактор ҳар қандай ҳажмда бўлганида ҳам ўзгаришсиз қолади. Концентрацияни кг/м<sup>3</sup> орқали ифодалаб, тезлик ўлчами кг/м<sup>3</sup> · с қилиб олинади (интенсивликка ўхшаш).



7-расм. Массалар таъсири қонуни бўйича қайтмас жараён кинетикаси ( $P, T = \text{const}$ ):

1 – қайтмас реакция учун маҳсулот концентрациясининг кўпайиши, 2 – қайтар реакция учун маҳсулот концентрациясининг кўпайиши ( $U = \bar{U}_1 - \bar{U}_2$  қайтар жараён);  $A \rightarrow D$  тарзидаги реакция (сикиб чикариш реакторида) 3 – қайтар жараёнда дастлабки реагент концентрациясининг камайиши; 4 – қайтмас жараёнда дастлабки реагент концентрациясининг камайиши.



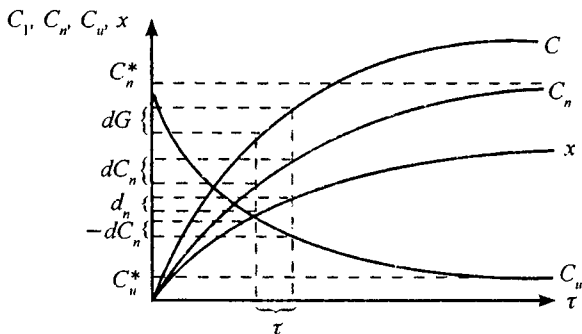
8-расм.  $A \xrightarrow{K_1} B \xrightarrow{K_2} D$  холатидаги изчил кайтмас реакцияларда концентрацияларнинг ўзгариши.

Кўпинча тезликни  $U = \frac{dx}{d\tau}$  маҳсулот миқдорини вақт бўйича ўзгариши тарзида ифода этилади. Бу ҳолда у соат<sup>1</sup> орқали ўлчанади.

Сиқиб чиқариш режимидаги реакторлар учун ва маҳсулот миқдори ( $G$ )нинг вақт мобайнидаги, маҳсулот концентрацияси ( $C_n$ ), дастлабки модда концентрацияси ( $C_{\text{даст}}$ ) ва чиқишининг ( $x$ ) ўзгаришлари эгри чизиқлар билан ифодаланадиган даврий реакторлар учун:

$$U = \frac{dG}{d\tau}; U = -\frac{dC_u}{d\tau}; U = \frac{dC_n}{d\tau}; U = \frac{dx}{d\tau}$$

Оқар реакторларда  $\tau = \frac{V_p}{V_c}$ , бунда  $V_p$ —реактор ҳажми ( $\text{м}^3$ );  $V_c$ —реакцияда иштирок этувчи аралашма сарфи ( $\text{м}^3/\text{соат}$ ). Шунга мувофиқ тезлик учун ифодаларни қуйидагича ёзиш мумкин:



9-расм. Тайёр маҳсулот миқдорининг ( $G$ ), маҳсулот концентрацияси ( $C_n$ ) чиқишининг ( $x$ ) ва дастлабки реагент концентрациясининг ( $C_u$ ) вақт мобайнида ўзгариши.

$$U = Vc \frac{dG}{dVp}; U = -Vc \cdot \frac{dC_u}{dVp}; U = Vc \cdot \frac{dC_n}{dVp}; U = Vc \frac{dx}{dVp}$$

Амалга ошган жараёнда  $Vc$  тушириб қолдирилади. Реакторнинг доимий кесимида агар чизиқли тезлик ( $W$ ) доимий, яъни:  $\tau = \frac{H}{W}$  бўлса, вақт реакторнинг баладлигига (узунлигига ( $H$ )) мутаносиб бўлади. Бунда жараён тезлиги:  $U = W \cdot \frac{dG}{d\tau}$ ;  $U = W \cdot \frac{dC_n}{d\tau}$  ва ҳоказо бўлади. Кўчмас (барқарор) маромда « $W$ » тушириб қолдирилади. Маҳсулот миқдори вақт бўйича орта бориши билан ифодаланувчи жараён тезлиги куйидагича аниқланади:

$$U = \frac{dG}{d\tau} = K \cdot Vp \cdot \Delta C, \text{ ёки реакция ҳажми бирлиги учун:}$$

$$U = \frac{1}{Vp} \cdot \frac{dG}{d\tau} = K \cdot \Delta C \cdot Vp$$

бунда:  $\tau$ —(сек, соат);  $G$ —[кГ];  $\Delta C$ —[кГ/м<sup>3</sup>];  $K$ —сек<sup>-1</sup>, соат<sup>-1</sup>;  $Vp$ —[м<sup>3</sup>];  $C_n$ —[кГ/м<sup>3</sup>].

Гетероген жараёнлар учун:

$$U = \frac{dG}{d\tau} = K \cdot F \cdot \Delta C$$

бунда:  $F$ —фазаларнинг туташув юзаси,  $K$ —масса алмашиш константаси (тезлик константаси).

Аралаштириш реакторларидаги жараёнлар учун (идеал ёки тўлиқ аралаштириш режимига яқин):

$$U = \frac{G}{\tau}; \quad U = \frac{Cn}{\tau}; \quad U = -\frac{Cu}{\tau}; \quad U = \frac{X}{\tau}; \quad U = Vc \frac{G}{Vp}; \quad U = Vc \frac{Cu}{Vp}$$

ва ҳоказо.

Бу ҳолда жараён тезлигининг тўлиқ тенгламаси

$$U = \frac{G}{\tau} = K \cdot Vp \cdot \Delta C_k; \quad U = \frac{X}{\tau} = K \Delta C_k \text{ ва ҳоказо,}$$

бунда:  $K$ —тезлик константаси (ёки гетероген жараёнлар учун масса алмашиш константаси),  $\Delta C$ —жараённи ҳаракатлантирувчи куч.

Гомоген ва гетероген жараёнлар учун қуйидаги тенглик қўлланади:

$$U = \frac{dc}{d\tau} = \underline{K \cdot Vp \cdot \Delta C_k}$$

бунда:  $K$ —тезлик константаси (ёки масса алмашиш коэффиенти),  $\Delta C_k$ —жараённи ҳаракатлантирувчи куч,  $Vp$ —реакция учун сарфланадиган ҳажм.

Жараён тезлиги константаси мураккаб миқдордир;

$$K = f(K_1, K_2, K_n^1, K_n^n, \dots, D_1, D_2, \dots, D_1^1, D_2^1, \dots)$$

Бундан ташқари, « $K$ » аппарат конструктив параметрларига ва унинг иш режимига боғлиқ.

Реакцияга киришувчи компонентлар яхши аралаштирилганда, гомоген жараёнларда диффузия рол ўйнамайди, яъни жараён кинетик соҳада кетади:

$$K = f(K_1, K_2, K_n^1, K_n^{11}, \dots)$$

Гетероген жараёнлар учун эса кўпинча диффузия асосий рол ўйнайди:

$K = f(D_1, D_2, D_1^1, D_2^1, \dots)$ . Кинетик соҳада кетадиган қайтмас жараёнлар учун:

$$K = K_1$$

бунда:  $f$ –реакцияга киришувчи моддаларнинг туташув юзаси бўлиб, гетерогент системада жараённинг гидродинамик шароитлари билан аникланади. Кўпинча уни аниклаш жуда мушкул, хатто мумкин ҳам эмас. Бу ҳолларда ҳисобларда шартли миқдорлардан, масалан аппарат кесими майдони, унинг барча тоқчаларининг майдони, суюқлик билан ювилиб турадиган насадка юзаси ва ҳоказолардан фойдаланилади.

Аралашув суи молекуляр диффузиянинг турбулент диффузия (конвенция) билан алмашинуви ҳисобига ҳам юзанинг кенгайишига, ҳам жараён тезлиги константасининг ортишига олиб келиши мумкин. Агар ўзаро таъсир кўрсатувчи фазалар юзасини аниклаш қийин бўлса, у ҳолда ҳисоб реакцион ҳажм бирлигида бажарилади ( $Vp$ ) ва бунда,  $\Delta C$  – жараённинг ҳаракатлантирувчи кучидир.

Гомоген жараёнлар учун тезлик муайян вақт реакцияда иштирок этаётган моддалар моляр концентрациясининг ҳосиласи сифатида массалар таъсири қонуни бўйича белгиланади:  $mA + nB = pD$

$$U = \frac{dG_D}{dt} = K \cdot \Delta C = K \frac{C_A^m C_B^n}{A_{\Delta C}}$$

Агар реакция қайтар бўлиб  $Kp$  мувозанат константаси катта миқдорини кўрсатса, бунда дастлабки моддалар турғун концентрацияларини ҳисобга олган ҳолда якуний реакция тезлигини қайд этиш мумкин:

$$U = \frac{dG_D}{dt} = K \cdot \Delta C = K \frac{(C_A - C_A^*)^m (C_B - C_B^*)^n}{\Delta C}$$

Шундай шароит учун реакциянинг умумий тезлигини тўғри ва тескари кетувчи реакция тезликларининг айримаси орқали ифодалаш мумкин:

$$U = U_1 - U_2 = \frac{dG_D}{dt} = K_1 C_A^m C_B^n - K_2 C_D^p$$

Умумий ҳолда дастлабки моддалардан бири бўйича хусусий ҳаракатлантирувчи кучни шу модда ҳақиқий (жорий) концентрацияси билан унинг реакция тартибига мувофиқ келувчи даража-

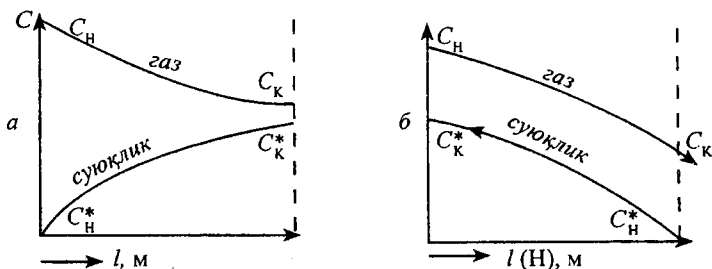
даги мувозанатли концентрациясининг тафовути сифатида тасав-  
вур этиш мумкин:

$$\Delta C = (C_D - C^*)''$$

Масса алмашиниш учун айна вақтдаги ҳарактлантурувчи  
куч:

$$\Delta C = C - C^*$$

бунда:  $C$ —узатувчи фазада таркибий қисмининг жорий концентрация-  
си. Бу формулалар бўйича ўртача ҳарактлантурувчи кучни ҳисоблаб  
бўлмайди, зеро жорий концентрациялар логарифм қонунига кўра мутта-  
сил ўзгариб туради.



10-расм. Реактор узунлиги бўйича концентрациянинг ўзгариши.

$a$ —тўғри оқим —  $C_K^* < C_K$ ;  $b$ —қарши оқим —  $C_K^* > C_K$ ; бунинг маъноси шуки, қарши оқимга  
қараганда маҳсулот чиқиши кўпроқ.

$\Delta C$ —ҳарактлантурувчи куч аппаратга кириш олдида катта  
бўлиб, аппаратдан чиқиш томонга қараб камая боради ва чиқиш  
ерида нулга тенг бўлиб қолади:

$$\Delta C_{ср} = \frac{\Delta C_H - \Delta C_K}{2,3 \lg \frac{\Delta C_H}{\Delta C_K}}$$

абсорбция учун:

$$a) \text{ тўғри оқимда } \Downarrow \Delta C_{ср} = \frac{(C_H - C_K^*) - (C_K - C_K^*)}{2,3 \lg \frac{C_H - C_K^*}{C_K - C_K^*}}$$

$$b) \text{ қарши оқимда } \Uparrow \Delta C_{ср} = \frac{(C_H - C_K^*) - (C_K - C_H^*)}{2,3 \lg \frac{C_H - C_K^*}{C_K - C_H^*}}$$

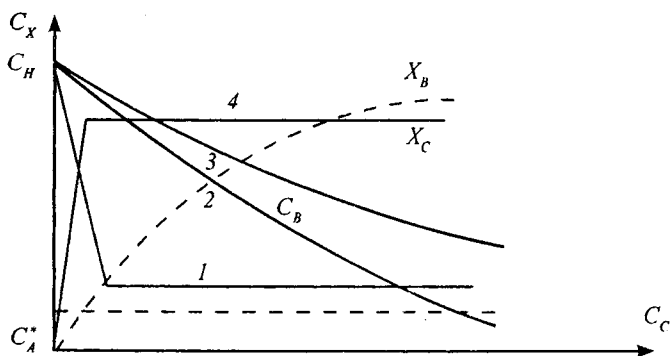
в) чорраха (кесишувчи) оқимда  $\uparrow \rightarrow$

$$\Delta C_{cp} = \frac{(C_H - C_H^*) - (C_H - C_K^*)}{2,3 \lg \frac{C_H - C_H^*}{C_H - C_K^*}} - \frac{C_H - C_K}{2}$$

Десорбцияда  $C^* > C$ , шунинг учун тавсия этилаётган формулаларда тегишли тафовутлар бўлади, яъни  $C^*C$  ( $C - C^*$  ўрнига).

Кўп босқичли муаллақ қатламли аппаратларда ҳамда барботаж колонналарда чапараста оқар ва қаршиоқар йўналишлар мавжуддир. Бу ҳолларда  $\Delta C_{cp}$  қаршиоқар оқимдагидек ҳисоблаб чиқарилади.

Даврий ишловчи аппаратларда, ҳамда мукамал сиқиб чиқарувчи оқар аппаратларда жараёнларнинг ҳаракатлантирувчи кучи масса таъсири қонунига мувофиқ жараён давомида пасаяди (логарифм эгри чизиғи бўйича). Тўла аралашув аппаратларига яқинлашадиган кучли аралашув аппаратларида жараённинг кечиши ўзгача хусусият касб этади. Бундай аппаратларда айланган маҳсулотлар, аппарат кираверишидаги реакция ҳажм бўйи (ёки узунлиги) бўйлаб кичкинагина бўлакдан ташқари бутун реакцион ҳажмда дастлабки моддалар билан буткул аралашган ҳолда бўлади. Деярли бутун ҳажм дастлабки моддалар-



11-расм.  $C_A$  концентрациянинг ўзгариши:

- 1—тўла аралашига яқин маромда; 2—кенетик областда сиқиб чиқариш маромида;  
3—диффузион областда сиқиб чиқариш маромида; 4—тўла аралашига яқин маромда  $C_B$  концентрациянинг ўзгариши.



нинг сўнги концентрациясида ( $C_{cp} = C_K$ ) ҳамда маҳсулотнинг охирги чиқишида, яъни пасайтирилган  $DC$  да (сиқиб чиқариш аппаратларидагидан паст чиқиш) ишлайди. Тўла аралашув аппаратларида қайтмас жараёнлар учун қуйидагини қабул қилиш мумкин:

$\Delta C_{cp} = \Delta C_K$ ,  $mA + nB \rightleftharpoons pD$  реакция учун  $\Delta C_K = CA_K^m \cdot CB_K^n$  бунда,  $C_{AK}$  ва  $C_{BK}$  – аппаратдан чиқиш еридан дастлабки моддалар концентрацияси.

### Жараён тезлигини ошириш усуллари

Кимёвий технологик жараёнларни жадаллаштириш йўллари таҳлили тезлик тенгламалари ёрдамида амалга оширилади, чунончи тезлик тенгламаларини ошириш учун аниқловчи  $C$ ,  $K$  ва  $F$  миқдорларини кўпайтириш усуллари топиш лозим.

#### Жараённи ҳаракатлантирувчи кучни ошириш усуллари

А) концентрацияни ошириш йўли билан – бу усул моддаларнинг агрегат ҳолатига боғлиқ (қаттиқ моддалар учун бойитиш, суюқ ва газсимон моддалар учун концентрлаш).

Б) реакция муҳитидан маҳсулотларни чиқариб юбориш йўли билан  $U_2$  ни камайтириш ҳисобига умумий тезлик оширилади  $U = U_1 - U_2$  ёки гетероген жараён учун ҳаракатлантирувчи кучни ошириш йўли:

$$\Delta C = C_p - C_g \text{ ёки } \Delta C = C_g - C_p$$

В) ҳароратни ўзгартириш йўли билан абсорбция ва десорбция жараёнларида, зеро кимёвий реакцияларда ҳарорат тезлик константасига таъсир этади.

Абсорбция учун  $\Delta C = C_g - C_p$

Агар ҳарорат пасайтирилса, бунда  $C_p$  – камаяди, бинобарин  $\Delta C$  ортади.

Десорбция учун:  $\Delta C = C_p - C_g$ .

Бунда ҳарорат ортса  $C_g$  пасаяди,  $\Delta C$  эса ортади.

Г) босимнинг ортиши жараённинг тезлигига ҳам, мувозанатга ҳам таъсир этади. Самарадорлик моддаларнинг агрегат ҳолатига боғлиқ. Энг катта таъсир  $\Gamma$ ,  $\Gamma - C$  ва  $\Gamma - K$  системаларда

кузатилади, чунки газлар қисилиши концентрациянинг ортишига олиб келади. Бу ҳодисани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$U = \frac{dP_{np}}{d\tau} = k \cdot \Delta P$$

бунда:  $P_{np}$  – газ аралашмасидаги маҳсулотнинг парциали босими,  $\Delta P$  – жараёни ҳаракатлантирувчи куч.

$mA + nB = PD$  – реакция учун, агар у қайтмас бўлса ёки мувозанат ҳолатидан узоқ бўлса:

$$\Delta P = P_A^m \cdot P_B^n$$

бунда: реакциянинг умумий тартиби  $N = m + n$  га тенг бўлади, ҳар бир таркибий қисмининг парциал босими умумий босим  $P$  мутаносибдир:

$$P_A = aP \text{ ва } P_B = bP$$

$$U = K \cdot (aP)^m \cdot (bP)^n = K \cdot a^m \cdot b^n \cdot P^m \cdot P^n = b \cdot P^{(m+n)} = \beta P^N$$

бинобарин,  $U = \frac{dP_{np}}{d\tau} = \beta \cdot P^N$

бунда:  $b - K$  ҳамда жараёни ҳаракатлантирувчи кучга боғлиқ бўлган коэффициент,  $P$  – ўлчовсиз босим.

Шундай қилиб, газ реакцияларининг тезлиги реакция тартибига тенг бўлган даражадаги босимга мутаносиб бўлади.

Абсорбция, десорбция ва конденсация учун:

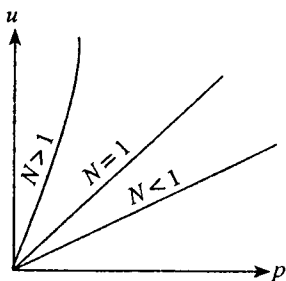
$$U = \frac{dG}{d\tau} = K \cdot F \Delta P$$

Агар жараён қайтмас ёки мувозанатдан узоқ бўлса, бунда  $\Delta P = P_1 - P_2$  – газли фазада таркибий қисмининг ҳақиқий концентрациясидир ( $N = 1$ ):

$$U = \frac{dG}{d\tau} = K_1 \cdot F \cdot P$$

Яъни, мазкур жараёнларнинг тезлиги босимга тўғри мутаносибдир.

Мувозанатга яқин газ фазасида кетувчи қайтар жараёнлар учун ( $mA + nB \rightleftharpoons PD$ ) ҳаракатлантирувчи куч



12-расм. Турлича тартибда газ реакциялари тезлигига босимнинг таъсири.

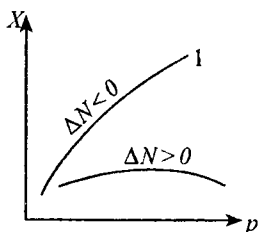
$$\Delta P = (P_a - P_a^*)^m \cdot (P_b - P_b^*)^n$$

бунда:  $P_a^*$  ва  $P_b^*$ —мувозанатли парциал босим, бунда  $K_N = K_p \cdot P^{-\Delta N}$  ( $K_N$ —мол улушларида ифодаланани), мазкур реакция учун  $\Delta N = P - -(m + n)$ . Бу формула Ле-Шателье принципини микдорий жиҳатдан ифода этади.

Маҳсулотнинг амалда чиқиши бу (ёки назарийдан чиқиш)

$G\phi - G_p$  нисбатга тенг, яъни:  $X\phi = \frac{G\phi}{G_m \cdot X_p} \cdot 100\%$  бу аппаратнинг ФИК.;  $G_p = G_m \cdot X_p$

$$X\phi = \frac{G\phi}{G_m \cdot X_p} \cdot 100\%$$



13-расм. Қайтар газ реакцияси учун чиқишнинг босимга боғликлиги.

1— $\Delta N < 0$  бўлганда; 2— $\Delta N > 0$  бўлганда

### Жараён тезлиги коэффициенти

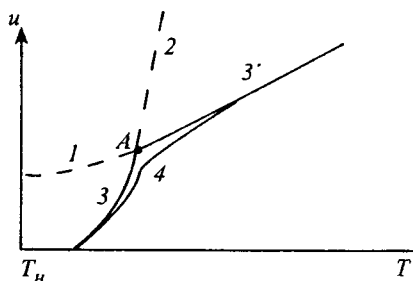
Қуйидаги ҳолатларда жараённи сушлаштирувчи (лимитловчи) босқичлар бўлиши мумкин: 1) диффузия; 2) кимёвий реакция; 3) айни бир вақтда ҳам кимёвий реакция, ҳам диффузия.

Биринчи ҳолатда кимёвий реакция тезлиги диффузия тезлигидан анча катта бўлади—жараён диффузия муҳитида (ташқи ёки ички диффузия шароитида) кечади.

Иккинчи ҳолатда кимёвий реакция тезлигига нисбатан диффузия тезлиги жуда юқори. Жараён кинетик муҳитда кечади.

Учинчи ҳолатда алоҳида босқичлар тезликлари бир-бирига яқин ва жараён ўтиш муҳитида кечади. Шуниси аёнки, жараённи тезлаштириш учун кўрсатилган тадбир воситалар қайси босқичнинг лимитловчи эканига боғлиқ. Шунинг учун лимитловчи босқични аниқлаш муҳим аҳамиятга эга.

Маълумки, ҳарорат реакциялар ҳамда диффузия тезлигини орттиради. Ҳарорат  $10^\circ\text{C}$  га ортганида реакция тезлиги 2–4



14-расм. Жараён тезлигининг хароратга боғлиқлиги.

ликлиги (Аррениус тенгламасига мувофиқ).

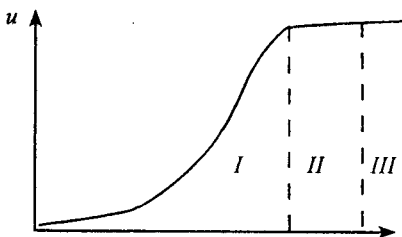
Расмда умумий тезлик 3 ва 3<sup>1</sup> икки эгри чизик бўлимида акс этган. 3-эгри чизик  $T_n$  (бошланғич) хароратдан кимёвий жараён сезиларли тезликда кетишга киришганида бошланади. 1 ва 2 эгри чизиклар кесишган A нуқтада кимёвий реакция тезлиги ҳамда диффузия тезлиги қуйидагича ифодаланади:

$$U_{\phi} = U_{xp} = U.$$

Бундан кейин  $U = U_{\phi}$  бўлади.

Жараённинг умумий тезлиги унинг энг паст тезлигидан ортиб кетмайди:  $U_{\phi} \geq U \leq U_{xp}$ .

4-эгри чизик тажриба маълумотлари бўйича тузилган. Жараённинг (гетероген) лимитловчи босқичи тажриба йўли билан белгиланиши мумкин. Чунончи, агар хароратнинг кўтарилиши жараён тезлигига кучли таъсир кўрсатса, бунда жараён кинетик соҳада кетади (I соҳа), агар хароратнинг янада ортишида унинг



15-расм. Хароратнинг тезликка таъсири.

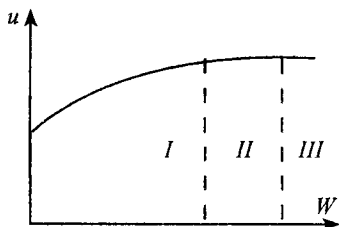
жараён тезлигига таъсири камайса, бунда жараён оралиқ областга ўтган бўлади (II соҳа). Борди-ю, хароратнинг ортишида тезлик деярли ўзгармаса, жараён диффузия соҳада кетади (III соҳа).

1-эгри чизик-дастлабки реагентнинг реакция зонасида диффузияланиш тезлиги ( $D = aT^2$ ) тенгламасига мувофиқ.

2-эгри чизик-кимёвий реакция тезлигининг хароратга боғ-

ликлари (Аррениус тенгламасига мувофиқ).

Оқим тезлигининг ўзгариши ҳам жараённинг лимитловчи



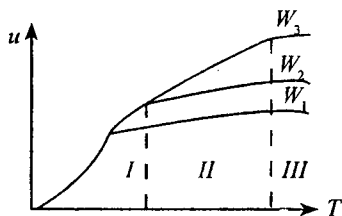
16-расм. Чизикли тезликнинг жараён тезлигига таъсири.

I диффузия соҳаси (оқим тезлигининг кучли таъсири); II ўткинчи соҳа (оқим тезлигининг таъсири катта эмас); III кинетик соҳа (оқим тезлиги таъсир этмайди).

босқичини аниқлаш имконини беради, чунки у ташқи диффузия тезлигига жиддий таъсир кўрсатади.

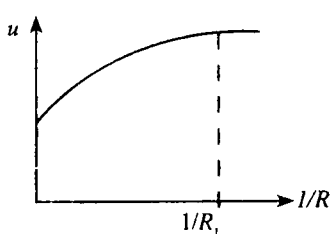
Ички диффузиянинг таъсири турлича катта-кичикликдаги доналар устида тажрибалар ўтказиш орқали аниқланади. Тажрибалар шундай ҳароратда ва оқимнинг шундай тезлигида ўтказиладики, уларнинг янада ортиши жараённинг тезлигига таъсир этмайди.

$\frac{1}{R} < \frac{1}{R_1}$  бўлганида зарралар ўлчами жараённинг умумий тезлигига таъсир этади, бинобарин бу ички диффузия соҳасидир. Ташқи диффузия ( $U\phi$ ) ҳамда кимёвий реакция ( $U\kappa p$ ) тезликларини жараённинг умумий тезлигига ўзаро таъсир характери (I-даражали қайтмас реакция учун индекс  $A_r + B_r = R_r$ ) ҳодисаси, яъни  $\Gamma + K \rightarrow \Gamma$  чегара қатлами «S» қалинлигига эга ва қатлам қалинлиги бўйича концентрациянинг ўзгариши чизикли қонун бўйича ифодаланади.

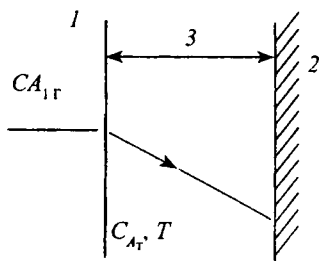


17-расм. Жараённинг умумий тезлиги ( $U$ ) ҳароратга ( $T$ ) ва оқим тезлигига боғлиқлиги.

I кинетик соҳа; II ўтиш соҳа;  
III диффузия соҳа



18-расм. Жараён умумий тезлигининг ( $U$ ) қаттиқ реагент зарралари радиусига ( $R$ ) боғлиқлиги.



1-газ, 2-каттик реагент,  
3-газнинг чегара қатлами.

Юза бирлигига айлантирилган  
диффузион кўчириш тезлиги:

$$U_{\phi} = -D \frac{\Delta C}{S}$$

бунда:  $S$  - чегарадаги газ қатлами қалинлиги;  $\Delta C$  - жараёни ҳаракатлантувчи куч  $-C_{A,Г} - C_{A,Т}$ ;  $C_{A,Г}$  - газ ҳажмидаги  $A$ ;  $C_{A,Т}$  - каттик юзадаги  $A$  реагентнинг концентрацияси.

$$U_{\phi} = -\frac{D}{S} (C_{A,Г} - C_{A,Т}) = \beta_{Г} (C_{A,Г} - C_{A,Т})$$

$\frac{D}{S} = \beta_{Г}$  - юза бирлигига айлантирилган газ муҳитида масса алмашиниш

Тезлик коэффициентни. Кимёвий ўзаро таъсир тезлиги:

$$U_{kp} = -K_{Г} \cdot C_{A,Г}$$

бунда:  $K_{Г}$  - барқарор жараёндаги  $U_{\phi} = U_{kp}$  реакция тезлиги константаси.

$$U_{\phi} = U_{xp} = -\beta_{Г} (C_{A,Г} - C_{A,Т}) = -K_{Г} C_{A,Т}$$

бундан:  $C_{A,Т} = \frac{\beta_{Г}}{\beta_{Г} + K_{Г}} \cdot C_{A,Г}$

Бу қийматни олдинги тенгламага қўямиз:

$$U_{\phi} = U_{xp} = -K_{Г} \cdot C_{A,Т} = -K_{Г} \cdot \frac{\beta_{Г}}{\beta_{Г} + K_{Г}} \cdot C_{A,Г} = -\frac{1}{1/K_{Г} + \frac{1}{\beta_{Г}}} C_{A,Г}$$

Лекин, реакция зонасида  $A$  реагентнинг концентрациясини  $C_{A,Г}$  аниқлашни имкони йўқ, бинобарин  $\Delta C = C_{A,Г} - C_{A,Т}$  ни ҳам аниқлаб бўлмайди. Шунинг учун  $X$  жараён тезлигининг умумий коэффициентини асосан газ оқимида  $A, Г$ , яъни газ чегара қатлами худудидаги дастлабки реагентга концентрация нисбати сифатида киритдик.

Бундан қуйидаги тенглик келиб чиқади:

$$-K = \frac{U_{xp}}{C_{A,Г}} = \frac{U_{\phi}}{C_{A,Г}}$$

лекин,  $K = \frac{1}{1/K_T + 1/\beta_T}$  ёки  $\frac{1}{K} = \frac{1}{K} + \frac{1}{\beta_T}$

бу ерда:  $1/K_T$  – кимёвий қаршилик,  $1/\beta_T$  – диффузиявий – қаршилик.

Агар  $K_T \gg \beta_T$  бўлса,  $\frac{1}{K} = \frac{1}{\beta_T}$ , яъни  $K = \beta_T$  – жараённинг умумий тезлиги диффузия тезлиги билан белгиланади, газ чегара қатламини камайтириш йўли билан « $\beta$ »ни орттириш мумкин. Бунинг учун газ окимининг тезлигини ошириш ёки турбулентлиқни кучайтириш керак.

Агар  $K_T \ll \beta_T$  бўлса, у ҳолда  $K \gg K_T$ .

Бу ҳолда жараён тезлигини ошириш учун ҳарорат оширилиб, катализаторлар ишлатилади.

### Жараён тезлиги доимийлиги (константаси)нинг ортиши (масса сарфлаш коэффициенти)

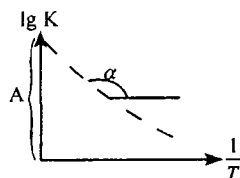
Бу нарсани асосан учта усул билан амалга ошириш мумкин:

- 1) ҳароратни ошириш йўли билан;
- 2) катализаторлар қўллаш йўли билан;
- 3) аралаштиришнинг кучайтирилиши йўли билан (системани турбулентлаш).

1. Ҳароратни ошириш реакция тезлиги константасининг анчагина ортишига, ҳамда диффузия коэффициентининг камроқ ошишига олиб келади.

Жараён тезлиги константаси тўғри ва тескари реакциялар, кўшимча реакциялар тезликлари, шунингдек диффузия эффекти константаларининг йиғинди миқдори ҳисобланади. У ҳарорат ортгани сайин маълум даражагача кўпаяди, сўнгра тескари ва кўшимча реакциялар тезлиги жиддий таъсир кўрсата бошлайди. Кинетик соҳа кетадиган жараёнларнинг аксарияти учун тезлик константасининг ҳароратга боғлиқлиги Аррениусс тенгламаси билан аниқланади.

$$R = 0,848 \text{ кжм/мол.град. } 8,3 \text{ дж/мол.град.}$$



19-расм.  $\lg K$  нинг тескари ҳароратга боғлиқлиги.

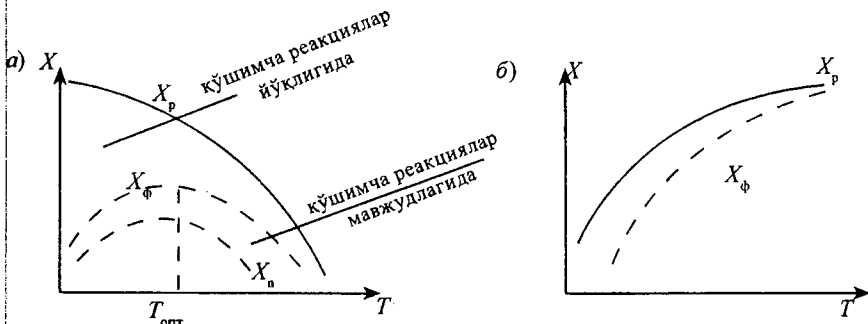
ёки

$$\lg K = \lg K_0 - \frac{E}{2,3RT} \quad (\text{ёки } K = A - \frac{B}{T})$$

бунда:  $K$ —муайян ҳароратдаги тезлик константаси;  $K_0$ —бошланғич ҳароратда тезлик константаси;  $E$ —фаолланиш энергияси;  $T$ —мутлак ҳарорат, °К;  $R$ —универсал газ доимийси.

Тенгламадан кўриниб турибдики, тўғри реакция тезлиги ҳар вақт ортаверади. Бироқ бунда реакциянинг иссиқлик эффектини ҳам ҳисобга олиш керак. Қайтар реакциялар учун:

а) экзотермик реакция учун б) эндотермик реакция учун



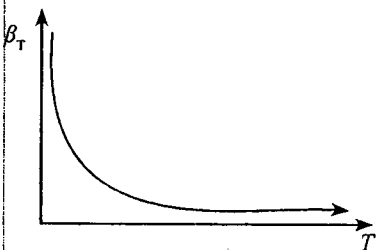
20-расм. Маҳсулот чиқилишининг ҳароратга боғлиқлиги.

а) экзотермик; б) эндотермик

Муайян шароитлар учун технологик мақбул ҳароратда энг катта тезлик  $U = \bar{U}_1 - \bar{U}_2$

Вант-Гоффнинг эмпирик қойидаси: Система ҳарорати  $10^\circ$  даражага ортганида реакция тезлиги 2–4 хисса кучаяди.

Диффузиянинг ҳароратга боғлиқлиги:



21-расм.  $\beta_T$ -нинг ҳароратга боғлиқлиги.

$$\beta_T = \frac{K_T + 10}{K_T} = 2 \div 4;$$

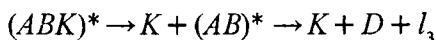
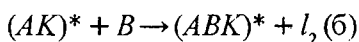
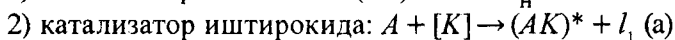
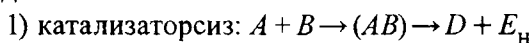
$\beta_D = \frac{D_T + 10}{D_T} = 1,1 \div 1,5$  реакция тезлигининг ҳарорат коэффиценти.



**2. Катализаторларни қўллаш.** Катализаторлар кимёвий реакцияда иштирок этувчи ва унинг тезлигини ўзгартирувчи, лекин шу реакция жараёнида сарфланмайдиган ва мазкур жараён ўтиб бўлганидан кейин ўзгармас ҳолда қоладиган моддалардир.

Катализатор юқори фаолланиш энергиясини талаб қилувчи бир босқич жараёни, ҳар бир мунтазам босқичда кам микдорда фаолланиш энергияси талаб қиладиган кўп босқичли жараёнга алмаштириш йўли билан кимёвий реакцияларни жадаллаштиради.

Диффузия жараёнларига катализаторлар таъсир кўрсатмайди.



бунда:  $E_H$ —катализаторсиз фаолланиш энергияси;  $E_K$ —катализатор иштирокидаги фаолланиш энергияси;  $I_1, I_2, I_3$ , микдори  $E_H$  га нисбатан анча камаюди. Шундай қилиб, катализатор фаолланиш энергиясининг микдорини камайтирар экан.

**3. Аралаштириш.** Молекуляр диффузияларни конвектив диффузия билан алмаштириш оқибатида аралаштириш масса алмашиниш коэффициентини ёки жараён тезлиги константасини оширади. Бинобарин, диффузия жараёнлари учун умумий тезлик константаси « $K$ » диффузия коэффициентлрига « $D$ » боғлиқ бўлмай қолади, яъни бутун жараён диффузия областидан кинетик областга ўтгунига қадар кучли аралаштириш усулини қўллаш мақсадга мувофиқ.

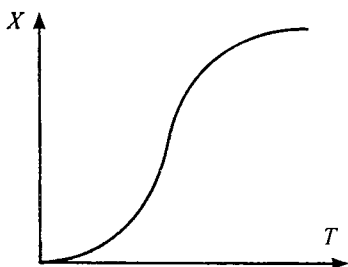
Гетероген жараёнларда кучли аралаштириш айни вақтда туташув юзасининг ортишига ҳам олиб келади.

Фазаларнинг туташув юзаларини оширишга турли йўллар билан эришилади:

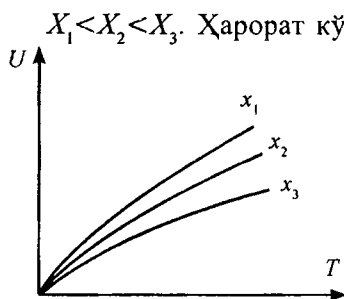
1. Қаттиқ материалларни майдалаш (дисперсликни ошириш);

2. Деярли барча юзани, газ ёхуд суюқлик оқими билан ювиладиган шароит яратиш:

- а) аралаштиргич билан аралаштириш;
  - б) газ (суюқлик) оқимида майдаланган материални аралаштириш;
  - в) қаттиқ материалнинг ҳаракатсиз қатлами орқали газ (ёки) суюқлик ўтказиш;
  - г) қайновчи қатламда аралаштириш;
  - д) ҳаракатланувчи қатлам жорий қилиш;
- Г-С системаси учун:
- а) насадка қўллаш;
  - б) форсунка ёрдамида суюқлик сачратиш (пуркаб бериш);
  - в) барботаж-суюқлик қатлами орқали газ ўтказиш.



22-расм. Чикишнинг ҳароратга боғлиқлиги.

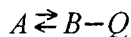


23-расм. Жараён тезлигининг ҳароратга боғлиқлиги.

Оддий қайтмас реакция учун  $A \rightarrow B \pm Q$ .

Паст ҳароратда жараён тезлиги кичик бўлади, ҳарорат орта боргани сайин эса жараён илдамлашади, лекин  $X_A$  ортиши билан реакция тезлигининг суръати пасаяди.

Оддий қайтар эндотермик реакция учун:

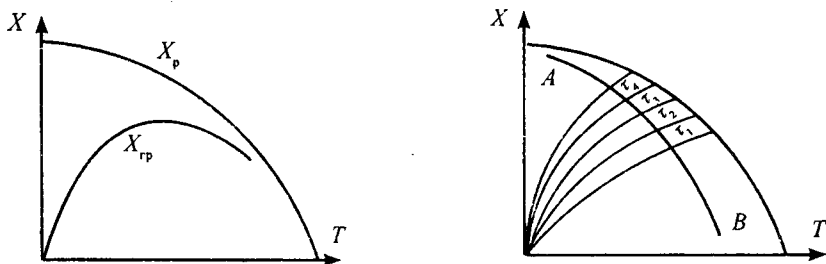


$X_1 < X_2 < X_3$ . Ҳарорат кўтарилса боргани сайин  $e^{\frac{-E}{RT}}$  ва  $K_c$  ортади,  $X_A$  кўтарилиши билан тезлик пасаяди.

Оддий қайтар эндотермик реакция учун:

$A \rightleftharpoons B + Q \quad \tau_1 < \tau_2 < \tau_3 < \tau_4 < \tau_5$   
 $AB$  чизиғи—оптимал ҳарорат чизиғи (ОХЧ)

$$U = \frac{dC}{dt} = K \cdot C. \text{ лекин } K = K_0 e^{\frac{-E}{RT}}$$



24-расм. Чиқишнинг ҳароратга боғлиқлиги.

бунда:

$$U = K_0 e^{\frac{-E}{RT}} c^n$$

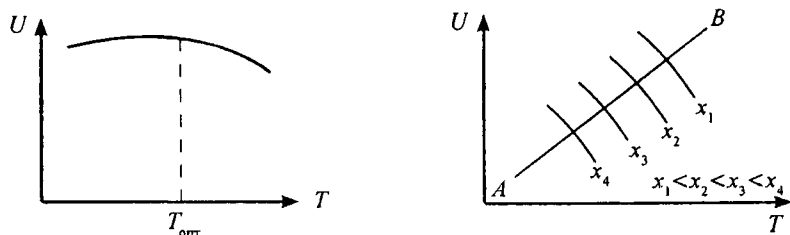
$A \rightleftharpoons B + Q$  реакция учун

$$U = U_1 - U_2 = K_1 C_A - K_2 C_B.$$

лекин  $C_A = C_{AO} (1 - X_A)$ ;  $C_B = C_{AO} X_A$ ;  $K_2 = \frac{K_1}{K_c}$

$$U = K_1 C_{AO} (1 - X_A) - \frac{K_1}{K_c} C_{AO} X_A = K_0 C_{AO} e^{\frac{-E}{RT}} \left[ 1 - X_A \left( 1 + \frac{1}{K_c} \right) \right]$$

$X_A$  доимий бўлганида ҳарорат кўтарилиши билан умумий тезлик бир томондан  $e^{\frac{-E}{RT}}$  ортиши ҳисобига кучайиши лозим, чунки экзотермик реакция учун ҳарорат ортгани сайин константа камаяди, (бинобарин  $\frac{1}{K_c}$  аъзо ортади, квадрат қавсларда кўпайтиргичлар камаяди). Шу сабабли аввал ҳарорат ортиши билан тезлик ортади ва энг юқори даражага етади, кейин пасаяди.



25-расм. Тезлиқнинг ҳароратга боғлиқлиги.

Юқоридаги тенгламадан маълумки,  $X_A$  ортганида реакциянинг умумий тезлиги пасаяди.  $AB$  чизиғи максимумларни бирлаштириб энг макбул (оптимал) ҳароратлар чизиғини (ОХЧ) кесиб ўтади.

### Параллел реакциялар

$$\begin{array}{l}
 A \begin{cases} \xrightarrow{K_1 E_1^{n_1}} B \\ \xrightarrow{K_2 E_2^{n_2}} C \end{cases} \\
 \varphi = \frac{N_B}{N_B + N_C} = \frac{U_B}{U_B + U_C} = \frac{\frac{U_B}{U_C}}{\frac{U_B}{U_C} + 1} = f\left(\frac{U_B}{U_C}\right) \\
 \varphi_B = f\left(\frac{U_B}{U_C}\right) = f\left(\frac{K_1 \cdot C_A^{n_1}}{K_2 \cdot C_A^{n_2}}\right) = f\left[\frac{K_0^1 e^{\frac{-E_1}{RT}} \cdot C_A^{n_1 - n_2}}{K_0^2 e^{\frac{-E_2}{RT}}}\right] = f\left[\frac{K_0^1}{K_0^2} \cdot e^{\frac{E_2 - E_1}{2T}} \cdot C_A^{n_1 - n_2}\right]
 \end{array}$$

бу ерда:  $\varphi_B$  – мақсадли маҳсулот бўйича селективлик.  $T$  дан ташқари барча миқдорлар доимийдир, бинобарин селективлик ҳароратга боғлиқ.  $E_1 - E_2$  тафовутига боғлиқ равишда ҳароратнинг селективликка таъсири ижобий, ҳам салбий бўлиши мумкин.

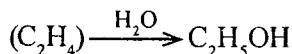
### КАТАЛИТИК ЖАРАЁНЛАР

Катализ—кимёвий реакцияларни тезлаштиришнинг энг самарали воситасидир. У кимё сансатида кенг тарқалган. Катализ қуйидаги жараёнлар учун кенг қўламда қўлланилади:

1) оксидлаш жараёнлари:  $(\text{NH}_3 \xrightarrow{\text{O}_2} \text{NO}_2 \quad \text{SO}_2 \xrightarrow{\text{O}_2} \text{SO}_3)$  ва ҳоказо.

2) Водород билан ишлаш жараёнлари:  $(\text{N}_2 \xrightarrow{\text{H}_2} \text{NH}_3)$

Гидратация, дегидратация, гидролиз жараёнлари



1) Крекинг, полимерлаш:  $(\text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4)$   $[\text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow (\text{C}_2\text{H}_4)_n - n]$  ва бошқалар.

Катализ—жараёнда иштирок этиб, у тугаганидан сўнг кимёвий жиҳатдан ўзгаришсиз қоладиган моддалар (катализатор) таъсири остида кимёвий реакция тезлигининг ўзгариши (ёки уларнинг қўзғатилиши) жараёнидир.

Реагентлар ҳамда катализаторларнинг фазовий ҳолати бўйича каталитик жараёнлар икки гуруҳга: гомоген ва гетероген туркумларга бўлинади.

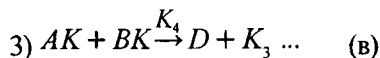
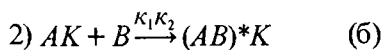
Гомоген катализда катализатор ҳамда реагентлар бир фазада-газ ёки суюқ ҳолатда бўлади. Гетероген катализда эса турли фазаларда бўлади. Бундан ташқари, микрогетероген катализ ҳам мавжуд, бунда катализатор суюқ муҳитда коллоид ҳолатда (гомоген ҳамда гетероген турлари оралиғидаги оралиқ ҳолатда) ҳам кузатилади. Катализ ҳодисаси мусбат ва манфий бўлиши мумкин.

Мусбат катализ-реакциянинг тезлашишини таъминлайди, манфий катализ эса реакцияни секинлаштиради. Катализатор мувозанатни йўқотмайди, балки унга эришишни осонлаштиради. У ҳам тўғри, ҳам тесқари реакцияни тезлатиши мумкин. Таъсирни тезлатувчи катализаторнинг моҳияти фаолланиш энергиясининг пасайишидандир. Катализаторлар иштирокида жараёнларнинг тезлашиши оралиқ маҳсулот ҳосил бўлиши натижасида фаолланиш энергиясининг пасайиши ҳисобига рўй беради.

Фараз қилайлик, нокаталитик биомолекуляр реакция қуйидаги схема бўйича кечади:



K-катализатор иштирокида реакция уч босқичда кетади:



бунда:  $K_1, K_2, K_3, K_4$  – реакция тезликлари константалари.

Кимёвий реакциялар тезлиги Аррениус тенгламасига  $\left( K = K_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT}} \right)$  бўйсунади.

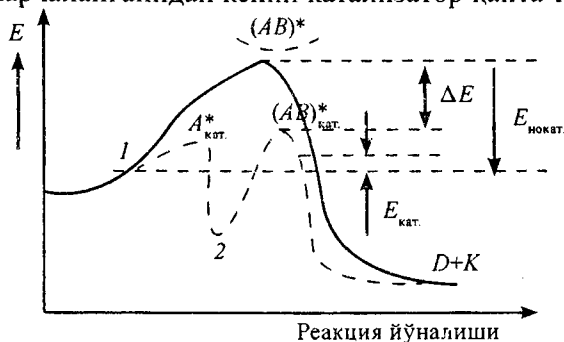
Шунинг учун катализаторлар иштирокида реакция қуйидагича тезлашади:

$$A = \frac{K_K}{K_H} = \frac{e^{-\frac{E_K}{RT}}}{e^{-\frac{E_H}{RT}}} = e^{\frac{\Delta E}{RT}}$$

бунда:  $\Delta E$  – каталитик ва нокаталитик реакциялар фаолланиш энергияларининг фарклари.

Катализаторларнинг ҳаракатни тезлатиш моҳияти кимёвий реакция фаолланиш энергиясини пасайтиришдан иборатдир. Фаолланиш энергиясининг пасайиши реакция йўлининг ўзгариши натижасида рўй беради. Каталитик жараён бошқа йўлдан, катализаторсиз – умумий реакция нисбатан камроқ фаолланиш энергияси талаб қиладиган бир қатор босқичлар воситасида кечади.

Катализатор реакцияга киришувчи моддалар билан фаол, барқарорлиги камроқ оралиқ бирикмалар ҳосил қилади, мазкур моддалар парчаланганидан кейин катализатор қайта тикланади.



26-расм. Каталитик реакцияда фаолланиш энергиясининг пасайиши.

1 – нокаталитик реакция, 2 – каталитик реакция.

Катализаторнинг асосий хусусияти унинг фаоллигидир – бу мазкур реакцияга нисбатан унинг таъсирини тезлаштирувчи омилдир. Бу нарса қаттиқ катализаторнинг юзаси, таркиби, миқдори, шакли ва ҳароратига боғлиқ.

$$A = \frac{K_K}{K}$$

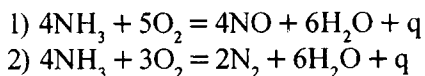
бу ерда:  $K_K$  – катализатор иштирокидаги тезлик константаси;  $K$  – катализаторсиз тезлик константаси.

*Фаоллик* – муайян ҳароратда катализатор иштирокида реакция тезлиги константасининг нисбий ортиши билан белгиланади. Катализатор нечоғли фаол бўлса, жараёни шунча паст ҳароратда фаолроқ олиб бориш мумкин. Бу ҳол ҳосила чиқишини ошириш имконини беради. Ёниш ҳарорати ҳам фаолликка боғлиқ- бу реакцияда иштирок этаётган аралашманинг энг паст ҳарорати бўлиб, бунда жараён ишлаб чиқариш учун етарли даражадаги тезликда кетади. Катализатор қанча фаол бўлса, ёниш ҳарорати шунча кам бўлади.

*Катализаторнинг* заҳарланиши–бегона аралашмалар-контакт заҳарлар таъсири натижасида фаоллигининг қисман ёки тўла йўқотилишидир. Заҳарланиш қайтар ва қайтмас бўлиши мумкин. Қайтар заҳарланиш бегона аралашмалар катализатор вақтинча катализ зонасида мавжуд бўлиб тургунига қадар давом этади. Қайтмас заҳарланишда катализатор ўз фаоллигини батамом йўқотади ва уни қайта тиклаш ёки алмаштириш лозим бўлади.

Аксарият катализаторлар реакция турига қараб таъсирнинг ўзига ҳослиги билан ажралиб туради, яъни ўхшаш реакцияларнинг ҳар бир туркуми ёки муайян реакция ўзига хос энг фаол катализаторлар ёрдамидагина тезлашади.

Баъзи катализаторлар сайланма (селектив) тарзда, дастлабки маҳсулотларнинг ўзи учун мумкин бўлган бошқа реакцияларнинг тезлигига сезиларли таъсир этмаган ҳолда асосий реакция тезлигини ошириши мумкин. Масалан, аммиак икки йўналишда оксидланиш мумкин:



Мазкур реакцияларда платина катализатор сифатида 2-реакциянигина тезлатиб, 1-реакцияга деярли таъсир қилмайди.

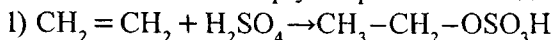
Баъзан, кимёвий реакцияларда дастлабки моддалардан бири ёки реакция ҳосилаларидан бири катализатор вазифасини бажариши мумкин, бу ҳолатларда модда автокатализатор деб аталади.

## Гомоген катализ

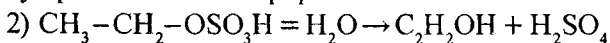
Унинг моҳияти гомоген катализ жараёнида реагентлар ва катализатор ўртасида оралиқ бирикмалар ҳосил бўлиши билан кечиб, бу оралиқ бирикмаларни ажратиб олиш ва уларнинг таркибини аниқлаш мумкин.

Эритмада гомоген катализда водород ионлари, гидроксил гуруҳлар ва тузларнинг ионлари каталитик таъсир этиши мумкин.

Кислота-асосли таъсирнинг (катализнинг) моҳияти протоннинг катализатордан реакцияга киришувчи моддага (кислота иштирокидаги катализ) ёки реакцияга киришувчи моддадан катализаторга (асослар иштирокидаги катализ) ўтишидан иборат. Катализнинг кейинги босқичларида протон тескари йўналишда силжийди ва катализатор ўз таркибини олади:

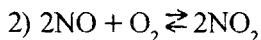
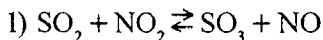


сулфат кислотали эфир



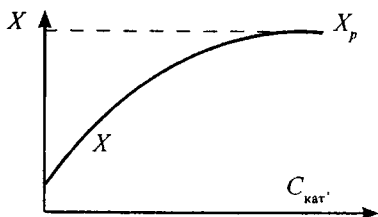
Бу усул билан саноатда этил спирти олиш мумкин:

Газ фазали гомоген катализга мисол:



Бу усул билан сулфат кислотаси олиш мумкин.

Гомоген катализнинг тезлиги катализаторнинг фаоллигига, ҳароратга, реагентлар ва катализаторнинг концентрациясига, аралаштириш тезлигига боғлиқ.



27-расм. Катализатор концентрацияси ( $C_{\text{кат}}$ ) нинг гомоген катализ жараёнида маҳсулотнинг чиқишига ( $X$ ) таъсири.

## Гетероген катализ

Гетероген катализ жараёнида оралиқ бирикмалар катализатор юзасида ( $C_{\text{кат}}$ ) пайдо бўлиб, алоҳида фазалар ҳосил қилмайди.



Гетероген катализ куйидаги босқичлардан иборат:

1) реагентларнинг оқим (ядро)дан катализатор сиртига сингиши;

2) катализатор сиртида устки кимёвий бирикмалар – «реагент-катализатор» ҳосил қилиш асосида фаоллаштирилган адсорбция (хемосорбция);

3) юза комплекслари «маҳсулот-катализатор» ҳосил қилиб, атомларнинг қайта гуруҳланиши;

4) маҳсулотнинг катализатор сиртидан десорбцияланиши;

5) маҳсулотнинг оқим ядросига сингиши.

Агар катализатор ғовак тузилишга эга бўлса, бунда куйидаги босқичлар ҳам кузатилади:

А) реагентларни катализаторларнинг ғовак сиртига сингиши;

Б) улардан маҳсулотнинг чиқиши.

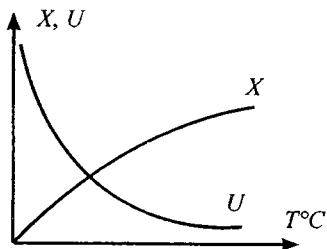
Фаоллаштирилган адсорбция валент алоқалар туфайли содир бўлиб, у кимёвий табиатга эга. Унинг тезлиги ҳарорат орта боргани сайин кимёвий реакция тезлиги сингари илдамлашаверади. Бундай оддий каталитик жараённинг моҳияти электронлар ва протонларни узатиш ва қабул қилиб олишдан иборат.

Жараённинг тезлиги ҳамда катализаторнинг иш унуми катализатор солиштирма сатҳининг ортиши билан кўпаяди. Катализда фаол марказлар—сирт билан кам боғланган ва шунга боғлиқ равишда юқори фаолликка эга бўлган атом гуруҳлари ғоят муҳим рол ўйнайди. Реагентлар адсорбцияси биринчи навбатда ана шу атомлар ёрдамида кетади. Жараённинг умумий тезлиги айрим босқичларнинг нисбий тезликлари билан белгиланади, ҳамда улардан энг суст тезлик (диффузия ёки кимёвий жараёнлар) билан чекланади.

Кимёвий босқичлар тезлиги катализаторнинг ҳарорати ва фаоллигига боғлиқ.

Диффузия жараёнлари ҳарорат ортиши билан кимёвий жараёнларга нисбатан камроқ тезлашади.

Ташқи диффузия реагентлар оқимининг аралашиши билан, ички диффузия эса катализатор сатҳининг ортиши билан тезлашади. Реагентлар концентрациясининг ёки босимнинг ортиши, диффузия ва кинетик жараёнларни ҳам тезлаштиради.

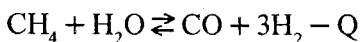


28-расм. Жараён тезлиги ва хосила чиқишининг ҳароратга боғлиқлиги.

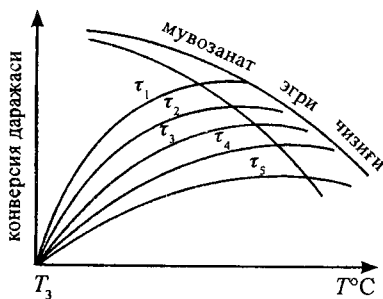
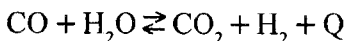
Реагентларнинг катализатор билан туташув вақти ортганида қайтар жараёнлар тезлиги камаяди, каталитик жараёнлар учун бўлганидек хосила (маҳсулот) чиқиши ортади.

Кинетик областда кетадиган жараёнлар учун ҳароратнинг ортиши доимо жараённинг мувозанат ҳолатига яқинлашиш тезлигини оширади, лекин  $X_p$  (мувозанат чиқиши) ҳарорат кўтарилиши билан эндотермик жараёнлар учун ортади, экзотермик жараёнлар учун пасаяди (28-расм).

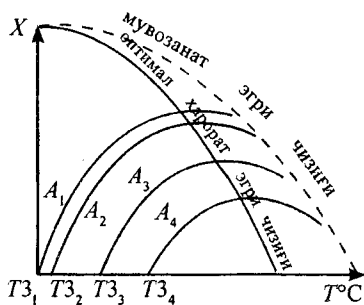
Ҳарорат кўтарилгани сайин эндотермик реакцияларда маҳсулот чиқиши муттасил кўпаяди, буни метан конверсияси реакцияси мисолида кўриш мумкин (29-расм):



Қайтар экзотермик реакциялар учун ҳарорат кўтарилгани сайин  $X_p$  чиқиши муттасил камаяди, маҳсулотнинг ҳақиқий чиқиши эса паст ҳароратда уларнинг ортиши билан аввало кўпаяди, юқори маълум ҳароратда эса максимумдан ўтгач пасаяди (30-расм):



29-расм. Эндотермик реакцияда маҳсулот чиқиши.



30-расм. Экзотермик реакцияда маҳсулотнинг чиқиши.

$\tau_1 \tau_2 \tau_3$  – туташув вақтининг турличалиги,  $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$ ,  $\tau_\phi = \frac{V_k}{G}$  – катализатор ҳажми,  $\tau_k = \frac{V_{sp}}{V}$ ;  $V_{sp}$  – катализаторнинг эркин ҳажми,  $V$  – реагентлар сарфи ҳажми ( $m^3/c$ ). Аралаштириш, ташқи диффузиявий қаршилиқни йўқотиш ҳароратни бараварлаштириш имконини беради ва маҳаллий кизиқ кетиш ҳавфини бартараф этади.

Босимни қўллаш-ҳажм кичрайиши билан борувчи қайтар каталитик реакцияларни саноат миқёсида амалга оширишда маҳсулот чиқишини ошириш усулларида биридир.

### **Қаттиқ катализаторларнинг хусусиятлари ва уларни тайёрлаш**

Қаттиқ катализаторлар контакт массада иборат бўлиб, масса катализаторлар фаоллатирувчи хусусиятга эга бўлган материаллар ва юзасида тутиб қолувчи компонентлардан ташкил топган.

Активлаштиргичлар (промоторлар) асосий катализаторнинг фаоллигини оширади. Фаолликнинг ошишига асосий сабаб:

а) қўшимчаларнинг катализатор билан кимёвий ўзаро таъсирлашиши натижасида, юксак каталитик фаолликка эга бўлган маҳсулотларнинг ҳосил бўлиши; б) катализатор билан юқори каталитик фаолликка эга бўлган электрон структурали қаттиқ қотишмалар ҳосил қилиши; в) катализатор юзасини ошириши; г) иссиққа чидамликни ортиши; д) заҳарланишга чидамликнинг ортиши.

Трегерлар (юзасида тутиб турувчилар) – иссиққа чидамли инерт ғовак моддалар бўлиб, уларга чўкиш ёки бошқа усулда катализатор ўрнашади. Бундан мақсад-юзани кенгайтириш, ғоваклилик ҳосил қилиш, мустаҳкамликни ошириш, куйиб кетишдан сақлаш, боғловчи масса таннархини камайтириш. Трегерлар сифатида-асбест, силикагел, кўмир, алюмосиликатлар ва бошқалар қўлланиши мумкин.

### **Кимёвий технологик жараёнларни ва реакторларни лойиҳалаш ҳамда моделлаш**

Янги ишлаб чиқариш объектини ташкил этишда бир қанча ҳисоб-китобларни амалга ошириш зарур: булар-технологик, конструктив, техник-иқтисодий ҳисоблардир. Лойиҳалаш ишида

технологлар, конструкторлар ва иқтисодчилардан ташқари энергетиклар, санитария техниклари, курувчилар ва бошқалар ҳам иштирок этиши керак.

Барча турдаги ҳисоблашлар, чизмалар ва схемаларнинг мажмуаси янги ишлаб чиқариш лойиҳаси ҳисобланади.

Лойиҳалаш одатда икки босқичда бажарилади:

1-босқич-лойиҳа топшириғи (у қурилиш майдони учун жой танлаш ва асослаш, шунингдек, ишлаб чиқариш усули, хомашё ҳамда энергия манбааларини танлаш, принципаал технологик схемаларни ишлаб чиқариш, асосий жараён ва аппаратларни ҳисоблаш, ишлаб чиқаришда қатнашадиган ходимлар сони, қурилиш ҳажмлари, маҳсулот таннархини белгилаш сингари жиҳатларни ўз ичига олади).

Лойиҳалаш топшириғининг асосини технологик ҳисоблар ташкил этади. Технолог ишлаб чиқаришнинг, алоҳида жараёнлар ҳамда аппаратларнинг бир қанча нусхаларини ҳисоблаб чиқаради, танлаб олиш учун энг яхши нусхаларини яратади.

2-босқич-ишчи чизмалари – барча бўлимлар бўйича батафсил бажарилади. Ишчи чизмалари, схемалар бевосита қурилиш майдончасига юборилади.

Баъзан лойиҳалаш уч босқичда олиб борилади. Бунда 2-босқич техник лойиҳа бўлиб, у лойиҳа топшириғига нисбатан тўлароқ, бироқ техник-иқтисодий асослаш вақтида ўз аҳамиятини йўқотган айрим жиҳатларни лойиҳа топшириғидан тушириб қолдиради.

Технологик ҳисоблар ишлаб чиқариш усулини танлашдан бошланади. Бунинг учун мавжуд ёки янгидан тавсия этилган усуллар қиёсланади. Бундай танлашда иқтисодиёт ҳал қилувчи рол ўйнайди.

Ишлаб чиқаришнинг технологик схемасини тузиб, ҳамда хомашё, ним маҳсулотлар ва тайёр маҳсулотнинг асосий йўналишларини белгилаб моддий ҳамда энергетика балансларини тузишга киришилади.

Моддий баланс-моддалар массасининг сақланиш қонуни моддий ифодасидир: «ҳар қандай берк системада ўзаро таъсирлашган моддалар массаси ўзаро таъсир натижасида вужудга келган моддалар массасига тенг».

Моддий балансга кўра: «технологик жараёнга келиб тушган моддалар массаси (кирим) олинган моддалар массасига (чиқим) тенгдир».

Моддий баланс параллел ва кўшимча реакциялари ҳисобга олган ҳолда умумий реакция тенгламаси бўйича тузилади.

У қарор топган режим учун тузилади. Бунга муайян вақт мобайнида аппаратга келиб тушган моддаларнинг умумий массаси аппаратдан чиққан моддалар массасига тенг. Апаратдаги барча моддаларнинг миқдори доимийдир, яъни моддалар жами миқдорининг кўпайиши ёки камайиши рўй бермайди.

$$G_T + G_{\text{ж}} + G_r = G_T^1 + G_{\text{ж}}^1 + G_r^1$$

Моддий баланс кўпинча асосий маҳсулот бирлиги (килограмм, тонна, килограмм-мол)га тўғри келадиган хомашё сарфи ҳисобидан тузилади.

**Энергетика баланси.** У энергиянинг сақланиш қонуни асосида тузилади («берк системада барча турдаги энергия йиғиндиси доимийдир»).

Кимёвий–технологик жараёнларда иссиқлик баланси тузилади (муайян ишлаб чиқаришда иссиқликнинг келиши худди ўша жараёндаги иссиқлик сарфига тенгдир):

$$Q_T + Q_{\text{ж}} + Q_r + Q_q + Q_p + Q_n = Q_T^1 + Q_{\text{ж}}^1 + Q_r^1 + Q_q^1 + Q_p^1 + Q_n^1$$

Материалларнинг иссиқлик сақлаши (физик иссиқлик):

$$Q = G \cdot C \cdot t$$

Газлар учун  $C$  – иссиқлик сифими қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$C_p = a_0 + a_1 \cdot T \pm a_2 \cdot T^2 \text{ [жоул/кг-мол.град]}$$

$a_0$ ,  $a_1$  ва  $a_2$  – коэффициентлар маълумотноманинг жадвалида келтирилади.

Аралашманинг иссиқлик сифими  $C_{\text{см}}$  – аддитивлик қонуни бўйича ҳисобланади. Масалан, уч хил модда аралашмаси учун:

$$C_c = \frac{G_1 \cdot C_1 + G_2 \cdot C_2 + G_3 \cdot C_3}{G_1 + G_2 + G_3}$$

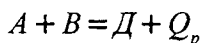
$Q_c Q_\phi$  – физик жараёнларнинг жами иссиқлиги:  $Q_\phi = G_1 r_1 + G_2 r_2 + G_3 r_3 + \dots$

$G_1, G_2, G_3$  – муайян аппаратда фазовий ўтишларга учраган аралашма таркибий қисмларининг миқдори,

$r_1, r_2, r_3$  – фазовий ўтишларнинг (конденсация, кристалланиш, эриш ва ҳоказо) тегишли иссиқлиги.

$Q_\phi$  – физик жараёнлар иссиқлик сарфи (десорбция, буғ ҳосил бўлиши, суюқланиш эриш).

$Q_p$  – экзотермик реакциялар иссиқлиги қуйидаги реакция тенгламаси бўйича ҳисобланади:



Реакция иссиқлиги реакция иссиқлик эффектининг  $Q_p$  олинган маҳсулот  $D$  мол миқдорининг кўпайтмаси сифатида ҳисоблаб чиқилади. Худди шундай усул билан  $Q_p^1$  – экзотермик реакциялар ўтказишга сарфланадиган иссиқлик миқдори ҳисоблаб чиқилади.

Реакциянинг иссиқлик эффектини Гесс қонуни бўйича аниқлаш мумкин. У тенглама ўнгқисмида ҳосил бўлган барча моддалар иссиқлиги билан тенгламанинг чап қисмида ҳосил бўлган моддалар иссиқлиги оралиғидаги тафовутга тенг:

$$q^\circ = q_{\text{хос}} D - (q_{\text{хос}} A + q_{\text{хос}} B)$$

$q_{\text{хос}} (\Delta H^\circ)$  – маълумотнома жадвалларда келтирилади.

Стандарт шароитда, яъни  $t = 25^\circ\text{C}$ ,  $P = 1$  атмда эриган моддалар учун 1 мол концентрация 1 килограмм эриткичга тўғри келади. Бунда газ аралашмалари ёки эритмалари идеал деб фараз қиламиз.

Реакциянинг иссиқлик эффекти ҳароратга боғлиқ (Нерст тенгламаси).

$$\text{Кирхгоф формуласи: } q_p = q_p^0 \int_0^T \Delta C_p dT$$

Нерст тенгламаси (формулани интеграллаб)

$$q_p = q_p^0 + \Delta a_0 T \pm \frac{1}{2} \Delta a_1 \cdot T^2 \pm \frac{1}{3} \Delta a_2 \cdot T^3$$

бунда:  $\Delta a$ ,  $\Delta a_1$ ,  $\Delta a_2$  – реакция маҳсулотлари ва дастлабки моддалар учун тенгламанинг тегишли коэффициентлари ( $C_p = a_0 + a_1 T \pm a_2 T^2$ ) тафовути,  $Q_n$  – аппаратга иссиқликни узатиш.

Иссиқлик тутгичнинг иссиқликни йўқотиш миқдорини ҳисоблаб чиқиш мумкин.

А) сув иситишга  $Q_n = G_c(t_n - t_k)$

Б) буғга  $Q_n = G_r$  ( $r$  – буғланиш иссиқлиги)

В) иссиқлик узатиш формуласи бўйича, масалан:

$$Q_n = K_T F(t_r - t_x) \cdot \tau$$

бу ерда:  $t_r$  – иситувчи модданинг ўртача ҳарорати;  $t_x$  – исийган модданинг ўртача ҳарорати;  $Q_n$  – реакциядаги массадан иссиқлик чиқиши ёки атроф-муҳитда иссиқлик сарфи (иссиқлик ўтказиш формуласи бўйича ҳисобланади).

### Кимёвий-технологик реактор ва жараёнларни моделлаш

Моделлашни тадқиқотлар олиб борилаётганда, ишлаб чиқаришни лойиҳалаш босқичида ва мавжуд аппарат ва қурилмалар ишини оптималлашда (технологик режим оптимал параметрларини белгилаш) амалга оширилади.

Бирон-бир физик ҳодисани моделлаш–кимёвий-технологик жараённи, ўхшаш, намуна сингари ҳодисаларни амалга ошириш демакдир.

Ўхшаш деб шундай ҳодисаларга айтиладики, улар ўхшаш ўлчамларни ифодаловчи нисбатлар доимийдир.

Жараёнларни ифодаловчи ва улар тезлигини англатувчи асосий ўлчамлар:

А) дастлабки моддалар ва ўзаро таъсир маҳсулотларининг реакция ҳажмидаги концентрацияси  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ;

Б) диффузия коэффициентлари  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ;

В) реакция ҳажмидаги ҳарорат  $t$ ;

Г) босим  $P$ ;

Д) фазалар ҳаракатининг чизиқли тезлигига нисбатан аниқланиши мумкин бўлган фазаларнинг ўзаро таъсирлашув, аралашув даражаси  $W_r, W_c, W_k$ ;

Е) катализатор активлиги  $A_k$ ;

Ж) система компонентларининг зичлиги  $P_r, P_c, P_k$ ;

З) ёпишқоқлик коэффицентлари—динамик ( $n$ ) ёки кинематик ( $v$ );

И) сирт таранглик (ёки фаза чегарасидаги адгезия кучлари)— $d$ ;

К) системага ўзаро таъсир кўрсатувчи геометрик ифодалар  $L, H, D$  ва ҳоказо.

Шундай қилиб, моделлашнинг биринчи вазифаси жараён тезлигининг (тезлик константаси « $K$ ») ёки маҳсулот чиқиши « $X$ ») санаб ўтилган миқдорларга функционал боғлиқлигини математик аниқлашдан иборат:

$$U = f(c_1, c_2, \dots, D_1, D_2, \dots, t, P, W_r, W_c, W_k, A_k, P_r, P_c, P_k, \mu, d, H, D_d)$$

Бу боғлиқлик хусусий нисбатларнинг системаси, тенгламалари ёки график боғлиқлари тарзида намоён бўлади.

Моделлашнинг учта усули мавжуд:

математик моделлаш;

Физик моделлаш;

Хусусий нисбатлар асосида кўламли ўтиш усули бўйича моделлаш.

### Математик моделлаш

А) Математик моделлашнинг биринчи босқичи — чегара шариоитларини ҳисобга олган ҳолда жараёнга таъсир кўрсатувчи асосий ўлчовларни боғловчи математик ёзувлар тарзида жараённи ифодалаш ва сўнгра уларнинг ўлчовлари ўртасидаги боғланишнинг охириги тенгламаларни олиш учун зарур бўлган алгоритимни (ҳал этиш дастурини) тузишдир.

Б) математик моделлашнинг иккинчи босқичида-алгоритим ёрдамида жараённинг турли ўлчовлари керакли йўналишда



ўзгаради, оптимал шароитлар танланади ва моделнинг ўрганилаётган намунага мувофиқлиги белгиланади.

Математик моделлаш ҳисоблаш машинасида амалга оширилади.

Моделлашда ўхшаш (аналог) машиналардан фойдаланиш турли синфга мансуб дифференциал тенгламаларнинг ўхшашлиги принципига асослангандир.

Мисол:

$$\begin{array}{l} \text{Жараён тезлиги} \begin{cases} \text{масса узатиш } \frac{dG}{dt} = K \cdot F \cdot \Delta C \\ \text{иссиқлик узатиш } \frac{dQ}{d\tau} = K_T \cdot F \cdot \Delta t \end{cases} \end{array}$$

Кимёвий–технологик жараёни тўла фойдаловчи дифференциал тенгламалар системаси ЭХМ билан биргаликда жараённинг математик моделини ташкил этади ҳамда лаборатория тажрибалари асосида ишлаб чиқаришдаги жараённинг оптимал ўлчовларини аниқлаш имконини беради.

Тўлиқ моделлашда жараёни фойдаловчи микдорнинг гидродинамик ва кинетик ўлчовларга боғлиқлигини аниқлаш зарур.

Гидродинамик ўлчовлар таъсири ( $W, p, \mu, \delta, \Pi, n, Da, d, t$  ва бошқалар) уч туркумдаги тенгламалар билан аниқланиши мумкин.

1) ёпишқоқ суюқлик ҳаракат тенгламаси ( $x, y$  ва  $z$  ўқлари учун) «X» ўқи учун:

$$\rho \left( \frac{dW_x}{d\tau} + \frac{dW_x}{dx} W_x + \frac{dW_y}{dy} W_y + \frac{dW_z}{dz} W_z \right) = -\frac{dp}{dx} + \mu \left[ W_x \left( \frac{d^2 W_x}{dx^2} + \frac{d^2 W_y}{dy^2} + \frac{d^2 W_z}{dz^2} \right) + \frac{1}{3} \frac{dQ}{dx} \right];$$

бунда:  $\frac{dW_x}{dx}; \frac{dW_y}{dy}; \frac{dW_z}{dz}$  –реакторнинг координата ўқларига мувофиқ келувчи йўналишлар бўйича оқими ўртача тезлигининг ўзгариши;  $\frac{dQ}{dx}$  – суюқликда оқиш жараёнида вужудга келадиган қисилиш ва кенгайиш кучларининг таъсири билан боғлиқ «x» ўқи бўйича ҳаракат тезлигининг ўзгариши.

1) оқим узлуксизлиги тенгламаси:

$$X_H \neq 0; \quad X_H = f\left(f_k, p_k, \frac{V_C}{V}\right)$$

2) чекка шароитлар тенгламалари кириш ( $H=0$ ) ва чиқишда, аппарат олдида, фазалар чегарасида ва ҳоказолардаги ўзаро таъсир ифодаларини намоён этади.

Мазкур туркум тенгламаларини аниқ таърифлаш ғоят мураккаб.

Очиқ занжирли жараёнлар учун энг сўнгги чекка шароитлардан бири  $H=0$  да  $X=0$ , циркуляцион шароитларда эса ( $\text{NH}_3$  синтези):

$$X_H \neq 0; \quad X_H = f\left(f_k, p_k, \frac{V_C}{V_4}\right)$$

$\text{NH}_3$  учун:  $t_k$  ва  $p_k$  – конденсатордаги қийматлари

$\frac{V_C}{V_4}$  – янги аралашма ҳамда циркуляцион аралашма ҳажм-

ларининг нисбати.

Кўп ҳолларда кимёвий-технологик жараёнларини математик жиҳатдан тўлиқ тавсифлаш ҳамда математик моделлаш учун, ҳали етарли ўрганилмаган ёки, умуман яроқсиз ёки физик-моделлаш усули билан биргаликда моделлашнинг хусусий масалаларини ҳал этиш учунгина қўллаш мумкин.

### Физик моделлаш

Ўхшашликнинг умумий усули ёки тажриба маълумотлари асосида ҳал этиладиган ўлчовлилик таҳлили асосида критериал тенгламалар тузиш йўли билан амалга оширилади.

Физик моделлаш жараёнини ҳам тўлиқ, ҳам хусусий математик баён этиш воситасида амалга ошириш мумкин:

$$U(K, X \text{ ва ҳоказо}) = J(D_1, D_2, \dots)$$

Ҳар бир ўлчовнинг таъсир кўрсатиш даражаси тажриба ёрдамида аниқланади. У мазкур ўлчов ҳам кирадиган мезонларда даражалар кўрсаткичларида ифодаланади. Дастлабки мезоний тенгламалар ўлчовсиз комплексларга ҳамда турли хилдаги сим-

плексларга эга бўлиши мумкин. Бироқ, уларни тадқиқ этилаётган объектда у ёки бу ҳодисани ифодаловчи умум қабул қилинган комплекс ва симплексларга айлантирилади.

Куйидаги мезонлар қўлланади:

1. Геометрик мезонлар:  $\frac{D}{H}, \frac{L}{H}, \frac{d}{Da}, \frac{h}{Da}, \frac{h}{d}, \frac{\Sigma d^2}{D^2 a}$

2. Гидродинамик мезонлар:

Рейнольдс бўйича:  $Re = \frac{wl}{\nu}$  – аралашиш даражасини ифодалайди.

Фрунд бўйича:  $Fr = \frac{w^2}{gl}$ ;  $Re = c \cdot Ar^m \cdot Fr^n \cdot \Gamma^p$

Архимед бўйича:  $Ar = \frac{ql^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2}$

Эйлер бўйича:  $Eu = \frac{\Delta p}{\rho_2 \cdot w^2}$  оқимга нисбатан гидравлик қаршилиқни ифодалайди.

$Eu = C \cdot Re^m \cdot \Gamma^n$  – реакторларни гидродинамик моделлаш.

3. Диффузия мезони:

Пекле бўйича:  $\frac{wl}{D}$ ;

Прандтл бўйича:  $Pr = \frac{Pe^1}{Re} = \frac{\nu}{D}$  (баъзан уни Шмидт мезони ҳам дейилади)

Нуссельт бўйича:  $Nu^1 = \frac{K \cdot l}{D}$ ;

$K_D = \frac{U \cdot l^2}{D \cdot C}$  – диффузия соҳасида амалга ошадиган жараённинг умумий тезлигини ўз ичига оловчи мезон.

1. Кинетик мезонлар:

А) Дамкелер бўйича:  $Da = \frac{U \cdot \tau}{C} = \frac{U}{V \cdot c}$  – жараён тезлиги (кимёвий реакция тезлигининг асосий дастлабки модда концентрациясининг ўзгаришига нисбати).

Гомоген жараёнлар учун:  $Da^1 = \frac{U \cdot H}{wC}$ .

Гетероген жараён учун:  $Da^{11} = \frac{U}{V \cdot l}$ , бунда: « $V$ » – ҳажмий тезлик.

Б) Маргулис бўйича:  $Ma^1 = \frac{K}{W}$  (туташув мезони–«Ко» ёки Дьяконов мезони « $Di$ ») жараён тезлигининг оқим тезлигига нисбати;  $K$  – реакция тезлиги константаси  $кг/м^3 \cdot сек$ .

$W$  – реакция оқимининг тезлиги.

В) Мувоzanатлилик мезони  $Pa$  (Дьяконов тавсия этган  $mA + nB \rightleftharpoons pD$  реакция учун:

$$Pa^1 = \frac{K}{\frac{C_A^m \cdot C_B^n}{C_D^p}}, K - \text{мувоzanат константаси.}$$

$$\text{Масса узатиш учун: } Pa^{11} = \frac{1}{1-x}$$

бунда:  $C_A, C_B, C_D$  – моддалар концентрациялари,  $X$  – фазовий ўтиш даражаси.

Г) Аррениус мезони:

$Arn = \frac{E}{RT}$  – фаолланиш энергияси ҳамда ҳарорат нисбатининг кимёвий реакция тезлигига таъсири.

$$\text{Д) Симплекслар: } S_1 = \frac{P}{p}; S_2 = \frac{\Delta P}{p}; S_3 = \frac{P_H}{P_p}; S_4 = \frac{P_k}{P_p}$$

$P_p$  – компонентнинг мувоzanатли парциал босими,

$P_H$  – асосий реагентнинг бошланғич парциал босими (киришда)

$P_k$  – асосий реагентнинг охириги парциал босими (чиқишда)

$P$  – асосий компонентнинг парциал босими.

Масалан: критериал (мезоний) тенглама учун:

$$Ma = C \cdot R_e^e \cdot Pr^m \cdot Ar^n \cdot Sp \cdot G^q \cdot Fr^s \cdot Arn^e$$

### Кўламли ўтиш услуби билан моделлаш

Моделлаш учун шу каби ёки шунга ўхшаш ишлаб чиқаришларнинг тегишли технологик кўрсаткичлари лаборатория тадқиқотларининг жадвал ёки чизма натижалари билан уйғунликда фойдаланилади. Бунда модел ҳамда намунада бир хил алоҳида (хусусий) нисбатлар қўлланади.

Масалан, реакция иштирок этувчи модел ҳамда масса ҳажмий тезликларининг доимий нисбати ( $V_M/V_0$ ), аппаратга келувчи материаллар, масалан: газ ( $a$ ) ҳамда суюқлик ( $L$ ) оқимлари нисбатининг доимийлиги ( $G/L$ ), тезликларининг бир хил нисбати  $W/W_k p$  (муаллақ қатлам учун) ва ҳоказо

## КИМЁВИЙ РЕАКТОРЛАР

Масса узатиш (диффузия) билан боғлиқ кимёвий реакциялар мужассамланган кимёвий технологик жараёнлар амалга ошириладиган қурилма (аппарат) кимёвий реактор деб аталади.

Газ-қаттиқ ва суюқ-қаттиқ системадаги жараёнлар амалга ошириладиган реакторларга саноатда ишлатилаётган хумдонлар (печ), контакт қурилмалар, синтез колонналари, аралаштиргичли реакторлар киради. Газ-суюқлик системаси—бу абсорбер ва десорберлардир. Суюқлик-суюқлик системасида механик, пуркагичли ва сиқилган ҳаво (пневматик) ёрдамида аралаштиришга асосланган реакторлардан фойдаланилади.

### Кимёвий реакторларга қўйиладиган талаблар

Маълум бир кимёвий реакторга турли хил, баъзан бири-бирига зид келувчи бир қанча талаблар қўйилади. Уларнинг асосийлари қуйидагилар:

Ишнинг юкори унумдорлиги ва тезкорлиги.

Аппаратнинг (қурилманинг) иш суръати унинг ҳажм бирлигида маълум вақтда ҳосил бўлган маҳсулот миқдори билан аниқланади:

$$J = G/V \text{ кг/м}^3 \text{ соат} = V_{\text{сек}} C_{\text{пк}} / V_p = V_k C_{\text{пк}} \quad (1)$$

бу ерда:  $G$ —вақт бирлигида олинган маҳсулот миқдори, кг/соат,  $V_p$  — қурилманинг реакция кетадиган қисмининг ҳажми, м;  $C_{\text{пк}}$  — маҳсулотнинг қурилмадан чиқишидаги (жараённинг охиридаги) концентрацияси;  $V_{\text{сек}}$  —аралашманинг 1 соатдаги сарфи, м<sup>3</sup>/соат;  $V_k$  — охирги ҳажмий тезлик,  $C^{-1}$ .

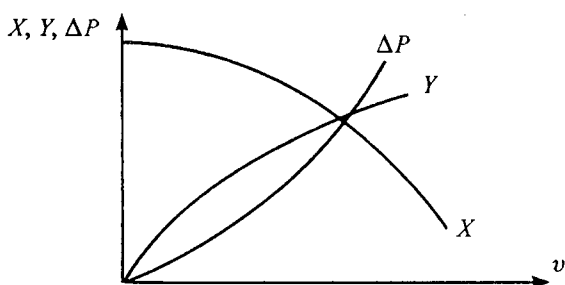
1. Реакция натижасида маҳсулотнинг кўпроқ чиқиши ва жараённинг оптимал танланиши (технологик маромнинг энг мақбул кўрсаткичлари билан таъминланади).

2. Қурилмага материалларни солиш ва аралаштиришга энг кам миқдорда энергия ҳамда экзотермик реакциялар натижасида ажралиб чиқадиган иссиқлик ёки реакцияга киришадиган моддаларнинг энг мақбул ҳароратда қиздирилишини таъминлаш учун қурилмага бериладиган иссиқликдан самарали фойдаланиш.

3. Бошқарувда энгиллик, маромнинг барқарорлиги ва иш хавфсизлиги.

4. Қурилмаларни яшаш ва таъмирлаш баҳосининг пастлиги, тузилишининг (конструкциясининг) оддийлиги, уларни яшашда арзон материаллар ишлатиш. Бу талаблар бир-бири билан ўзаро боғлиқ бўлиши билан бирга, бир-бирига зид бўлиб, буни кимёвий реакторларни ишлаш тезкорлиги, бирламчи хомашёнинг ўзгариш даражаси ва реакторнинг гидравлик қаршилигини унинг ҳажмий тезлигига боғлиқлиги чизмаси (графиги)дан яққол кўриш мумкин (31-расм).

Ушбу чизмадан (31-расм) кўриниб турибдики, ҳажмий тезлик ошиши билан тайёр маҳсулотнинг чиқиши камаяди, реакторнинг иш тезлиги ва унинг гидравлик қаршилиги кўпаяди. Шунинг учун, реакторнинг иш маромини танлашда бу кўрсатиб ўтилган барча омилларни ҳисобга олган ҳолда жараённинг иқтисодий самарадорлигидан келиб чиқиб иш маромини танлаш, яъни ҳар томонлама энг мақбул вариантни танлашга интилмоқ лозим. Одатда, даврий (ёпиқ система) жараёнларни олиб боришда юқори тезлик, очик занжирсимон системаларда эса хомашёнинг энг юқори танланишига эришиладиган юқори ўзгарилиш даражаси маъқул кўрилади.



31-расм. Реактор иш тезлигининг (1), хом ашё ўзгарилиш даражасининг (x) ва реактор гидравлик қаршилигининг ( $\Delta P$ ) ҳажмий тез ( $v$ )ни ошиши билан ўзгариши.

## Кимёвий реакторларнинг таснифи

Кимёвий — технологик жараёнларнинг ва реакторларнинг хилма-хиллиги уларни умумий таснифлашда қийинчилик туғдиради. Шунинг учун, умумий кимёвий технология дарсликларида ҳар хил муаллифлар ўзларининг турли хил таснифларини келтирганлар:

1. Кечадиган жараёнларнинг хусусиятига қараб: даврий, узлуксиз ва қисман узлуксиз ҳарактланувчи реакторлар;

2. Реакцияга киришувчи массанинг фаза таркибига қараб: гомоген ва гетероген жараёнлар учун реакторлар.

3. Жараённинг иссиқлик эффектига қараб: экзотермик (иссиқлик ажратувчи) ва эндотермик (иссиқлик ютувчи) жараёнлар учун реакторлар.

4. Реактордаги ҳароратга қараб: паст ҳароратли ва юқори ҳароратли жараёнлар учун реакторлар.

5. Жараён амалга оширилаётганда қўлланиладиган босимга қараб: ҳавосиз шароитда (вакуум остида), атмосфера босими остида ва юқори босимда ишлайдиган реакторлар.

6. Аралаштириш даражасига (ёки реактордаги гидродинамик шароитга) қараб: сиқиб чиқарувчи ва аралаштирувчи реакторлар.

Сиқиб чиқарувчи реакторларда реакцияга киришаётган масса аста-секинлик билан реакторга тушаётган массанинг янги миқдорлари билан сиқиб чиқарилади. Аралаштирувчи реакторларда реакцияга киришувчи масса ва янгидан реакторга тушувчи реагент доимий равишда аралаштириб турилади, шу боис реакторнинг бутун ҳажми бўйлаб масса концентрациясининг бир хил бўлиб туришига эришилади.

7. Иссиқлик маромига қараб: адиабатик, изотермик ва поли-термик реакторлар.

8. Катализаторнинг ишлатилишига қараб: каталитик жараёнлар учун реакторлар (контактли қурилмалар ўз навбатида гетероген ва гомоген каталитик жараёнлар учун реакторларга бўлинади) ва нокаталитик жараёнлар учун реакторлар.

Аралаштириш (аппаратдаги гидродинамик шароит) ва реакторнинг иссиқлик мароми, асосан кинетик тенглама турини ва жараённинг тезлик константаси катталигини аниқлайди.

Ҳар қандай реакторда кечадиган жараёнини ўрганишдаги асосий вазифа реагентлар (модда) нинг реакторда бўлиш муддати-нинг ҳар хил омилларга математик боғлиқлигини аниқлашдан иборат:

$$\tau = f(x, c, u) \quad (2)$$

бу ерда:  $x$  – олдиндан белгиланган ўзгарилиш даражаси,  $c$  – реагентнинг бошланғич концентрацияси,  $u$  – кимёвий реакция тезлиги.

Уқоридаги тенглама (2) реакторнинг тавсифий тенгламаси дейилади. Реакторларни ҳисоблаш ва уларнинг тавсифий тенгламасини келтириб чиқариш учун бошланғич тенглама бўлиб моддий баланс тенгламаси хизмат қилади.

### Реакторнинг моддий баланси

Кимёвий реакторнинг моддий баланси тенгламаси – бу физиканинг массалар сақланиши қонунининг математик шакли бўлиб, унинг умумий кўриниши қуйидагичадир:

$$G_{\text{Акел}} = C_{\text{Асарф}} \quad (3)$$

бу ерда:  $G_{\text{Акел}}$  – дастлабки реагентлар массаси (келган),  $C_{\text{Асарф}}$  – реакция маҳсулотлари массаси (сарф бўлган).

Реакторда тушган дастлабки реагент  $A$  учта йўналишда- кимёвий реакцияга ( $G_{\text{Акр}}$ ), реактор ҳажми бўйлаб тўпланишга ( $G_{\text{Атуп}}$ ) ва қисман тайёр маҳсулот билан бирга чиқиб кетишга (оқава –  $C_{\text{Аок}}$ ) сарфланади:

$$G_{\text{Асарф}} = G_{\text{Акр}} + G_{\text{Атуп}} + G_{\text{Аок}} \quad (4)$$

Модданинг конвектив оқим ( $C_{\text{Ақонв}}$ ) билан кетадиган миқдори қуйидагича аниқланади:

$$C_{\text{Ақонв}} = G_{\text{Акел}} - G_{\text{Аок}} \quad (5)$$

У ҳолда:

$$G_{\text{Атуп}} = G_{\text{Ақонв}} - G_{\text{Акр}} \quad (6)$$

Агар реакторда дастлабки  $A$  модда тўпланиб қолмаса, у ҳолда унинг иш мароми стационар ёки «осойишта» дейилади:



$$G_{\text{Агуп}} = 0 \quad (7)$$

Аксинча, агар реакторда дастлабки модда йиғилиб қолса унинг иш мароми ностационар ёки ноосойишта ҳисобланади, яъни:

$$G_{\text{Агуп}} \neq 0 \quad (8)$$

Узлуксиз ҳарактланувчи реакторларга осойишта (стационар) иш мароми хосдир. Узлуксиз ҳаракатланувчи реакторларда жараённинг бошланишида ноосойиш (ностационар) иш мароми кузатилади, бундай ҳолат дастлабки реагентни реакторга беришнинг ҳажмий тезлиги бузилган ҳолларда ҳам рўй беради.

Даврий маром билан ишловчи реакторлар учун ноосойишта (ностационар) иш мароми хосдир.

### Узлуксиз маромида ишловчи реакторлар

Узлуксиз маромда ишловчи реакторлар учун реагентнинг реакторда «шартли бўлиш вақти» (контакт вақти) қуйидагича аниқланади:

$$\tau = Vp/V_0 \quad (9)$$

бу ерда:  $Vp$ —реакторнинг ҳажми,  $m^3$ ;  $V_0$  — маълум вақт ичида реакцияга киришувчи аралашманинг ҳажми,  $m^3/соат$ .

Лекин,

$$C_{A_0} = C_{A_0} V_0$$

бу ерда:  $C_{A_0}$  — реагентнинг молекуляр сарфи;  $C_{A_0}$  — реагентнинг бошланғич концентрацияси бўлганлиги туфайли:

$$\tau = VpC_{A_0}/C_{A_0} \quad (11)$$

Узлуксиз маромда ишловчи реакторлар реакцияга киришаётган массанинг ҳаракатланиб сурилиши (гидродинамик шароити) билан ажралиб турадилар.

Ушбу белгисига қараб реакторлар сиқиб чиқарувчи ва аралаштириб ҳаракатланувчи реакторларга бўлинади. Аммо аралаштириш ва сиқиб чиқаришнинг гидродинамик шароити фақат му-

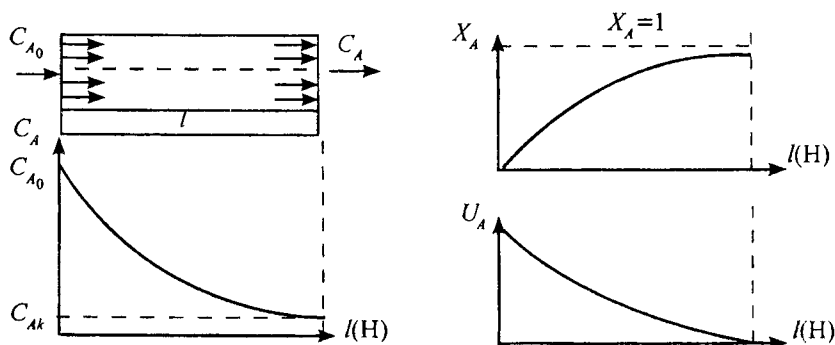
каммал моделлардагина учрайди. Саноатда амалда ишлаб турган реакторларнинг кўпчилиги оралиқ вазиятни эгаллайди ва улар у ёки бу турга маълум тузатишлар билан ажратилади ҳамда бу тузатишлар реакторларга ҳисоб қилинганда, албатта эътиборга олиниши лозим.

### Мукаммал сиқиб чиқарувчи реактор модели

Бундай реакторда барча заррачалар берилган йўналишда ҳаракатланиб олдинда ва орқада ҳаракатланаётган заррачалар билан аралашмасдан, мисли поршен сингари, оқимнинг олдиндаги зарраларини батамом сиқиб чиқаради. Бошқача қилиб айтганда, бундай реакторлар поршен оқимли ёки кувурли реакторлар ҳам дейилади, чунки улар кўринишидан кувурга ҳам ўхшайди. Мукаммал сиқиб чиқарувчи реакторларда тескари диффузия йўқ, оқим йўналиши бўйлаб юз берадиган диффузия эса моделнинг мукаммаллигини буза олмайди.

32-расмда мукаммал сиқиб чиқарувчи реакторнинг (MCP) модели тасвирланган бўлиб, унинг тавсифи чизма кўринишида келтирилган ( $X_A$ ,  $C_A$ ,  $U_A$ ).

Яратилаётган модел мукаммал (идеал) сиқиб чиқарувчи моделга яқин бўлиши учун, реакторнинг узунлиги унинг диаме-



32-расм. Мукаммал сиқиб чиқарувчи реактор модели ва унинг тавсифи.

тридан бир неча баробар катта бўлиши керак. Бундай реакторда кўндаланг (радиус бўйлаб) диффузия бўлмайди.

Агар оқимни диаметр бўйлаб бир қанча бўлақларга бўлинган юпқа қаватли қатламлар сифатида тасаввур қилинса, у ҳолда ушбу қатламлар аралашиб кетмасдан бир-бирига параллел ҳолда ҳарактланадилар.

Барча зарраларнинг мукамал сиқиб чиқарувчи қурилмаларда кечган вақти бир хил бўлиб, бу вақт (9) тенгламага мувофиқ аниқланади.

Бундай реакторлар учун Пекленинг диффузия мезони чексизликка интилади:

$$Pe^1 = wH/D\varepsilon \quad (12)$$

бу ерда:  $D\varepsilon$  – диффузиянинг самарали коэффиенти (мукамал сиқиб чиқариш модели учун у нолга тенг);  $w$  – оқимнинг қурилмадаги чизикли ҳаракат тезлиги;  $H$  – қурилманинг геометрик ўлчами (узунлиги ёки баландлиги).

Реакторнинг энг кичик (элементар) ҳажми учун моддий баланс тенгламасининг дифференциал кўриниши:

$$\frac{\partial C_A}{\partial \tau} = -W_x \frac{\partial C_A}{\partial x} - W_y \frac{\partial C_A}{\partial y} - W_z \frac{\partial C_A}{\partial z} + D \left( \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right) + U_A \quad (13)$$

бу ерда:  $C_A$  – реакцияга киришадиган аралашмада дастлабки А модданинг концентрацияси;  $x, y, z$  – фазовий координаталар;  $D$  – молекуляр ва турбулент диффузия коэффиенти;  $U_A$  – кимёвий реакция тезлиги;  $W_x, W_y, W_z$  – оқимнинг координата ўқлари бўйлаб (чизикли тезлик вектори проекцияси) чизикли тезлиги таркибий қисмлари.

$\frac{\partial C_A}{\partial x}, \frac{\partial C_A}{\partial y}, \frac{\partial C_A}{\partial z}$  – концентрациянинг координата ўқлари бўйлаб чегараланиш кўрсаткичлари.

$-W_x \frac{\partial C_A}{\partial x} - W_y \frac{\partial C_A}{\partial y} - W_z \frac{\partial C_A}{\partial z}$  – А модданинг энг кичик (элементар) ҳажмда умумий оқим йўналишига мос келувчи муҳит орқали ўтиши туфайли концентрациясининг ўзгариши

$$D\left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2}\right) - A \text{ модданинг энг кичик (элементар)}$$

ҳажмда диффузия туфайли ўтиши натижасида концентрациянинг ўзгариши.

Ушбу тенгламани таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, бу конвектив масса алмашилиш тенгламаси бўлиб, кимёвий реакция кетиши натижасида энг кичик ҳажмда  $A$  модда концентрациясининг ўзгаришини ҳисобга олувчи  $U_A$  билан тўлдирилгандир:

$$G_A = G_{\text{Аконв}} + G_{\text{Акп}} \quad (14)$$

Реакторнинг мукамал сиқиб чиқарувчи моделининг энг кичик ҳажми учун моддий баланс тенгламасини таҳлил қиламиз:

Мукамал сиқиб чиқарувчи реакторда (МСР) аралашма фақат бир томонга қараб ҳаракатланганлиги (реакторнинг узунлиги ёки баландлиги бўйлаб) туфайли:

$$-Wx \frac{\partial C_A}{\partial x} = -W \frac{\partial C_A}{\partial l}; \quad -Wy \frac{\partial C_A}{\partial y} = 0; \quad -Wz \frac{\partial C_A}{\partial z} = 0$$

бу ерда:  $W$  – аралашманинг реактордаги ҳаракати чизикли тезлиги;  $l$  – реакторнинг узунлиги.

2. Мукамал сиқиб чиқарувчи реакторда бўйлама ва кўндаланг диффузия йўқ ва шунинг учун:

$$D\left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2}\right) = 0$$

У ҳолда моддий баланс тенгламаси соддалашади ва қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\frac{\partial C_A}{\partial \tau} = -W \frac{\partial C_A}{\partial l} + U_A \quad (15)$$

Моддий баланснинг бу тенгламаси реактор ноосойишта (но-стационар) маромида ишлаган ҳолат учун таалуқлидир.

3. Реакцияга киришувчи аралашманинг реакция натижасида ҳажми ўзгармайди деб фараз қиламиз У ҳолда:

$$C_A = C_{A0}(1 - X_A) \quad (16)$$

Ушбу тенгламанинг дифференциал кўриниши:

$$dC_A = d\{C_{A0}(1 - X_A)\} = -C_{A0}dX_A \quad (17)$$

4. Реакция оқимидаги зарранинг йўл узунлиги:

$$l = w\tau \quad (18)$$

Агар чизикли тезлик доимий бўлса, унда:

$$dl = wd\tau \quad (19)$$

5. Шу нарсага эътибор қилмоқ керакки, жараёнда вақт ўтиши билан концентрациянинг ўзгармаслиги, реакторнинг иш мароми осойишта бўлишининг шартидир. Осойишта (стационар) иш мароми учун, яъни  $\frac{\partial C_A}{\partial \tau} = 0$  бўлганида, моддий баланснинг дастлабки тенгласига қўйиб, қуйидаги формулани оламиз:

$$-W \frac{\partial C_A}{\partial \ell} = -U_A; \quad -W \frac{-C_{A0} \cdot \partial X_A}{W \cdot \partial \tau} = -U_A$$

Бу тенгликка  $\partial \ell = wd\tau$  қийматни қўйиб, ифодани соддалаштирамиз.

Унда: 
$$\frac{C_{A0} \cdot \partial X_A}{\partial \tau} = -U_A \quad \text{ёки} \quad \partial \tau = C_{A0} \frac{\partial X_A}{(-U_A)} \quad (20)$$

Ушбу дифференциал тенгламани  $0 - X_A$  оралиғида интеграллаб, узлуксиз ҳаракатдаги мукамал сиқиб чиқарувчи реакторнинг (MCP – У) тавсифий тенгласига эга бўламиз:

$$\tau = \frac{V_P}{V_O} = C_{A0} \int_0^{X_A} \frac{\partial X_A}{(-U_A)} \quad (21)$$

А модданинг «n» – тартибли реакция тезлиги

$$(-U) = KC_A^n \quad (22)$$

сифатида аниқланганлиги туфайли, «n» тартибли қайтмас реакция учун тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\tau = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{K \cdot C_A^n} = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{K \cdot C_{A_0}^n (1-X_A)^n} = \frac{1}{K \cdot C_{A_0}^{n-1}} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(1-X_A)^n} \quad (23)$$

Ушбу тенгламадан айрим ҳолатлар учун ҳисоб тенгламаларини келтириб чиқариш мумкин, яъни:

«0» – тартибли реакция учун:

$$\tau = \frac{C_{A_0} \cdot X_A}{K} = \frac{C_{A_0} - C_A}{K} \quad (24)$$

«1» – тартибли реакция учун:

$$\tau = \frac{1}{K} \int_0^{X_A} \frac{dx}{(1-X_A)} = \frac{1}{K} \ln \frac{1}{1-X_A} \quad (25)$$

$nA + mB \rightleftharpoons dD$  турдаги қайтар реакциялар учун:

$$\tau = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{K_1 \cdot C_A^n \cdot C_B^m - K_2 \cdot C_D^d} \quad (26)$$

Агарда  $X_{A_0} = 0$  бўлса, унда:

$$\tau = C_{A_0} \int_{X_{A1}}^{X_{A2}} \frac{dX_A}{(-U_A)} \quad (27)$$

Реакция тартиби бирдан юқори ( $n > 1$ ) бўлган ҳолатларда, интеграллаш жадвалидан фойдаланиб ечиш имкони бўлмаганида, интеграллашнинг чизма шаклидан фойдаланилади (33-расм).

Жисмнинг интеграл эгри чизиқ ва тикка (вертикал) чизиқ билан чегараланиб, дастлабки  $A$  реагентининг бошланғич ва охириги ўзгарилиш даражасига тўғри келувчи (даврий жараёнларда реакторга кириш жойида доим  $X_{A1}$  тайёр маҳсулотнинг маълум концентрацияси мавжуд бўлади) майдони реагентнинг реакторда ҳисоб бўйича қанча муддат бўлиши вақтини аниқлайди:

$$\tau = C_{A_0} \int_{X_{A1}}^{X_{A2}} \frac{dX_A}{(-U_A)} = C_{A_0} \cdot S \text{ сикиб чиқариш} \quad (28)$$

Агарда реакция ҳажмининг ўзгариши билан бораётган бўлса, унда МСР тавсифий тенгламасига бу ўзгаришларни ҳисобга олувчи тўғрловчи коэффициент киритиш керак бўлади:

$$E_A = \frac{V_{X_A=1} - V_{X_A=0}}{V_{X_A=0}} \quad (29)$$

бу ерда:  $E_A$  – ҳажмининг нисбий ўзгариш коэффициенти;  $V_{X_A=1}$  – реакцияга киришувчи аралашманинг  $x = 1$  бўлгандаги ҳажми;  $V_{X_A=0}$  – реакцияга киришувчи аралашманинг  $x = 0$  бўлгандаги ҳажми.

Аралашма ҳажми чизиқли ўзгаришга эга бўлганида уни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$V = V_0(1 + E_A X_A) \quad (30)$$

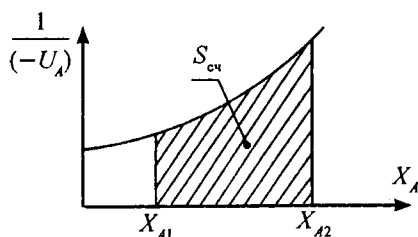
бу ерда:  $V_0$  – аралашманинг дастлабки ҳажми:

$$C_A = \frac{G_A}{V} = \frac{G_{A_0}(1 - X_A)}{V_0(1 + E_A X_A)} = C_{A_0} \cdot \frac{1 - X_A}{1 + E_A X_A} \quad (31)$$

Бунда:

$$\tau = C_A \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(-U_A)} = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{K \cdot C_A^n} = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{K \cdot C_{A_0}^n \left( \frac{1 - X_A}{1 + E_A X_A} \right)^n}$$

Бу ҳолда, МСР нинг тавсифий тенгламаси « $n$ » – тартибли реакция учун (реакцияга киришаётган аралашма ҳажми ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда) қуйидаги кўринишга эга бўлади:



$$\tau = \frac{1}{K \cdot C_{A_0}^{n-1}} \int_0^{X_A} \frac{(1 + E_A X_A)^n}{(1 - X_A)^n} dX_A \quad (32)$$

33-расм. Мукамал сиқиб чиқарувчи реактор тавсифий тенгламасининг чизма кўриниши.

## Мукаммал сиқиб чиқариш моделидан четланиш

Сиқиб чиқарувчи реакторнинг мукаммал моделидан четланишнинг 3 та тури мавжуд: тезлик, ҳарорат ва диффузия бўйича четланиш.

1) тезлик бўйича четланиш.

Ушбу четланиш 34-расмда яққол акс эттирилган.

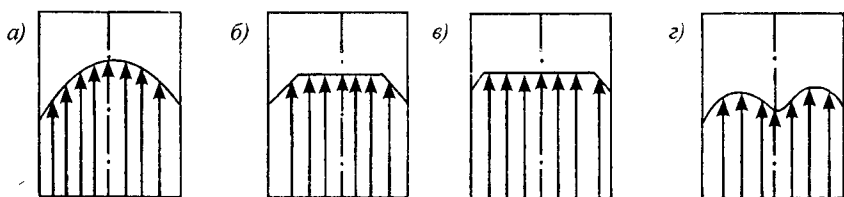
34-расмдан кўриниб турибдики, оқимнинг ўртача тезлиги юқоридаги 3 та ҳолатда оқимнинг марказдаги тезлигидан фарқ қилади ва фақат 3-ҳолатдагина улар деярли бир хилдир.

2) ҳарорат бўйича четланиш.

Бу четланишлар 35-расмда равшан акс эттирилган.

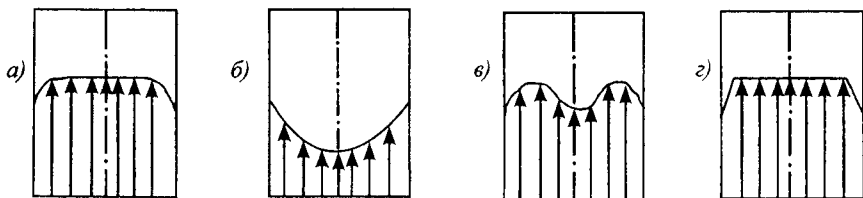
Агар реакция тезлигининг ҳароратга боғлиқлиги даражали табиатга эга эканлиги ҳисобга олинса, унда ҳарорат режимидан четланиш кимёвий реакторларни ҳисоблаётганда катта хатоликларга олиб келади.

3) диффузия четланиши.



34-расм. МСР моделидан тезлик бўйича четланиши:

*a* – ламинар оқим, *b* – турбулент оқим, *c* – мукаммал поршенли оқим,  
*d* – насадка орқали ўтайдиган оқим.



35-расм. Сиқиб чиқарувчи реакторда ҳароратнинг чегаравий четланиши:

*a* – совутувчи деворнинг таъсири, *b* – кираётган совуқ газнинг таъсири, *c* – совуқ газ ва совутувчи деворнинг таъсири, *d* – девор олдида тўпланган (локалланган) ҳарорат.



Найсимон реал реакторларда А моддани реакцияга киришувчи масса оқими ҳаракат йўналишида олиб ўтиши билан биргаликда, А модданинг реактор ўқи бўйлаб оқимга қарама-қарши йўналишда тескари диффузия (тескари аралашуви) ҳамда А модданинг радиус бўйлаб (радиус бўйлаб диффузия) аралашуви ҳам юз бериши мумкин.

Реал реакторда фақат тескари аралашув юз берадиган гидродинамик шароитни акс эттирувчи модел, бир параметрли диффузиявий модел дейилади (БПДМ).

Ҳам тескари, ҳам радиус бўйлаб аралашувни ҳисобга олувчи модел эса икки параметрли диффузиявий модел дейилади (ИПДМ). Мукамал сиқиб чиқарувчи реактор модели сингари БПДМ ва ИПДМ реакторларининг тавсифий тенгламаларини келтириб чиқариш учун реакторнинг энг кичик ҳажми учун қўлланиладиган моддий баланс тенгласидан фойдаланилади, бироқ биринчи ҳолда реакторнинг эни бўйлаб юз берувчи (энлаб диффузия коэффициентини  $-D_L$ ), иккинчи ҳолда эса энлаб диффузия ҳам, кўндаланг-радиус бўйлаб диффузия ҳам (кўндаланг диффузия коэффициентини  $-D_R$ ) ҳисобга олинади.

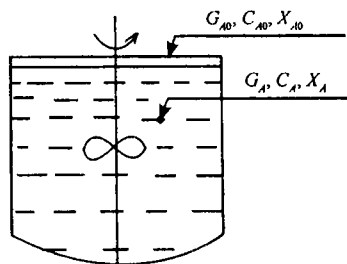
### Даврий ҳаракатланувчи мукамал аралаштирувчи реакторлар (МАР-Д)

Бундай реакторлар (цикл билан) даврий равишда ишлайди. Бир цикл вақти:

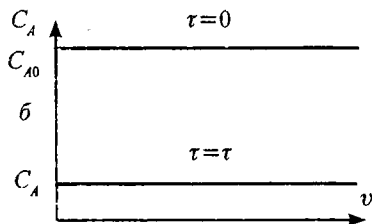
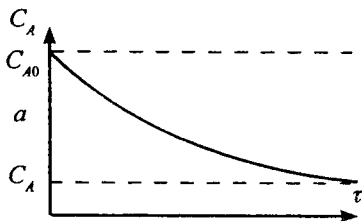
$$\tau_T = \tau + \tau_u \quad (33)$$

бу ерда:  $\tau_T$  – циклнинг тўла вақти;  $\tau$  – ишчи вақт (реакцияга кетган вақт);  $\tau_u$  – иккиламчи ишларга кетган вақт (аралашмани; солиш, чиқариб олиш, тозалаш, қиздириш, совутиш ва ҳоказолар).

36-расмда даврий ҳаракатланувчи мукамал аралаштирувчи реакторнинг модели келтирилган.



36-расм. Даврий ҳаракатланувчи мукамал аралаштирувчи реактор модели.



37-расм. Дастлабки реагентнинг МАР-Д да концентрациясининг ўзгариши:  
*a* – вақт бўйлаб; *б* – жой бўйлаб.

37-расмда дастлабка А реагентнинг вақт ўтиши билан (а) ва жойига қараб (б) концентрациясининг ўзгариши кўрсатилган.

Бундай реакторда барча ўлчовлар, шу жумладан ҳар қандай вақтда, концентрация реакторнинг бутун ҳажми бўйлаб бир хил бўлади, концентрациянинг ҳар қандай тартибдаги таркибий қисмлари эса 0 га тенг.

Бундай реакторнинг энг кичик ҳажми учун моддий баланс тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{\partial C_A}{\partial T} = -W_x \frac{\partial C_A}{\partial x} - W_y \frac{\partial C_A}{\partial y} - W_z \frac{\partial C_A}{\partial z} + D \left( \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right) + U_A \quad (34)$$

Ҳажм бўйлаб концентрациянинг тенглашишини ҳисобга олиб, тенглamani қуйидагича ёзиш мумкин:

$$-W_x \frac{\partial C_A}{\partial x} - W_y \frac{\partial C_A}{\partial y} - W_z \frac{\partial C_A}{\partial z} = 0;$$

$$D \left( \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right) = 0$$

Унда моддий баланс тенгламаси ихчамлашади ва қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{\partial C_A}{\partial \tau} = U_A \quad (35)$$

лекин:

$$C_A = \frac{G_A}{V} = \frac{G_{A0}(1-X_A)}{V} \quad (36)$$

ҳажми ўзгармасдан ( $V = \text{const}$ ) реакция кетаётганда:

$$C_A = \frac{G_{A0}(1-X_A)}{V} = C_{A0}(1-X_A) \quad (37)$$

Уни моддий баланс тенгласига қўйсак:

$$-\frac{d[C_{A0}(1-X_A)]}{d\tau} = \frac{C_{A0} \cdot dX_A}{d\tau} = -U_A$$

ёки

$$d\tau = C_{A0} \frac{dX_A}{(-U_A)} \quad (38)$$

Интеграллангандан кейин:

$$\tau = C_{A0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(-U_A)} \quad (39)$$

ҳосил бўлади.

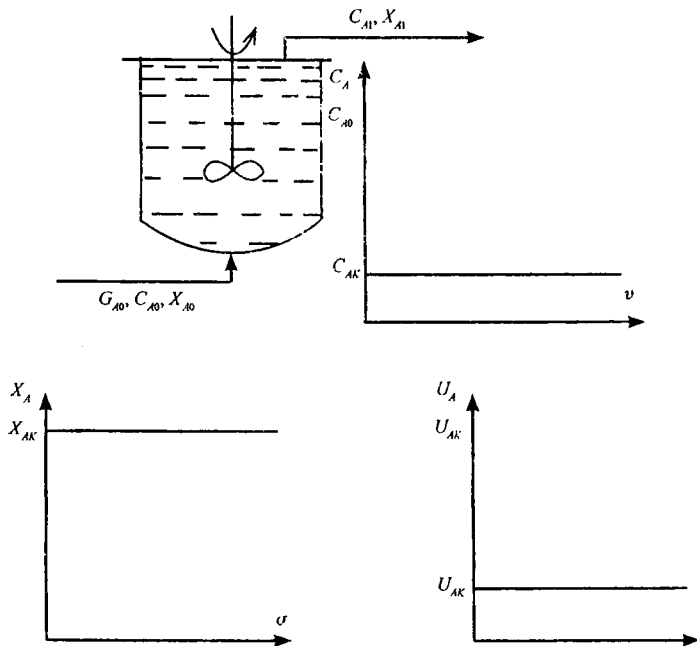
Бу тенглама мукамал сиқиб чиқарувчи реакторнинг (МСР) тавсифий тенгласи билан деярли бир хил, шу туфайли МАР-Д учун «л» – тартибдаги реакцияларга тааллуқли барча ҳолатларга мўлжалланган тенгламаларни татбиқ этиш мумкин (23–32).

Шунинг сингари, агар реакторда кетадиган реакциянинг тартиби бирдан юқори бўлса, унда МАР-Д ни ҳисоблаётганда чизма интеграллаш усулини қўллаш лозим (33-расм ва 28-тенгламага қаранг).

### **Узлуксиз ҳаракатланувчи мукамал аралаштирувчи реактор (МАР-У)**

Мукамал аралаштириш моделида реакторга тушаётган зарралар ундаги муҳит билан бир зумда аралашиб кетади ва натижада реакторнинг бутун ҳажми бўйлаб концентрациянинг тенглашиб бир хил бўлиши кузатилади. Зарранинг реакторда ўртача бўлиш вақти, мукамал сиқиб чиқарувчи реактор каби, қуйидаги тенгламага биноан аникланади:

$$\tau = \frac{V_p}{V_0} = \frac{H}{W}$$



38-расм. Узлуксиз ҳаракатланувчи мукамал аралаштирувчи реактор модели ва унинг тавсифлари.

Аммо зарранинг бундай реакторда амалда бўлган вақти  $0 \leq \tau \leq \infty$  оралиқда тақсимланади. 38-расмда МАР-У нинг модели акс эттирилган ва ушбу модел тавсифларини қурилманинг ҳажми бўйича ўзгариши кўрсатилган.

Бундай реакторда самарадор диффузия коэффициенти чексизликка интилади, Пекле диффузия мезони эса 0 га интилади:

$$Pe^1 = wH/Dz = 0$$

Мукамал сиқиб чиқарувчи реакторлардан фарқли ўларок мукамал аралаштирувчи реакторлар «куб» реакторлар дейилади.

МАР-У реакторларда уларнинг ҳажми бўйлаб концентрацияга чегаравий чекланиш йўқлиги сабабли, улар учун моддий баланс тенгламаси одатдаги кўринишда тузилади:

$$G_{\text{Акет}} = G_{\text{Аскав}} + G_{\text{Акр}} \quad (40)$$

$$C_{A_0} \cdot V_c = V_c \cdot C_{A_0} (1 - X_A) + U_A V_p$$

Бу тенглама соддалаштирилгандан сўнг куйидаги кўри-  
нишга эга бўлади:

$$V_c \cdot C_{A_0} \cdot X_A = U_A \cdot V_p$$

ёки

$$\tau = \frac{V_p}{V_c} = C_{A_0} \cdot \frac{X_A}{U_A},$$

яъни:

$$\tau = \frac{C_{A_0} \cdot X_A}{U_A} \quad (41)$$

Агарда  $X_{A_0} \neq 0$  ва  $X_{A_0} = X_{A_1}$  бўлса, унда:

$$\tau = C_{A_0} \frac{X_{A_2} - X_{A_1}}{U_A} \quad (42)$$

«n» – тартибли реакция учун:

$$\tau = C_{A_0} \frac{X_A}{K \cdot C_A^n} = C_{A_0} \frac{X_A}{K \cdot C_{A_0}^n (1 - X_A)^n} = \frac{X_A}{K \cdot C_{A_0}^{n-1} (1 - X_A)^n} \quad (43)$$

«0» – тартибдаги реакция учун:

$$\tau = \frac{C_{A_0} \cdot X_A}{K} \quad (44)$$

«1» – тартибдаги реакция учун:

$$\tau = \frac{1}{K} \frac{X_A}{(1 - X_A)} \quad (45)$$

### Мукамал сиқиб чиқарувчи ва мукамал аралаштирувчи реакторларни таққослаш

Реакторлар таққосланганда, уларнинг турини танлашдаги  
муҳим омиллар куйидагилардан иборат:

1. Унинг иш суръати, бу омилга реакторнинг ўлчамлари ва  
нархи боғлиқ бўлади;

2. Унда кечаётган жараённинг танланиш хусусиятига эгаллиги;
3. Маҳсулотнинг чиқиши.

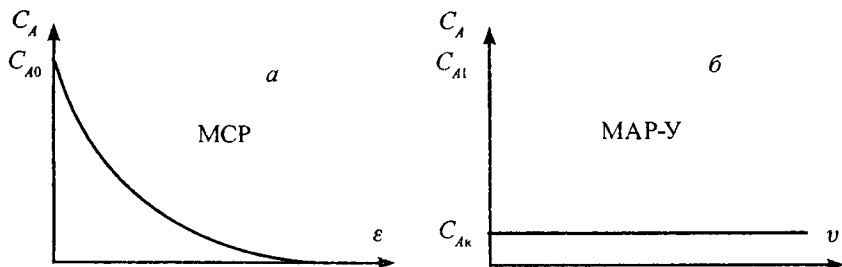
$A \rightarrow B$  турдаги оддий қайтмас реакциялар учун, ўзгариш даражаси қанча юқори бўлса, маҳсулотнинг чиқиши ҳам шунча кўп бўлади. Мукамал аралаштирувчи МАР-Д (39) ва сиқиб чиқарувчи МСР (21) реакторларнинг тавсифий тенгламалари бир хил, шунинг учун, берилган ўзгариш даражасига етиш учун кимёвий реакцияларнинг кечиши учун керак бўлган вақт ҳам уларда бир хилдир. Лекин, МАР-Д реакторларда жараённинг тўлиқ вақти асосий иш учун ва иккинчи операцияларга кетган вақтдан ташкил топади, МСР да эса, иккиламчи ишларни бажариш учун вақт талаб қилинмайди ва шунинг учун МСР нинг иш суръати МАР-Д никига қараганда юқори бўлади.

МСР да реакторнинг узунлиги бўйлаб дастлабки реагентнинг концентрацияси аста-секин камайиб боради (39-расм), МАР-У да эса концентрация охиригى бирликка қадар кескин пасаяди (39.б расм).

39-расмдан кўриниб турибдики, МСР да реагентнинг ўртача концентрацияси юқори бўлганлиги туфайли, реакция тезлиги ҳам шунга қараб юқори бўлади, чунки тезлик концентрацияга мутаносибдир:

$$U = KC_A^n$$

Нол тартибли қайтмас реакциялар учун ( $n = 0$ ) бу нарса реакторнинг турини танлаш натижасига таъсир кўрсатмайди ва де-



39-расм. МСР ва МАР-У ларда дастлабки  $C_A$  реагент концентрациясининг ўзгариши.

мак, жараённинг тезлиги ва реакторнинг ҳажми реагентнинг концентрациясига боғлиқ эмас.

Тартиби нолдан юқори бўлган реакциялар учун ( $n > 0$ ), реакторнинг тури муҳим аҳамият касб этади, чунки МСРларда жараённинг ўртача тезлиги МАР-У ларниқидан юқори бўлганлиги сабабли, бир хил ўзгариш даражасига эришиш

учун МАР-У да МСР га қараганда кўпроқ вақт талаб қилинади ( $\tau_{ар} > \tau_{сч}$ ) ва демак МАР-У да жараённи амалга ошириш учун реакторнинг ҳажми катта бўлиши лозим.

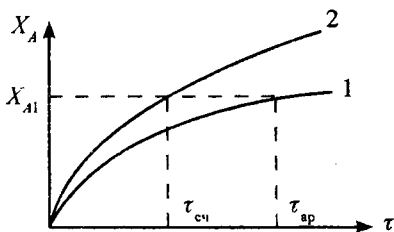
Дастлабки реагентнинг 40-расмда МСР ва МСР-У ларда ўзгариш даражасининг реакторда бўлиш вақтига боғлиқлиги кўрсатилган.

МСР ва МАР-У ларнинг биринчи тартибдаги реакциялар учун (25) ва (26) тавсифий тенгламаларига кўра  $\tau_{ар} / \tau_{сч} / > 1$ . Бу нарса қуйидаги жадвалдан яққол кўриниб турибди:

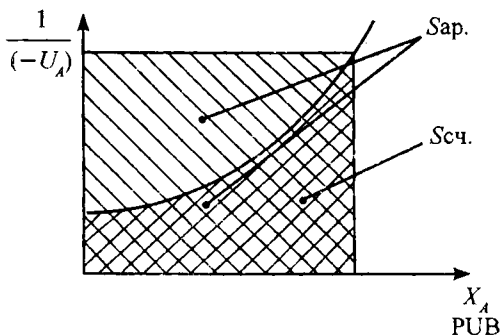
Ўзгариш даражаси, $X_A$	Кт катталиги		тар/ $\tau_{сч}$
	МСР	МАР-У	
0,1	0,105	0,111	1,06
0,5	0,639	1,0	1,44
0,9	2,303	9,0	3,9

Реакциянинг тартиби бирдан юқори бўлган ҳолатларда таққослашнинг чизма усулидан фойдаланилади. Бунинг учун МСР, МАР-У (21) ва (39) тавсифий тенгламаларидан фойдаланиб, берилган ўзгарилиш даражасига эришиш учун кетган вақт чизма равишда аниқланади. 41-расмда ушбу боғлиқликнинг биргаликдаги чизма кўриниши келтирилган.

41-расмдан кўриниб турибдики, МАР-У да керакли ўзгарилиш даражасига эришиш учун кетган вақтга тўғри келади-ган тўғри бурчакнинг майдон юзаси ( $S_{сч}$ ) эгри чизик билан че-



40-расм. Ўзгариш даражаси ( $X_A$ ) нинг вақт ( $t$ )га боғлиқлиги: 1-МАР-У, 2-МСР.



41-расм. Бир хил ўзгариш даражаси учун МСР ва МАР-У реакторларда кетган вақтнинг қиёсий чизмаси.

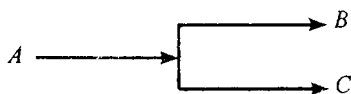
гараланган майдон юзасидан каттадир. Бошқа томондан олиб қаралса, ушбу тенгламага мувофиқ, бу майдонларнинг нисбати реагентларнинг МСР ва МАР-У да бўлишининг шартли вақтини нисбатига тенгдир (яъни реакторлар ҳажмларида):

$$\frac{\tau_{cr}}{t_{ap}} = \frac{C_{A_0} \cdot S_{c_c}}{C_{A_0} \cdot S_{ap}} = \frac{S_{c_c}}{S_{ap}} = \frac{V_{Pcr}}{V_{Pap}} \quad (46)$$

Мураккаб реакциялар кетаётганда реактор ишининг самардорлиги ҳақида фақат берилган ўзгарилиш даражасига кетган вақт катталиги билангина фикр юритмасдан, балки жараённинг юқори даражадаги танланишини ҳам таъминлаш зарур (яъни кўзда тутилган реакция маҳсулотининг чиқиши).

Бунинг учун асосий ва ёрдамчи реакциялар тезлик тенгламаларини таҳлил қилиш ва бу реакциялар тезлиги константалари катталигини ҳам асосий ва ёрдамчи реакциялар тартибини билиш керак.

Мисол тариқасида, дастлабки А модда реакциясининг охири В маҳсулоти ва ёрдамчи С маҳсулот ҳосил бўлишига сарфланадиган мураккаб параллел реакция кетадиган вазиятни кўриб чиқамиз.





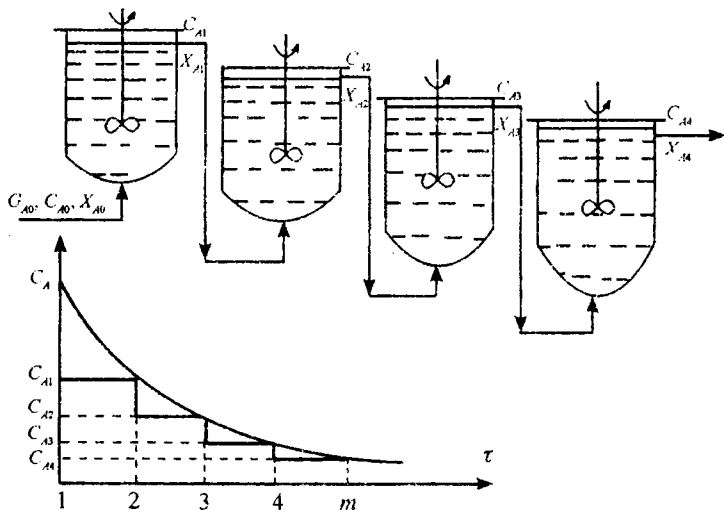
$$\varphi_B = f\left(\frac{U_B}{U_C}\right) = f\left(\frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{C_A^{n_1}}{C_A^{n_2}}\right) = f\left(\frac{K_1}{K_2} \cdot C_A^{n_1-n_2}\right) \quad (47)$$

бу ерда:  $U_B$  – асосий (максадли) реакция тезлиги;  $U_C$  – ёрдамчи (иккиламчи) реакция тезлиги;  $K_1$  – асосий реакция тезлик константаси;  $K_2$  – ёрдамчи реакция тезлик константаси;  $n_1$  – асосий реакция тартиби;  $n_2$  – ёрдамчи реакция тартиби.

Ушбу (47) тенгламадан кўриниб турибдики, муқим ҳароратда танланиш фақат концентрация ( $C_A$ ) га боғлиқ бўлади, чунки реакция тезлиги константасининг нисбати  $K_1/K_2$  бу шароитда доимийдир. Дастлабки реагент концентрациясининг танланишга таъсири ижобий ёки салбий бўлиши мумкин ( $n_1 - n_2$  ўртасидаги фарққа боғлиқ).

### **Мукамал аралаштирувчи реакторларнинг босқичли термаси**

Битта мукамал аралаштирувчи реакторда дастлабки реагентнинг концентрацияси тезда охириги катталиқгача пасайиши сабабли, ўзгарувчанлик даражаси юқори бўлган ҳолатларда реакция тезлиги жуда кичикдир, шунинг учун ҳам реактор ҳажми катта бўлиши талаб қилинади. Бу ҳолатда, реакторнинг реакция борадиган ҳажмини камайтириш учун жараённи битта реакторда эмас, балки босқичма-босқич мукамал аралаштирувчи реакторлар термасида амалга ошириш мақсадга мувофиқдир. Бу ҳолатда дастлабки реагентнинг концентрацияси охириги катталиқгача аста-секинлик билан пасайиб боради, натижада, охириги босқичдан ташқари барча босқичларда жараённинг тезлиги, биттагина реактордагига нисбатан анча юқори бўлади, демак, дастлабки реагентнинг берилган ўзгарилиш даражаси бир хил бўлган ҳолатда, босқичли реакторлар термаси ҳажмининг йиғиндиси битта реактор ҳажмидан анча кичик бўлади. Мукамал аралаштирувчи реакторларнинг 4 та босқичли термаси ва дастлабки реагент концентрациясининг ушбу терманинг ҳар бир босқичида ўзгариши 42-расмда тасвирланган. Реакторлар термасининг босқичлар бўйича концентрациясининг ўзгариш



42-расм. Мукаммал аралаштирувчи реакторлар термаси ва унда дастлабки реагент концентрациясининг ўзгариши.

чизмасидан яққол кўриниб турибдики, дастлабки реагентнинг концентрацияси босқичдан-босқичга секин-аста пасайиб боради ва ушбу боғлиқ айрим тузатишлар билан мукаммал сиқиб чиқарувчи реакторлардаги концентрациянинг ўзгариш чизмасига яқинлашади.

Мукаммал аралаштирувчи реакторлар термасини ҳисоблашдаги асосий вазифа (поғоналар) сонини аниқлашдан иборат. Бунинг учун чизма ва аналитик усуллардан фойдаланиш мумкин.

Аналитик усул ҳар бир босқич учун тузилган моддий баланс тенгласидан келиб чиқади.

Биринчи даражали қайтмас реакциялар учун, диффузия тўхтаи бўлмаган ҳолатларда, реакторлар термаси биринчи босқичи учун моддий баланс тенгласини тузамиз:

$$C_{A_0} \cdot V = C_{A_1} \cdot V + k \cdot C_{A_1} \cdot Vp = C_{A_1} (V + k \cdot Vp) \quad (48)$$

бу ердан,

$$C_{A_1} = \frac{C_{A_0} V}{V+k \cdot Vp} = \frac{C_{A_0} V}{V \left(1+k \frac{Vp}{V}\right)} = \frac{C_{A_0}}{1+k \cdot \tau} \quad (49)$$

Худди шу тахлитда терманинг иккинчи боскичи учун моддий баланс тенгламасини тузамиз:

$$C_{A_1} \cdot V = C_{A_2} \cdot V + k \cdot C_{A_2} \cdot Vp$$

бу ердан,

$$C_{A_2} = \frac{C_{A_1}}{1+k \cdot \tau} = \frac{C_{A_0}}{(1+k \cdot \tau)^2} \quad (50)$$

Мана шу тахлитда терманинг ҳар қандай « $m$ »—боскичи учун тенглама тузиш мумкин:

$$C_{A_m} = \frac{C_{A_0}}{(1+k \cdot \tau)^m} \quad (51)$$

Ушбу тенгламага кўра  $C_{A_0}$  ва берилган  $C_{A_m}$  дан фойдаланиб, терманинг босқичлар сонини, яъни реакторларь сони « $m$ »ни топиш мумкин:

$$m = \frac{\lg \left( \frac{C_{A_0}}{C_{A_m}} \right)}{\lg(1+k \cdot \tau)} \quad (52)$$

Концентрация ( $C_{A_m}$ )ни аниқлаш жуда мушкул, шунинг учун терманинг босқичлари сонини аниқлашда унчалик катта аниқликка эга бўлмаган, лекин оддийгина чизма усулидан фойдаланилади.

Ушбу усулнинг моҳиятини кўриб чиқамиз, бунинг учун эса МАР-У нинг тавсифий тенгламасини эсга оламиз:

$$\tau = \frac{C_{A_0} \cdot X_A}{U_A} = \frac{C_{A_0} - C_A}{U_A} \quad (53)$$

ва уни қуйидагича ёзамиз:

$$U_A = \frac{C_{A_0} - C_A}{\tau}$$

Бу тенгламага биноан реакция тезлиги нимага тенг бўлишини топамиз:

$$U_A = \frac{1}{\tau} C_{A_m} + \frac{C_{A_0}}{\tau}$$

Ушбу тенглама таҳлили унинг тўғри чизик тенграмаси эканлигини кўрсатади:

$$U_{A_m} = \frac{-C_{A_m}}{\tau} + \frac{C_{A_{m-1}}}{\tau} \quad (54)$$

Реакторлар термасининг « $m$ » босқичи учун тезлик тенграмасини ёзамиз:

$$U_{A_m} = -\frac{1}{\tau} C_{A_m} + \frac{C_{A_{m-1}}}{\tau} \quad (55)$$

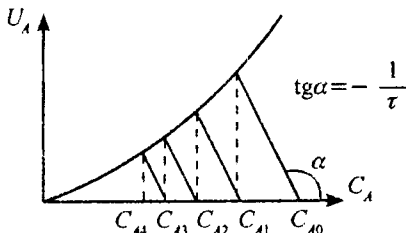
Бу тенгама, реакторнинг « $m$ » – босқичдан чиқаётган маҳсулот концентрациясининг ундаги реакция тезлигига боғлиқлигини кўрсатувчи тўғри чизик тенграмасидир. Агарда реакторларнинг ҳажми бир хил бўлса, яъни ҳар босқичда реагентнинг бўлиш вақти бир хил бўлса, унда  $C_{A_{m-1}}/\tau$  доимий бўлади. Чунончи, тўғри чизик абсцисса ўқини  $C_A$  нуктада кесиб ўтади ва эгилиш бурчаги тангенси  $(-1/\tau)$  га тенг бўлади. Лекин  $U_{A_m}$  ва  $C_{A_m}$  нинг ҳамма катталиклари ҳам тўғри келавермайди. Реакция тезлиги тенграмасини ҳам қониқтирувчи катталикларгина тўғри келади:

$$U_{A_m} = k \cdot f(C_{A_m})$$

Шундай қилиб, эгилиш бурчаги тангенси  $\text{tg} = (-1/\tau)$  тўғри чизикнинг реакция тезлиги « $m$ » – босқичдаги концентрациясига  $C_{A_m}$  боғлиқлигини ифодаловчи эгри чизик билан кесишиш 43-расмда кўрсатилган.

Расмдан кўриниб турибдики, чизмани куриш бошланғич  $C_{A_0}$  концентрациядан бошланади. Тезлик эгри чизиги ва тўғри

чизиқлардан бирининг кесишиш нуктаси, дастлабки реагентнинг берилган ўзгарилиш даражасига тўғри келувчи берилган охириги концентрацияси катталигига тўғри келмагунча, концентрация ўзгаришининг бир неча поғоналари қурилади. Шундан кейин терманинг босқичлар сони ҳисоблаб чиқилади.



43-расм. Мукаммал аралаштирувчи реакторлар термасининг чизма ҳисоби.

### Турли иссиқлик маромига эга бўлган реакторлар

Шу пайтга қадар турли хил реакторларнинг тавсифий тенгламаларини тузишда ҳароратнинг таъсири ҳисобга олинмаган эди, яъни шартли равишда реакторлар изотермик шароитда (доимий бир хил ҳароратда) ишлайдилар деб ҳисобланарди.

Аммо ҳарорат кимёвий жараёнларнинг статистикаси, кинетикаси ва танланишга жиддий таъсир кўрсатади. Шунинг учун амалда жараёнларнинг юқори самарадорлигини таъминлаш мақсадида реакторларда маълум бир ҳарорат яратилади.

Реакторлардаги ҳарорат таъсирини ҳисобга олган ҳолда ишнинг тенгламаси моддий баланс тенгламасидан шу шарт билан келтириб чиқариладики, ушбу тенгламада тезлик константаси ҳарорат функцияси бўлади:

$$K = K_0 \cdot e^{\frac{-E}{RT}}$$

Лекин бу ҳолда реакцияга киришаётган аралашманинг ҳарорати кўпгина мураккаб ўзгарувчиларнинг функцияси бўлганлиги учун, бундай дифференциал тенгламаларни интеграллаш жуда қийин. Шу туфайли, амалда ҳар турдаги реакторлар учун иссиқлик баланси тенгламаси тузилади: сўнгра ушбу тенгламаларга моддий балансдан керакли кўрсаткичлар киритилади.

Аввал кўрсатиб ўтилганидек, реакторлар уч хил иссиқлик маромида ишлаши мумкин: адиабатик, изотермик ва политермик.

Адиабатик маром реакторда ташқи муҳит билан иссиқлик алмашиниш йўқ ва кимёвий реакция натижасида ажралиб чиққан экзотермик иссиқлик реакцияга киришаётган аралашманинг ҳароратини ўзгартиришга сарфланади.

Изотермик маромда иссиқлик киритиш ёки иссиқлик чиқариш йўли билан реакторда ҳарорат доимий ушлаб турилади.

Политермик маромда реакция ҳарорати ўзгариб туради. Реакторга иссиқлик киритилиши ҳам, чиқарилиши ҳам мумкин.

Адиабатик ва изотермик маромлар ўта мукамал ҳолат ҳисобланиб, амалда деярли учрамайди. Лекин саноатда ишлатиладиган кўпгина реакторнинг иш мароми баъзи бир ўзгаришлар киритилган ҳолда, етарли даражада ушбу мукамал иш маромига яқинлашиши мумкин.

### Реакторнинг иссиқлик баланси

Реакторнинг иссиқлик маромини ҳисобга олган ҳолда ҳисоблашнинг асоси бўлиб моддий баланс тенгламаси хизмат қилади. Умумий кўринишда у маълум физика қонуни-қувватнинг сақланиш қонунининг хусусий бир кўриниши бўлиб, у қуйидагича ёзилади:

$$Q_{\text{кир}} = Q_{\text{сарф}} \quad (56)$$

$$Q_{\text{кир}} = Q_{\text{реаг}} + Q_{\text{кр}} \quad (57)$$

$$Q_{\text{сарф}} = Q_{\text{тўп}} + Q_{\text{мах}} + Q_u \quad (58)$$

бу ерда:  $Q_{\text{кир}}$  – реакторга кирган иссиқлик миқдори;  $Q_{\text{сарф}}$  – реактордан чиқарилган иссиқлик миқдори;  $Q_{\text{реаг}}$  – дастлабки реагент билан кирадиган иссиқлик миқдори;  $Q_{\text{кр}}$  – кимёвий реакция натижасида ажраладиган иссиқлик миқдори;  $Q_{\text{тўп}}$  – реактордаги муҳит ҳароратини кўтаришга сарфланадиган иссиқлик миқдори;  $Q_{\text{мах}}$  – маҳсулот билан бирга реактордан чиқиб кетадиган иссиқлик миқдори;  $Q_u$  – иссиқлик алмашинуви натижасида реактордан чиқиб кетадиган иссиқлик миқдори.

Бу ердан, 
$$Q_{\text{тўп}} = -(Q_{\text{мах}} - Q_{\text{реаг}}) - Q_u + Q_{\text{кр}}$$

$$Q_{\text{max}} - Q_{\text{резг}} = Q_{\text{конв}}$$

$$Q_{\text{тўп}} = -Q_{\text{конв}} - Q_{\text{u}} + Q_{\text{кр}} \quad (59)$$

бунда,  $Q$  конвектив иссиқлик.

Илгари реактордаги жараёнларнинг стационарлик (барқарорлик) шароитлари кўриб чиқилган эди. Реактор ишининг иссиқлик мароми ҳисобга олинганда барқарорлик шароитлари мураккаблашади. Қачонки, бир вақтнинг ўзида қуйидаги икки шарт бажарилса, реакторнинг иш режими барқарор бўлади:

$$G_{\text{тўп}} = 0$$

$$Q_{\text{тўп}} = 0$$

Бошқа ҳолатларда реакторнинг иш режими беқарор бўлади. Бунақа ҳолат 3 та бўлиши мумкин:

- 1)  $G_{\text{тўп}} = 0$  ва  $Q_{\text{тўп}} = 0$
- 2)  $G_{\text{тўп}} \neq 0$  ва  $Q_{\text{тўп}} = 0$
- 3)  $G_{\text{тўп}} = 0$  ва  $Q_{\text{тўп}} \neq 0$

Умумий ҳолда, реакторнинг ҳарорат ва жараённинг бошқа кўрсаткичлари реакторнинг ҳажми бўйича ҳам, жараённинг вақти бўйича ҳам ўзгаради. Шу туфайли иссиқлик баланси тенгламаси дифференциал шаклда тузилади. Бунинг учун, иссиқлик алмашинуви ва реакция иссиқлигини ҳисобга олувчи қўшимча аъзолар киритиб туриб, конвектив иссиқлик алмашинуви тенгламасидан фойдаланилади.

$$\rho c_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = -\rho C_p \left( W_x \frac{\partial T}{\partial x} + W_y \frac{\partial T}{\partial y} + W_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) +$$

$$+ \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) - F_{\text{сое}} \cdot K \cdot \Delta T + U_A \cdot \Delta H \quad (60)$$

бу ерда:  $\rho$  – реакция аралашма зичлиги;  $C_p$  – реакция аралашма солиштирма иссиқлик сифими;  $\lambda$  – реакция аралашманинг иссиқлик ўтказиш коэффициенти;  $T$  – аралашма ҳарорати;  $F$  – иссиқлик алмашинуви солиштирма юзаси, яъни реакция аралашманинг ҳажм бирлигига тўғри келувчи юза;  $K$  – иссиқлик узатиш коэффициенти.

$$dT = T - T_{хл}$$

бу ерда:  $T_{хл}$  – совутувчи агентнинг харорати;  $H$  – реакциянинг иссиқлик эффекти.

Бу тенгламанинг чап томони элементар ҳажмда иссиқлик тўпланиш тезлигини тавсифлайди:

$$Q_{тўп} = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (61)$$

Тенгламанинг ўнг қисмидаги биринчи гуруҳ аъзолари иссиқликнинг элементар ҳажмда тегишли координата ўқлари бўйлаб конвектив ўтиши тезлигини аниқлайди.

Қўшилувчиларнинг иккинчи гуруҳи-реакцион муҳитнинг молекуляр ва конвектив иссиқлик ўтказувчанлиги натижасида иссиқлик чиқиб кетиш тезлигини аниқлайди.

Биринчи ва иккинчи гуруҳ қўшилувчилари биргаликда иссиқлик баланси тенгласидаги  $Q_{конв}$  ни ташкил қилади:

$$-Q_{конв} = -\rho C_p \left( W_x \frac{\partial T}{\partial x} + W_y \frac{\partial T}{\partial y} + W_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (62)$$

60-тенгламанинг учинчи гуруҳ аъзолари иссиқликнинг алмашинуви йўли билан чиқиб кетадиган иссиқлик миқдорини аниқлайди:

$$Q_T = F_{сол} \cdot K \cdot \Delta T$$

Бу тенгламанинг тўртинчи гуруҳи аъзолари кимёвий реакция натижасида реакторда ҳосил бўлган иссиқлик тезлигини тавсифлайди:

$$Q_{кр} = U_A \Delta H$$

60-тенгламани ечиш жуда ҳам мураккаб, шунинг учун уни айрим ҳолатлар учун тегишли соддалаштиришлар киритган ҳолда ечилади.



## Политермик маъром

Реактор ишининг политермик маъроми умумий ҳолат бўлиб, унда иссиқлик киритилишини ҳам, иссиқлик чиқарилишини ҳам ҳисобга олинади.

44-расмда деворлари орқали ва совутувчи элементлар ёрдамида иссиқлик чиқиб кетадиган политермик реакторларнинг модели тасвирланган.

Иссиқлик баланси тенгламасини айрим хусусий ҳолатлар учун ечишни политермик реакторлар мисолида кўриб чиқамиз.

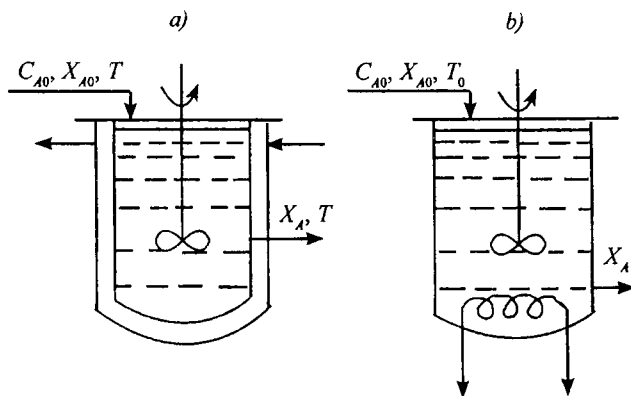
### Биринчи ҳолат.

Мукаммал аралаштирувчи даврий ҳаракатланувчи политермик реактор ёки қисқача қилиб МАР-Д-П.

Даврий реакторларда ҳаракатланувчи оқим йўқ ва шу сабабли  $Q = 0$ . Бу ҳолда иссиқлик баланси тенгламаси ихчамлашади:

$$U_A \cdot \Delta H = \rho C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} + F_{\text{сол}} \cdot K \cdot \Delta T \quad (63)$$

Лекин МАР-Д учун (38) тенгламага биноан:



44-расм. Политермик реакторлар модели:

- а – деворлари орқали иссиқлик чиқиб кетадиган мукаммал аралаштирувчи реактор;
- б – совутувчи элементлар ёрдамида иссиқлик чиқиб кетадиган мукаммал аралаштирувчи реактор.

$$d\tau = \frac{C_{A_0} \cdot dX_A}{U_A} \quad \text{ёки} \quad U_A = \frac{C_{A_0} \cdot dX_A}{d\tau}$$

$U_A$  нинг қийматини (63) тенгламага қўйиб ихчамлаштирган-дан сўнг қуйидаги тенгламага эга бўламиз:

$$\Delta H \cdot dX_A = C_p^1 dT + \frac{F_{\text{сол}} \cdot K \cdot \Delta T}{C_{A_0}} \cdot d\tau \quad (64)$$

Бу ерда,  $C_p^1 = \rho \frac{C_p}{C_{A_0}}$  мол иссиқлик сифими

Тенгламанинг охириги азвосининг суръат ва маҳражини  $V_p$  га кўпайтирамиз:

$$\frac{F_{\text{сол}} \cdot K \cdot \Delta T}{C_{A_0}} \cdot d\tau = \frac{F_{\text{сол}} \cdot K \cdot \Delta T \cdot V_p}{C_{A_0} \cdot V_p} \cdot d\tau = \frac{F_{\text{сол}} \cdot K \cdot \Delta T}{C_{A_0}} \cdot d\tau$$

бу ерда:  $F = F_{\text{сол}} \cdot V_p$  – реактордаги умумий иссиқлик алмашинув юзаси.

$F$  ва  $G_A$  ни ҳисобга олган ҳолда (63) тенгламани қуйидагича ёзамиз:

$$\Delta H \cdot dX_A = C_p^1 \cdot dT + \frac{F \cdot K \cdot \Delta T}{C_{A_0}} \quad (65)$$

бу ерда:  $G_{A_0}$  – модда микдори

### Иккинчи ҳолат.

Мукамал сиқиб чиқарувчи политермик реактор (МСЧ-П).

Бундай реакторда иссиқлик факат бир томонга-реактор бўйи (яъни «х» ўқи) бўйлаб йўналади:

$$\frac{F \cdot K \cdot \Delta T}{C_{A_0}}$$

Ҳарорат молекуляр иссиқлик ўтказиш ҳисобига кам ўзгаради (ва уни ҳисобга олмаса ҳам бўлади), аралаштириш бўлмаганлиги туфайли эса, ҳарорат ҳам турбулент диффузия ҳисобига ўзгармайди, яъни:

$$\lambda \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = 0$$

МСЧ-П реакторларда барқарор маромда.

$$Q_{кр} = Q_{кюив} + Q_T$$

ёки 
$$U_A \cdot \Delta H = \rho C_p \cdot W \cdot \frac{\Delta T}{\rho} + F_{сол} \cdot K \cdot \Delta T \quad (66)$$

МСЧ реакторлар учун (20) тенгламага биноан:

$U_A = \frac{C_{A_0} \cdot dX_A}{dt}$ ; «W» эса  $W = \frac{d\ell}{dt}$ . Бу қийматларни (66) тенгламага қўйиб, содалаштиргандан сўнг қуйидагини оламиз:

$$\Delta H \cdot dX_A = \rho \frac{C_p \cdot dT}{C_{A_0}} + \frac{F_{сол} \cdot K \cdot \Delta T}{C_{A_0}} \cdot d\tau \quad (67)$$

Бу тенгламанинг охириги аъсосини, унинг суръатини ва маҳражини «V» га кўпайтириб ўзгартирамиз ва бунда  $dt = dvw$  эканлигини эътиборга оламиз:

$$\frac{F_{сол} \cdot K \cdot \Delta T}{C_{A_0}} \cdot d\tau = \frac{F_{сол} \cdot K \cdot \Delta T \cdot V \cdot d\ell}{C_{A_0} \cdot W \cdot v} = \frac{F^1 \cdot K \cdot \Delta T}{V_{A_0}} \cdot d\ell$$

бу ерда:  $F^1 = \frac{F_{сол} \cdot v}{w}$  реакторлар узунлиги бирлигидаги реактор юзаси,  $V_{A_0} = C_{A_0} \cdot V$  – реагентнинг сарфи.

МСЧ-П реактор учун тенгламанинг охириги кўриниши қуйидагича бўлади:

$$\Delta H \cdot dX_A = C_p^1 \cdot dT + \frac{F^1 \cdot K \cdot \Delta T}{V_{A_0}} \cdot d\ell \quad (68)$$

**Учинчи ҳолат.**

Узлуксиз ҳаракатланувчи мукамал аралаштирувчи полимерик реактор (МАР-У-П). Бу реактор учун ўлчамларнинг (параметрларнинг) жараён вақти бўйича ҳам, реакторнинг ҳажми

бўйича ҳам чегараси (градиенти) йўқ. Шунинг учун тенглама реакторнинг чексиз кичик ҳажми учун эмас, балки бутун реактор учун тузилади:

$$Q_{кр} = Q_{конь} + Q_T \quad (69)$$

Бу тенглама қийматига катталикларини қўйиб:

$$Q_{кр} = U_A \cdot \Delta H \cdot V_p = \frac{C_{A_0} \cdot X_A \cdot \Delta H \cdot V_p}{\tau} = \frac{C_{A_0} \cdot X_A \cdot \Delta H \cdot V_p}{\frac{V_p}{F}} = C_{A_0} \cdot X_A \cdot \Delta H \cdot V$$

$$Q_{конь} = \rho \cdot C_p \cdot V_o (T - T_o)$$

$$Q_T = F \cdot k \cdot \Delta T$$

ва соддалаштириб қуйидагиларни оламиз:

$$\Delta H \cdot X_A = \frac{\rho \cdot C_p}{C_{A_0}} (T - T_o) + \frac{F \cdot k \cdot \Delta T}{C_{A_0} \cdot V}$$

ёки

$$\Delta H \cdot X_A = C_p^1 (T - T_o) + \frac{F \cdot k \cdot \Delta T}{V_m} \quad (70)$$

### Даврий ҳаракатланувчи мукамал аралаштирувчи адиабатик реактор

Даврий ҳаракатланувчи мукамал аралаштирувчи адиабатик реактор (МАР-Д-А). Реактор адиабатик маромда ишлаганда тизимдан иссиқлик чиқарилмайди:

$$Q_T = \frac{F \cdot k \cdot \Delta T}{G_{A_0}} d\tau = 0$$

Бу ҳолда (65) тенгламадан қуйидагига эга бўламиз:

$$\Delta H \cdot dX_A = C_F^1 \cdot dT \quad (71)$$

Агар,  $\Delta H$  ва  $C_F^1$  ни доимий деб қабул қилсак, унда (71) –тенгламани интеграллаб ва ушбу кўринишни олиш мумкин:

$$\Delta H \cdot X_A = C_p^1(T - T_0) \quad (72)$$

ёки

$$T = T_0 + \frac{\Delta H}{C_p^1} X_A \quad (72a)$$

Олинган бу боғлиқлик чизиклидир. Ушбу тўғри чизикнинг абсцисса ўқиға эгилиш бурчағи қуйидағи тенглама билан аниқланади:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta H}{C_p^1} \quad (73)$$

Дастлабки модда (реагент) нинг ўзгарилиш даражаси  $X_A = 1$  бўлганда (72a) тенгламадан қуйидағини ҳосил қиламиз:

$$T^1 = T_0 + \frac{\Delta H}{C_p^1} = T_0 + \Delta T_{\text{ад}}$$

бу ерда:  $T^1$  – экзотермик реакция учун охириги ҳарорат;  $\Delta T'_{\text{ад}}$  – ҳароратнинг адиабатик ўзгариши.

Мукамал сиқиб чиқарувчи адиабатик реакторда (МСЧ-А) ва узлуксиз ҳаракатланувчи мукамал аралаштирувчи адиабатик реакторда (МАР-У-А) ҳам иссиқлик алмашинуви йўқ, шунинг учун (68) ва (70) тенгламалардан қуйидагиларни оламиз:

МСЧ-А реактор учун

$$\Delta H \cdot dX_A = C_p^1 \cdot dT \quad (75)$$

Агарда, « $H$ » ва « $C_p$ » ҳароратга боғлиқ эмас деб қаралса, унда

$$\Delta H \cdot X_A = C_p^1(T - T_0) \quad (76)$$

Мукамал сиқиб чиқарувчи узлуксиз ҳаракатланувчи адиабатик реакторлар (МСЧ-У-А) учун:

$$\Delta H \cdot X_A = C_p^1(T - T_0) \quad (77)$$

Яъни, бу икки моделдаги реакторлар учун бир хил тенгламалар ҳосил бўлади.

## Изотермик маъром

Изотермик маъром амалда фақат узлуксиз ҳаракатланувчи реакторлардагина учрайди. Бундай реакторларда ҳарорат иссиқлик киритиш ёки чиқариш орқали барқарор (доимий) саклаб турилади. Реакторга кириш жойида, реакцияга киришувчи эралашма ҳарорати ундан чиқишдаги ҳароратга тенг бўлганлиги туфайли (яъни  $T = T_0$ ), МСР-И ва МАР-У-И реакторлар учун:

$$C_p^1 \cdot dT = 0$$
$$C_p^1(T - T_0) = 0$$

Ушбу қийматларни ҳисобга олганда, аввалги тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\text{МСР-И учун: } \Delta H \cdot dX_A = \frac{F^1 \cdot K \cdot \Delta T \cdot di}{V_{A_0}} \quad (78)$$

$$\text{МАР-У-И учун: } \Delta H \cdot X_A = \frac{F \cdot K \cdot \Delta T}{V_{A_0}} \quad (79)$$

### Реакторлар ишининг барқарорлиги

Саноат – ишлаб чиқариш шароитида жараённинг технологик маъромини шундай танлаш зарурки, жараённинг ўзгарувчи кўрсаткичлари (параметрлари) модда ва иссиқликнинг келиш ва сарфи орасидаги тенгликни таъминлаб турсин, лекин шу билан бир пайтда, жараённинг жадал суръатлар билан кечиши ва реакторнинг барқарор иш маъромида энг кўп тайёр маҳсулот чиқишини таъминловчи шарт-шароитларни яратиш лозим.

«Барқарорлик» тушунчасини қуйидагича тавсифлаш мумкин:

Агар тизимга бирон-бир ўзга таъсир кўрсатилиб, сўнгра бу таъсир тўхтатилгандан сўнг у ўз-ўзидан илгариги ҳолига қайта олсагина, бундай тизим барқарор тизим ҳисобланади. Ўзга таъсир деб жараённинг айрим кўрсаткич ёки катталикларининг

(сарфи, босим, ҳарорат ва шунга ўхшаш) турли сабабларга кўра технологик маъромнинг мўътадил кечиши учун белгиланган қийматларидан четга чиқиши тушунилади.

Реакторнинг беқарор иш ҳолатида жараённинг технологик кўрсаткичларидан, ҳаттоки арзимас даражада четлашиши ҳам реактор иш маъромининг осойишта (стационар) ҳолатдан ноосойиш (ностационар) ҳолатга ўтишига сабаб бўлади. Бу ҳолда вақт ўтиши билан осойишта ҳолатдан четлашиш кучаяди ва жараён ўз-ўзидан осойишта ҳолатга ўта олмайди.

Реакторнинг беқарор иш маъромини таъминлаш имкониятларини таҳлил қилиш учун,  $A = B + Q$  реакция мисолида мукамал аралаштирувчи узлуксиз диабатик реактордаги иссиқлик баланси тенгламасидан фойдаланамиз. Реактордаги иссиқлик кириши ва сарфланиши тенглиги шароити, модданинг ҳам кириши ва сарфланиши (моддий баланс) тенглиги шароитини талаб қилади. Шунинг учун реакторнинг барқарор иш маъромини топиш учун моддий ва иссиқлик баланси тенгламаларини биргаликда чизма равишда ечиш амалга оширилади.

(69) тенгламадан кўриниб турибдики, мисолдаги ҳолат учун стационар маром иссиқлик баланси қуйидагича ифодаланади:

$$Q_{кр} = Q_{конв} \quad (а)$$

бу ерда

$$Q_{кр} = \Delta H \cdot X_A \quad (б)$$

$$Q_{конв} = C_p^1(T - T_0) \quad (в)$$

45а-расмда реакторда иссиқликнинг конвектив ўтишининг ҳароратга боғлиқлиги тасвирланган. Бу тўғри чизиқ бўлиб, унинг эгилиш бурчаги тангенс қуйидагига тенг:

$$\operatorname{tg} \alpha = C_p^1 = \frac{\rho C_p}{C_{A_0}} \quad (80)$$

МАР-У реакторлар учун (20) тенгламадан

$$X_A = \frac{\tau \cdot U_A}{C_{A_0}} = \frac{\tau \cdot K \cdot C_A}{C_{A_0}} = \frac{\tau \cdot K_0 \cdot e^{\frac{-E}{RT}}}{C_{A_0}} \cdot C_{A_0} (1 - X_A)$$

ёки уни ўзгартириб:

$$X_A = \frac{1}{\frac{e^{-\frac{E}{RT}}}{\tau \cdot K_0} + 1} \quad (81)$$

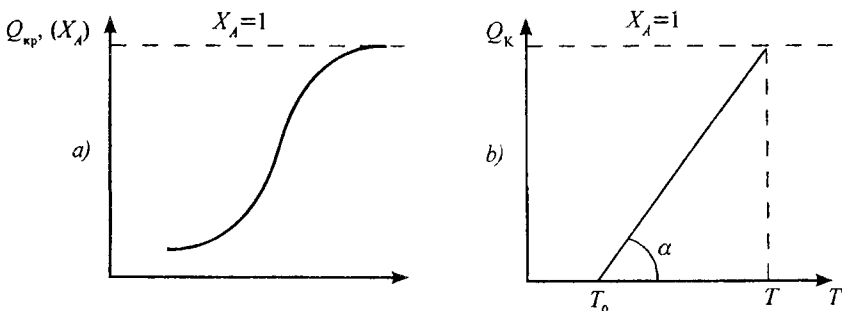
Бу қийматларни (6) тенгламага қўйиб  $Q_{кр}$  нинг қийматини топамиз:

$$Q_{кр} = \frac{\Delta H}{\frac{e^{-\frac{E}{RT}}}{\tau \cdot K_0} + 1} \quad (82)$$

Бу тенгламадан шу маълум бўладики, ҳарорат юқори бўлганда,  $Q_{кр}$   $\Delta H$  нинг доимий қийматига интилади, ҳарорат пасайганда эса нулга интилади.

45(б)-расмда кимёвий реакция пайтида иссиқлик ажралиб чиқишининг ҳароратга боғлиқлиги акс эттирилган.

Ажралиб чиқадиган иссиқликнинг миқдори ( $Q_{кр}$ ) ўзгарилиш даражасига ( $X_A$ ) мутаносиб (пропорционал) бўлганлиги, барқарор маъромда эса  $Q_{кр} = Q_{конв}$  бўлгани туфайлидан 45-расмдаги координата ўқларида  $X_A$  нинг ҳам қийматлари тегишли масштабни ҳисобга олган ҳолда кўрсатилган.



45-расм. Иссиқликнинг кириши ва чиқишининг ҳароратга боғлиқлиги:

a)  $Q_{кр} = f(t)$ ;

б)  $Q_{конв} = \varphi(t)$

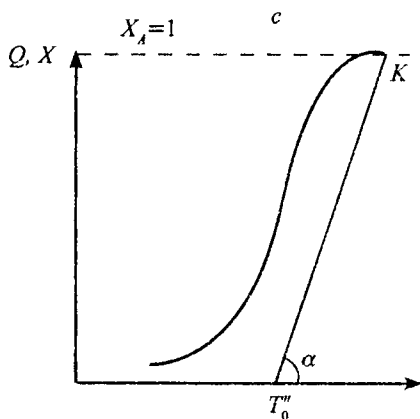
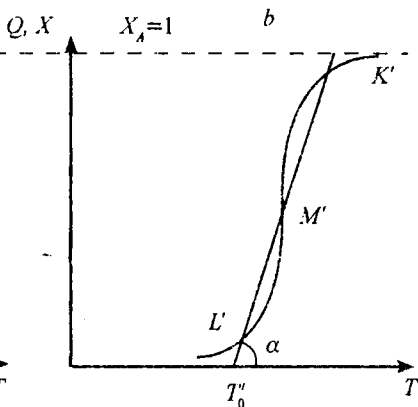
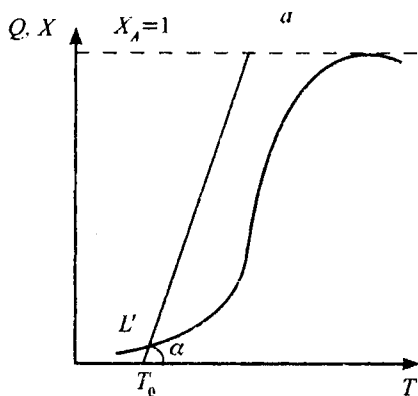


Реакторнинг барқарор иш маъромини топиш учун 45(a)-расмдаги тўғри чизиқни ва 45(b)-расмдаги эгри чизиқни бир-бирига жойлаштириш керак. Бу ҳолда ўзаро жойлашишнинг бир қанча ҳолатлари бўлиши мумкин ва улар 46-расмда келтирилган.

Иссиқлик кириш эгри чизиғи ва иссиқлик чиқиш тўғри чизиғи кесишган  $L$ ,  $M$  ва  $K$  нуқталар тизимнинг иссиқлик мувозанати ҳолатига, яъни иссиқликнинг келиши ва сарфи тенг бўлган ҳолатга мос келади. Энди 46-расмда тасвирланган MAP-U-A иш маъромининг ўзига хос хусусиятларини таҳлил қилиб чиқамиз.

Ушбу расмда кўрсатилганидек, реакторнинг иш маъроми ўзининг барқарорлиги билан таавсифланади, чунки жараённинг кўрсаткичларига оз миқдордаги таъсир унинг ишини жиддий бузилишига олиб келмайди ва бу таъсир тўхтатилгандан сўнг аппарат яна ўз иш маъромига, яъни  $L$  нуқтага жавоб берувчи ҳолатга қайтади. Бунда, иссиқлик келишининг, ёки аксинча уни сарфининг бир мунча кўпайиши назарда тутилади. Бу, масалан, реакция кетадиган аралашманинг реакторга киришдаги ( $T_c$ ) ёки реакция маҳсулотининг реактордан чиқишдаги ( $T$ ) ҳароратлари ўзгариши натижасида юз беради. Лекин, бу шароитларда аппарат ишининг барқарорлигига қарамасдан, унинг бу иш маъроми амалий аҳамиятга эга эмас, чунки чизмадан кўрғиниб турганидек, жараён дастлабки реагентининг охириги маҳсулотга айланиши даражаси жуда кичик бўлган ҳолатда кечади.

Реактор ишининг 46-расмда кўрсатилган ҳолати, реакторнинг иссиқлик келиши ва кетиши ( $L$ ,  $M$  ва  $K$  нуқталарда) тенг бўлган шароит сақланган ҳолда мумкин бўлган 3 та ишлаш варианты борлигини кўрсатади. Бу уччала нуқтада реакторнинг иш маъроми ўзининг барқарорлиги билан ажралиб туради. Айниқса,  $M$  нуқтага тўғри келувчи иш маъроми энг барқарор бўлади. Иссиқлик келиши ва кетиши ўртасидаги балансининг салгина бузилиши ҳам, тизимнинг ўз-ўзидан  $L$  ва  $K$  нуқтага тўғри келувчи ҳолатга ўтишига олиб келади. Агар иссиқлик чиқиб кетиши кўпайса, унда тизим  $L$  нуқтага тўғри келувчи ҳолатга ўтади,



46-расм. MAP-Y-A нинг ўзига хос ишлаш ҳолатлари:  
*a, b* – амалда қизиқиш уйғотмайдиган маъромлар;  
*c* – амалда кўпроқ қизиқиш уйғотадиган маъром.

иссиқлик чиқиб кетиши камайганда эса, тизим *K* нуктага мос келувчи ҳолатга ўтади. Бироқ дастлабки реагентнинг ўзгарилиш даражаси *K* нуктага нисбатан юқори бўлсада,

*K* нуктанинг тўғридан-тўғри эгилиш бурчаги тангенси катта бўлган иссиқлик кириш чизигига яқин жойда жойлашганлиги туфайли бу ҳолда реакторнинг иш маъроми беқарор бўлади.

46(*b*)-расмда кўрсатилган ҳолат амалда кўпроқ қизиқиш уйғотади, чунки у бир пайтнинг ўзида дастлабки реагентнинг маҳсулотга айланиш даражаси юқори бўлиши билан бирга реактор иш маъромининг барқарорлиги ҳолатига ҳам жавоб беради.

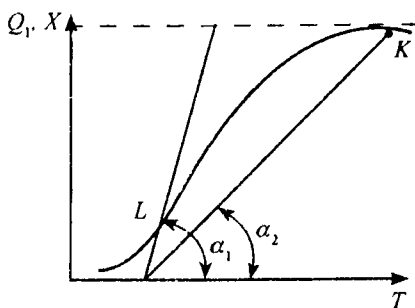
Аммо, кимёгар бакалавр – технологнинг вазифаси фақат 46-расмда кўрсатилган ҳолатларни таҳлил қилишгина эмас, балки

амалда самарадор бўлган маъромга ўтказиш учун реакторнинг иш маъромига таъсир кўрсата олишидан ҳам иборатдир.

Аппарат иш маъромининг бефойда ва барқарорлигини ўзгартириш учун, технологик жараён кўрсаткичлари (параметрлари)ни ва шу билан бир қаторда иссиқлик чиқариш тўғри чизиғи ва иссиқлик киритиш эгри чизикларининг ўзаро жойлашишини ҳам ўзгартириш мумкин.

Масалан, иссиқлик чиқиши чизигининг ҳолатини ўзгартириш мумкин, бунинг учун эса дастлабки реагентнинг бошланғич ҳароратини ( $T_0$ ) ўзгартириш лозим. Агар дастлабки реагентнинг ҳарорати оширилса, унда иссиқлик чиқиши чизиғи чизманинг ўнг томонига сурилади ва иссиқлик кириш эгри чизиғи ҳамда иссиқлик чиқиш тўғри чизигининг кесишиш нуқтаси тегишли равишда дастлабки реагентнинг юқорирок ўзгарилиш даражаси томонига силжийди (46 в расмга қаранг). Аксинча, агар дастлабки реагентнинг ҳарорати пасайтирилса, унда чизмадаги иссиқлик чиқиш чизиғи чапга сурилади (46а -расм).

Агарда, дастлабки реагентнинг ҳароратини ўзгартириш имкони бўлмаса, унда иссиқликнинг чиқиши тўғри чизигининг эгилиш бурчагини ўзгартириш мумкин. Бунинг учун дастлабки реагентнинг концентрациясини ўзгартириш даркор. 80-тенгламадан маълумки, дастлабки реагентнинг концентрацияси ўзгариши билан иссиқлик чиқиши тўғри чизиғи эгилиш бурчагининг тангенци камаяди. Шу туфайли иссиқлик кириш эгри чизиғи ва иссиқлик чиқиш тўғри чизигининг кесишиш нуқталарининг ҳолати ўзгаради (47-расм). Дастлабки модданинг керакли концентрациясини танлаб туриб, реакторнинг қулай ва барқарор иш маъромини топиш мумкин. Бундан ташқари,



47-расм. Иссиқлик чиқиш чизигининг эгилиш бурчагини ўзгартириш орқали иссиқликнинг чиқиши чизиклари кесишиш нуқтаси ҳолатини ўзгартириш.

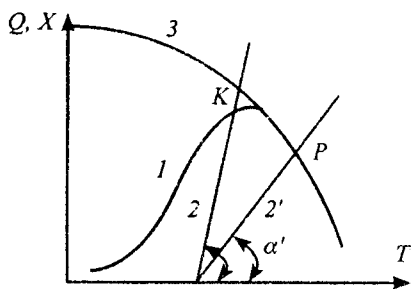
реакторнинг қулай иш маъромини чизмадан иссиқлик чиқиш эгри чизиғи ҳолатини ўзгартириш йўли билан ҳам топиш мумкин.

Шундай қилиб, реагентнинг реакторда бўлиш вақти оширилса, унда ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдори ( $Q_{кр}$ ) кўпаяди ва S-шаклидаги иссиқлик чиқиши эгри чизиғи чапга сурилади ва реакторнинг дастлабки модданинг ўзгарилиш даражаси юқори бўлган барқарор иш маъромини топишга муваффақ бўламиз.

Иссиқлик чиқиши билан борадиган (экзотермик) қайтар реакцияларни ўтказишда шароит кийинлашади, чунки иссиқлик чиқариш эгри чизиғи бу ҳолда эгилиш жойидан ўтади (48-расм). Бу, ҳолни экзотермик қайтар реакцияларда мувозанатли ўзгарилиш даражасининг ҳарорат ошганда пасайиши билан тунштириш мумкин.

Расмдан кўриниб турибдики, иссиқлик чиқиши эгри чизиғи ўзининг энг юқори чўққисига (максимумига)  $K$  нуқтада эга бўлади, шундан сўнг пасая бошлаб, мувозанатли чиқишга тўғри келувчи эгри чизиққа ёнма-ён жойлашади.

Амалда бу ҳолатлар учун маъром шундай олиб бориладики, бунда иссиқлик чиқиши тўғри чизиғи иссиқлик кириши эгри чизиғи билан  $K$  нуқтада кесишиши таъминланиши керак бўлади, ё бўлмаса, иссиқлик чиқиши тўғри чизиғининг эгилиш бурчаги кичкина бўлади ва иссиқлик кириши эгри чизиғи билан  $P$  нуқтада кесишади, бунга эса дастлабки модданинг концентрациясини ошириш орқали эришилади. Бунда жараён ўзгарилиш даражаси унча юқори бўлмаган ҳолда кечганлиги туфайли, уни ошириш учун жараён бир неча босқичда олиб борилади. Бунинг учун реакцияга киришувчи аралаш-



48-расм. Қайтар экзотермик реакция диаграммаси:

- 1 - иссиқлик кириши чизиғи;
- 2 - иссиқлик чиқиши чизиғи;
- 3 - мувозанатли ўзгарилиш даражаси чизиғи.

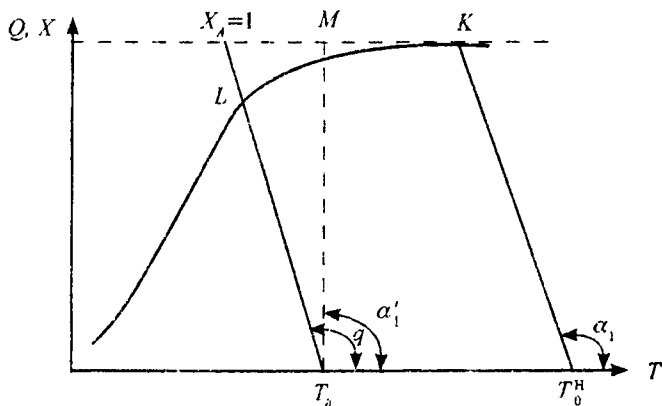
ма биринчи боскичдан сўнг совутилади (бунда, баъзан реакцияда кўзда тутилган маҳсулот ажратилади) ва иккинчи ҳамда ундан кейинги реакторларга (ёки кўп боскичли битта реакторнинг боскичига) йўналтирилади.

Иссиқлик ютилиши билан (эндотермик) борадиган реакцияларда иссиқлик ютилиши сабабли реакцияга киришувчи дастлабки аралашманинг ҳарорати реакторга кираверишда унинг ичидагига караганда юқори бўлади.

Бу ҳолда  $Q_{\text{конв}} = -Cp(T - T_0)$ . Иссиқлик чиқиш чизиғининг эгилиш бурчаги тангенс манфий, эгилиш бурчаги  $90^\circ$  дан катта бўлиб қолади (49-рамга қаранг).

Кесишиш нуқтасининг юқори ўзгарилиш даражаси доирага кўчишига, дастлабки реакцион аралашма ҳароратини ўзгартириш ёки унинг концентрациясини пасайтириш ҳисобига иссиқлик чиқиши тўғри чизиғининг эгилиш бурчагини камайтириш йўли билан эришилади.

МАР-У-А реакторларнинг энг мақбул иш маъромини келтирилган чизма усул билан аниқлаш бошқа реакторлар учун ҳам қўлланилиши мумкин. Бунинг учун эса ўтган сафардагидек иссиқлик балансининг хусусий тенгламаларини таҳлил қилиб чиқиш керак.



49-расм. Эндотермик реакция диаграммаси.

## КИМЁВИЙ-ТЕХНОЛОГИК ТИЗИМЛАР (КТТ)

Замонавий кимё корхонаси—бу хом ашёни қайта ишлаб истеъмол маҳсулотига ва ишлаб чиқариш воситаларига айланттиришга мўлжалланган, бир-бири билан ўзаро боғланган кўп сонли технологик қурилмалар мажмуидир. Ҳар қандай кимёвий ишлаб чиқариш 3 та асосий босқичдан иборатдир.

Хом ашёни тайёрлаш, кимёвий ўзгарилиш ва кўзланган маҳсулотни ажратиб олиш. Босқичларнинг бундай кетма-кет-лиги ягона мураккаб кимёвий-технологик тизимда (системада) мужас-самдир.

Ушбу тизимда айрим қурилмалар ишининг энг мақбул кўрсаткичлари ҳар доим ҳам бир-бирига мос келавермайди. Де-мак, барча ишлаб-чиқаришнинг энг мақбул фаолият кўрсатиши, ҳар бир қурилма ишининг энг мақбул шароитларининг аддитив функцияси бўла олмайди. Шунинг учун, технологик жараённинг айрим элементларини тадқиқ қилиш билан бир қаторда бутун кимёвий-технологик тизимни ҳам ўрганиш зарур.

Тизим—бу ташқи муҳит билан ўзаро таъсир кўрсатадиган ва мураккаб ички тузилишга, кўп сонли таркибий қисм ва элементларга эга бўлган, технологик оқимлар (боғлар) билан ўзаро боғланган ва яхлит фаолият кўрсатадиган объектдир.

Элемент—мустақил ва шартли бўлинмадиган бирлик, кўпинча у, қандайдир бир турдаги жараён (кимёвий, иссиқлик диффузия ва ҳоказо) кечадиган қурилмадир.

Тагтизим—бу маълум яхлитликка ва мақсадга, йўналишга эга бўлган (қурилма) гуруҳдир (у мустақил фаолият кўрсатувчи қисмдир).

Элементлар орасидаги каби, тагтизимлар ўртасида ҳам турли хил—моддий, энергетик, ахборот—боғланишлар мавжуд.

Элементлар орасидаги боғланиш оқимлар ёрдамида амалга оширилади ва оқим билан модданинг, иссиқликнинг, энергиянинг элементдан-элементга олиб ўтилишини акс эттиради.

Элементлар ва боғланишлар мажмуи тизимнинг ички тузилишини ташкил этади.

Шундай қилиб, тизим—элементлар таркибига ёки тагтизимга бўлиниши мумкин бўлган мураккаб объектдир. Барча тизимлар-

ни шартли равишда кичик ва катта тизимларга ажратиш мумкин.

Кичик тизимлар жараённинг хусусияти билан аниқланади. Одатда, битта турдаги жараён, унинг ички боғланишлари, ҳамда жиҳозланиш хусусиятлари ва фаолиятлари билан чекланган бўлади.

Катта тизимлар кичик тизимлар мажмуидан иборат бўлиб, улардан сифат ва миқдор жиҳатдан фарқланадилар. Катта тизимларга куйидаги ўзига хос белгилар мансубдир:

1) маълум яхлитлик ва фаолиятнинг (маҳсулот чиқаришнинг) умумий мақсадининг мавжудлиги;

2) тизимнинг катта ўлчамлари, бажариладиган вазифалар, элементлар ва улар орасидаги боғлар сонининг кўплиги;

3) тизим ишини тавсифловчи кўрсаткичлар сонининг кўплиги;

4) тизим фаолиятининг (хулқининг) мураккаблиги;

5) рақобатчи (мусобакалашувчи) томонларнинг мавжудлиги;

6) кимёвий-технологик тизим элементлари ва бошқарув жиҳозлари ўртасида хабарлашув ва бошқарув ахбороти оқимларини ташкил этишнинг зарурлиги;

7) ишлаб чиқаришни бошқариш жараёнларини юқори даражада автоматлаштиришнинг зарурлиги.

Бу белгиларнинг мавжудлиги кимёвий ишлаб чиқаришга мураккаб тизим сифатида қараш имконини беради.

Замонавий кимё корхонаси бир-бири билан ўзаро боғланган кўп сонли тагтизимларга бўлинади. Тагтизимлар орасида бир неча асосий босқичлар ёки даражаларга эга бўлган иерархик тузилишдаги ўзаро бўйсунуш муносабатлари мавжуд. Бунда, иерархиянинг паст босқичларига мансуб бўлган ва биргаликда фаолият кўрсатувчи тизимлар, иерархиянинг кейинги, юқори босқичига мансуб бўлган тагтизимларнинг барча вазифаларини (функцияларини) бажарадилар.

Кимё корхонасининг ҳар бир тагтизими ўзида керакли маҳсулотни олиш учун биргаликда фаолият кўрсатувчи бир бутун кимёвий-технологик тизим ва автоматик тизим мажмуидан иборатдир.

Иерархик тузилишининг биринчи (I) пастки босқични бир турдаги кимёвий-технологик жараёнлар (кимёвий, иссиқлик, гидродинамик, диффузион, механик) ҳамда уларни бошқарувининг маҳаллий тизими, асосан автоматик ростлаш тизими (АРТ) ташкил этади. Бир турдаги кимёвий-технологик жараёнлар қурилмаларда амалга оширилади. Ҳар қайси бир турли жараёнга бир нечта кириш ва чиқишга эга бўлган тағтизим сифатида қаралади:

I кимё корхонаси ва ишлаб чиқаришни автоматик бошқарув тизими (АБТ);

II кўзланган маҳсулотни ишлаб чиқариш бўйича цехлар (ишлаб-чиқариш) цехларини автоматик бошқарув тизими (АБТ) мажмуи;

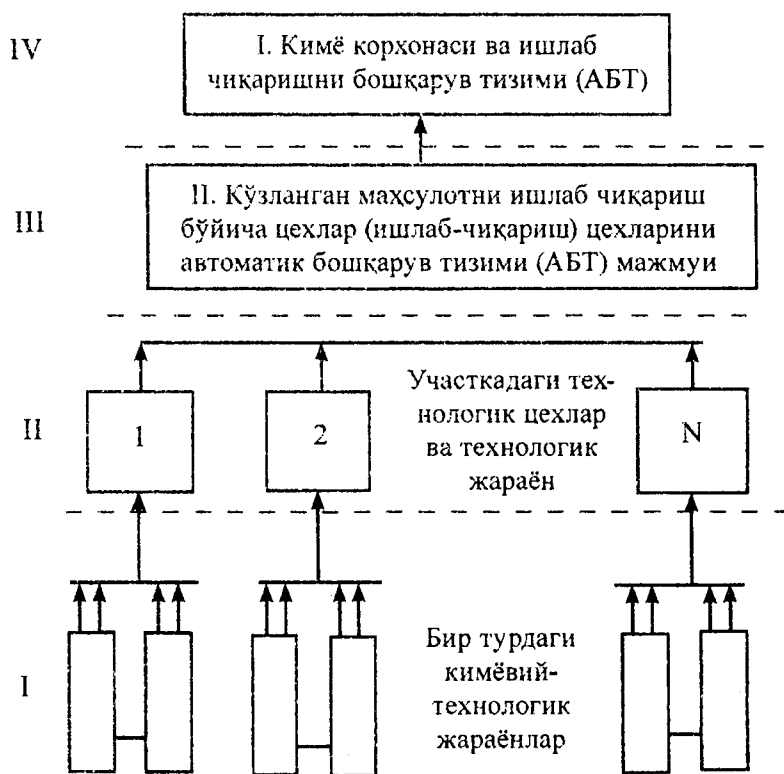
III участкадаги технологик цехлар ва технологик жараёнларни автоматик бошқарув жараёни;

IV бир турдаги кимёвий-технологик жараёнлар ва автоматик ростлаш тизими (АРТ).

Кириш ўзгарувчилари осойишталикни бузувчи ва бошқарувчи ўзгарувчиларга ажратилади. Осойишталикни бузувчи ўзгарувчилар ички ва ташқи осойишталикнинг бузилишини миқдорий таснифи бўлиб, уларга ҳар қандай тизим учрайди (ҳом ашё таркиби ва сарфининг ўзгариши, қурилмадаги ҳароратнинг ўзгариши ва ҳоказо), улар жараённинг берилган йўналишдан четланиб, мақсад сари йўналишга тўсқинлик қилишга ҳаракат қилади. Тизим фаолияти мобайнида чиқиш ўзгарувчилари берилган катталиқларга мос келиши ва улардан осойишталикни бузувчи ўзгарувчилар таъсири остида четланмасликлари учун, тизимнинг бошқарувчи таъсирининг миқдорий таснифи бўлмиш (ҳом ашё сарфининг ўзгариши ва ҳоказо) бошқарувчи ўзгарувчилар орқада тизимга таъсир кўрсатиш лозим.

Маълум бир жиҳозланган қурилмаларда кечадиган бир турдаги жараёнлар детерминатланган ёки детерминатланган-стокастик тизимлардир. Детерминатланган тизимлар учун барча кириш ўзгарувчилари олдиндан маълум бўлади ва улар ўртасида бир маъноли функционал боғлиқлик мавжуд. Детерминатланган-стокастик тизим учун бир маънолилиқ ҳос эмас.





50-расм. Кимёвий ишлаб чиқариш иерархияси.

I-IV – иерархик тизимнинг босқич (даража)лари.

Кимё корхонаси иерархиясининг пастки босқичида тагти-зимларни бошқариш масаласи, асосан бир турдаги жараёнларнинг технологик кўрсаткичларини автоматик ростлаш тизimini яратиш йўли билан маҳаллий барқарорлаштириш билан боғлиқдир.

Иерархиянинг иккинчи (II) босқичи бу маълум бир операцияни амалга оширувчи бир турдаги технологик жараёнлар ва қурилмаларнинг ўзаро боғланган мажмуидан иборат агрегат ва комплекслардир.

Агрегат—бу бир турдаги айрим технологик жараёнлар ва курилмаларнинг ўзаро боғланган мажмуи бўлиб, улар ўзаро таъсир кўрсатганда вақт бўйича статистик тақсимланган нотинчлик вужудга келади, яъни тагтизимнинг кириш ва чиқиш ўзгарувчилари ўртасида стокастик ўзаро таъсир мавжуд бўлади. Бу босқичда куйидаги масалаларни ҳал этишга тўғри келади: 1) ишни мақбул маъромда ташкил этиш; 2) бошқаришни агрегатнинг ўзига юклаш (агрегатнинг тузилиши кибернетик тарзда ташкил этилади); 3) агрегатнинг ишончли фаолият кўрсатишини таъминлаш.

Иерархиянинг ушбу босқичида тагтизимни бошқаришда курилмалар ишини оптимал равишда (энг мақбул равишда) мувофиқлаштириш ва юklamанинг улар ўртасида тенг тақсимлаш масаласи пайдо бўлади. тагтизимни агрегатларга ва таркибий қисмларга ажратиш учун янгича графлар назарияси асосида топологик анализ, эвристик моделлаштириш, кўпбосқичли оптималлаштириш ва бошқа усуллар жалб этилади.

Курилмалар ишини оптимал мувофиқлаштириш ва технологик оқимни улар ўртасида оптимал тақсимлаш учун кимёвий жараёни автоматик бошқарув тизими (КЖАБТ) қўлланилади.

Иерархиянинг (III) босқичи мақсадли маҳсулот чиқарадиган бир қанча цехлардан иборат кимёвий ишлаб чиқаришни вазиятга қараб таҳлил этиш ва уни оптимал бошқариш масаласи юзага келиб, бу масалани ҳал этиш учун тизим техникасининг математик усуллари—чизикли дастурлаш, назарий ўйин, ахборот назарияси, операциялар тадқиқи, ялпи хизмат кўрсатиш назарияси ва бошқалардан фойдаланилади.

Бу босқичда пайдо бўладиган масалаларни ҳал этиш учун ишлаб чиқаришнинг технологик ва ташкилий фаолият кўрсатишини автоматик тузилиши (АТБ)дан фойдаланилади. Иерархиянинг (IV) босқичи бутун кимё корхонаси ва корхонани бошқаришнинг автоматлаштирилган тизими (КБАТ)дир.

Кимёвий-технологик тизим (КТТ) яратишнинг пировард мақсади-юқори самарадор кимёвий чиқаришни ташкил қилиш-

дир, яъни бунда кимё саноатининг шундай объектини яратиш керакки, у зарур маҳсулотни белгиланган ҳажмдаги ва сифатдагина эмас, балки иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ олишга имкон берсин, КТТнинг лойиҳаси қуйидаги ечимларни қамраб олиши лозим:

1. Тизимнинг технологик топологиясини аниқлаш

Тизимнинг технологик топологияси—бу технологик схемадаги алоҳида қурилмаларининг боғланиш табиати и тартибидир. Қурилмаларни танлаш, улар ўртасидаги боғланиш табиатини аниқлаш ва тизимдаги алоҳида қурилмаларнинг технологик чизик (линия)га оптимал боғланиш тартибини йўлга қўйиш бутун тизим ишининг самарадорлигига таъсир кўрсатади.

2. КТТнинг фаолият жараёнига қираётган ўзгарувчан қийматларнинг, яъни қираётган хом ашё оқимининг физик кўрсаткичлари ҳамда атроф муҳитнинг турли физик-кимёвий кўрсаткичларининг (ҳарорат, босим ва бошқалар) таъсирини аниқлаш.

3. КТТнинг технологик кўрсаткичларини аниқлаш (ўзгарилиш даражаси, компонентларни ажратиш, тезлик константалари).

4. КТТнинг конструктив кўрсаткичларини аниқлаш (геометрик ўлчамлари, реакторнинг, насадканинг ҳажми).

5. КТТнинг қурилмалари (элементлари)даги технологик маъром кўрсаткичларини танлаш—бу технологик жараённинг тезлигига, чиқаётган маҳсулотнинг миқдори ва сифатига таъсир кўрсатадиган асосий омилларнинг йиғиндисидир (ҳарорат, босим, катализ, компонентларнинг аралаштирилиши).

6. Тизимнинг белгиланган маъромда ишлашини таъминловчи технологик оқимларнинг кўрсаткичларини танлаш (сарфи, концентрация, оқимларнинг ҳарорати ва босими).

Булардан ташқари яна қатор муҳим вазифаларни ҳал этишга тўғри келади: конструкцион материал танлаш, барча ишлаб чиқариш ва айрим технологик жараёнларни автоматик бошқариш тамойилларини ишлаб чиқиш, аналитик назорат усули ва шунга ўхшаш бошқа вазифаларни, атроф муҳит муҳофазаси, техника хавфсизлиги ва саноат санитарияси масалаларини ҳал этиш лозим.

Тизимнинг иш сифати кимёвий-технологик тизим фаолияти самарадорлиги кўрсаткичи (мезони) ёрдамида баҳоланади. Самарадорлик кўрсаткич КТТ фаолияти сифатини етарлича тавсифлаб бериши лозим, бунинг учун эса у тизимнинг барча асосий хусусиятлари ва хоссаларини унинг ишлаб чиқариш шароити ва ташқи муҳит билан ўзаро таъсирини ҳисобга олиши даркор. Бундай кўрсаткич сифатида кимёвий ишлаб чиқаришнинг ҳам технологик, ҳам иқтисодий тавсифномалари хизмат қилиши мумкин.

### **КТТни ташкил этишнинг асосий босқичлари**

Бакалавр – технологнинг фаолияти қуйидаги асосий масалаларни ечишдан иборат: янги юқори самарали технологик жараёнларни лойиҳалаштириш ва яратиш, ёки амалдаги ишлаб чиқаришни юритиш, улар фаолиятини тезлаштириш ва самарадорлиги ошириш.

Бу масалалар бир неча босқичда ҳал этилади. Бунда, КТТни яратиш ва ундан фойдаланиш масаласини турли мураккабликдаги кўп босқичли масала деб қараш керак.

Бу умумий масаланинг биринчи босқичи алоҳида элементларнинг математик моделини ва улар асосида КТТнинг тўла математик моделини куришдан иборат.

Математик модел КТТнинг фаолият кўрсатиш моҳиятини бутун бир яхлитликда тасвирлаб бериш лозим. Бунинг учун моделда кимёвий ишлаб чиқаришнинг энг муҳим томонлари миқдорий боғлиқлик сифатида тасвирланиши лозим. Шу мақсадда, моделда тизим элементларида кечадиган жараёнларнинг моҳияти, ҳамда элементлар ўртасидаги технологик боғланишлар, элементлар ва КТТ тизими ўртасидаги ўзаро таъсир динамикаси акс эттирилади.

Бу босқичда, албатта, КТТнинг фаолият самарадорлиги кўрсаткичинини танлаб олиши зарур, уни КТТнинг турли иш шароитларда сон билан ифодаланган қийматларини аниқлашга имкон берувчи турли омилларга функционал боғлиқлигини аниқлаш зарур.

Математик модел куриш вазифаси боғлиқликнинг турини, тизимдан чиқиш кўрсаткичларининг тизим ишига таъсир кўрсатувчи кўрсаткичларга боғлиқлигини топишдан иборатдир. Бундай кўрсаткичларга куйидагилар киради:

1) кириш ўзгарувчилари (хўм ашё миқдори, унинг таркиби ва ҳоказо)  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . ушбу омилларнинг тўплами  $X$ ни кириш ўзгарувчиларининг вектори деб атаймиз;

2) ташки таъсир (атроф муҳит)  $V_1, V_2, \dots, V_n$ .  $V$ –атроф муҳит кўрсаткичлари вектори;

3) тизим элементларининг технологик кўрсаткичлари. Бу кўрсаткичлар вектори –  $D$ ;

4) конструктив кўрсаткичлар; уларнинг вектори –  $K$ .



Бу ҳолда битта элементнинг чиқиш кўрсаткичларининг тизимга таъсир кўрсатувчи кўрсаткичлардан боғлиқлигини ифодаловчи математик модел қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\bar{Y} = f(\bar{X}, \bar{V}, \bar{D}, \bar{K})$$

бу ерда:  $\bar{Y}$  чиқиш кўрсаткичларининг вектори.

Агар тизимда  $N$  та элемент (қурилма) бўлса, у ҳолда уларнинг барчаси учун худди шундай боғлиқлик тузилади:

$$\begin{aligned} \bar{Y} &= F_i(\bar{X}_i, \bar{V}_i, \bar{D}_i, \bar{K}_i) \\ i &= 1\bar{N} \end{aligned}$$

бу ерда:  $i$ —тизимдаги элементнинг  $I$  дан  $N$  гача бўлган сони.

КТТнинг оптимал кечишини ташкил этувчи оптимал қурилган алоҳида элементларнинг аддитив функцияси эмас. Шу туфайли ККТнинг математик модели уни ташкил этувчи элементлар математик моделининг оддийгина йиғиндиси бўлиб қолиши мумкин эмас.

КТТнинг математик моделини тузишда қуйидаги шарт-шароитлар ҳам ҳисобга олинади:

1) тизимдаги қурилмалар бир-бири билан турлича боғланиши мумкин, яъни тизимтурли хил технологик топологияга эга бўлиши мумкин. Технологик топология бутун КТТнинг ишига таъсир кўрсатади, буни, албатта, ҳисобга олиш зарур;

2) элементларни бир тизимга бирлаштиришда юз берадиган ички боғлар (оқимлар) маълум кўрсаткичлар билан тавсифланади. Уларнинг қийматларига ишлаб чиқаришнинг иши боғлиқдир.

Унда КТТнинг модели

$$\begin{aligned} \bar{Y} &= F_i(\bar{X}_i, \bar{V}_i, \bar{D}_i, \bar{K}_i, \bar{L}_i, \bar{G}) \\ i &= 1\bar{N} \end{aligned}$$

$G$ —технологик топология варианты ва  $\bar{L}$ —ички боғлар кўрсаткичлари вектори.

Бундан ташқари, КТТнинг математик модели  $E$  тизимнинг турли вариантлари учун фаолият самарадорлиги кўрсаткичлари қийматларига боғлиқлигини ўз ичига олиши керак:

$$E = \psi(\bar{Y}_i, \bar{V}; \bar{D}, \bar{K}, \bar{L}, G)$$

КТТнинг олинган математик моделидан фойдаланиш учун уни ЭХМда ҳисоблаш учун алгоритм яратиш ва унинг ўрнатилаётган объектга мос келиш-келмаслигини тажриба йўли билан текшириш зарур.

КТТнинг элементлари ва тагтизимларининг математик моделини яратгандан сўнг, КТТни таҳлили этиш, синтез қилиш ва оптималлаштириш масаласини ечишга ўтилади, бу КТТни яратишнинг иккинчи босқичини ташкил этади.

КТТни таҳлил этиш бутун КТТнинг хоссаларини ва фаолият самарадорлигини унинг математик модели асосида ўрганишдан иборат.

КТТнинг хоссалари ҳам элементлар (тагтизимлар) ҳолати кўрсаткичлари ва тавсифлари ҳам элементлар ўртасидаги технологик боғларнинг тузилиши (структураси)га боғлиқдир. КТТни таҳлил этишда ушбу омилларни КТТнинг тизим ҳолатини тавсифловчи чиқиш ўзгарувчиларининг қийматларига кўрсатадиган таъсир даражасини баҳолаш зарур. Ушбу босқичда КТТнинг маълум бир топологияда унинг тўла математик модели ҳисобланади. Ҳисоблар натижасида бутун тизимнинг тавсифлари (чиқиш ўзгарувчилари) унинг алоҳида элементларининг кўрсаткичлари ва тавсифлари билан миқдорий жиҳатдан боғланадилар.

Ушбу босқичда элементлар ва тагтизимлар ўртасидаги технологик боғларнинг тузилишини, ҳамда элементларнинг технологик ва конструктив кўрсаткичлари қийматларини ўзгартириш ва КТТни тўла ҳисоблаш йўли билан турли вариантлардаги ҳисоблаш натижаларини такқослайдиган ва улар тўғрисида биринчи таассуротга эга бўладилар.

КТТ таҳлили масаласи—бу алоҳида элементларининг математик модели ва технологияси асосида технологик оқимнинг

чиқиш кўрсаткичларини аниқлаш мақсадида унинг олдиндан белгиланган технологик жараёнлари ва кириш кўрсаткичларини аниқлаш мақсадида унинг олдиндан белгиланган технологик жараёнлари ва кириш кўрсаткичларни инобатга олган ҳолда КТТнинг тўла математик моделини ҳисоблашдир.

Тўла модел КТТ тузилган (синтез қилинган)дан кейингина ҳисобланиши мумкин, яъни таҳлил синтезсиз амалга оширила олмайди.

КТТ синтези масаласи юқори самарадорлик билан ишлайдиган КТТни яратишдан иборат.

Бунинг учун, даставвал, оптимал технологик топология (элементлар сони ва тури, улар ўртасидаги боғлар табиати)ни танлаш, сўнгра кирувчи ўзгарувчилар— $\bar{X}$ ни,  $\bar{D}$  тизим элементларининг технологик кўрсаткичларини ва ички технологик оқим кўрсаткичларини аниқлаш зарур.

Кўрсаткичлар бирикувчи тизимнинг самарали ишлашини таъминлаш лозим, яъни  $F$  тизим фаолиятининг самарадорлик кўрсаткичи оптимал бўлмоғи зарур.

КТТ синтези масаласи қуйидаги кўрсаткичларнинг қийматларини топишдан иборат:

$$G = G(\bar{Y}, \bar{V}, \bar{K}, \bar{E}_n^*)$$

$$X = f_1(\bar{Y}, \bar{V}, \bar{K}, \bar{E}_n^*)$$

$$D = f_2(\bar{Y}, \bar{V}, \bar{K}, \bar{E}_n^*)$$

$$L = f_3(\bar{Y}, \bar{V}, \bar{K}, \bar{E}_n^*)$$

бу ерда:  $E^* = \text{opt} \varphi(\bar{Y}, \bar{V}, \bar{D}, \bar{K}, \bar{L}, G)$   $E$  нинг самарадорлик мезони оптимал қиймати.  $E_n^*$ —ушбу кўрсаткичнинг сўнгги қиймати.

Айтилганлардан кўришиб турибдики, КТТни синтез қилиш уни оптималлаш билан чамбарчас боғлиқ бўлиб, танлаб олинган самарадорлик мезони  $E$  нинг экстремал қийматини топишдан иборатдир. ККТ ишининг самарадорлик мезони сифатида, одатда иктисодий мезонлар (таннарх, фойда, келтирилган ҳаражатлар)



дан фойдаланилади. Самарадорликнинг технологик мезонларидан масалан, маҳсулотнинг чиқишидан ҳам фойдаланиш мумкин.

Таҳлил этиш, синтез ва оптималлаштириш бир-бири билан узвий боғланган бўлиб, улар КТТнинг математик модели асосида бажарилади.

КТТни математик модел асосида таҳлил этиш, синтез қилиш ва оптималлаштириш тамойилларини бирлаштириб туриб, умумий масаланининг III ва IV босқичларига тегишли—амалдаги ишлаб чиқаришни жадаллаштириш ва оптималлаштириш, ҳамда оптимал лойиҳалаштириш асосида кимё саноатининг янги объектларини яратиш масалалари ҳал этилади.

Лойиҳалашнинг одатдаги усулларини оптимал лойиҳалаштириш билан алмаштириш лозим. Чунки, одатдаги лойиҳалаш усули юқори самарадор кимё корхонасини бунёд этаолмайди.

Оптимал лойиҳалаштиришда охириги вариантни танлаш математик жиҳатдан асосланиб берилган усуллар билан конструктив чизма ва агрегат ва курималарнинг маъромларини бирма-бир кўриб чиқиб саралаш орқали амалга оширилади. Ушбу вазифа технологик лойиҳалаштиришнинг автоматлаштирилган тизими ёрдамида амалга оширилади (ТЛАТ). Бундай тизим қатор тагтизим(блок)лардан ташкил топади. Баъзи блоklar жараён ҳақидаги маълумотларга эга бўлади (КТТ элементлари математик модели блоқи, физик-кимёвий константалар тўғрисидаги маълумот, компонентларнинг хоссалари, ҳоказо).

Бошқалари—тизимнинг ишини таъминлайди (дастлабки маълумотнинг киритилиши, натижаларни чиқариш ва ҳоказо).

ТЛАТда КТТ айрим элементнинг математик модели бир андозадаги технологик операторларнинг математик моделлари йиғиндиси кўринишда тақдим этилади. Бир андозадаги технологик операторнинг модели модул деб аталади.

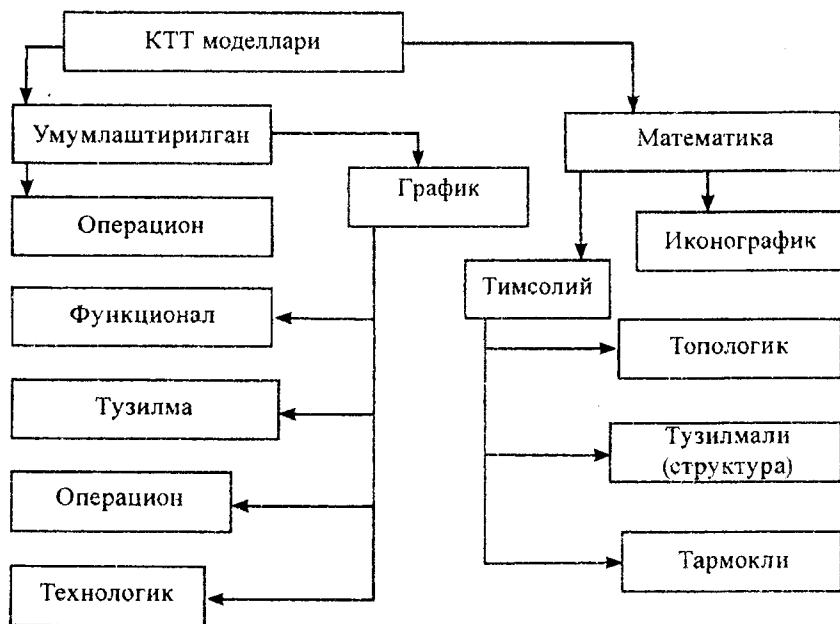
КТТнинг битта элементи бир нечта модул билан тасвирланади. Бир турдаги технологик операторларнинг математик моделларининг стандарт дастурлари асосида модул тамойили бўйича КТТ элементлари ишлаб чиқилади.

## КТТ моделларининг таснифи

КТТ моделларининг икки хил тури мавжуд—математик ва умумлаштирилган.

Умумлаштирилган моделлар ўз навбатида операцион-тасвирловчи ва иконаграфик, математик моделлар эса-тимсолий ва иконаграфик моделларга бўлинади.

Операцион-тасвирловчи моделлар—тизим фаолияти ҳақидаги сўзлар орқали берилган маълумотлардир. Бу моделлар жараёнининг кимёвий чизмасини ўз ичига олади, яъни охириги маҳсулот олиш учун амалга ошириладиган кимёвий чизма тасвирининг турли вариантларини таққослаш, улар ичидан иқтисодий жиҳатдан мақбулроқ вариант танлаб олишга имкон беради. Тизимнинг қурилмаларида кечадиган жараёнларнинг тасвири берилади, ҳом-ашё таркиби, технологик маъром кўрсаткичларининг қийматлари ва шунга ўхшаш бошқа маълум



51-расм. КТТ моделлари.

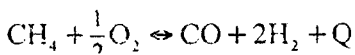
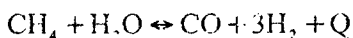
мотлар келтирилади. Бундай моделга технологик регламент ва лойиҳа-конструкторлик ҳужжатларининг бошқа турларини мисол қилиб келтириш мумкин.

КТТнинг умулаштирилган иконографик модели унинг чизма тасвиридан иборат. Бундай модел тизимнинг фаолияти тўғрисида сифатли таасурот олиш имконини беради. Бу функционал, тузилмали, операцион, технологик чизмалар кўринишида адо этилади.

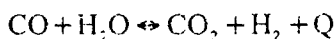
Аммиак ишлаб чиқаришни кўриб чиқамиз.

Жараёнининг кимёвий чизма тасвири:

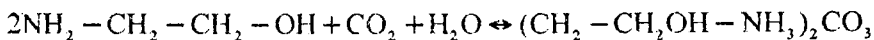
Водород олиш учун метан конверсияси амалга оширилади:



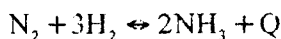
Ундай кейин CO нинг конверсияси олиб борилади:



Замонавий кимёвий қурилмаларида метан конверсияси 2 босқичда буғ-ҳаво усулида амалга оширилади ва бунда дарҳол водород эмас, балки азот-водород аралашмаси (АВА) олинади. Шундан сўнг газ  $\text{CO}_2$  дан тозаланади:

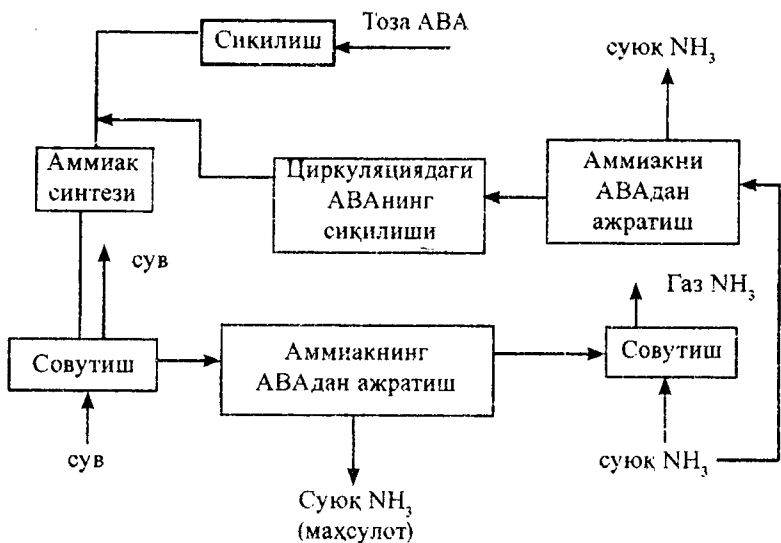


Тозаланган азот-водород аралашмасидан аммиак синтез қилишда фойдаланади:

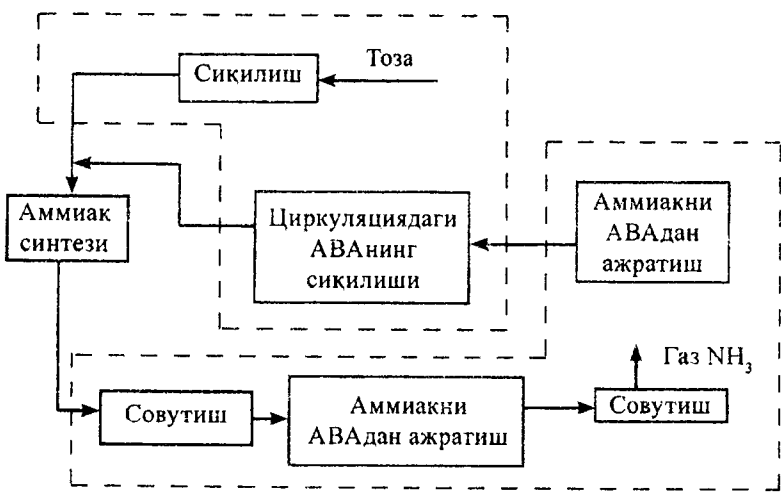


Қуйида турли хил чизмалар тасвири тамойилларини аммиак ишлаб чиқаришнинг бир бўғини—аммиак синтез қилиш цехи мисолида кўриб чиқамиз.

Функционал чизма КТТ фаолият жараёни тўғрисида умумий тасаввур беради.



52-расм. Аммиак синтез килишнинг принципаал чизмаси (схемаси).



53-расм. Аммиак синтез килишнинг функционал чизмаси.

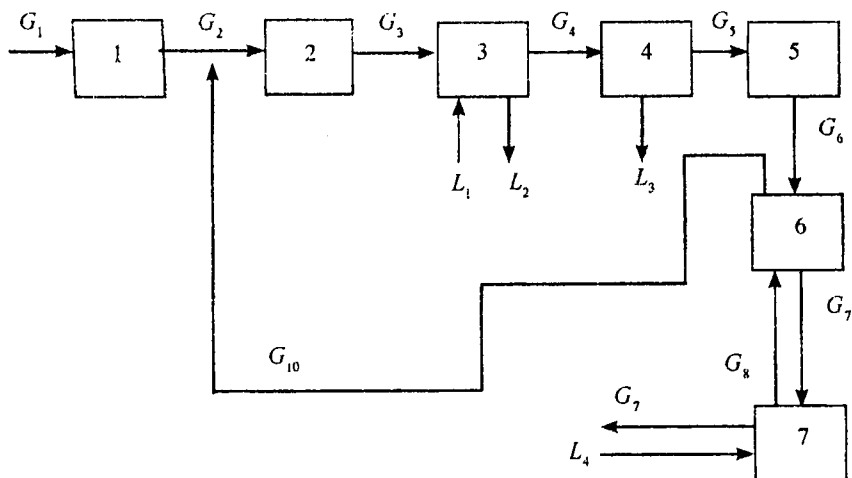
Чизмада маълум технологик операцияни бажарувчи асосий бўғинлар (тагтизимлар) ажратиб берилган, улар ўртасидаги технологик боғланишлар кўрсатилган. Бундай чизма ёрдамида қандай операциялар ва ишлаб чиқаришда қандай кетма-кетликда амалга оширилишини аниқлаш мумкин.

КТТ чизмаси (схемаси)нинг тузилиш

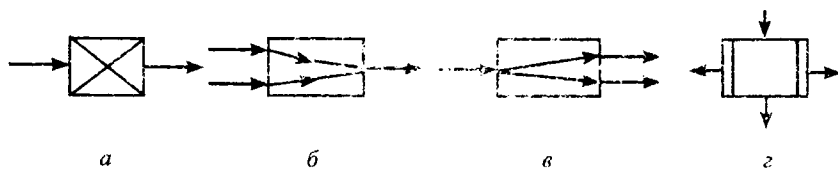
Бундай чизма КТТнинг барча элементларини кириш ва чиқишга эга бўлган блоklar кўринишида тасвирлаб беради. Блоклар ўртасидаги технологик боғланишларни яққол кўрсатилади. У элементларнинг айрим турлари тўғрисидаги маълумотга эга эмас, лекин ундаги технологик боғлар тизимининг материал ва энергия оқимлар харакат йўналишини кўрсатиб турадилар.

Операторлик чизма (схема)си

У тизимда кечадиган технологик жараёнларнинг моҳияти тўғрисида яққол таасурот беради. Бунинг учун КТТнинг ҳар бир элементини, кираётган материал ва энергетик оқимларнинг физик кўрсаткичларини сифат ёки миқдор жиҳатдан ўзгартириб берувчи бир турдаги технологик оператор сифатида тасвирланади.



54-расм. Аммиак синтез қилишнинг тузилиши (структураси чизмаси)



Технологик операторлар асосий ва ёрдамчи операторларга бўлинади. Асосий операторлар КТТнинг талаб этилган мақсадли йўналишида фаолият кўрсатишини таъминлайди.

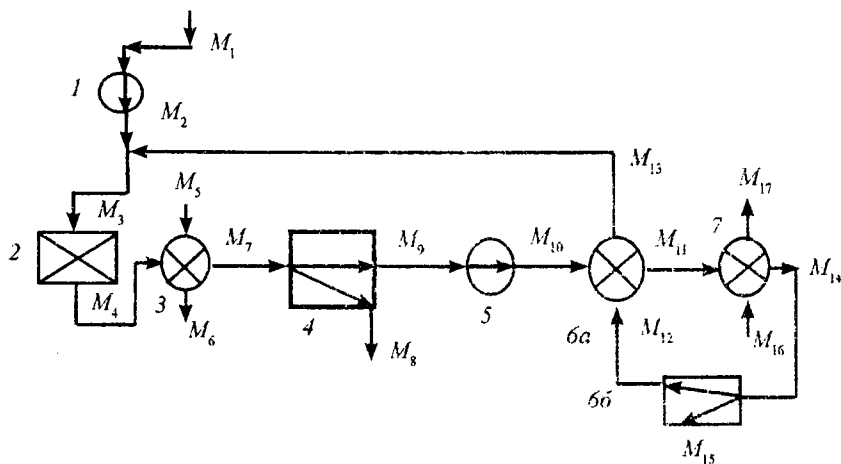
а – кимёвий ўзгарилиш,

б – аралаштириш,

в – ажратиш,

г – фазалараро масса алмашинуви.

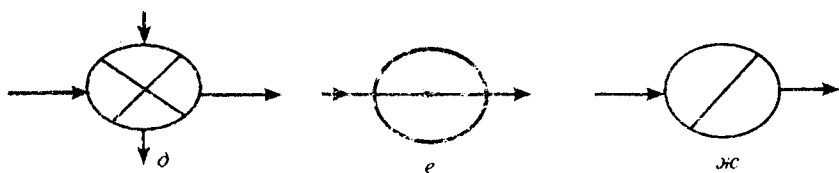
Ёрдамчи технологик операторлар тизимнинг энергетик ва фазовий таркибини ўзгартириш йўли билан унинг фаолияти самарадорлигини оширишга хизмат килади.



55-расм. Аммиак синтез қилишнинг операторлик қизмаси:

- 1 – компрессор; 2 – синтез колоннаси; 3 – совутгич-конденсатор; 4 – сепаратор;  
 5 – циркуляцияли компрессор; 6 – конденсатловчи колонна; (ба-иссиклик алмашинув  
 қисми); 6б – сепаратловчи қисми); 7 – суюқ аммиакни буглантирувчи қурилма.

$M_1$ – $M_7$  – технологик оқимлар.



д – иситиш ёки совутиш,

е – сиқилиш ёки кенгайтириш,

ж – модда агрегат ҳолатининг ўзгариши.

Алоҳида-алоҳида технологик операторларнинг биргаликдаги иши улар орасидаги технологик боғлар орқали амалга оширилади. Ҳар бир технологик боғга материал ёки энергетик оқим (технологик оқим) мос келади.

### Технологик чизма

У жараён тўғрисида тўлароқ маълумот беради. Жараённинг барча элементлари унда шартли тасвирлар сифатида кўрсатилган, технологик боғлар эса технологик оқимларнинг йўналишини кўрсатувчи чизиқлар (стрелкалар) билан белгиланган.

Бундай технологик чизмадан КТТни лойиҳалаштириш босқичида ҳам, унинг фаолнят кўрсатиш босқичида ҳам фойдаланиш мумкин.

### КТТнинг математик моделлари

Улар жараённинг миқдорий тасвирини беради. Барча математик моделлар тимсолий ва иконографик моделларга бўлинади.

Тимсолий (аналитик) модел бу тизимга таъсир кўрсатувчи турли омилларга—технологик оқимнинг кириш кўрсаткичларига ( $\bar{X}$ ) атроф муҳит кўрсаткичларига ( $\bar{Y}$ ) тизим элементларининг технологик ( $\bar{D}$ ) ва конструктив ( $\bar{K}$ ) кўрсаткичларига боғлиқ равишда технологик оқимнинг тизимдан чиқишида физик кўрсаткичлар ҳолатини аниқлашга имкон берувчи математик нисбатларнинг йиғиндисидир.

КТТнинг бир элементи учун бу нисбатлар куйидаги боғланиш билан ифодаланади:

$$\bar{Y} = f(\bar{X}, \bar{D}, \bar{K})$$

КТТ—бу уни ҳосил қилувчи алоҳида-алоҳида элементларнинг йиғиндиси бўлганлиги туфайли, бутун тизимнинг математик тимсолий модели ҳам ҳаммадан аввал элементларнинг тимсолий моделлари йиғиндисини ўз ичига олади. Бундан ташқари, уни элементлар орасидаги технологик боғларнинг қуйидагига ўхшаш тенгламалари билан тўлдириш зарур:

$$Y_k = \bar{X}_n$$

бу ерда: «к» ва «п»—битта технологик оқим билан боғланган элементлар сони.

Ишлаб чиқаришда у ёки бу технологик кўрсаткичлар бўйича чекланишлар мавжуд ва бу математик моделда ҳисобга олинади:

$$H_i(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{D}, \bar{K}) \geq 0$$

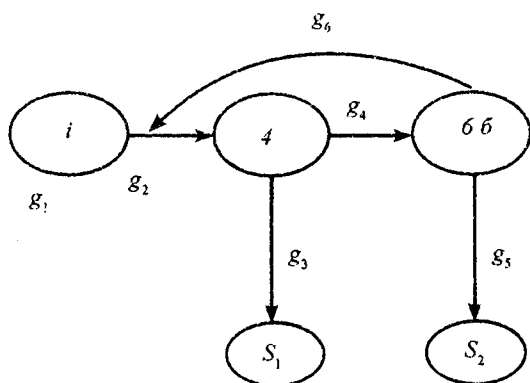
бу ерда:  $H_i$ —КТТ оқимлар ва элементлари ҳолати кўрсаткичларининг технологик чекланишлари функцияси вектори.

Иконографик математик моделлар—бу КТТ технологик тизимнинг шундай сифат хусусиятлари аниқ инъикосидирки, улар асосида тизимнинг миқдорий тавсифлини, ё бўлмаса: КТТнинг тимсолий математик моделига кирувчи кўрсаткичлар ва ўзгарувчилар ўртасидаги функционал математик нисбатлари, ёки тимсолий математик модел тенгламалари ва маълумот ўзгарувчилари ўртасидаги функционал боғланишни аниқлаш мумкин.

Математик иконографик моделлар 3 гуруҳга бўлинади: а) топологик модел (график)лар; тузилма блок-схемалар ва тармоқли моделлар.

А) Топологик модел графлар кўринишда, яъни айрим нукталар (чўққилар ёки бўғинлар) йиғиндисидан ташкил топган шакллар кўринишида ифодаланади. Бу нукталарнинг айримлари тўғри ёки эгри чизиклар кесимлари билан бирлаштирилган бўлиш мумкин. Агарда бу чизиклар «йўналишга эга бўлса, у ҳолда улар ёй, акс ҳолатда эса қирра дейилади». Кўпинча графнинг чўққиси элементлар бўлади, ёй эса элементлар ўртасидаги боғланишни кўрсатади.



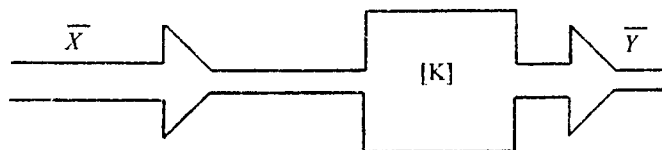


56-расм. КТТ умумий сарфи бўйича материал оқим графи (аммиак синтези).

4 ва 6 б-оператор чизмасидаги операторлар сонига тўғри келадиган чўққилар сони;  $i$ —хом ашё манбаи;  $S_1$  ва  $S_2$ —модда оқовалари;  $g_1$ – $g_6$ —модданинг умумий сарфи бўйича ялли оқимлар.

1, 2, 3, 5 ва 7-операторларда ялли сарф ўзгармайди, шунинг учун графда ушбу операторларга тегишли чўққилар йўқ, лекин граф қўшимча равишда модда манбаи ( $i$ ) ва модда оқовасини акс эттирувчи ( $S_1$  ва  $S_2$ ) чўққилар билан тўлдирилади.

Б) тузилма (структура) блок чизма (схема)си бу тимсолий математик моделга тўғри келадиган иконографик тимсолий моделдир. Бундай чизмада ҳар бир технологик оператор блок кўринишида тасвирланади:



57-расм. Тузилма блок чизмаси:

$X$  ва  $Y$ —кириш ва чиқиш оқимлари кўрсаткичлари вектори:

$[K]$ —узатиш коэффициентлари тўплами (матрица кўринишида такдим этилади).

Хар бир блок технологик операторининг математик модели сифатида берилиб, ушбу блок учун кирувчи ҳисобланадиган кўрсаткичлар векторини чиқиш кўрсаткичлари вектори билан боғлайди. Бутун КТТнинг блок чизмаси ундаги айрим блоklar термасидан иборат бўлади, блоklar ўртасидаги боғланиш эса тизимнинг тегишли технологик оқимлари фаолият кўрсаткичлари вектори билан амалга оширилади.

В) тармоқ модели—бу иконографик модел бўлиб, КТТни лойиҳалаш, ишлатиш ва бошқаришнинг ташкилий жараёнларини акс эттиради.

### **КТТни таҳлил этиш, синтез қилиш ва оптималлаштириш вазифалари**

Бу кимё корхонаси яратишнинг иккинчи босқичдаги вазифалар бўлиб, бир-бири билан чамбарчас боғланган ва биргаликда ҳал этилиши лозим.

КТТнинг кўп ўлчамлиги услубий ва ҳисоблаш жиҳатидан каттагина қийинчиликлар туғдиради.

КТТнинг фаолиятини таҳлил этишда маълум технологик топология бўйича математик моделининг тўла ҳисобини қилишга тўғри келади.

ЭХМ учун мураккаб КТТнинг тўла моделини, ҳаттоки оддийгина бир марта ҳисоблаш ҳам катта қийинчилик билан боғлиқ ва жуда кўп вақт талаб қилади. Лекин, амалда технологик топологиянинг жуда кўп муқобил (алтернатив) вариантларини кўриб чиқишга тўғри келади. Шунинг учун, алтернатив вариантлар ўрганиб чиқиляётганда энг биринчи вазифа ЭХМда кўп ўлчамли тизимлар математик моделлари тенгламаларини ҳисоблашнинг оптимал алгоритминини яратиш, ҳисоблаш ишларини оптимал ташкил этишдан иборат. КТТни синтез қилиш ва оптималлаштириш босқичида ҳам оптимал стратегияни танлаш жуда муҳим.

Оптимал стратегияни яратишни енгиллаштириш учун топологик моделлардан фойдаланилади. КТТни таҳлил этишда ҳар бир элементни математик матрица шаклида берилади.

Агар тимсолий математик моделда оқимларнинг кириш ва чиқиш кўрсаткичлари ўртасидаги боғланиш чизикли тенгламалар билан ифодаланган бўлса, унда ҳар бир  $i$ -элементнинг моделини матрица шаклида бериш мумкин:

$$[Y'_{m1}] = [R'_{mn}] \cdot [X'_{n1}]$$

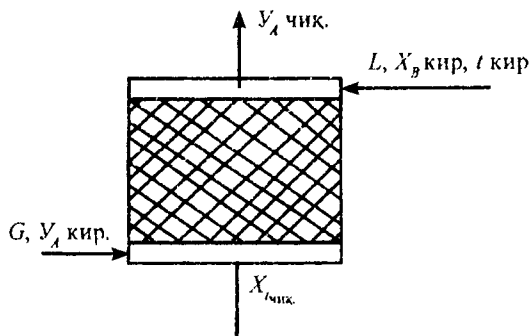
бу ерда:  $m$ —чиқиш ўзгарувчилар сони;  $n$ —кириш ўзгарувчилари сони;

$[X'_{n1}]$ —кириш ўзгарувчилари вектори;  $[Y'_{m1}]$ —чиқиш ўзгарувчилари вектори;  $[R'_{mn}]$ —қайта ўзгартириш матрицаси (операция матрицаси).

Қайта ўзгартириш матрицаси элементлари ҳар бир кириш ўзгарувчига жавоб берадиган устунлардан ва ҳар бир чиқиш ўзгарувчисига жавоб берадиган қаторлардан ташкил топган.

Матрицанинг ҳар бир элементи--бу тегишли кириш ва чиқиш ўзгарувчилари ўртасидаги функционал боғланиш коэффициентидир. Бундай боғланишнинг тури математик моделни яратиш босқичида олиб борилган тадқиқотларнинг амалий натижалари асосида аниқланади. Операция матрицаси коэффициентларининг қийматлари математик модел тенгламаларини ечиш йўли билан топилади.

58-расмда газ фазасидан «А» қисми газ фазасидаги «В» қисми билан ютилиб олиш (абсорбциялаш) жараёни келтирилган. Кирувчи оқимлар:  $G$ —ялпи газ сарфи;



58-расм. Ўрнатилган учлик (насадкали) абсорбция колонна (минораси).

$L$ —суюқликнинг ялпи сарфи;

$t_{\text{кир}}$ —суюқликнинг кириш оқим ҳарорати;

$X_{B, \text{кир}}$ —суюқликнинг кириш оқимидаги «В» фаол таркибий қисм концентрацияси;

$Y_{A, \text{кир}}$ —газнинг кириш оқимидаги «А» таркибий қисм концентрацияси;

$X_{B, \text{чик}}$ —чиқаётган оқимдаги «В» таркибий қисм концентрацияси;

$Y_{A, \text{чик}}$ —чиқаётган газ оқимдаги «А» таркибий қисм концентрацияси.

Агар жараён тажриба йўли билан аниқланган ва унинг модели олинган бўлса, у ҳолда ушбу моделни матрица кўринишида ифодалаш мумкин:

$$\begin{array}{c|ccc} \left. \begin{array}{l} Y_{A, \text{ччи}} \\ X_{B, \text{ччи}} \\ t \text{ чик} \end{array} \right\} & = & \begin{array}{ccccc} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{35} & a_{36} \end{array} & \left. \begin{array}{l} X \\ \begin{array}{l} G \\ L \\ Y_{A, \text{кир}} \\ X_{B, \text{кир}} \\ t \text{ кир} \\ 1 \end{array} \end{array} \right\} \end{array}$$

Чапда—чиқаётган ўзгарувчилар устуни—вектори;

Ўнгда—кириётган ўзгарувчилар устуни—вектори (модел тенгламаларидаги эркин аъзоларни ҳисобга олиш учун 1 кўшилган);

Ўртада—ўзгаришлар матрицаси.

Моделнинг бундай шакли, агарда кираётган кўрсаткичлар маълум бўлса, бевосита чиқаётган кўрсаткичларни ҳисоблаш имконини беради. Масалан, чиқаётган газ оқимдаги «А» таркибий қисминг концентрациясини—  $Y_{A, \text{кир}} = a_{11}G + a_{12}L + a_{13} \cdot Y_{A, \text{кир}} + a_{14} \cdot X_{B, \text{кир}} + a_{15} \cdot t_{\text{кир}} + a_{16}$

КТТни таҳлил этишда энг муҳими шуки, қайсидир графда сақланган маълумот тимсолий модел учун бўлгани каби, матрица шаклида берилиши мумкин.

Граф ва матрицанинг бу боғланиш КТТни математик тарзда ифодалашда топологик усуллар қўллашни енгиллаштиради.

Граф учун тузилган матрицалардан фойдаланиб графнинг ҳар қандай чўққиси бошқа билан боғланган бўлса, уни қайси бири билан боғланганлигини аниқлаш мумкин. Жараёни нафақат сифат жиҳатдан тасвирловчи маълумот олишга, балки КТТни таҳлил этишнинг оптимал стратегиясини яратишга имкон берувчи маълумот олиш мумкин.

Оптимал стратегияни ишлаб чиқиш фақатгина КТТнинг тўлиқ моделини ҳисоблашда уни таҳлил этиш босқичидагина эмас, балки КТТни синтез қилиш ва оптималлаштириш масаласини ечиш босқичида ҳам керак.

Кимё ишлаб чиқаришнинг илмий асослари ишлаб чиқиладиган КТТни синтез қилишнинг бир қанча тамойилларидан фойдаланилади.

1) таркибий қисмларга (компонентларга) ажратиш тамойили – бу функционал таркибий қисмларга ажратиш усулининг математик шаклидир. Ишлаб чиқиладиган тизимларнинг мураккаблиги туфайли, лойиҳаси дастлабки масалани таркибларга ажратиш ишини навбатма-навбат қатор функционал тагтизимларга ажратиб олиб боришга мажбур бўлади, сўнгра ҳар бир тагтизим алоҳида-алоҳида қурилмалар (элементлар) даражасигача бўлинади.

КТТни синтез қилишнинг умумий масаласи ўрнига қатор кичик масалалар ечилади ва улар учун қурилмалар билан жиҳозлаш учун қатор технологик ечимлар изланади. Тагтизим технологик топологияси ва жараёни қурилмалар билан жиҳозлашнинг бир қанча вариантлардан, синтез қилинадиган КТТнинг самарадорлик мезонининг оптимал қийматини таъминловчи вариантлар танлаб олинади.

2) КТТ синтезининг эвристик тамойили – бу технологик лойиҳалаштиришда тўғри қилиш мумкин бўлган ҳар хил вариантни кўриб чиқмасдан туриб, ички синтез билан (интуитивно) танлашга имкон берадиган интуитив–эвристик усулнинг математик шаклидир. Бу усулда қарор қабул қилиш асосланган далилларсиз амалга оширилади, лекин бу унинг қийматини пасай-

тирмайди, чунки у лойиҳачи—мутахассисларнинг билимлари ва амалий тажрибаларини умулаштирувчи ички сезги—омиллари ва қоидаларига таянган ҳолда бажарилади.

3) КТТ синтезининг интеграл – гипотетик тамойили – синтез қилинаётган КТТнинг технологик топология ва қурилмалар билан жиҳозлашнинг қўлланиши мумкин бўлган барча алтернатив вариантларини функционал бирлашмасидан иборат бўлган гипотетик умулашган тузилмасининг бирин-кетин ишлаб чиқишиш, таҳлили ва оптималлаштирилишига асосланган.

4) КТТ синтезининг эволюцион тамойили—бу масаланинг биринчи ихтиёрий ҳал этилиши бўлиб, КТТ технологик топологиясининг дастлабки энг оддий вариантини яратишдан иборат. Шундан сўнг қурилмалар билан жиҳозланишга ўзгартиришлар (қўшимчалар) ва технологик боғлар тузилишига тузатишлар киритилади, янги вариантнинг иш фаолияти самарадорлигини аниқланилади. Сўнгра жараён қайта такрорланади ва шу тарзда КТТ фаолияти самарадорлиги мезонинг оптимал қиймаати топилмагунча иш олиб борилаверади.

КТТ нинг математик моделини таҳлил этишда ҳисоблаш тартибининг оддийлиги ва самарадорлиги оптималлаштириладиган ўзгарувчиларнинг термасини танлашга боғлиқ. Математик моделга КТТ ўзгарувчилари ва кўрсаткичларининг маълумот берувчи ўзгарувчилари (маълум «*m*» сони) киришилади. Маълумот берувчи бу ўзгарувчилар («*n*» сон) мустақил ноаниқ функциялар билан боғланган.

КТТ математик моделининг оддий тенглама тизими, тенгламалар сонига нисбатан кўпроқ маълумот ўзгарувчиларига эга:

$$F = m - n$$

У кимевий-технологик тизимнинг эркинлик даражаси деб аталади. Эркинлик даражаси – КТТ фаолияти тўла тасавур қилиш учун етарлича ва зарур бўлган эркин ўзгарувчилар сонидир.

Эркин ўзгарувчиларнинг айрим қисми учун уларнинг қийматлари технологик шартлар талабларига биноан белгиланади. Бундай ўзгарувчилар регламенга солинган, яъни маълум чегарада

катъий белгиланган дейилади. Қолган эркин ўзгарувчилар икки туркумга бўлинади. Биринчи туркумга ҳисоблашдан аввал бериладиган олдиндан маълум (олдиндан қайд этилган) кўрсаткичлар киради, иккинчи туркумга оптималаштурувчи деб қабул этилган ўзгарувчилар киради. Уларнинг сон қийматларини ўзгартириб туриб, КТТ фаолият жараенини оптималаш бажарилади.

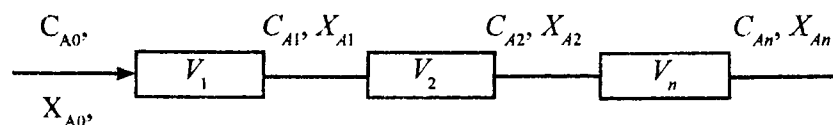
КТТни ишлаб чиқишда олиб бориладиган ҳисоблаш операцияларининг муракаблиги оптималаштирувчи деб қабул қилинган эркин ўзгарувчилари оптимал танлаш учун кўпинча топологик моделларнинг турли ҳил вариантларидан фойдаланиб ишлаб чиқилган алгоритмлар яратилади.

### Технологик боғланишлар

КТТни синтез қилиш ва оптималаштиришда кўп алтернатив вариантларини қараб чиқишга тўғри келади. Шу туфайли, технологик боғланишларни қабул қилиниши мумкин бўлган вариантларини қуриб чиқиш зарурияти туғилади. Жараендаги элементларни чизмага бирлаштиришнинг кўйидаги асосий турлари мавжуд:

А) кетма-кет; б) параллел; в) қарама-қарши (циркуляцияли); г) кетма-кет айланма; д) кесишиб ўтувчи (чоррахали).

А) кетма-кет технологик боғланишлар



59-расм. реакторнинг кетма-кет (а) боғланиши (масалан, сикиб чиқарувчи термасида реакторлар).

Бу ерда:  $C_{A0}$  – дастлабки реагентнинг бошланғич концентрацияси;  $C_{A1}$ ,  $C_{A2}$ , ...,  $C_{An}$  – дастлабки реагентнинг реакторлар термасидаги тегишли босқичдан ўтгандан кейинги концентрацияси;  $V_1$ ,  $V_2$ , ...,  $V_n$  – терманинг тегишли босқичдаги ҳажми;  $X_{A0}$  – дастлабки реакторнинг биринчи реакторга киришдаги ўзгариш даражаси;  $X_{A1}$ ,  $X_{A2}$ , ...,  $X_{An}$  – дастлабки реагентнинг терманинг тегишли босқичидан чиқишдаги ўзгариш даражаси.

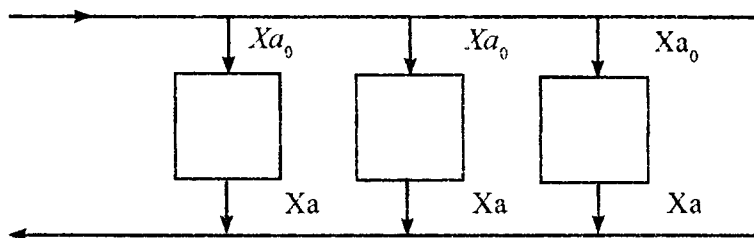
Умумий ўзгариш даражаси

$$\Delta X_{\text{Аум}} = \Delta X_{\text{А1}} + \Delta X_{\text{А2}} + \dots + \Delta X_{\text{Аn}}$$

ҳар бир босқичда ўзгарилиш даражаси бир хил бўлганда.

Босқич рақами	1	2	3	4	5
$X_A$	0,6	0,24	0,096	0,0384	0,0146
$X_{\text{Аум}}$	0,6	0,84	0,936	0,974	0,989

Б) параллел технологик боғланишлар

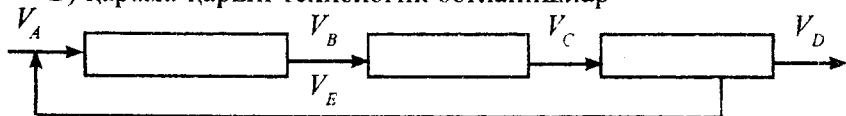


60-расм. Параллел технологик боғланишлар

Бундай боғланишлар ўзгариш даражасини ва алоҳида реакторларнинг қувватини оширмасдан туриб КТТнинг унумдорлигини ва қувватини ошириш вазифаси қўйилган ҳолларда қўлланади. Агарда барча реакторларнинг ҳажми бир хил бўлса, унда улар бўлиш вақти ва барча реакторларда ўзгарилиш даражасида бир хил бўлади. У ҳолда реакторлар сони қуйидаги тенгламага биноан аниқланади:

$$m = \tau Vc/v \cdot \eta$$

В) қарама-қарши технологик боғланишлар

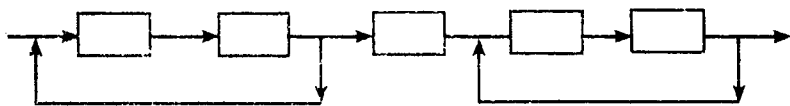


61-расм. Қарама-қарши технологик боғланиш.

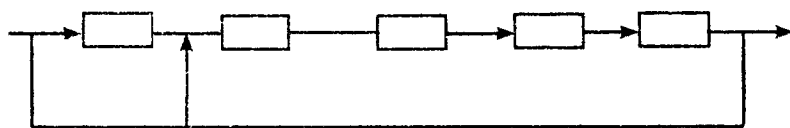


Бундай боғланишда КТТнинг навбатдаги элементида чиқаётган оқимни олдинги бир элементнинг кириши билан боғлайдиган карама-қарши технологик оқим мавжуд бўлади. Бир хил йўналишга эга бўлган кириш  $V_A$  ва чиқиш оқимлари  $V_D$  кичик оқимлар  $V_B$  ва  $V_C$  тизимнинг асосий технологик оқимини ва  $V_E$  оқимни ташкил этадилар,  $V_E$  оқим эса—бу карама-қарши оқимдир (ёки рецикл дейилади).

Карама-қарши технологик оқимлар мураккаброқ бўлиши ҳам мумкин.

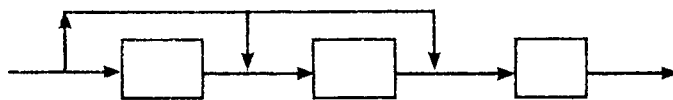


туташган карама-қарши оқим



62-расм. Мураккаб карама-қарши технологик боғланишлар.

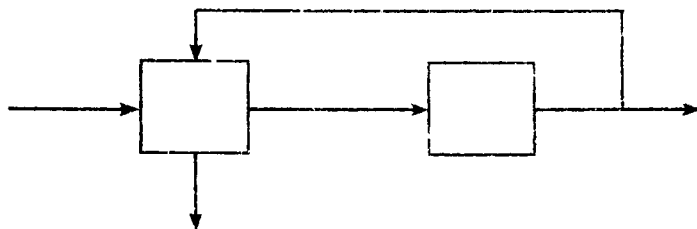
Г) кетма-кет айланма технологик боғланишлар



63-расм. Кетма-кет айланма технологик боғланишлар.

Бу реакторларда коскат ёки битта кўп токчали реактор бўлиши мумкин. Дастлабки ҳам ашё оқими иккига бўлинади. Биринчи оқим кетма-кет барча босқичлар орасида бўлиб-бўлиб қўшилади. Бу адиабатик жараёнда ҳар бир босқичда жараён ҳароратини ростлаб туриш имконини беради.

Д) Кесиниб ўтган технологик боғланишлар



Бундай боғланишлар асосан КТТ энергиясидан самарали фойдаланиш, чиқиб кетаётган газлардан ёки реакция маҳсулотларидан тушаётган хом ашёни қиздириш учун амалга оширилади.

Қарама-қарши боғланишларнинг мавжудлиги КТТда берк контурлар ҳосил бўлишига олиб келади. Шунинг учун КТТ ёпик ва ораси очик тизимга бўлинади.

Ораси очик КТТ—очик занжирли тизим—буларда асосий технологик оқимлар тизимнинг бош элементлари орқали фақат бир марттагина ўтадилар.

Берк КТТ—даврий тизимлар—масса ёки энергия оқимларда энг камида битта қарама-қарши технологик боғланишга эга.

КТТ яратишнинг технологик тамойиллари.

КТТ яратилишнинг барча босқичларида тизимнинг фаолият самарадорлиги мезонидан келиб чиқиб иш тутмоқ лозим. Самарадорлик мезонини танлаш мураккабдир ва уни КТТ яратишнинг илғор йўналишлари ва технологик тамойиллари асосида амалга ошириш лозим. Буларга хом ашё ва энергиядан самарали фойдаланиш, ишлаб чиқариш чиқиндиларини камайтириш, якка қурилмалар қувватини ошириш, атроф муҳитни кимё корхоналари чиқиндиларидан муҳофаза этиш, чиқиндисиз ишлаб чиқаришни ташкил этиш тамойиллари киради.

---

## АДАБИЁТЛАР

1. *Амелин и др.* Общая химическая технология, М., Химия, 1977.
2. *Брайнес Я.М.* Введения в теорию и расчеты химических и нефтехимических реакторов. М., Химия, 1976.
3. *Кафаров В.В.* Методы кибернетики в химии и химической технологии. М., Химия, 1968.
4. *Кафаров В.В.* Принципы создания безотходных химических производств. М., Химия, 1982.
5. *Краммерс Х., Вестертерп.* Химические реакторы. М., Химия, 1967.
6. *Кутепов А.М. и др.* Общая химическая технология. М., Высшая школа, 1985.
7. *Мухленов И.П. и др.* Общая химическая технология. Ч. 1 и 2. М., Высшая школа 1984.
8. *Мухленов И.П. и др.* Основы химической технологии. М., Высшая школа 1983.
9. *Мухленов И.П. и др.* Расчеты химико-технологических процессов. Л., Химия 1976.
10. Общие основы химической технологии. Перевод с польского под ред. П.Г. Романкова и М.И. Курочкиной, Л., Химия 1977.
11. *Мухленов И.П.* Основы химической технологии «Высшая школа», М., 1991.
12. *Кутепов А.М., Бондарева Т.Н., Берсгартен М.Т.* Общая химическая технология «Высшая школа», М., 1990.
13. *Касаткин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии. Химия, М., 1971.

14. *Кноре Д.Г., Крылова Л.Ф., Музыкантов В.С.* Физическая химия, «Высшая школа», М., 1990.
15. *Кафаров В.В., Мешалкин В.П.* Анализ и синтез химико-технологических систем, Химия, М., 1991.
16. *Коган В.Б.* Теоретические основы типовых процессов химической технологии, Химия, Ленинград, отд., 1977.
17. *Бесков В.С., Сафронов В.С.* Общая химическая технология и основы промышленной экологии, М, Химия, 1999.

---

---

## М У Н Д А Р И Ж А

Кириш .....	3
1. Кимёвий технологиянинг мақсади, вазифалари ва аҳамияти.....	5
2. Кимёвий-технологик жараённинг техник-иктисодий кўрсаткичлари .....	10
3. Мувозанат .....	13
3.1. Гетероген реакцияларда мувозанат .....	20
4. Технологик жараёнлар тезлиги .....	25
4.1. Жараён тезлигини ошириш усулари .....	33
4.2. Жараён тезлиги коэффиценти .....	35
4.3. Жараён тезлиги доимийлиги (константаси)нинг ортиши (масса сарфлаш коэффиценти) .....	39
5. Каталитик жараёнлар .....	44
5.1. Гомоген катализ .....	48
5.2. Гетероген катализ .....	48
5.3. Каттик катализаторларнинг хусусиятлари ва уларни тайёрлаш .....	51
6. Кимёвий технологик жараёнларни ва реакторларни лойиҳалаш ҳамда моделлаш .....	51
6.1. Кимёвий технологик реактор ва жараёнларни моделлаш .....	55
6.2. Математик моделлаш .....	56
6.3. Физик моделлаш .....	58
6.3.1. Кўламли ўтиш услуги билан моделлаш .....	60
7. Кимёвий реакторлар .....	61

7.1.	Кимёвий реакторларга қўйиладиган талаблар.....	61
7.2.	Кимёвий реактор таснифи .....	63
7.3.	Реакторнинг моддий баланси .....	64
7.4.	Узлуксиз маромда ишловчи реакторлар .....	65
7.5.	Мукаммал сиқиб чиқарувчи реактор модели.....	66
7.6.	Мукаммал сиқиб чиқарувчи реактор моделидан четланиш .....	72
7.7.	Узлуксиз ҳаракатланувчи мукаммал аралаштирувчи реактор (МАР-У).....	75
7.8.	Мукаммал сиқиб чиқарувчи ва мукаммал аралаштирувчи реакторни таққослаш.....	77
7.9.	Мукаммал аралаштирувчи реактор босқичли термаси .....	81
7.10.	Турли иссиқлик маромига эга бўлган реакторлар.....	85
7.11.	Реакторларнинг иссиқлик баланси .....	86
7.12.	Политермик маъром.....	89
7.13.	Даврий ҳаракатланувчи мукаммал аралаштирувчи реактор адиобатик реактор.....	92
7.14.	Изотермик маъром .....	94
7.15.	Реактор ишининг барқарорлиги.....	94
8.	Кимёвий-технологик тизимлар (КТТ).....	102
8.1.	КТТни ташкил этишнинг асосий босқичлари .....	108
8.2.	Технологик чизма.....	119
8.3.	КТТнинг математик моделлари .....	119
8.4.	КТТнинг таҳлил этиш, синтез қилиш ва оптималлаштириш вазифалари .....	122
8.5.	Технологик боғланишлар.....	127
	Адабиётлар .....	131

**Ф.М. Мирзаев, В.А. Линкевич,  
Т.А. Отақўзиев, Х. Мирзақулов**

**КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯНИНГ  
НАЗАРИЙ АСОСЛАРИ**

