

## 1 Химиялық өндірістің жабдықтауы

Әрбір өнеркәсіптік өндірістің жабдықтауы өндірістің жұмысына қажетті механизмдердің, машиналардың, құрылғылар мен аспаптардың жиынтығы болып табылады. Химиялық өндірістің жабдықтауына оның орналасуына қажетті құрылыс-монтажды конструкциялар да жатады. Бұлар барлығы өндірістің құрылысы кезінде оның жұмыс істеу мерзіміне толық жасалады және «қаржылық салымдар» деп аталады.

Химия-технологиялық процесті жүргізуге арналған жабдықтауды міндеті және әсер ету сипаты бойынша бірнеше топқа бөлуге болады:

1) жеке процестерді жүргізуге арналған технологиялық аппараттар (реакторлар, ректификациялық колонналар, абсорберлер, жылуалмастырғыштар, суалту аппараттары, сүзгілер, ыдыстар және т.б.). Аппараттарда процестің жүруін қамтамасыз ететін араластырғыштар мен басқа да орнатылған механикалық құрылғыларды есептегенде, қозғалатын элементтер болмайды;

2) технологиялық процесті қамтамасыз ететін механикалық құрылғылар, олардың негізгі жұмыс органы әдетте қозғалатын болады. Бұл – сорғылар, желдеткіштер, турбиналар, компрессорлар, транспортерлер және т.б.;

3) газдың, сұйықтың және олардың қоспаларының ағындарының аппараттар мен машиналар арасында зауыттың ішінде және цехтың ішінде тасымалдануына арналған құбырлар; Құбырлармен сонымен қатар қатты заттар да тасымалдануы мүмкін, әдетте олар жүзгіндер ретінде болады (пневмо- және гидротранспорт);

4) реттейтін және жабатын арматура (крандар, вентильдер, жапқыштар, ысырмалар);

5) бақылау және басқару аппаратурасы, ағындардың күйін көрсететін тетіктерден, біріншілік түрлендіргіштерден, көрсететін аспаптардан, басқару жүйесінен, орындау механизмдерінен тұрады.

Жабдықтаудың орналасуына арналған құрылыс-монтаждау конструкцияларының құрамына кіреді:

1) Жабдықтау мен жұмыскерлерге арналған ғимараттар мен құрылыстар;

2) ғимараттардың сыртындағы және машиналар мен аппараттарға арналған тіреуіш конструкциялар;

3) эстакадалар – ұзындықтары үлкен болатын құбырлар үшін тіреуіш конструкциялар;

Химиялық өндірістердің жабдықтауы агрессивиялық орталар, қысым мен температура әсер еткенде жұмыс істейді, сондықтан оларды дайындайтын конструкциялық материалдарға ерекше талаптар қойылады. Материалдардың дұрыс таңдалуы елеулі мөлшерде өндірістің техника-экономикалық көрсеткіштерін анықтайды. Материалды таңдауда оның коррозияға тұрақтылығы ғана есепке алынып қоймай, сонымен қатар оның беріктігі, термотұрақтылығы, өңдеу мүмкіншілігі, материалдың қол жетімділігі және оның бағасы есепке алынуы тиіс.

Химиялық өндірістерді салуға жұмсалатын шығындар үлкен болады және

оны дайындау және жобалау кезінде жабдықтауды дұрыс орналастыру мен таңдау және ұзақмерзімді қызмет ететін конструкциялық материалдарды таңдауды есепке алатын экономикалық дұрыс шешімдерді іздеу болып табылады.

Химиялық өндірістер цехтер мен зауыттардың жабдықтауларының спецификасына байланысты болатын бірқатар ерекшеліктерге ие болады. Оларға жатады:

1) өңделетін сұйықтар мен газдардың көбі жанғыш және жеңіл тұтанатын болады;

2) көптеген бастапқы өнімдердің ауамен қоспасы жарылысқауіпті қоспалар түзуге қабілетті;

3) көптеген өнімдер уытты, улы және әртүрлі материалдарға агрессиялы әсерге ие болады;

4) көптеген процестер үлкен қысымдарда және жоғары температураларда жүреді.

Жұмыстың осындай қатаң ерекше жағдайлары зиянды заттардың бөлме ауасына түсуіне жол бермейтіндей аппаратураны жасауды талап етеді және химиялық өнеркәсіптің машиналары мен аппараттарына келесі талаптар қояды:

1) Механикалық беріктік – жұмыс жүктемелеріне шыдамды болу қабілеті. Бұл конструкциялау кезінде тиісті есептелген нормаларды сақтаумен қамтамасыз етіледі. Беріктік жабдықтауды қауіпсіз эксплуатациялаудың басты шарты болып табылады.

2) Орнықтылық – аппараттардың өз бастапқы пішінін жұмыс күйінде сақтау қабілеті. Бұл есептеулерде орнықтылықтың жоғалуына әкелетін күштік факторларды (мысалы, вертикалды колонналы аппараттар үшін желдің әсерінен аударылу мүмкіндігі) есепке алумен орындалады.

3) Төзімділік – аппараттың немесе машинаның жұмысының есептелген мерзімі; әдетте есептеулерде оны 10–15 жыл деп алады.

4) Саңылаусыздық – жабдықтаудың ішіндегі қысым астында болатын жұмыс ортасын сыртқа шығармау қабілеті; себебі бұл оның сыртқа шығуы апатқа немесе улануға әкелуі мүмкін. Саңылаусыздыққа тұтас дәнекерленген конструкцияларды дайындаумен немесе әртүрлі қосылатын жерлерге тығыздағыштарды қолданумен қол жеткізуге болады.

5) Құрылысының, қызмет көрсетудің және жөндеудің қарапайым болуы.

6) Конструкцияның технологиялығы – қарапайымдылық және дайындаудың бағасының төмен болуы; түйіндер мен бөлшектердің стандартталған және нормаландырылған болуы; жолдарды дұрыс таңдау.

7) Эксплуатациялау кезіндегі сенімдік пен қауіпсіздік. Қоршайтын және сақтандыру құрылғыларының болуы.

8) Тасымалдылық – жабдықтауды темір жолмен монтаждау жеріне дейін тасымалдау мүмкіншілігі.

9) Үнемділік – жобалаудың, жасаудың және эксплуатациялаудың бағасының минималды болуы.

10) Жоғары өнімділік және ПӘК.

11) Үздіксіз автоматтандырылған өндіріс жағдайларында талап етілетін технологиялық тәртіптерді тұрақты қамтамасыз ету.

12) Техникалық эстетика талаптарын қанағаттандыру.

Аппаратты конструкциялауды оның құрылысын таңдаудан, оның пішіні мен мөлшерлерін анықтаудан бастайды. Аппараттың мөлшерлерін технологиялық, массаалмасу, жылулық және гидравликалық есептеулердің көмегімен анықтайды.

Аппарат пен машинаның пішіні олардың технологиялық міндеті негізінде және процестің гидродинамикасына елеулі түрде тәуелді болатын жұмыс элементтерінің конструкциясымен анықталады. Аппараттың пішініне елеулі әсерін конструкциялық материалдардың қасиеттері және машинажасау саласының мүмкіншіліктері (мысалы, жоғары қысымда істейтін аппараттардың диаметрін кіші, ал ұзындығын елеулі етіп жасайды, бұ қабырғаның қалыңдығын кішірейту үшін қажет) тигізеді.

Химиялық технологияның барлық жабдықтауы онда жүретін процестің заңдылықтарына байланысты шартты түрде бес топқа бөлінеді.

Бірінші топқа механикалық процестерді жүргізуге арналған жабдықтау жатады: ұсақтау, тасымалдау, қатты материалдарды сорттау (жіктеу) және араластыру. Бұл топтың процестері арнайы құрастырылған машиналар мен аппараттарда орындалады (мысалы, ұсақтағыштарда, классификаторларда, дозаторларда және т.б.).

Екінші топ – интенсивтілігі гидродинамиканың заңдарымен немесе сұйықтар мен газдардың жылжу заңдарымен анықталатын гидродинамикалық процестерге арналған жабдықтау. Жабдықтаудың бұл тобына сұйықтар мен газдарды тасымалдауға арналған құбырлар, тұндыру камералары, циклондар мен гидроциклондар және т.б. жатады.

Үшінші топ – жүру жылдамдықтары жылутасымалдау жылдамдығына тәуелді болатын жылулық процестердің жабдықтауы. Бұл топқа тоңазытқыштар, жылытқыштар, буландырғыштар, суалту қондырғылары, тоңазытқыш агрегаттар, пештер және т.б. жатады.

Төртінші топқа жылдамдығы массатасымалдау жылдамдығына тәуелді болатын массаалмасу процестеріне арналған жабдықтаулар жатады. Бұл абсорберлер, айдауға, ректификациялауға, экстракциялауға, кристаллизациялауға арналған колонналар, кептіруге арналған аппараттар және т.б.

Бесінші топ – химиялық қасиеттерінің өзгеруімен заттардың айналуы немесе химиялық реакция жүретін химиялық реакторлар. Реакторлардың конструкциялары әртүрлі: араластырғыштары бар реакторлар, катализатор қабаты қозғалмайтын немесе жалған сұйылтылған күйде және т.б. болатын реакторлар.

Технологиялық процесс мерзімді немесе үздіксіз тәртіпте ұйымдастырылған болуы мүмкін.

Мерзімді тәртіпте процестің барлық сатылары бір аппаратта, бірақ әртүрлі уақытта жүргізіледі. Мысалы, алдымен бастапқы шикізатты енгізеді, сонан соң қоспаны араластырады және қыздырады, ал процесс аяқталғаннан

кейін реакторды босатады. Бұл тәртіпте барлық технологиялық операциялар бір-бірінен кейін орындалады. Олардың әрқайсысы уақытпен шектелген болады және көп реагенттердің қатысуымен жүреді. Әдетте бұндай процестердің өнімділігі төмен болады. Мерзімді тәртіпте қатысатын компоненттері көп болатын процестер, сонымен қатар азтоннажды процестер жүргізіледі.

Үздіксіз тәртіпте шикізатты енгізу, процестің жүруі, өнімді шығару бір мезгілде, бірақ әртүрлі аппараттарда орындалады. Процесті үздіксіз тәртіпте жүргізудің артықшылықтарына процестің әрбір сатысы үшін арнайы аппаратураны қолдану мүмкіншілігі, процестің уақытта тұрақталуы, өнімнің сапасының жақсаруы, процесті автоматты басқару сұрақтарының шешілуі жатады. Мұнайды өңдеудің көптоннажды процестері үздіксіз түрде жүргізіледі.

## 1.1 Небары кең қолданылатын типтік аппараттар

### Өнеркәсіптік пештер

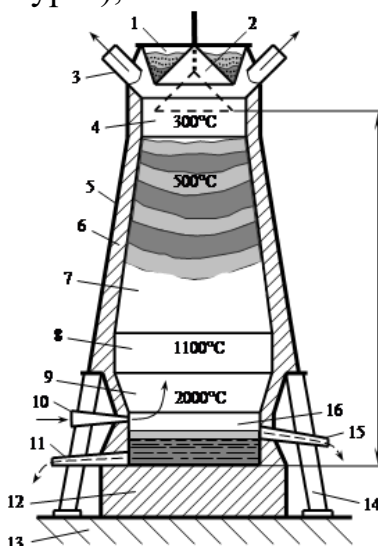
Бұл өте кең таралған реакторлар. олардың келесі түрлері белгілі:

1) шахталы (мысалы: домналы, вагранкалы). Олар шойынды, түсті металдарды алуда қолданылады. Реакциондық ортаның жылжу тәртібі ығыстыру тәртібіне жақын (1.1-сурет).

2) жанама (кендердің концентратын күйдіруде қолданылады). Конструкциясы сөрелі реактордың конструкциясына ұқсас;

3) қайнайтын қабат пештері (кендерді күйдіруде, қатты отынды газификациялауда, мұнай өнеркәсібінде крекингілеуде қолданылады) (1.2-сурет);

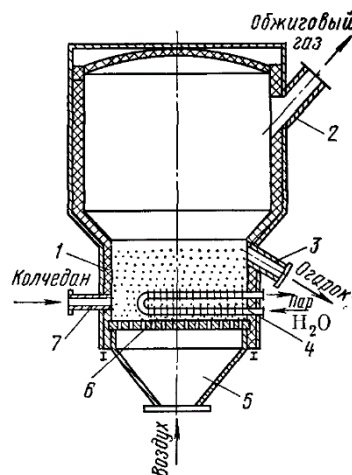
4) барабанды айналатын пештер. Жұмыс тәртібі тура ағысты және кері ағысты болуы мүмкін. Қолдану салалары: цемент өнеркәсібі, силикатты материалдар және жербалшық өнеркәсібі. ИЫТ (идеалды ығыстыру тәртібі) тәртібінде жұмыс істейді (1.3-сурет);



1 – енгізу аппараты; 2 – жабатын конус; 3 – газ шығарғыш; 4 – колошник; 5 – болат қаптама; 6 – оттөзімді қалау; 7 – шахта; 8 – распар; 9 – сағалар; 10 – мойнақ; 11 – шойынға арналған тесік; 12 – түп; 13 – фундамент;

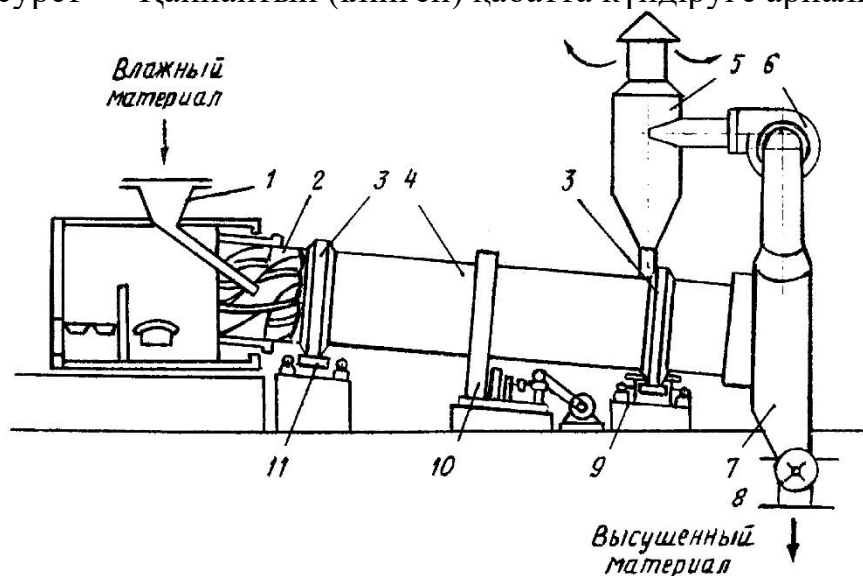
14 – тіреуіш колонна; 15 – шлаққа арналған тесік; 16 – ошақ

1.1-сурет – Домна пешінің құрылысы



1 – жану камерасы; 2 – күйдіру газын шығаратын газ жолы; 3 – тұқылды шығаратын құбырша; 4 – тоңазытқыш (бірінші қазанның секциясы); 5 – бункер; 6 – тор; 7 – күйдірілетін қатты материалды беруге арналған шнек

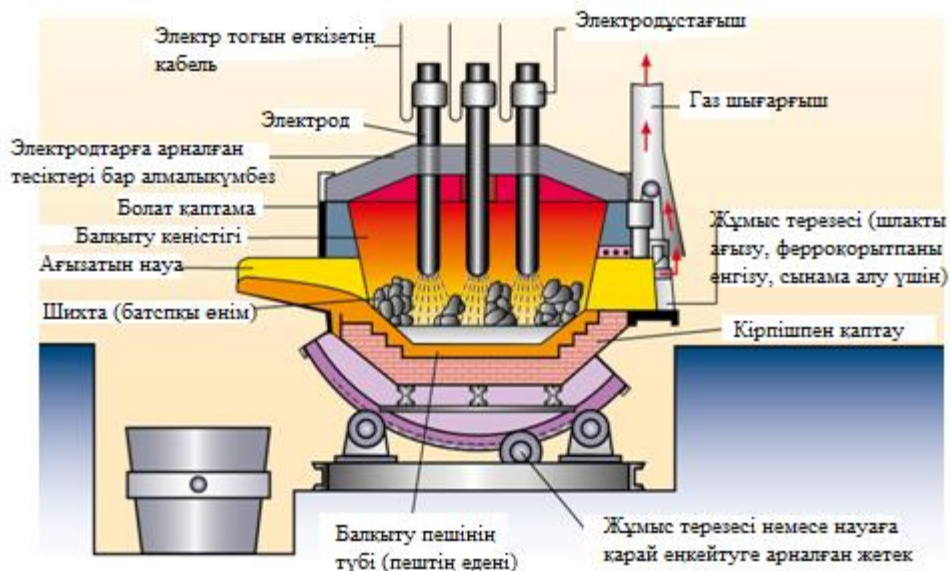
1.2-сурет – Қайнайтын (ілінген) қабатта күйдіруге арналған пеш



1 – қоретендіргіш; 2 – барабанның ішкі бөлімінің қалақтары; 3 – бандаж; 4 – кептіргіш барабан; 5 – циклон; 6 – желдеткіш; 7 – кептірілген материалды шығаратын камера; 8 – түсіру түйіні; 9, 11 – тіреуіш роликтер; 10 – тісті қозғалтқыш

1.3-сурет – Құбырлы айналатын пештің конструктивтік схемасы

5) электр пештері индукциялық пештер (СВЧ – ЖЖҮ (жоғары жиіліктің үсті) және электрдоғалы пештер болып бөлінеді (1.4-сурет).

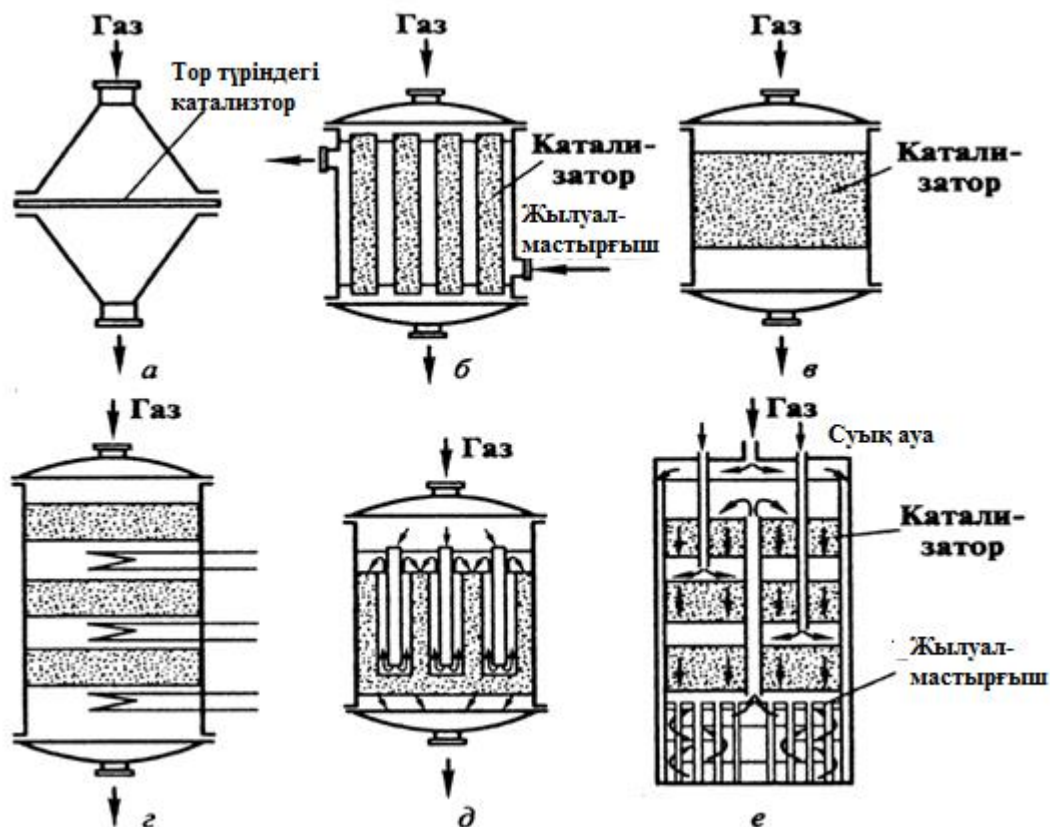


1.4-сурет – Болатты балқытуға арналған электрдоғалы пеш

### Контактты аппараттар

Газдардың катализатормен әрекеттесу әдісі бойынша аппараттар 3 топқа бөлінеді:

1) Катализатор қабаты сүзетін болатын каталитикалық реакторлар. Сүзетін қабаты бар аппараттарға ыдыстар, құбырлы және сөрелі аппараттар жатады, олардың жұмыс істеу принципі газдың қозғалмайтын катализатор қабаты арқылы сүзіліп өтуіне негізделген (1.5-сурет). Контактты аппараттардың көбінің жұмысы осы принципке негізделген.



1.5-сурет – Катализатор қабаты сүзетін болатын контактты аппараттардың схемасы: а – катализаторы тор түрінде болатын контактты аппарат; б – құбырлы контактты аппарат; в – тесік торлары бар контактты аппарат; г – көпқабатты контактты аппарат; д – Фильд түтіктері бар контактты аппарат; е – жылуалмастырғышы бар контактты аппарат

Сол кезде катализатор газдың жылжу жолында тартылып орнатылған тор, құбырлы контактты аппараттар немесе тесік торларда орналасқан әртүрлі пішінді қатты денелер түрінде болуы мүмкін. Бұл аппараттардың артықшылықтары, олардың конструкцияларының қарапайым болуында. Кемшіліктеріне жылуалмасудың болмауын жатқызуға болады. Бұл жылу эффектілері төмен болатын реакцияларды ғана жүргізуге мүмкіншілік береді.

Жылуалмасу тәсілдері бойынша қозғалмайтын қабатты реакторлардың үш түрін бөліп алуға болады:

- адиабаталы реакторлар (жылуалмасу жоқ);
- жылудың аралық алып кетілуімен (алып келуімен) істейтін реакторлар – көпқабатты (сөрелі) аппараттар;
- жылудың үздіксіз әкетілуімен істейтін реакторлар – құбырлы аппараттар.

Процестің толық жүруі үшін бір аппараттың ішінде контактты массаның бірнеше қабаты орнатылуы мүмкін.

Көпқабатты контактты аппараттарды тазартылатын газды қосымша өңдеу (жылыту, салқындату және т.б.) қажет болғанда орнатады. Бұл процесті әрбір сөреде оптималды температуралық тәртіпте жүргізуге мүмкіншілік береді.

Функционалды міндеттері бойынша катализатордың сүзетін қабаты бар контактты аппараттардың конструктивтік безендірілуінің бірнеше нұсқасы бар:

- қатты катализаторы жеке корпуста орналасқан каталитикалық реакторлар (тип К);
- бір корпустың ішінде контактты түйін және жылытқыш орнатылған каталитикалық реакторлар (тип ТК);
- бір корпустың ішінде контактты түйін және жылудың рекуператоры орналасқан термокаталитикалық реакторлар (тип КВ);
- бір корпустың ішінде жылытқыш, контактты түйін және жылудың рекуператоры орналасқан каталитикалық реакторлар (тип ТКВ).

Бұл реакторлардың ішінде небары болашақты ТКВ аппараттары болып табылады, олар экологиялық талаптарға максималды сай болады.

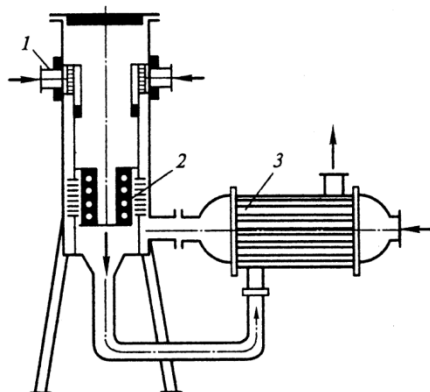
Мысал ретінде Гипрогазочистка конструкциялы термокаталитикалық жағып бітіргішті келтіруге болады (1.6-сурет).

Құрамында зиянды қоспалар бар газ тазартылған газдармен жылуалмастырғыш-рекуператорда жылытылады. Сонан соң жанғыштарда 1 отынды жандыру кезінде түзілетін оттық газдармен араласады, әрі қарай катализатордың 2 бетінде залалсыздандырылады.

Сүзетін қабаты бар аппараттардың кемшілігіне катализатордың қатты

бөлшектермен бікетілуі жатады. Бұл жағдайда түтіктердің ішкі бетіне катализатор енгізілген құбырлы реакторлар қолданылуы мүмкін.

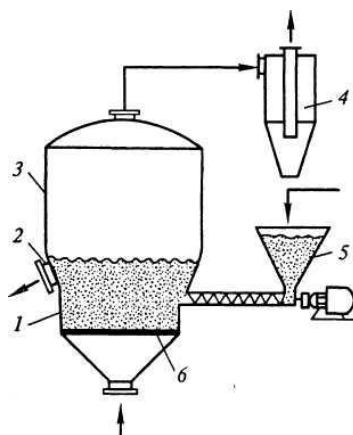
Катализатор қабаты қозғалмайтын болатын реакторларға жылуды әкелу (әкету) үшін катализатор қабаттарынан сырт орналасқан жылуалмастырғыштар қолданылады.



1 – жанғыш; 2 – катализатор қабаты; 3 – жылуалмастырғыш-рекуператор.

1.6-сурет – Конструкциясы Гипрогазочистка болатын каталитикалық жағып бітіргіш

2) Катализатор қабаты ілінген күйде болатын каталитикалық реакторлар. Сүзетін қабаттың кемшілігіне катализатордың түйіршіктерінің жанасатын жерлерінде газбен нашар орағыта жуылу жатады. Бұл кемшіліктерді жою үшін қайнайтын қабат қолданылады. Ол қабатта катализатордың әрбір түйіршігі барлық жақтарынан газбен интенсивті жанасады, бұл тазарту процесін интенсифтендіреді.



1 – корпусың цилиндрлік бөлімі; 2 – түйіршікті катализатор; 3 – корпусың үстіңгі бөлімі; 4 – циклон; 5 – шнекті құрылғы; 6 – газды бөліп тарататын тор

1.7-сурет – Катализаторы қайнайтын күйде болатын каталитикалық реактор

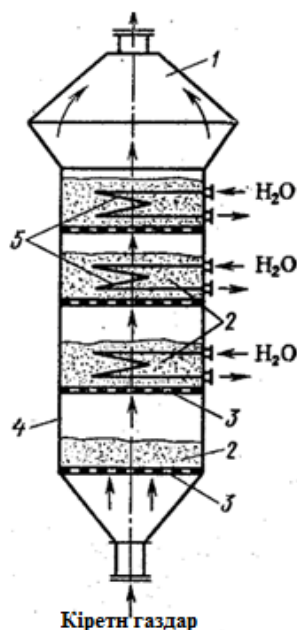
Бұл аппараттардың артықшылықтарына қабаттың жылуөткізгіштігінің

жоғары болуы, катализаторды енгізу және шығару процестерін механизациялау және интенсивтендіру мүмкіншіліктерінің болуы, жергілікті қызып кету немесе аса суып кету мүмкіншілігінің жойылуы, ұсақ катализаторды қолдану мүмкіншілігі (сүзетін қабатта ұсақтүйіршікті катализатор қолданылмайды, себебі кедергісі жоғары және температуралық қабат бірқалыпты емес) жатады.

Ілінген қабаттың кемшіліктеріне катализатор түйіршіктерінің қажалуы және олардың аппараттан шаң күйінде әкетілуі жатады. Бұл шаңұстайтын қондырғыны орнатуды қажет етеді және катализатордың беркітігіне жоғары талап қояды. Сонымен қатар қарсы ағынды қолдануға болмайды, бұл процестің қозғаушы күшін төмендетеді. Аталған кемшіліктер анықтаушы болмайды және олардың көбі жартылай немесе толық жойылады.

Қайнайтын қабатта қатты фазаны ретке келтіріп араластыру үшін кейде механикалық араластырғыштар қолданылады, бұл бөлшектердің аппаратта болу уақытын орташалауға мүмкіншілік жасайды.

Газдардың тазартылу дәрежесін арттыру үшін қайнайтын қабатты көпсөрелі аппараттар қолданылады (1.8-сурет).



1 – шаңұстағыш; 2 – катализатордың ілінген қабаты; 3 – газды бөліп тарататын тор; 4 – аппарат корпусы; 5 – суың тоңазытқыштар (жылуалмастырғыштар)

1.8-сурет – Катализатор қабатты ілінген күйде болатын көпсөрелі контактты аппарат

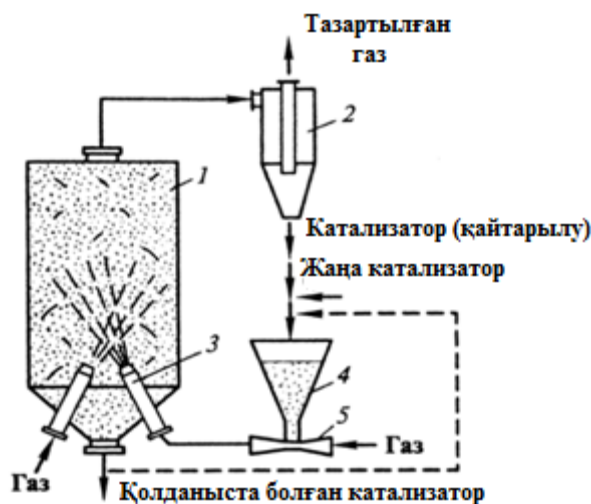
Ілінген қабаты бар реакторлардан жылуды әкету (әкелу) үшін катализатор қабаттарының ішінде орналасқан жылуалмастырғыштар қолданылады.

3) *Шаң күйіндегі катализаторы бар каталитикалық реакторлар.*

Шаң күйіндегі катализаторы бар аппараттарда ұсақталған катализатор жұмыс аймағына арнайы шүмектің көмегімен шашыратылады (1.9-сурет). Бұл реакциянды аймақтың толық қолданылуына мүмкіншілік береді. Реакция катализатордың бөлшектері ұшқан күйде болғанда жүреді.

Әдетте каталитикалық тотықсыздану мен тотығу процестері жеке

карастырылады.



1 – цилиндр корпус; 2 – циклон; 3 –сопла; 4 – бункер; 5 – эжекторлік құрылғы

### 1.9-сурет – Катализаторы шаң күйінде болатын каталитикалық реактор

Каталитикалық тотықтыруды күкірт диоксидін түтін газдарынан бөліп алу үшін, серпулерді көміртек тотығынан тазарту үшін, ал каталитикалық тотықсыздандыруды газдарды азот оксидтерінен тазарту үшін қолданады.

Каталитикалық тотықтырудан кейін газдар әрі қарай өңдеуге, мысалы, дайын өнімді алумен абсорбциялауға жібереді. Кейбір газдар үшін бұл саты қарастырылмаған, себебі ластаушы зат зиянсыз қосылысқа айналады.

#### Абсорбциялық аппараттар

Абсорбциялық аппараттар технологиялық міндеттері, қысымы және газ (бу) бен сұйықтың жанасуын қамтамасыз ететін ішкі құрылғысы бойынша жіктеледі.

Технологиялық міндеті бойынша абсорбциялық аппараттар кептіру, газды тазарту, газды бөліп тарату және т.б. қондырғыларының аппараттары болып бөлінеді.

Ішкі құрылғыларының құрылыстары бойынша аппараттар бөлінеді:

- табақшалы,
- насадкалы (саптамалы);
- шашыратқыш;
- роторлы (механикалық);
- беттік;
- каскадты.

Табақшалы және насадкалы аппараттар ең кең таралған аппараттар болып табылады.

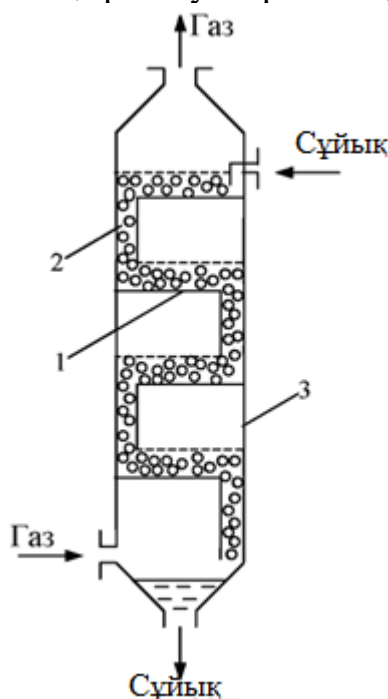
Қолданылатын қысымға байланысты аппараттар вакуумды, атмосфералық және атмосфералық қысымнан жоғары қысымда істейтін болып бөлінеді.

Табақшалы колонналар насадканың бірқалыпты ылғалдануы үшін

жеткіліксіз болатын сұйықтың салыстырмалы төмен шығынында ірітоннажды өндірістер үшін қолайлы, сонымен қатар температуралардың ауытқуымен жүретін процестер үшін де қолайлы болады, себебі корпустың мерзімді кеңеюі және тарылуы морт насадканы бүлдіруі мүмкін. Табақшаларда жылуды әкелетін және әкететін жыланшаларды орнату жеңіл болады. Табақшалы колонналар сондай-ақ қатты қоспалары бар ағындарды өңдеуде немесе қатты тұнбаның түзілуі кезінде қолданылады.

Табақшалы абсорберлер әдетте вертикалды цилиндрлер – колонналар болып табылады, олардың ішінде бір бірінен белгілі қашықтықта колоннаның биіктігінің бойында горизонталды арабөлгіштер – табақшалар орналасқан (1.10-сурет). Табақшалар фазалардың бағытталған қозғалысы кезінде (сұйық үстінен астына қарай ағады, ал газ астынан үстіне қарай көтеріледі) фазалардың жанасу бетін дамыту үшін және сұйық пен газдың көп қайтара әрекеттесуі үшін қажет.

Сонымен, табақшалы колонналарда массатасымалдау процесі негізінде табақшалардың бетінде түзілетін газ-сұйықты жүйелерде орындалады, сондықтан бұндай аппараттарда процесс сатылы түрде жүреді, және табақшалы колонналардың жанасу үздіксіз түрде жүретін насадкалы колонналардан айырмашылығы, олар сатылы аппараттар тобына жатады. Әрбір табақшада оның конструкциясына байланысты фазалардың қозғалысының белгілі бір түрін қамтамасыз етуге болады, әдетте айқасқан бағыт немесе сұйықтардың толық араласуы орын алады.

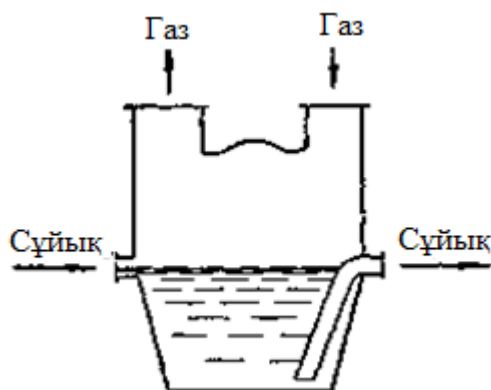


1 – табақша, 2 – сұйықтың ағуына арналған құрылғы; 3 – корпус.

1.10-сурет – Табақшалы колоннаның схемасы

Беттік абсорберлер. Бұл абсорберлер жақсы еритін газдарды сіңіру үшін қолданылады (мысалы, хлорсутекті газды сумен сіңіру). Аталған аппараттарда

газ қозғалмайтын немесе баяу қозғалатын сұйықтың бетінің үстінен өтеді (1.11-сурет).

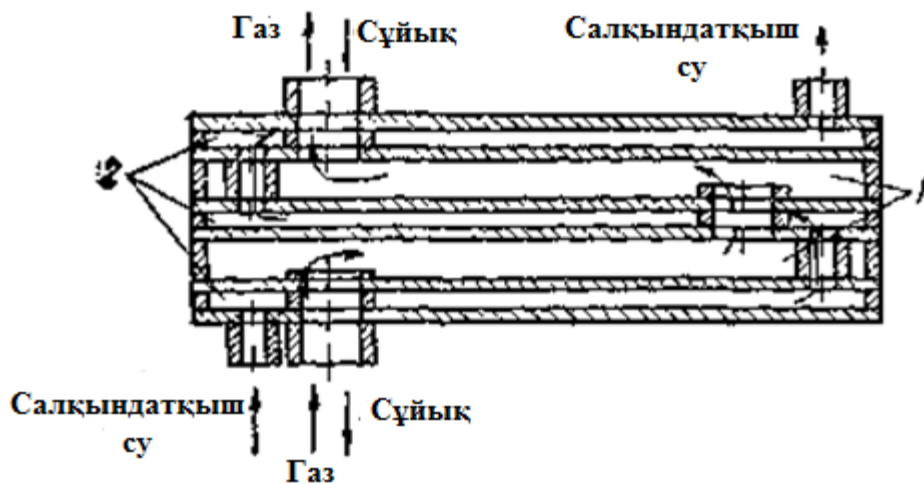


1.11-сурет – Беттік абсорбер

Бұндай абсорберлердің беті кішкентай болғандықтан, бір-біріне жалғанған аппараттар орнатылады, оларда газ бен сұйық бір біріне қарсы бағытта жылжиды. Сұйық абсорберлерде өздігінен жылжуы үшін сұйық жылжу бағытындағы әрбір келесі аппарат алдыңғыдан біршама төмен орналасады. Абсорбция кезінде бөлінетін жылуды шығару үшін аппараттарда сумен немесе басқа да салқындатқыш агентпен салқындатылатын жыланшалар орнатылады немесе абсорберлер ағысты су бар ыдысқа орналсатырылады.

Пластиналы абсорбер (1.12-сурет) екі каналдар жүйесінен тұрады: қимасы үлкен болатын каналдармен 1 қарсы ағынмен газ бен абсорбент, ал қимасы кіші болатын каналдармен 2 тоңазытқыш агент (әдетте су) жылжиды. Пластиналы абсорберлер әдетте графиттен жасалады, себебі ол химиялық тұрақты, жылуды жақсы өткізгіш болады.

Беттік абсорберлердің тиімділігі төмен және олар қолайсыз үлкен болғандықтан, қолданылулары шектеулі.



1.12-сурет – Пластиналы абсорбер

Қабықшалы абсорберлер. Қабықшалы абсорберлер және оларға жататын реттелген насадкалы аппараттар ыдырау кезіндегі процестерді жүргізуде

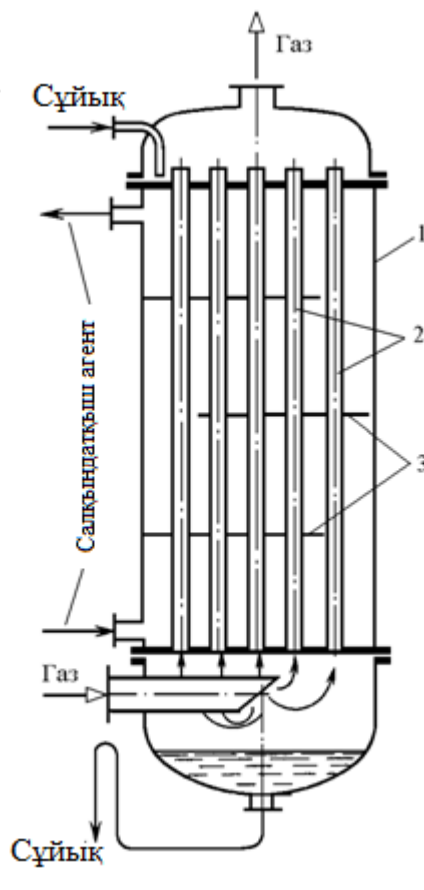
таптырмайтын аппараттар болып табылады, себебі олардың гидравликалық кедергілері ең төмен. Қабықшалы және насадкалы колонналар коррозиялы орталарды және көбіктенетін сұйықтарды өңдеуде қолданылады.

Бұл аппараттар беттік абсорберлерге қарағанда неғұрлым тиімді және ықшам болады. Қабықшалы абсорберлерде фазалардың жанасу беті сұйықтың ағатын қабықшасының беті болып табылады.

Бұл типті аппараттардың келесі түрлері бар:

- құбырлы абсорберлер;
- жазық-параллельді немесе парақты насадкасы бар абсорберлер;
- сұйықтың қабықшасының қозғалысы жоғары бағытталған абсорберлер.

Құбырлы абсорбердің құрылысы вертикалды қаптамақұбырлы жылуалмастырғыштың құрылысына ұқсас болады (1.13-сурет). Сұйық абсорбент жоғарғы құбыр торына келеді, онда таралады және қабықша түрінде құбырлармен төмен қарай ағады. Оған қарсы бағытта құбырлармен 3–6 м-с жылдамдықпен газ жылжиды. Егер абсорбтивтің еруі кезінде жылудың көп мөлшері бөлінетін болса, онда құбыраралық кеңістікке салқындатқыш агент берілуі мүмкін.

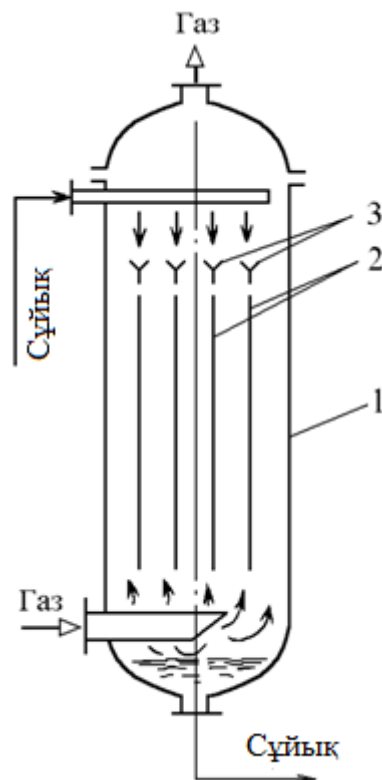


1 – корпус; 2 – түтіктер; 3 – арабөлгіштер

1.13-сурет – Түтікті қабықшалы абсорбер

Жазықпараллельді насадкасы бар аппараттар вертикалды колонна 1 түрінде болады, оның ішінде бір біріне параллельді вертикалды немесе горизонталды түрде насадканың жазық тікбұрышты парақтары 2 орналасқан.

Олар металдан, пластмассадан немесе тартылған матадан жасалады (1.14-сурет). Сұйық абсорбент насадканың екі жағының да біркелкі ылғалдануын қамтамасыз ететін, бөліп тарататын құрылғыға 3 келеді. Газ қарсы ағынмен жылжиды да, сұйық қабықшамен жанасады.

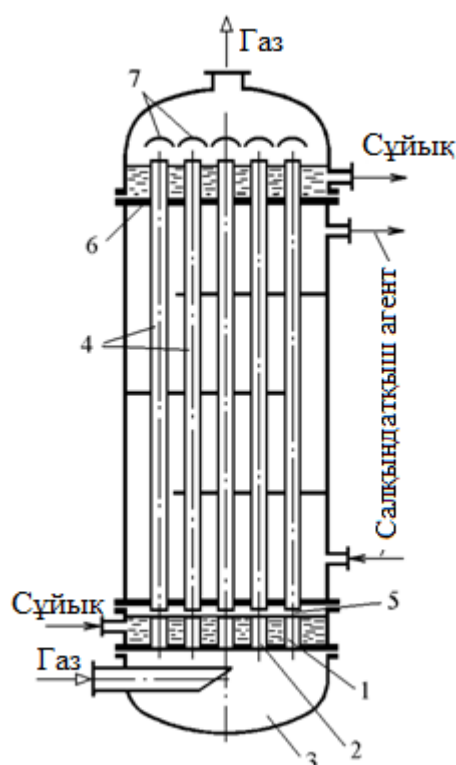


1 – колонна; 2 – парақты насадканың пакеттері; 3 – бөліп тарататын құрылғы

1.14-сурет – Жазықпараллельді (парақты) насадкасы бар қабықшалы абсорбер

Қабықша жоғары қарай жылжитын аппараттар құбырлы аппараттарға ұқсас болады, бірақ жоғары қарай жылжитын тура ағысты тәртіпте жұмыс істейді. Сұйық абсорбент аппараттың астыңғы бөліміндегі бөліп тарататын торға 1 келеді, онда бөліп тарататын құбыршалар 2 орнатылған (1.15-сурет).

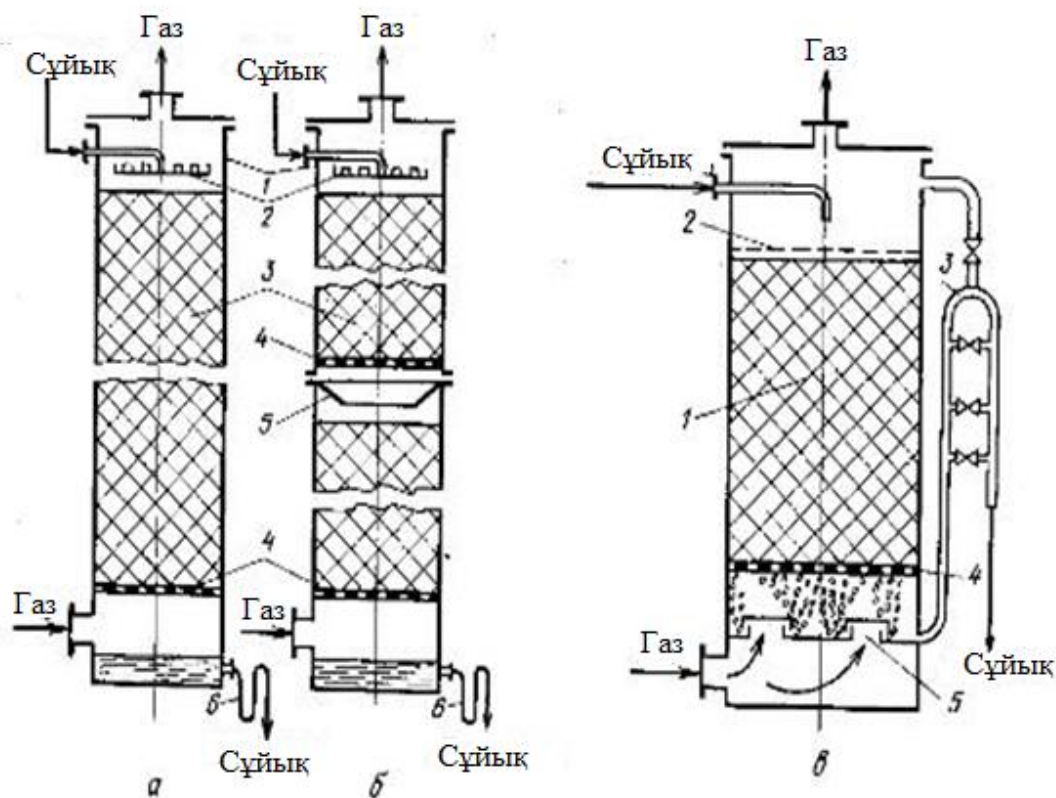
Газ аппараттың түбіне 3 әкелінеді және құбырлармен 4 өстері сәйкес келетін бөліп тарататын құбыршалар 3 арқылы жоғары қарай көтеріледі. Құбырлар мен құбыршалардың арасында абсорбентті беруге арналған саңылаулар 5 бар. Жылдамдығы жеткілікті жоғары болатын (10 м/с-тен артық) газ өзімен бірге абсорбентті жұқа қабықша ретінде алып кетеді. Құбырлардың үстіңгі шеттерінен асып ағатын сұйық үстіңгі құбыр торынан 6 шығарылады. Бұл аппараттардың қарсы ағысты құбырлы аппараттарымен салыстырғандағы артықшылықтарына жоғары өнімділік және массатасымалдау коэффициентінің жоғары болуы жатады. Ал, кемшіліктеріне үлкен гидравликалық кедергі, конструкцияның күрделілігі, тура ағыспен байланысқан бөліп алу коэффициентінің төмен болуы жатады.



1 – бөліп тарататын тор; 2 – бөліп тарататын құбыршалар; 3 – түп; 4 – құбырлар; 5 – абсорбентті беруге арналған саңылаулар; 6 – жоғарғы құбыр торы; 7 – тамшыұстағыштар.

1.15-сурет – Сұйықтың қозғалысы жоғары қарай бағытталған қабықшалы абсорбер

Насадкалы абсорберлер өнеркәсіпте неғұрлым кең қолданыс тапқан. Бұл абсорберлер насадкамен – әртүрлі пішінді қатты денелермен толтырылған колонналар болып табылады. Насадкалы колоннада насадка газдың өтуіне және сұйықтың ағуына арналған тесіктері немесе саңылаулары бар тіреуіш торларға салынады (1.16-сурет). Сұйық бөліп таратқыштың көмегімен насадканы бірқалыпты ылғалдайды және насадкалы денелердің бетімен жіңішке қабықша ретінде төмен қарай ағады.



а – насадка қабаты тұтас болатын; б – насадка секциялар түрінде енгізілетін: 1 – корпус; 2 – сұйықты таратқыш; 3 – насадка; 4 – тіреуіш торлар; 5 – сұйықты бөліп таратқыш; б – гидравликалық жапқыштар; в – эмульгациялық насадкалы колонна: 1 – насадка; 2 – насадканы бекітетін тор; 3 – гидравликалық жапқыш; 4 – тіреуіш тор; 5 – газдың таратқышы.

1.16-сурет – Насадкалы абсорберлердің схемасы

Насадкалы колоннада 1 (1.16-сурет; а,б) насадка 3 газдың өтуіне және сұйықтың ағуына арналған тесіктері немесе саңылаулары бар тіреуіш торларға 4 салынады. Сұйық бөліп таратқыштың 2 көмегімен насадканы 3 бірқалыпты ылғалдайды және насадкалы денелердің бетімен жіңішке қабықша ретінде төмен қарай ағады. Дегенмен сұйық колоннаның барлық биіктігінің бойында және көлденең қимасында бірқалыпты таралуы болмайды, бұл қабырға маңындағы эффектпен түсіндіріледі. Осының салдарынан сұйықтың колоннаның орталық бөлігінен қабырғаларға қарай ағу тенденциясы пайда болады және колоннаның диаметрінің төрт немесе бес шамасына жеткенде абсорбентті енгізу нүктесінен периферияға қарай толық ығысады. Сондықтан насадканы колоннаға жиі биіктігі төрт-бес диаметр болатын (бірақ әрбір секциядағы биіктігі 3...4 метрден аспайтын) секциялар ретінде салады, ал секциялардың арасына сұйықты бөліп таратқыш 5 орнатылады (1.16-сурет;б). Сұйықты бөліп таратқыштың міндеті сұйықты колоннаның перифериясынан орталыққа қарай бағыттау.

*Насадкалы аппараттардың гидродинамикалық тәртіптері*

Насадкалы аппараттағы газ және сұйық фазаның салыстырмалы жылдамдығына байланысты оның жұмысының әртүрлі тәртіптерін бақылауға

болады.

Газдың жылдамдығы төмен болғанда қабықшалы тәртіп орын алады (әлсіз әрекеттесу), бұл сұйықтың гравитациялық ағуына оның әсерін есептемеуге мүмкіншілік береді.

Бөгелу тәртібі сұйық қабықшасының сыртқы қабаттарының тежелуіне, оның қалыңдығының және сұйықтың құрықталатын мөлшерінің артуына әкелетін газдың жылдамдығының өсуі кезінде бақыланады. Фазалардың қарсы ағыны кезінде газдың сұйыққа үйкелу күштерінің артуы салдарынан фазалардың жанасу бетінде сұйықтың газ ағынымен тежелуі жүреді. Осының нәтижесінде сұйықтың жылжу жылдамдығы бәсеңдейді, ал оның қабықшасының және насадкада ұсталатын сұйықтың мөлшері артады. Бөгелу тәртібінде газдың жылдамдығының артуымен бірге насадканың суланған беті артады және осының салдарынан массатасымалдау процесінің интенсивтілігі де көтеріледі. Бөгелу тәртібінде қабықшаның тыныш ағуы бұзылады: Құйындар, шашырандылар пайда болады, яғни барботажаудаға өту жағдайлары жасалады. бұның барлығы массаалмасудың интенсивтілігінің артуына әкеледі.

Булығы (эмульгирлеу) тәртібі қабықшаның қалыңдығының бойындағы орташа жылдамдық нөлге талпынатын газдың жылдамдығының әрі қарай артуы кезінде бақыланады. Фазалардың инверсиясы пайда болады, яғни сұйық насадканың барлық бос кеңістігін толтырады және тұтас фазаға айналады, ал газ сұйық арқылы жеке көпіршіктер ретінде шығады, сондықтан бұл тәртіпті барботажды деп те атайды.

Эмульгирлеу тәртібі, жоғарыда айтылып кеткендей, салыну тығыздығы колоннаның қимасында бірқалыпты емес болатын, насадканың ең тар жерінде басталады. Газды беру жылдамдығын мұқият реттеу арқылы эмульгирлеу тәртібін насадканың барлық биіктігінің бойында орнатуға болады. Осы кезде колоннаның гидравликалық кедергісі күрт өседі.

Алып кету тәртібі газдың жоғары жылдамдығында бақыланады, сол кезде сұйық аппараттан әкетіледі. Бірақ бұл тәртіп жұмыс тәртібі болмайды және әрі қарай қарастырылмайды.

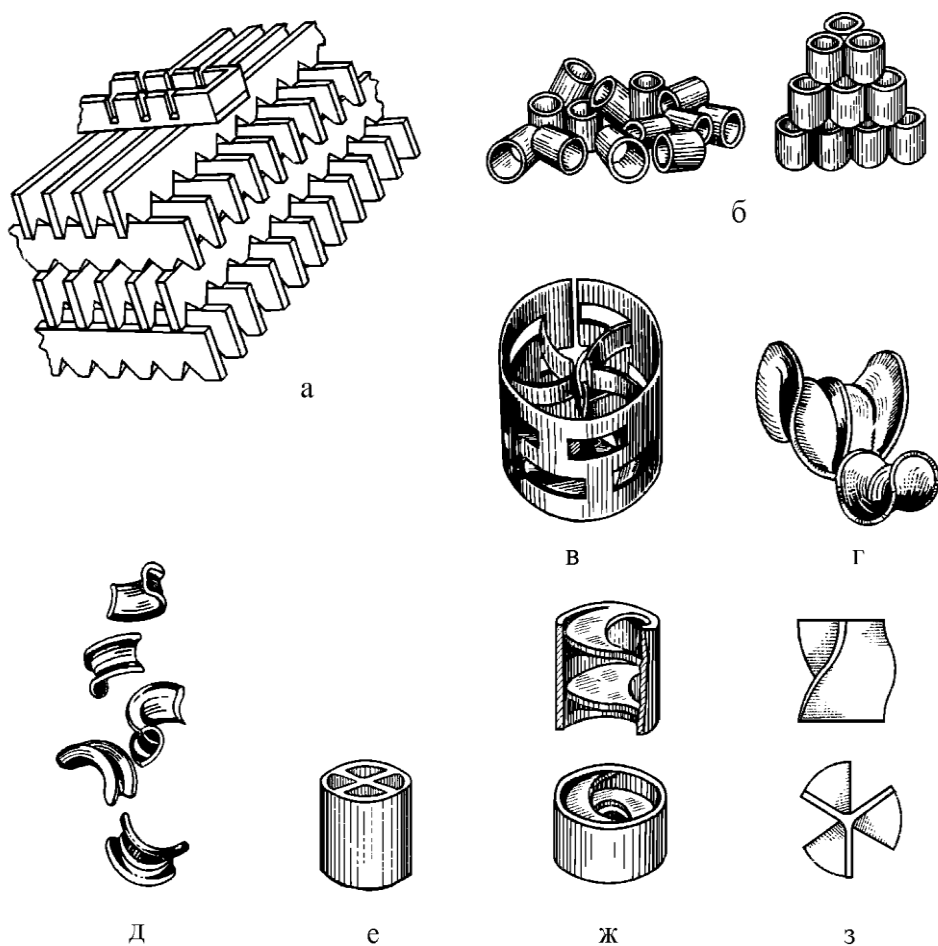
Егер гидравликалық кедергінің артуы елеулі маңызды болмаса (мысалы, жоғары қысымдарда жүретін абсорбция процесерінде), онда бөгелу және эмульгирлеу тәртіптерінде жұмыс істеу мақсатқа сай болады. Атмосфералық қысымда жұмыс істейтін абсорберлер гидравликалық кедергінің шамасы үшін рұқсат етілмейтін үлкен болуы мүмкін, бұл қабықшалы тәртіпте жұмыс істеуді талап етуі мүмкін. Сондықтан әрбір жеке жағдайда небары тиімді гидродинамикалық тәртіпте тек қана техника-экономикалық есептеулер негізінде орнатуға болады.

*Насадкаларды таңдау.* Насадка тиімді жұмыс істеуі үшін, ол келесі негізгі талаптарға сай болуы тиіс:

- 1) көлемнің бірлігіндегі беті үлкен;
- 2) ылғалдайтын сұйықпен жақсы ылғалданады;
- 3) газ ағынына төмен гидравликалық кедергі жасайды;
- 4) ылғалдайтын сұйықты бірқалыпты таратады;

- 5) колоннада жылжитын сұйық пен газға химиялық тұрақты болады;
- 6) меншікті салмағы төмен;
- 7) механикалық беріктігі жоғары;
- 8) бағасы төмен.

Барлық аталған талаптарға сай болатын насадкалар жоқ, себебі, мысалы насадканың меншікті бетінің артуы аппараттың гидравликалық кедергісінің өсуіне және шектік жүктемелердің төмендеуіне әкеледі. Өнеркәсіпте пішіндері мен мөлшерлері әртүрлі болатын насадкалар қолданылады (1.17-сурет). Олар абсорбцияның нақты процесін жүргізуде негізгі талаптарға белгілі дәрежеде сай болады. Насадкалар әртүрлі материалдардан жасалады (керамика, фарфор, болат, пластмасса және т.б.), оларды таңдау насадканың меншікті бетінің шамасымен, ылғалданушылығымен және коррозияға тұрақтылығымен анықталады.



- а) ағаш хордалы;
- б) үйіліп және реттеп салынатын Рашиг сақиналары;
- в) ойып алынған және ішкі дөңестері бар сақина (Паль сақинасы);
- г) керамикадан жасалған Берль ертоқымдары;
- д) «Инталокс» ертоқымдары;
- е) кірестәрізді арабөлгіштері бар сақина;
- ж) ішкі шиыршықтары бар сақина;
- з) пропеллерлі насадка

1.17-сурет – Насадка түрлері

Бүріккішті абсорберлерде фазалардың арасындағы жанасу газ ағынында сұйықты шашырату арқылы орындалады. бұл абсорберлер келесі топтарға бөлінеді:

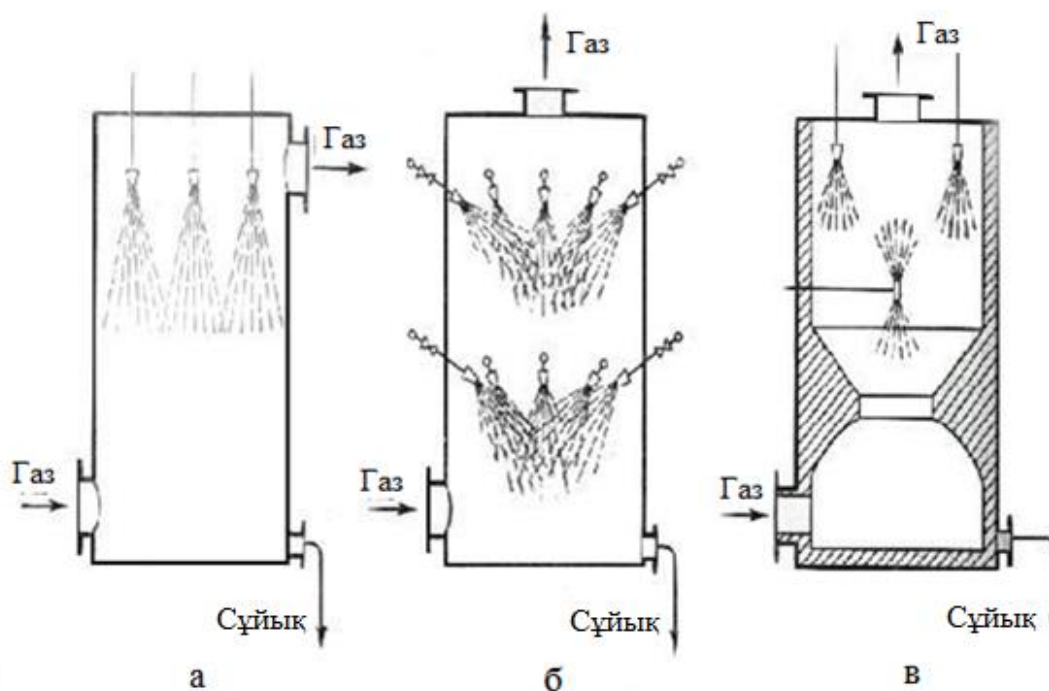
1) форсункалы тозаңдататын абсорберлер, оларда сұйық тамшыларға форсункалармен ыдыратылады;

2) жылдамдықты тураағысты тозаңдататын абсорберлер, оларда сұйықтың шашыратылуы газ ағынының кинетикалық энергиясының салдарынан орындалады;

3) механикалық тозаңдататын абсорберлер, оларды сұйық айналатын бөлшектердің көмегімен шашыратылады.

Қуыс колонналар ретінде орындалған тозаңдататын абсорберлердің кейбір түрлері 1.18-суретте көрсетілген. Оларда газ әдетте астынан үстіне қарай жылжиды, ал сұйық колоннаның үстінде орналасқан бүріккіштер арқылы беріледі. Бүріккіштердің бүрку факелы үстінен астына қарай (1.18-сурет,а) немесе горизонталды жазықтыққа белгілі бір еңіспен (1.18-сурет,б) бағытталған.

Көптеген жағдайларда, әсіресе колоннаның биіктігі үлкен болғанда, бүріккіштер бірнеше қатармен орналасады. Сол кезде бүрку факелдары үстінен астына қарай немесе горизонталды жазықтыққа белгілі бұрышпен орналасады (1.18-сурет,б), ал кейде астынан үстіне қарай бағытталады. Сонымен қатар бүріккіштердің бір бөлігінің факелы үстіне қарай, ал басқа бөлігі астына қарай бағытталған құрандалы қондырғылар қолданылады.

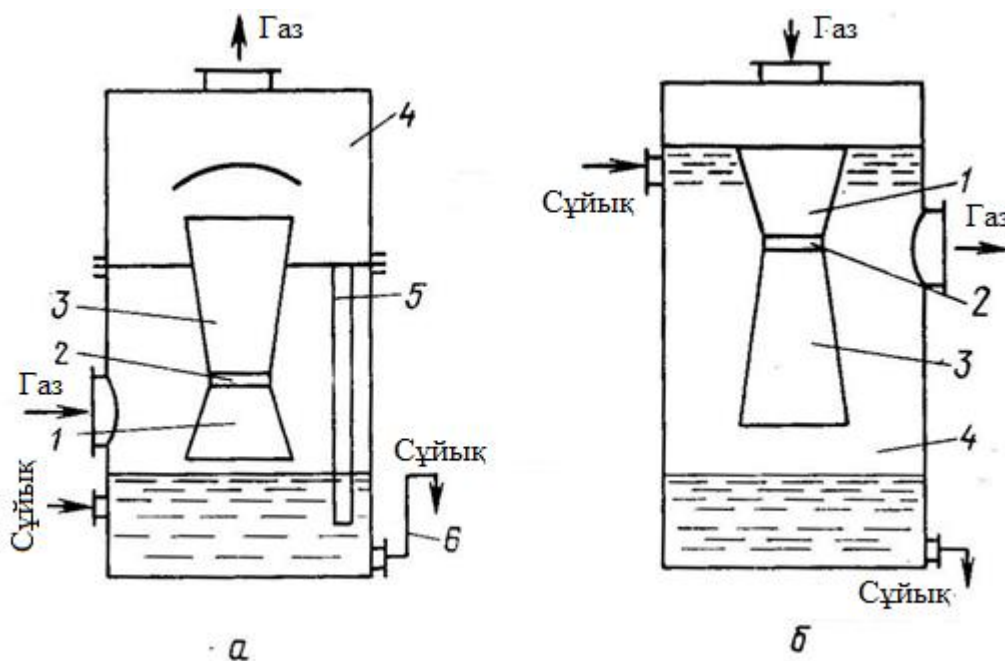


а – бүрку факелы астына қарай бағытталған; б – бүрку факелы бұрышпен орнатылған (форсункалардың екі қатарлы орналасуы); в – астыңғы бөлімінде бунақ орнатылған

1.18-сурет – Қуыс тозаңдататын абсорберлер

Қуыс абсорберлердің басты кемшілігі – газдың араласуымен және көлемнің тозаңданатын сұйықтың факелымен нашар толтырылуымен байланысқан төмен тиімділік. Сонымен қатар сұйықты тозаңдатуға жұмсалатын энергия шығыны жоғары. Аталған кемшіліктерге байланысты қуыс абсорберлердің қолдану аймақтары шектеулі. Сонымен қатар бұл қазіргі уақытта қуыс абсорберлерді есептеу және жобалау әдістемелерінің болмауымен, ал олардың жұмысына әсер ететін факторлардың жеткіліксіз зерттелуімен түсіндіріледі.

Жылдамдықты тураағысты тозаңдататын абсорберлердің ерекшелігі, оларда тура ағыс кезінде газдың үлкен жылдамдықтарын (20–30 м/с және жоғары) қолданып процесті жүргізуге болады, сол кезде барлық сұйық газбен әкетіледі және сепарациялау бөлімшесінде ажыратылады. Бұл типті аппаратқа негізгі бөлімі Вентури құбыры болатын Вентури абсорбері жатады. Сұйық конфузурға 1 келеді, қабықша түрінде ағады және қылтада 2 газ ағынымен шашыратылады. Сонан соң сұйық газ ағынымен диффузорға 3 әкетіледі. Онда газдың жылдамдығы төмендейді және оның кинетикалық энергиясы минималды жоғалулармен қысым энергиясына айналады. Тамшылардың газдан босау сепараторда 4 жүреді.

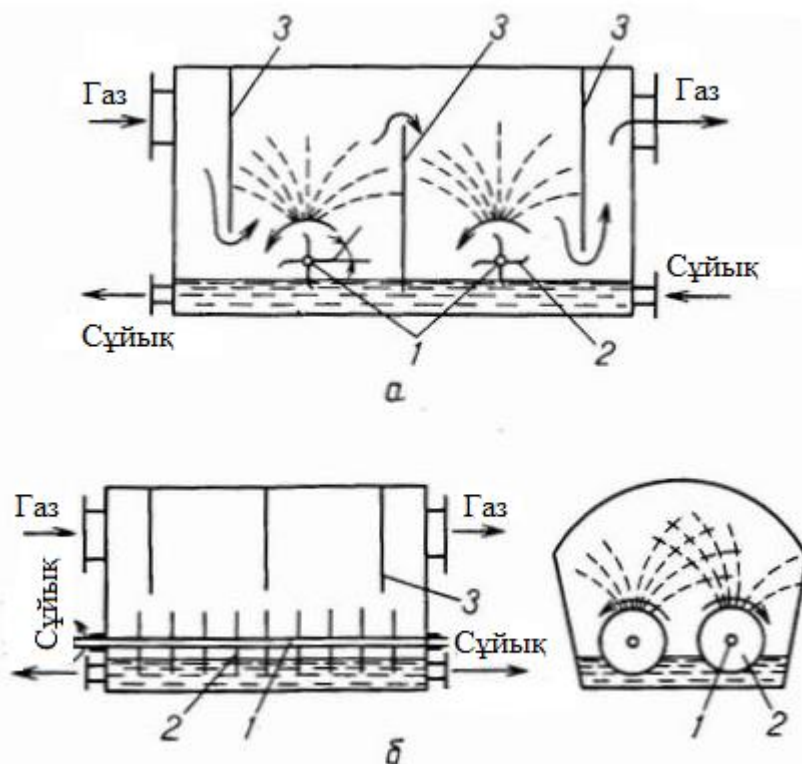


а – сұйықтың эжекциясымен; б – қабықшалы ылғалдаумен; 1 – конфузурлар; 2 – қылта; 3 – диффузорлар; 4 – сепараторлар; 5 – циркуляциялық құбыр; 6 – гидравликалық жапқыш.

1.19-сурет – Форсункасыз Вентури абсорберінің құрылысы

Механикалық тозаңдататын абсорберлер. Бұл абсорберлерде сұйықтарды тозаңдату айналатын құрылғылардың көмегімен немесе фазалық жанасудың бетін арттыру үшін сырттан энергияны беру арқылы орындалады. Сұйықтың тозаңдатылуы горизонталды біліктерде 1 орнатылған қалақтардың (1.20-

сурет,а) немесе дискілердің (1.20-сурет,б) көмегімен орындалады. Тозаңдататын элементтер 2 газ біліктің өстеріне перпендикулярлы немесе параллельді жылжитындай етіліп орнатылады.



1 – біліктер; 2 — шашыратқыштар; 3 – арабөлгіштер; а – қалақты типті біліктермен сұйықты тозаңдату; б – сұйықты дискілермен тозаңдату

1.20-сурет – Механикалық тозаңдататын абсорберлер

Басқа типті абсорберлермен салыстырғанда механикалық абсорберлер неғұрлым шағын және тиімді, бірақ олардың конструкциясы күрделірек және процесті жүргізу үшін энергияның көп шығынының жұмсалуын қажет етеді. Сондықтан механикалық тозаңдатқыш абсорберлер тозаңдатуды форсункамен немесе сұйықпен әрекеттесетін газбен орындау қандай да бір салдармен мүмкін емес болғанда қолданылады.

### Бақылау сұрақтары

1. Химиялық өндірістің жабдықтауын қандай топтарға бөлуге болады?
2. Химия-технологиялық процесті жүзеге асыруға қажетті жабдықтаудың түрлерін және олардың міндеттерін атаңыздар
3. Құрылыс-монтажды конструкцияларды атаңыздар.
4. Химиялық жабдықтау жасалатын конструкциялық материалдарға қандай негізгі талаптар қойылады?
5. Химиялық реакторлардың жіктелуін келтіріңіздер. Химиялық реакторларды жіктеудің негізі ретінде қандай принциптер қолданылады?
6. Насадкалы аппараттардың гидродинамикалық тәртіптерін атаңыздардар.

7. Конструкциялық элементтері бойынша реакторлардың типтерін атаңыздардар.

8. Контактты аппараттардың түрлерін атаңыздардар.

9. Сүзетін катализатор қабаты бар каталикалық реакторлардың құрылысы мен жұмыс істеу принципін түсіндіріңіздер.

10. Катализатор ілінген түрде болатын каталикалық реактордың құрылысы мен жұмыс істеу принципін түсіндіріңіздер.

## 1.2 Химиялық реакторлар

*Химиялық реактор* әрбір химиялық процестің негізгі аппараты, оның құрылысына және жұмысының көрсеткіштеріне химиялық өндірістің барлық экономикалық тиімділігі елеулі дәрежеде тәуелді болады.

*Химиялық реакторларға қойылатын талаптар.* Химиялық реакторлар, нәтижесінде белгілі сапалы және берілген мөлшерде мақсатты өнім алынатын, химиялық өзгеріс үшін қажетті жағдайлар жасалатын аппарат. Барлық реакторлар келесі негізгі талаптарға сай болуы тиіс:

1) өзгерудің небары үлкен дәрежесі кезінде үлкен өнімділікті қамтамасыз ету;

2) реагенттерді тасымалдау мен араластыру үшін төмен энергетикалық шығындарға ие болу;

3) құрылыстары қарапайым және арзан болуы тиіс, бұл үшін реакторларды жасауда қара металдарды, силикат өнеркәсібінің арзан бұйымдарын, қол жетімді пластмассаларды және т.б. қолдану;

4) экзотермиялық реакциялардың жылуын және эндотермиялық процестер үшін сырттан берілетін жылуды толық қолдану;

5) жұмысы сенімді болу, мүмкіндігінше толық механизацияланған және процесті автоматты түрде реттеу мүмкін болу.

Дегенмен аталған талаптар жиі жағдайларда қарама қайшы болады. Мысалы, өзгеру дәрежесінің артуы аппараттың өнімділігінің төмендеуіне, ал жоғары механизациялау және автоматтандыру оның қымбаттауына әкеледі. Сондықтан реактордың жұмысының экономикалық тиімділігінің ең жоғары деңгейіне әкелетін талаптардың орындалуының жиынтығын қамтамасыз ету қажет. Талаптардың қарама қайшылығын есепке алумен реактордың түрін таңдау мұқият кешенді экономикалық есептеулерден кейін орындалады.

*Химиялық реакторлардың жіктелуі.* Реакторлардың елеулі айырмашылықтарына және олардың спецификаларына қарамастан барлық реакторларға тән болатын элементтерді бөліп алуға болады және олардың негізінде жіктеу орындалады.

Реакторлар келесі критерийлер бойынша жіктеледі:

1) операциялардың үздіксіздігі (мерзімді, үздіксіз және жартылай үздіксіз);

2) температуралық тәртіп (адиабаталы, изотермиялық, политермиялық);

3) қолданылатын қысым бойынша (биік, жоғары, қалыпты және вакуум);

4) фазалық күй бойынша (гомогенді және гетерогенді);

5) реагенттердің жылжу тәртіптері бойынша (тура ағысты, қарсы ағысты,

айқасқан).

Операциялардың үздіксіздігі технологиялық процестерге ұқсастығы бойынша анықталады.

Реакторлардағы *температуралық тәртіп* адиабаталы, изотермиялық және политермиялық болуы мүмкін.

*Адиабаталы реакторларда* реагенттердің қалыпты (араластырусыз) ағуы кезінде қоршаған ортамен жылумен алмаспайды, немесе жақсы жылу оқшаулауға ие болады. Реакцияның барлық жылуы әрекеттесетін заттардың ағынымен аккумуляцияланады.

*Изотермиялық реакторларда* реакциялық көлемнің барлық нүктелерінде температура тұрақты болады. Процестің жылдамдығы тек қана әрекеттесетін заттардың концентрациясымен анықталады. Изотермиялық процесті қамтамасыз ету үшін реагентті интенсивті араластырады, реакциялық аймақта орналасқан жылуалмастырғыш құрылғыларды қолданады.

*Политермиялық реакторларда* реакциялардың жылуы жылуды әкелу (әкету) нәтижесінде тек қана жартылай орны толтырылады немесе жылу эффектісінің мәні негізгі реакция мәніне қарсы болады. Политропиялық аппараттарға әрекеттесетін заттардың араласу дәрежелері төмен және реакциялық көлемнің ішінде орналасқан жылуалмастырғыштар бар, мысалы құбырлы контактты аппараттар жатады.

Реактордағы *реагенттердің жылжу тәртібі* идеалды ығыстыру тәртібі және идеалды араластыру тәртібі болып бөлінеді.

*Идеалды ығыстыру тәртібі реакторында* реагенттер бірізді түрде «қабаттан» «қабатқа» қарай араласпай ламинарлы ағынмен барлық реакциялық жолды өтеді. Бұл жол әдетте аппараттың биіктігіне тең болады. Бұндай аппаратта механикалық араластыруға қажетті болатын құрылғылары болмайды. Ығыстыру типі бойынша көптеген технологиялық реакторлар, соның ішінде катализаторлары құбыр ішінде орналасатын контактты аппараттар, шахталы пештер, қабықшалы абсорберлер мен десорберлер, газдық фазада жүретін гомогенді процестерге арналған қуыс реакторлар (соның ішінде NO-дан NO<sub>2</sub>-ге дейін тотықтыруға арналған мұнара) жатады.

*Толық араластыру реакторы* аппаратқа уақыттың осы кезеңінде келетін реагенттің бөлшектерінің (ион, молекула немесе қатты материалдың дәні) интенсивті араластырылу салдарынан, аппараттан кетуге барлық бөлшектермен бірге ықтималдығы бірдей болуымен сипатталады. Бұндай реакторларда көлемнің әрбір элементі реактордың барлық ішіндегісімен лезде араласады. Аппараттың барлық көлемінде концентрациялық және температуралық өрістердің лезде теңесуі жүреді.

Толық араласу типі бойынша істейтін реакторларға «Г – С», «С – Қ», «Г – С – Қ» жүйелеріндегі механикалық, пневматикалық және ағысты араластырғыш құрылғылары бар араластырғыштар, көбікті аппараттар және сұйықтықтың шашыратылуымен жұмыс істейтін реакторлар (Вентури абсорбері) жатады.

Жалпы қандай да бір технологиялық процесті іске асыру үшін

реактордың типін таңдау тек қана араластырудың әсерімен анықталмайды, ең алдымен өзгеру сипатымен, реагенттердің фазалық құрамымен, реакцияның қайтымдылығымен, жылу эффектісімен, қажетті температура мен қысымды таңдаумен анықталады.

*Гомогенді процестерге арналған реакторлар.* Гомогенді процестер үшін реакторлардың барлық негізгі түрлері қолданылады. Бұндай реакторлардың құрылысы гетерогенді процестерді орындауға қажетті реакторлардан қарапайым болады, себебі бұндай орталарды араластыру жеңіл. Барлық нақты аппараттар идеалды ығыстыру аппараттары мен идеалды араластыру аппараттарының ортасында орналасады. Реакторлардың конструкциясы ортаның түріне (газ, сұйықтық), процестің параметрлеріне (салқындату, жылыту) және реакцияларға қатысатын қосылыстардың қасиеттеріне тәуелді болады.

Араластыру аппараттың ұзындығы және биіктігі бойында небары елеулі әсер етеді, сондықтан аппаратты есептегенде оны толық араластыру аппараты ретінде есептеу қажет.

Сұйық фазада көлемнің бірлігіне келетін реакция жылдамдығы газ фазадағы жылдамдықтан 1000 есе артық, ал молекулалық диффузия коэффициенті 1000 есе төмен болады. Сондықтан сұйық фазадағы процестер араластырудың әсері елеулі болатын, сонымен қатар біртекті қоспалар алынатын және жылуалмасу артатын диффузиялық аймақта жүреді.

Газды гомогенді процестер үшін негізінде камералы және құбырлы реакторлар қолданылады. Газдарды араластыру үшін қарапайым құрылғылар: сопло; эжектор; ортадан тепкіш, лабиринтті және каскадты араластырғыштар қолданылады.

*Химиялық реакторда жүретін процестер.* Реактордағы химиялық процесс деп онда жүретін химиялық реакцияны немесе реакциялар жиынтығын және онымен бірге жүретін масса- және жылу тасымалдауды айтады.

Әрбір химиялық реакция жылдамдықпен (кинетикалық фактор) және жүйедегі тепе-теңдік күймен (термодинамикалық фактор) сипатталады.



Химиялық реакцияның жылдамдығы келесі теңдеумен сипатталады (1.21-сурет)

$$U = k \cdot \alpha \cdot \Delta C \quad (1.1)$$

мұндағы  $k$  – константа;

$\alpha$  – әрекеттесетін жүйенің жылдамдығының күйін сипаттайтын

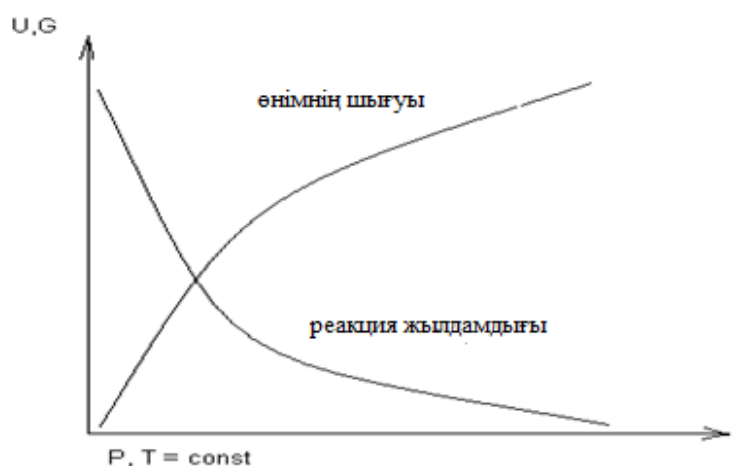
параметр;

$\Delta C$  – процестің (реакцияның) қозғаушы күшінің жеке жағдайы болатын концентрация градиенті.

Реакцияның қозғаушы күші (немесе градиенті) уақыттың осы мезгіліндегі фактордың, немесе  $\Delta T$ ,  $\Delta P$ ,  $\Delta C$  шектік және нақты мәндерінің айырмасы болып табылады. Осы айырмашылық неғұрлым жоғары болғанда, соғұрлым реакция жылдамдығы да жоғары болады.  $k$  мен  $\alpha$  шамаларының мәндері гомогенді және гетерогенді жүйелер үшін әртүрлі болады.

Гомогенді жүйеде жылдамдық уақыт бірлігінде көлемнің бірлігінде алынатын мақсатты өнімнің мөлшерімен анықталады

$$U_{zom} = k \cdot V \cdot \Delta C \quad (1.2)$$



1.21-сурет – Массалардың әрекеттесу заңы бойынша қайтымсыз процесс кинетикасы

Гетерогенді жүйеде уақыт бірлігінде алынатын мақсатты өнімнің мөлшері реакция жүретін фазалардың жанасу бетіне тиісті болады

$$U_{zem} = k_m \cdot F \cdot \Delta C \quad (1.3)$$

мұндағы  $k_m$  – массатасымалдау константасы.

Массатасымалдау константасы – бетінің ауданы  $1 \text{ м}^2$  болатын фазалардың беті арқылы, концентрациялар градиенті  $1 \text{ кг/м}^2$  болғанда, бір сағатта бір фазадан екінші фазаға өтетін килограммен алынған зат мөлшері (1.22-сурет).



1.22-сурет – Реагенттердің концентрацияларының уақытқа байланысты өзгеруінің типтік қисықтары

$\Delta C$  химиялық реакцияның қайтымдылығына тәуелді болады. Қайтымсыз гомогенді реакциялар үшін ол әрекеттесетін заттардың концентрацияларының көбейтіндісіне тең болады және стехиометриялық коэффициенттері дәрежелері ретінде қолданылады

$$\Delta C = C_A^a \cdot C_B^b \quad (1.4)$$

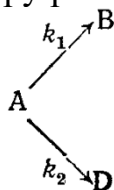
Қайтымды гомогенді реакциялар үшін әрекеттесетін заттардың соңғы концентрацияларының айырмасының олардың тепе-теңдік концентрацияларының айырмасының көбейтіндісіне тең болады

$$\Delta C = (C_A - C_A')^a \cdot (C_B - C_B')^b \quad (1.5)$$

мұндағы  $C'$  – тепе-теңдік концентрация

Бұл теңдеу қайтымды гетерогенді реакциялар үшін де тиісті болады, бірақ онда  $C$  – беретін фазадағы заттың нақты концентрациясы;  $C'$  – қабылдайтын фазадағы заттың тепе-теңдік концентрациясы,  $C = C'$  болғанда  $\Delta C$  нөлге айналады және процесс тоқтайды.

Химиялық реакциялардың көбі күрделілерге жатады, яғни бірнеше элементарлылардан тұрады. Ығыстыру реакторында схема



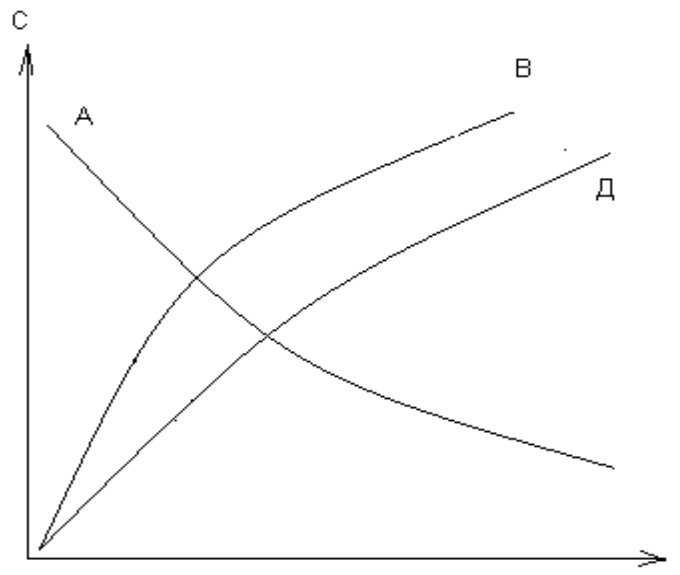
бойынша жүретін күрделі параллельді реакцияның қарапайым жағдайы үшін

реагенттердің концентрацияларының өзгеру сипаты 1.23-суретте көрсетілген және жылдамдық константасы  $k_1 > k_2$  болады.

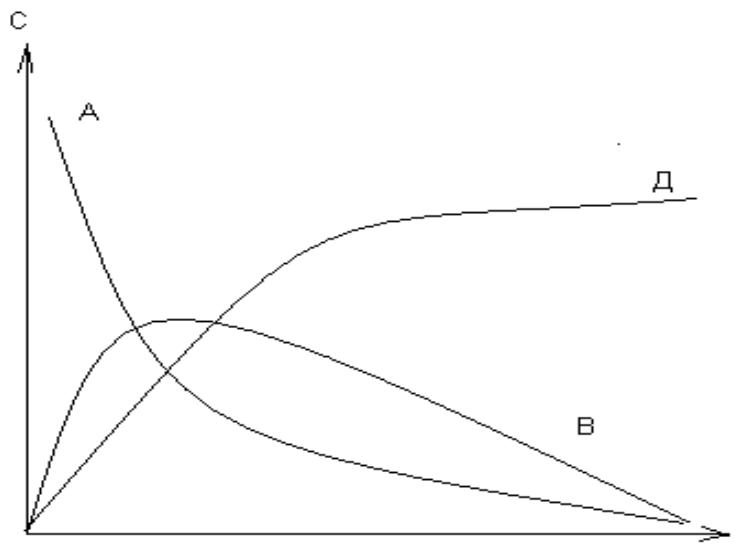
Ығыстыру реакторында  $A \rightarrow B \rightarrow D$  типті қарапайым күрделі бірізді реакциядағы концентрацияның өзгеруі 1.24-суретте көрсетілген.

ХТП-ті интенсификациялаудың ең маңызды шарттарының бірі химиялық реакцияның жылдамдығын арттыру болып табылады. Жалпы жағдайда ол төрт ауыспалы шаманың функциясы болып табылады:

- жылдамдық константасының (немесе масса тасымалдау коэффициентінің)  $k$  ( $k_m$ );
- процестің қозғаушы күшінің,  $\Delta C$  (концентрацияның);
- реакциондық көлемнің,  $V$ ;
- фазалардың бөліну бетінің,  $F$ .



1.23-сурет – Ығыстыру реакторында көлемнің өзгеруінсіз жүретін  $A - D$  қарапайым реакциясы



1.24-сурет – Ығыстыру реакторларында  $A \rightarrow B \rightarrow D$  типті күрделі бірізді реакция

Осы ауыспалы мәндердің өсуі реакция жылдамдығын арттырады:

1)  $k$  ( $k_m$ ) реагенттердің химиялық табиғаты мен физикалық қасиеттеріне, олардың агрегаттық күйлеріне, процестің гидродинамикасына, аппараттың конструкциясына тәуелді. Ол температураны көтергенде, катализаторды қолданғанда, араластыруды күшейткенде артуы мүмкін;

2) реакциялық көлем реагенттердің реакция аймағында болу уақытымен (жанасу уақытымен) байланысқан және оның ұлғаюы баяу жүретін химиялық реакциялардың тепе-теңдікке жету мүмкіншілігін анықтайды;

3) фазалардың бөліну бетінің ұлғаюы кезінде келесі жалпы ереже – неғұрлым тығыз фазаның бетін ұлғайту қолданылады:

- «Г – С» жүйе үшін насадка бойымен төмен ағатын сұйық қабықшасын жасау, сұйықты көбіктендіру, газды сұйық арқылы барботажау;

- «Г – Қ» жүйе үшін газды қатты фаза арқылы сүзу және араластыру;

- «С – Қ» жүйе үшін қатты фазаны ұсақтау, «қайнайтын қабат» принципін қолдану, қатты фазаны сұйықпен үздіксіз шаю;

- «С – С» жүйе үшін интенсивті араластыру, эмульсия жасау;

4)  $\Delta C$ -ның артуы қамтамасыз етіледі:

- реагенттердің концентрацияларын арттыру (неғұрлым концентрлі шикізат);

- газтәрізді заттарды қолданғанда қысымды арттыру;

- реакция өнімдерінің концентрацияларын, оларды жүйеден шығару арқылы, төмендету;

- сорбциялану және десорбциялану процестерін жылдамдату үшін реагенттердің және реакция өнімдерінің температураларын өзгерту.

*Технологиялық процестердегі тепе-теңдік.* Химиялық процестер қайтымды және қайтымсыз болады. Типтік өндірістік жағдайларда көптеген химиялық реакциялар қайтымсыз. Гетерогенді жүйелерде қайтымды деп заттың немесе жылудың бір фазадан екінші фазаға және керісінше ауысуы мүмкін болатын процестер аталады.

Барлық қайтымды реакциялар, тура және кері реакциялардың жылдамдығы теңесетін және әрекеттесетін жүйеде компоненттердің арақатынасы сыртқы жағдайлар өзгергенше өзгеріссіз болатын, тепе-теңдікке талпынады.

Қысым немесе температура өзгергенде тепе-теңдік бұзылады және жүйеде тепе-теңдік орнағанша өздігінен диффузиялық және химиялық процестер жүреді (Ле – Шателье принципі):

*Егер тұрақты тепе-теңдік күйде болатын жүйеге, тепе-теңдік күйді анықтайтын жағдайлардың біреуін өзгертумен сырттан әсер етсе, онда тепе-теңдік осы әсерді төмендету бағытына қарай ығысады.*

Реактордағы химиялық процестің мақсатты өнімінің шығуы реакциялық жүйенің тұрақты тепе-теңдік күйге жақындау дәрежесімен және келесі жағдайлармен анықталады:

- жағдайлар тұрақты болғанда жүйенің тепе-теңдік күйінің уақыт өткенде

өзгеріссіз болуы;

- қозғалғыштық немесе сыртқы әсерді жойғаннан кейін тепе-теңдіктің өздігінен орнауы;

- динамикалық сипатты, яғни тура және кері процестердің жылдамдықтары тең болғанда тепе-теңдіктің орнауы және сақталуы;

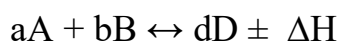
- тепе-теңдік күйге тура реакция жағынан да кері реакция жағынан да әсер ету мүмкіншілігінің болуы;

- Гиббс энергиясы ( $\Delta G$ ) мен Гельмгольц энергиясының ( $\Delta F$ ) минималды мәндері.

Жүйенің тұрақты тепе-теңдік күйге жақындау дәрежесі изобаралы-изотермиялық потенциалдың ( $\Delta G$ ) және өзгерудің тепе-теңдік дәрежесінің ( $X_a$ ) өзгеруімен сипатталады.

Изобаралы-изотермиялық потенциалдың өзгеруі белгілі жағдайларда реакцияның жүру ықтималдығын және оның жүру тереңдігін анықтайды.

Модельді реакцияны қарастырайық



$$\Delta G = d \Delta G_d - (a \Delta G_a + b \Delta G_b)$$

-  $\Delta G < 0$  кезінде тура реакцияның жүруі ықтимал;

-  $\Delta G > 0$  кезінде кері реакцияның жүруі ықтимал;

-  $\Delta G = 0$  кезінде жүйе тепе-теңдік күйде болады, себебі термодинамиканың негізгі теңдеуі (1.6) бойынша тепе-теңдіктің өнімнің түзілу жағына қарай ығысуына  $\Delta H$  (реакцияның елеулі жылу эффектісі) және  $\Delta S$ -тің оң мәні әсер етеді, себебі  $\Delta S$  температураға көбейтілумен тәуелді, сонда температураның көтерілуі тепе-теңдіктің ығысуын арттырады

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S, \quad (1.6)$$

мұндағы  $\Delta H$  – энтальпия;

$\Delta S$  – энтропия.

$\Delta G = 0$  кезінде

$$\Delta H = T\Delta S \quad (1.7)$$

Егер  $\Delta S \approx \Delta H$  болса, онда реакция неғұрлым экзотермиялық болса, соғұрлым оның ықтималдығы жоғары болады.

Әрбір реакторлардың конструкциясы мен мөлшерлерін таңдағанда әртүрлі факторларды есепке алу қажет, әсіресе жүретін химиялық реакциялардың жылдамдығы, сонымен қатар массатасымалдау және жылутасымалдау жылдамдықтары жайлы мәліметтер болуы қажет. Әдетте қондырғының өнімділігі мен өзгеру дәрежесі берілген болады, ал реагенттердің концентрацияларын, температуралық тәртіпті және технологиялық процестің басқа көрсеткіштерін тәжірибелік және теориялық

мәліметтер бойынша есептейді. Әрбір типті реакторларда жүретін химиялық процестерді зерттеуде басты міндет реагенттердің реакторда болу уақытының әртүрлі факторларға функционалды тәуелді болуын анықтау. Бұл тәуелділікті келесі теңдеу ретінде көрсетуге болады

$$\tau = f(X, C, v), \quad (1.8)$$

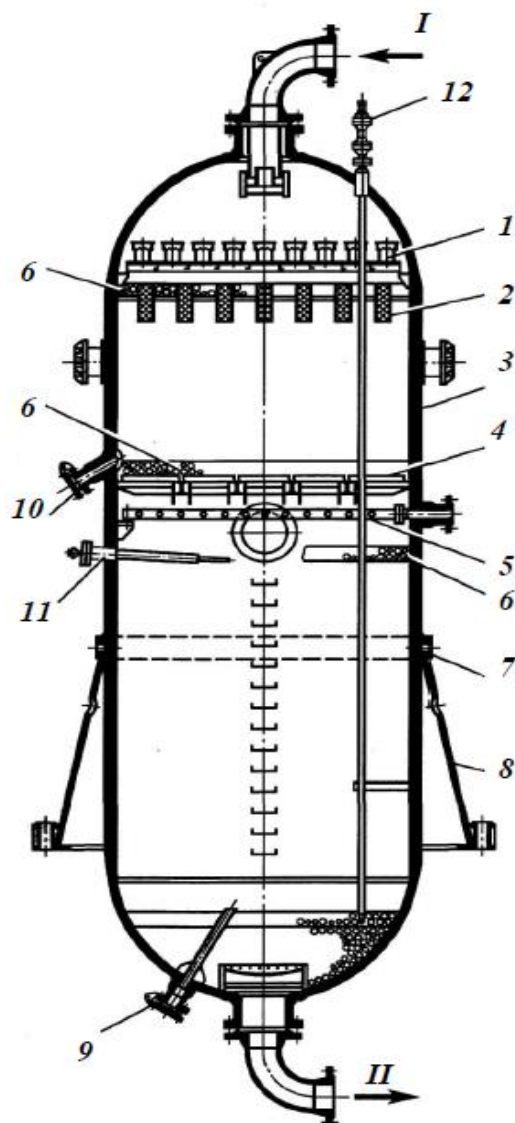
мұндағы  $\tau$  – реагенттердің реакторда болу уақыты;  
 $X$  – бастапқы реагенттің өзгеру дәрежесі;  
 $C$  – бастапқы реагенттің бастапқы концентрациясы;  
 $v$  – химиялық реакцияның жылдамдығы.

#### *Идеалды ығыстыру реакторы*

Идеалды ығыстыру реакторы (ИЫР) ығыстырудың үздіксіз жұмыс істейтін жорамалданып дәріптелген моделі болып табылады. Оларда реакциялық масса біліктің бойымен жылжиды да, келесі қабаттарды ығыстырады. Оның идеалдылығының шарты келесі жорамалдар болып табылады. Ағынның әрбір элементі аппараттың белгілі бір көлденең қимасында біліктің бойында бірдей сызықтық жылдамдықпен жылжиды. Осының салдарынан ағынның қабырғаға немесе насадқаға үйкелуінен қысымның жоғалуы болмайды, сонымен қатар ұзына бойғы (кері) араластырудың диффузиялық құбылыстары болмайды деп жорамалданады.

Жылуалмасу жағдайларының, бастапқы қоспаны беру жылдамдығының және оның құрамының (стационарлы тәртіп) тұрақты болуы кезінде ағынның әрбір элементі бұндай реакторда бірдей уақыт болады. Сол кезде әрбір көлденең қимада концентрациялар мен температура тұрақты, заттардың концентрацияларының өзгеруі аппараттың ұзындығының бойында орындалады. Осының негізінде материалдық баланс теңдеуі көлемнің шексіз кіші элементі үшін құрастырылады.

Осы типті аппараттардың типтік мысалына, мұнайөндеу зауыттарында кең қолданыс тапқан дизель отынын гидротазарту реакторы жатуы мүмкін (1.25-сурет)

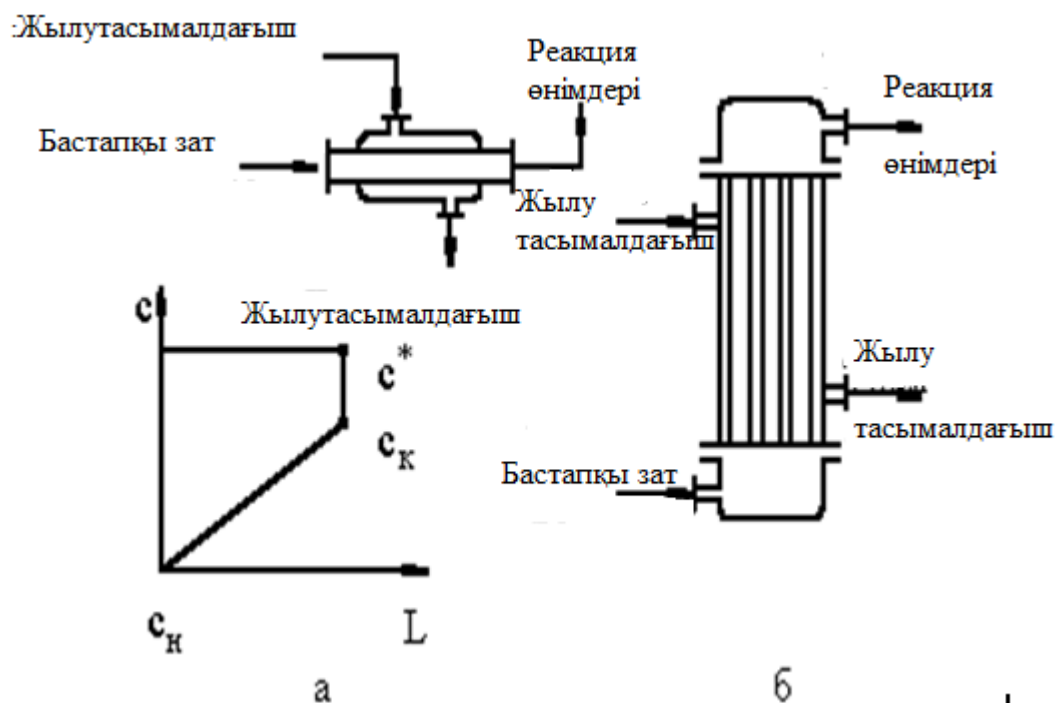


1 – бөліп тарататын табақша, 2 – сүзетін құрылғы, 3 – корпус, 4 – колосникті тор, 5 – буды енгізуге арналған коллектор, 6 – фарфор шарлар, 7 – тіреуіш сақина, 8 – тірек, 9, 11 – катализаторды түсіруге арналған штуцерлер, 10, 12 – термометрлер. Ағындар: I – шикізат, II – реакция өнімдері

1.25-сурет – Шикізаттың жылжуы аксиалды болатын идеалды ығыстыру реакторы

*Идеалды ығыстыру, идеалды араластыру және аралық типті аппараттар*

*Идеалды ығыстыру реакторлары (1.26-сурет).* Идеалды ығыстыру реакторы аппарат ұзындығының бойында әрекеттесетін заттардың концентрацияларының ауыспалы болуымен, реакторға кірер және шығар жерлерде концентрациялардың айырмалары ең үлкен болуымен, яғни процестің орташа қозғаушы күшінің ең үлкен болуымен сипатталады.



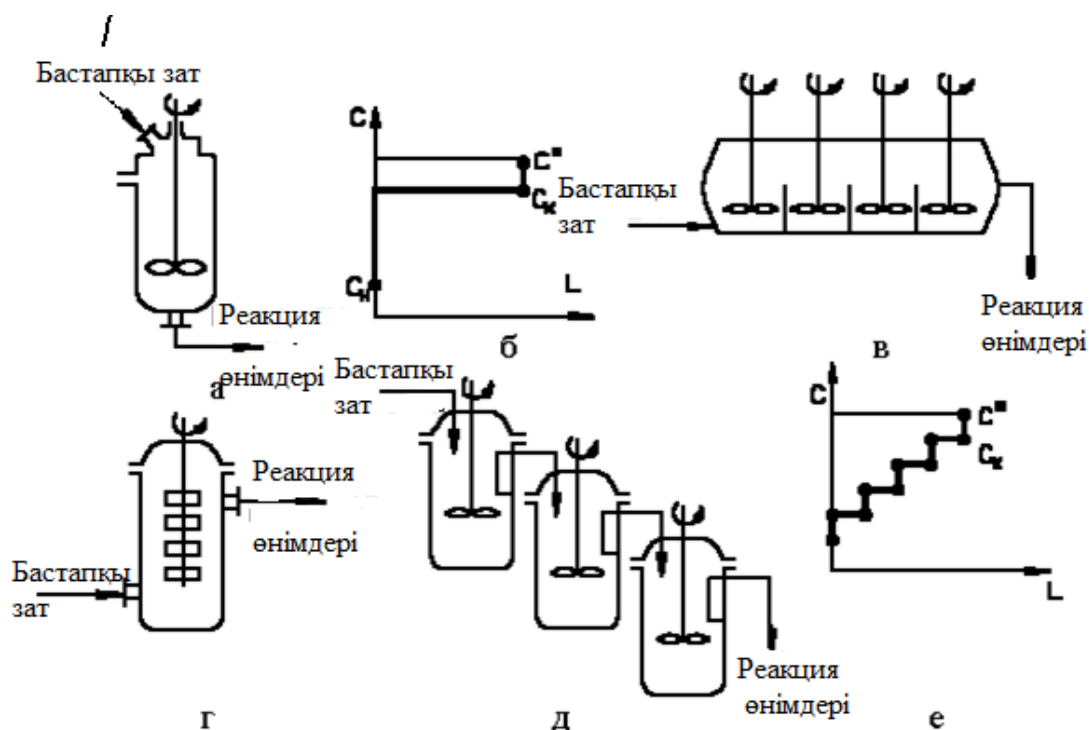
а) бірқұбырлы реактор; б) көпқұбырлы реактор

1.26-сурет – Идеалды ығыстыру реакторлары

Реакциондық көлемдегі концентрацияның өзгеруі баяу сипатқа ие болады, себебі әрекеттесетін заттың келесі реакциондық аймақтары бастапқымен араласпайды, бірақ толық ығыстырылады.

Тәжірибеде идеалды ығыстыру тәртібіне диаметрі кішкентай және әрекеттесетін заттардың салыстырмалы жоғары жылжу жылдамдықтары кезінде ұзындығы үлкен болатын реакторда жақындауға болады. Идеалды ығыстыру реакторлары гомогендімен қатар, гетерогенді каталитикалық процестерді (мысалы,  $\text{NO}$ -ның  $\text{NO}_2$ -ге дейін,  $\text{SO}_2$ -нің  $\text{SO}_3$ -ке дейін тотығуы, аммиак пен метил спиртіні синтездеу, этиленді хлорлау, пропилен мен бутиленді сульфирлеу және т.б.) жүргізуде кең қолданыс табады.

*Идеалды араластыру реакторлары* (1.27-сурет). Толық араластыру аппараты әдетте қандай да бір араластырғыш құрылғымен жабдықталған болады және әрекеттесетін заттардың реакциондық аймақта лезде араласуы салдарынан, уақыттың осы кезеңінде реактордың барлық көлемінде әрекеттесетін заттардың концентрацияларының тұрақты болуымен сипатталады.



а) бірсатылы аппарат; б) бірсатылы аппараттағы концентрацияның өзгеру сипаты; в) вертикалды көпсатылы аппарат; г) көпсекциялы горизонталды аппарат; д) араластыру аппараттарының батареясы; е) көпсатылы аппараттағы концентрацияның өзгеру сипаты

1.27-сурет – Идеалды араластыру реакторлары

Сондықтан реакторға кірер жердегі әрекеттесетін заттардың концентрацияларының өзгеруі секіртпелі сипатты болады. Бұндай аппаратта процестің орташа қозғаушы күші толық ығыстыру аппаратынан төмен болады.

Осындай типті реакторлар нитрлеу, сульфирлеу, полимеризациялау және т.б. процестерін жүргізуде неғұрлым көп қолданылады.

Кейбір жағдайларда заттың химиялық өзгеру процесі бір араластыру аппаратында ғана жүргізілмейді, сонымен қатар бірізді жалғанған осындай бірнеше аппараттарда орындалады. Кейбір жағдайларда 20 және одан көп аппараттардан тұратын жүйе реакторлар каскады деп аталады (1.27-сурет, д). Реакторлар каскадында әрекеттесетін заттардың концентрацияларының өзгеруі сатылы сипатқа ие болады, себебі алдыңғы аппараттағы реакция өнімі келесі аппараттың бастапқы әрекеттесуші заты болып табылады.

Реакторлар каскадының жұмысының гидродинамикалық тәртібі аралық болып табылады және аппараттардың санына тәуелді болады; каскадтағы реакторлардың санының артуы кезінде ол ығыстыру тәртібіне, ал саны төмендегенде араластыру тәртібіне жақындайды.

Каскадта бір араластыру реакторымен салыстырғанда әрекеттесетін заттардың болу уақыты ұлғаяды, сонымен қатар ығыстыру реакторымен салыстырғанда реакцияның өнімінің мөлшері артады.

*Аралық типті реактор.* Аралық типті реакторда әрекеттесетін заттардың жылжуының жоғарыда аталған гидродинамикалық тәртіптерінің ешқайсысын толық орындау мүмкін емес. Бұндай аппаратта процестің орташа қозғаушы күші толық араластыру аппаратындағыдан жоғары, бірақ толық ығыстыру аппаратындағыдан төмен болады. Реакциондық химиялық аппаратураның елеулі бөлігі осы гидродинамикалық тәртіпте жұмыс істейтінін атап өту қажет.

Аралық типті реакторлар заттың химиялық өзгеру процесі жоғары жылу эффектісімен ілесіп жүрсе немесе әрекеттесетін заттардың концентрациялары жоғары болса, сонымен қатар, егер әрекеттесетін заттардың біреуінің реакциондық қоспадағы ерігіштігі төмен болса қолданылады.

*Газ фазада гомогенді реакцияларды жүргізуге арналған реакторлар*

Өнеркәсіпте жылдамдықтары жеткілікті жоғары болатын гомогенді газды реакциялар қолданылады. Мысалы, тұз қышқылының синтезі; көмірсутектерді этилен мен пропиленге дейін крекингілеу; көмірсутектерді тотықтыру, хлорлау және нитрлеу.

Гомогенді газды фазалы реакторлардың конструкцияларының қарапайымдылығы, жоғары өнімділік, әртүрлі автоматты құрылғыларды қолдану мүмкіншілігі осындай реакторлардың өнеркәсіпте таралуына мүмкіншілік жасайды. Осындай реакторлардың есептеуін және жобалауын орындау үшін критерий ретінде *жылу тәртібін* қолданып жіктеу қолайлы болады.

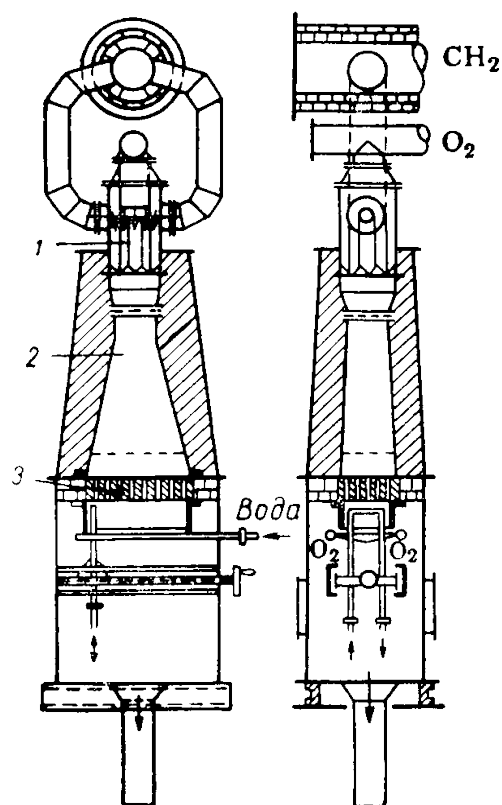
Изотермиялық реакторлардың барлық реакциондық аймағында температура тұрақты болады, сондықтан реакцияның жылдамдығы тек қана құрамға ғана тәуелді болады, осының салдарынан реактордың есептеуі қарапайым.

Адиабаталы реакторлар қоршаған ортадан термиялы оқшауланған. Оларда температура мен құрамның өзгеруі реакциондық аймақта жүреді. Бұндай реакторлар негізінде эндотермиялық реакциялардың шығымын жақсарту үшін қолданылады. Негізінде реакторлар үздіксіз әсерлі Г – Г гомогенді жүйе үшін қолданылады, сондықтан реакторлардың конструкцияларын қарастырғанда үздіксіз жұмыс істейтін реакторларды қарастырамыз.

Мұнайхимиясы процестерінің арасында көмірсутектерді оттегімен парциалды тотықтыру ( $2\text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + 3\text{H}_2$ ) арқылы ацетиленді алу елеулі орынға ие болады.

Ацетиленді көмірсутектерден алу үшін жүйенің температурасын қысқа мерзімде жоғары мәндерге жеткізу қажет.

Күрт салқындату арқылы реакцияны аяқтағаннан соң жүйеде тұрақты тепе-теңдік сақталады. Метанның тотығу реакциясы ұзындығы 160–300 мм болатын жалында орындалады. Реактор ретінде Саксе типті реактор қолданылады (1.28-сурет).



1 – араластыру камерасы; 2 – диффузор; 3 – жанғыш блогы

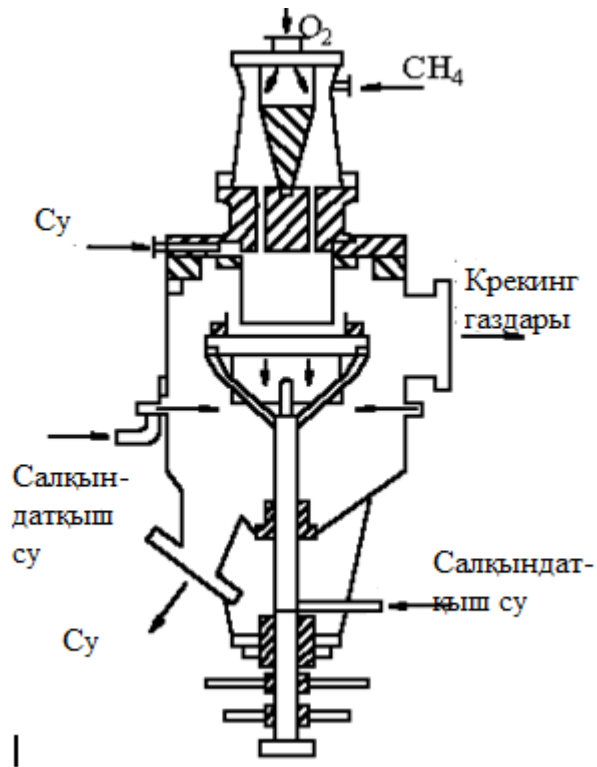
1.28-сурет – Метанолды ацетилендегі оттеппен парциалды тотықтыруға арналған Саксе типті реактор

Реактор біртекті қоспа алуға арналған араластыру камерасынан тұрады, негізінде турбиналы араластырғыштар қолданылады. Бұл операция диффузорда аяқталады.

Жанғыш блогы сумен салқындатылады. Блок каналдармен перфорирленген, олар арқылы үлкен жылдамдықпен газдар өтеді, блоктың биіктігі 200–300 мм, каналдардың диаметрі 8–22 мм. Жану камерасының астында жалын күрт 80 °С-ға дейін сулы ылғалдағыштардың көмегімен салқындайды, сонан соң реактордан газдар күйені бөліп алу, коцентрлеу және ацетиленді тазарту қондырғысына бағытталады. Өнімділік 2000 – 6000 м<sup>3</sup>/сағ.

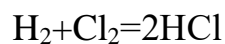
Жану температурасын төмендету үшін ацетиленді алу процесін 3–6 атм. қысымда орындайды (1.29-сурет), бұл реактордың өнімділігінің атмосфералық қысымдағы реактормен (1.14-сурет) салыстырғанда 2–3 есе артуына әкеледі және газдарды алдын ала қыздыруды 600 °С-ға дейін емес,

400 °С-ға дейінгі температурада орындайды, сонымен қатар салқындатудың екі сатысы қолданылады: алдымен белгілі бір көмірсутекпен (сұйық), сонан соң сумен салқындатады.

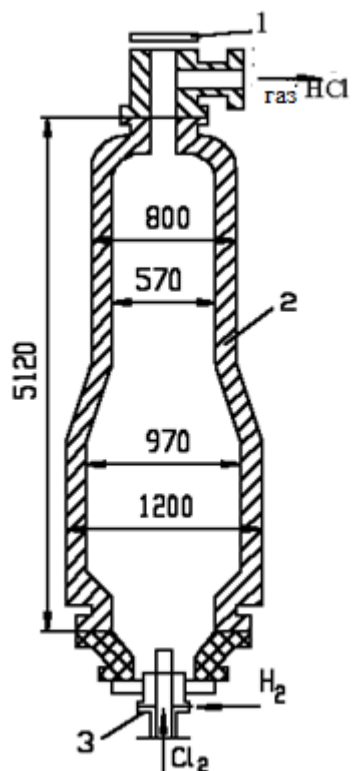


1.29-сурет – Фаузер әдісі бойынша ацетиленді алуға арналған реактор

Г – Г жүйедегі гомогенді реакция үшін реактордың типтік конструкциясына тұз қышқылын алуға арналған реакторды жатқызуға болады (1.30-сурет). Хлор сутекпен келесі реакция бойынша жылдам әрекеттеседі



Реактор кірпішпен қапталған. Жанғыш керамикадан жасалған, 0,5 атм. қысымда жұмыс істейді. Реактордағы температура 1000 °С. Хлор-сутек арақатынасы реактордан шыққанда газда сутектің артық мөлшері болатындай етіп реттеледі. Реактордың үстіңгі бөлімінде сақтандыру клапаны бар (қалыңдығы 0,5 мм болатын диск).



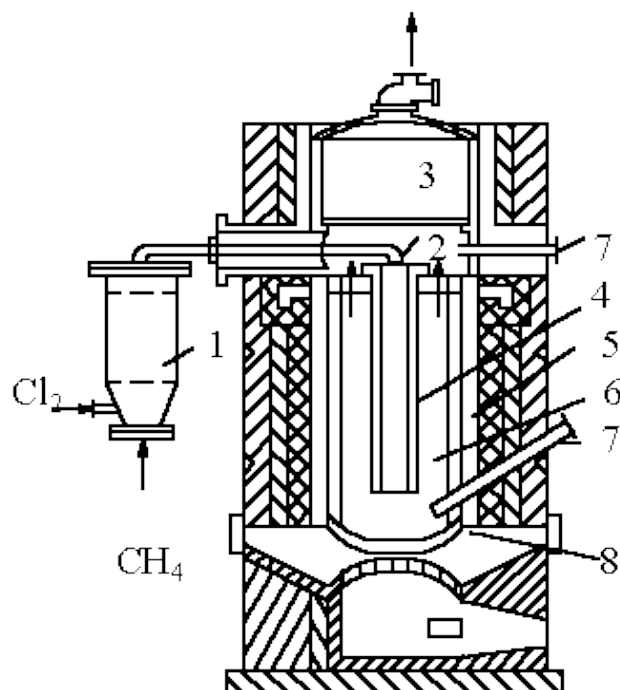
1 – жарылғыш диск; 2 – болат корпус; 3 – жанғыш

1.30-сурет – Тұз қышқылын синтездеу реакторы

*Жалынсыз экзотермиялық реакторлар.* Метанның хлорлы туындыларын алу үшін 390–450 °С температурада жүретін метанды хлорлау реакциясы қолданылады (1.31-сурет).

Хлорлауға арналған реактор қалыңдығы 13 мм болатын стақандары бар цилиндр ыдыс, түбі нихромнан жасалған, себебі қыздыру сыртынан орындалады. Бұл үшін цилиндр аппарат жалпы биіктігі 4,6 м болатын болаттан жасалған басқа аппаратқа 3 м тереңдікке батырылғанда ыстық газбан жылытылады. Метан араластырғышта хлормен араласады, әрі қарай қоспа құбырмен жылытқыш ролін атқаратын орталық керамикалық құбырға келеді.

Реакция 400 °С температурада жүреді, реакция өнімі оқшауланбаған аймаққа келеді, салқындайды. Әрі қарай газдар күйе үшін сүзгі ролін атқаратын Рашиг сақиналары арқылы өтеді.



1 – араластырғыш; 2 – құбыр; 3 – Рашиг сақыналары; 4 – орталық керамикалық құбыр; 5 – болат цилиндр; 6 – реакциондық камера; 7 – пиrometerге арналған гильза; 8 – оттық

1.31-сурет – Метанды хлорлауға арналған реактор

*Сұйық фазада гомогенді реакцияларды жүргізуге арналған реактор.*

Реакцияны дамытуға қажетті жағдайларға байланысты гомогенді сұйық фазадағы химиялық процестер мерзімді, жартылай мерзімді және үздіксіз әрекетті реакторларда жүргізілуі мүмкін.

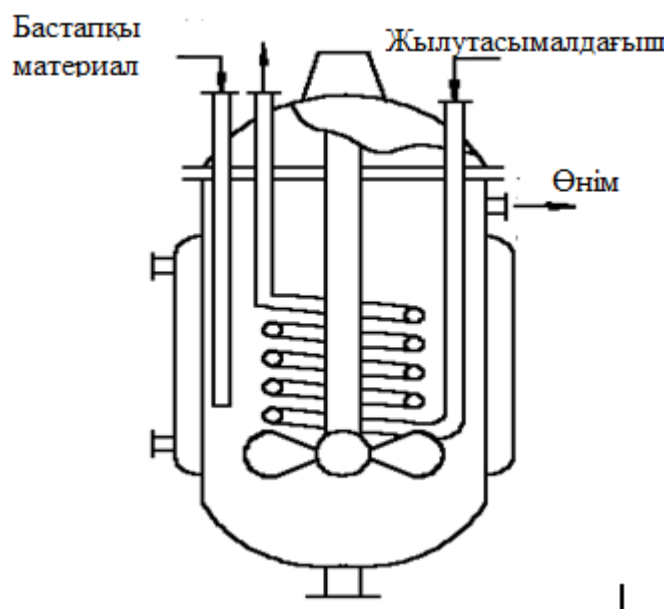
Азтонналы өндірістерде әдетте мерзімді реакторлар қолданылады, себебі реакциялар жүретін жағдайларды жұмыс қысымын, температураны, концентрацияны және басқа параметрлерді мерзімді немесе үздіксіз жолмен қадағалауға болады.

Қуатты экзотермиялық реакциялар жүргенде процесті жиі жартылай мерзімді түрде (бір реагент үздіксіз беріледі, екінші реагент мерзімді беріледі) орындайды. Жартылай мерзімді реакторлар конструктивтік тұрғыдан алғанда үздіксіз типті реакторларға ұқсас болады және тек қана операцияларды орындау әдістемесімен айырылады.

Үздіксіз әрекетті реакторлар ірітоннажды өнеркәсіптік процестерде жылдамдықтар және реакция жылулары жоғары болғанда қолданылады.

*Сұйық ортада реакцияларды араластырумен жүргізуге арналған реакторлар*

*Тұтқырлық елеусіз (1.32-сурет).* Осындай типті реакторлар органикалық және бейорганикалық химия өнеркәсібінде кең таралған.



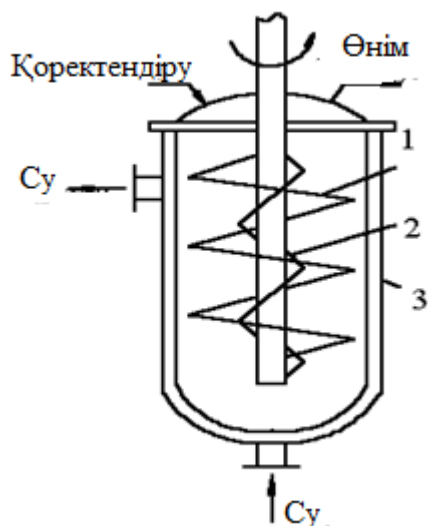
1 – корпус; 2 – араластырғыш; 3 – жейде

1.32-сурет – Тұтқырлығы елеусіз болатын С – С гомогенді жүйеге арналған реактор

*Тұтқырлық орташа* (1.33-сурет). Бутадиеннің полимеризациялануы сұйық фазада жүреді (еріткіш ретінде бензин қолданылады). Тұтқырлық алдымен бензиннің тұтқырлығына тең, сонан соң артады.

Процесті тұрақты температурада жүргізу қажет, сондықтан барлық реакциялық массада тұрақты температураны алуға мүмкіншілік беретін, араластырғышы бар реактор қолданылады. Тиімді араластыру реактордың қабырғасы арқылы жылу тасымалдаудың жоғары коэффициентін қамтамасыз етеді.

Тұтқырлық артқанда қарапайым араластыру турбулентті ағындарды тудыруға мүмкіншілік бермейді, сондықтан реакциялық массаны кішірек көлемдерге бөлу қажет, бұл көлемдер реактордың қабырғасына қарай жылжып, онда салқындап, тек сонан соң ғана араласатын болады. Реактордың биіктігінің оның диаметріне қатынасы екіге тең, бұл реактордың көлемінің бірлігіне келетін жылу алмасу бетінің елеулі болуына әкеледі.



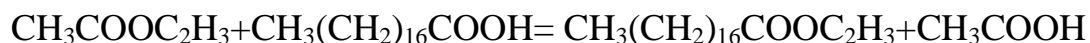
1 –диаметрі үлкен шиыршық; 2 – диаметрі кіші шиыршық; 3 – жейде

1.33-сурет – Тұтқырлығы орташа болатын жүйеге арналған полимеризациялау реакторы

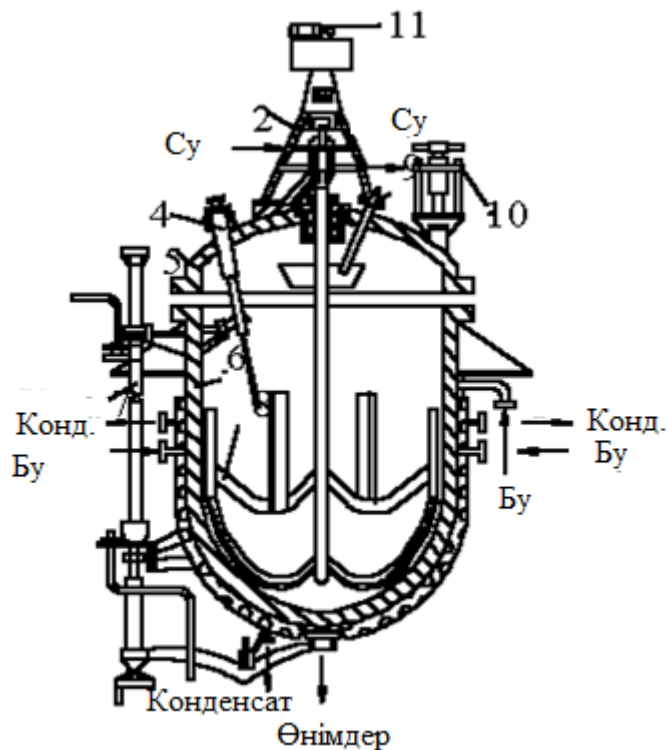
*Тұтқырлығы жоғары болатын реакторлар.* Полимеризациялаудың кейбір реакторларында полимерлердің ерітінділерінің тұтқырлығы 3000 Пз жетеді.

Бұндай процестерге арналған реакторда арнайы араластырғыштар болуы қажет, олардың біліктері үлкен механикалық жүктемелерге төзімді болуы тиіс (1.34-сурет). Тұтқырлығы жоғары болатын ортада гомогенді реакцияларды жүргізуге арналған типтік реактор фенол-формальдегидті шайырларды алуға арналған реактор болып табылады.

*Тұтқырлығы елеусіз.* Осы жағдайларда қолданылатын реакторлардың мысалы ретінде винилацетаттың сірке қышқылымен әрекеттесуі кезінде винилстеоратты алуға арналған реакторды келтіруге болады



Теңдеуді оңға қарай ығыстыру үшін сірке қышқылын үздіксіз түрде шығарып отыру қажет. Процесті қалпақшалы табақшалары бар дистилляциялық колоннада жүргізеді.



1 – жетек; 2 – тірек; 3 – сальниктер; 4 – термопараға арналған гильза; 5 – қақпақ; 6 – корпус; 7 – ағызатын клапанның механизмі; 8 – араластырғыш; 9 – майды шығаруға арналған штуцер; 10 – енгізетін саңылау; 11 – электрқозғалтқыш; 12 – редуктор

1.34-сурет – Фенол-формальдегидті шайырларды алуға арналған реактор

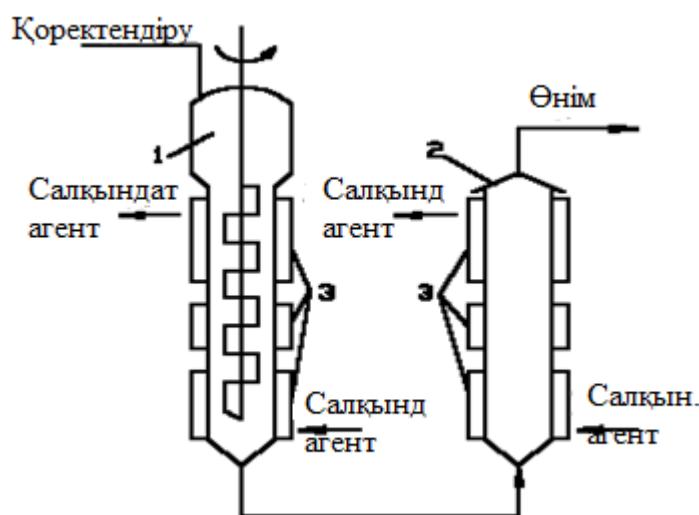
*Сұйық ортада реакцияларды жүргізуге арналған толық ығыстыратын реакторлар*

Колоннаның үстіне сұйық винилацетаттың, сірке қышқылының және катализатордың қоспасы беріледі (астынан винилацетаттың булары беріледі).

Сірке қышқылы сұйық фазадан термиялық диссоциацияланады және колоннаның үстіңгі бөлімінен винилацетаттың артық мөлшерімен бірге шығарылады, винилацетат конденсацияланады және колоннаға қайтарылады.

*Тұтқырлығы орташа* (1.35-сурет). Осындай реакторға винилацетатты полимеризациялау реакторы жатады.

Реактор диаметрі 06 м және биіктігі 5 м болатын екі секциядан тұрады. Винилацетат, еріткіш және ерітілген катализатор алдымен 1-ші секцияның үстіңгі бөлімінде араластырылады. Қалақтары бар араластырғыш апараттың барлық бойын алады. Реактордың екінші секциясында араластыру орындалмайды, себебі өзгеру дәрежесі үлкен болатын аймақта реакция жылдамдығы төмен болады, сондықтан жейде арқылы жылудың біраз мөлшерін шығару қажет болады.



1 – бірінші секция; 2 – екінші секция; 3 – жейде

1.35-сурет – Тұтқырлығы орташа болатын жүйеге арналған үздіксіз әсерлі реактор

*Үлкен тұтқырлық.* Бұл жағдайлардың типтік реакторына стиролды полимеризациялау реакторы жатады.

Секцияның жоғарғы бөліміне алдын ала полимеризаторында алынған полимердің мономердегі 28 %-ды ерітіндісі енгізіледі. Масса реакторда 0,1 м/сағ. жылдамдықпен жылжиды. Полимер балқымасы үздіксіз түрде шығарылады. Аппараттың корпусының биіктігі 8 м болғанда полимеризациялау процесі 30–40 сағат жүреді, сол кезде температура 100 °С-дан 200°С-ға дейін көтеріледі. Температуралық тәртіп әр секцияда реттеледі. Бұндай реакторлар капролактама өндірісінде де қолданылады.

*Сұйық-сұйық гетерогенді жүйесінің реакторлары*

Гетерогенді реакциялар екі немесе одан көп араласпайтын немесе жартылай араласатын сұйықтардан тұратын жүйеде жүруі мүмкін. Көмірсутектерді сульфирлеу және нитрлеу реакциялары осы типті реакциялардың айқын мысалдары болады. Реакциондық қоспа әдетте екі фазадан тұрады: бірінші фазада қышқылдар басым болады (сулы фаза), екіншіде – көмірсутектер басым болады (органикалық фаза). Процестің жылдамдығы компоненттердің фазалардың бөліну бетіне қарай бағытталған диффузия жылдамдығына тәуелді болады. Сондықтан жақсы араластыру диффузияға кедергіні елеулі төмендетуі және бір мезгілде араласпайтын фазалардың жанасу бетін (фазааралық бетті) ұлғайтуы мүмкін.

Сонымен нитрлеу, сульфирлеу және эмульсиялы полимеризациялау сұйық-сұйық гетерогенді жүйеде жүретін ең маңызды химиялық процестер болып табылады.

Бұл процестерді орындауға арналған реакторлар конструкциялары бойынша қарапайым және келесі талаптарға сай болуы қажет:

1) реакция жылдамдығы өте үлкен болғанда реакция жылуын реактордан шығаруға жеткілікті бетке ие болу;

2) органикалық зат және нитрлейтін немесе сульфирлейтін агент арасындағы жанасудың неғұрлым үлкен бетін қамтамасыз ету;

3) реагенттер мен реакция өнімдерінің коррозиялық әсеріне тұрақты болу;

4) процесс жүретін температураның мәні рұқсат етілген максимумнан аспауы үшін кем дегенде бір реагенттің қоректендіруі автоматты жүйеге ие болу.

Реакторлар мерзімді, жартылай мерзімді және үздіксіз жұмыс істеуі мүмкін. Бұндай реакторлар әрдайым дерлік араластырғыш құрылғылармен жабдықталады.

Сондықтан араластырудың минималды көлемі кезінде және жұмыс тәртібі үздіксіз болғанда өзгерудің берілген дәрежесін қамтамасыз ету үшін қатарға бірізді жалғанған реакторлар жүйесін (каскадтар, батареялар) қолданады.

Үздіксіз әрекетті нитратор (1.36-сурет). Араластыру камерасында араластырғыш пен құбырлар орналасқан, сыртынан салқындатылады.

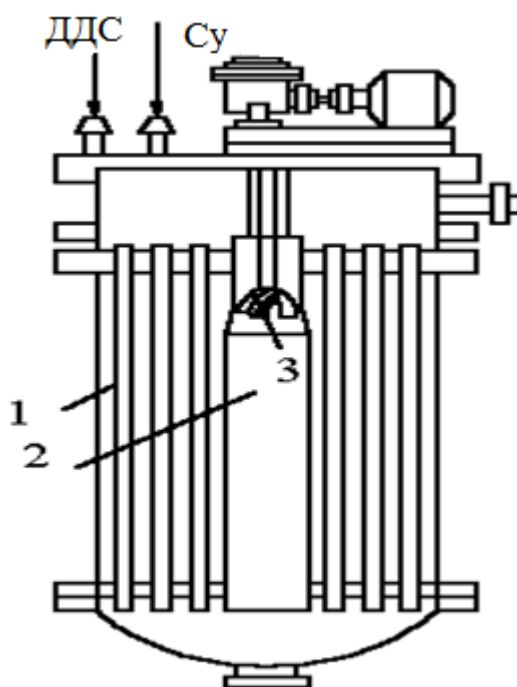
Екі сұйық фазаның жанасуы аппараттың астыңғы бөлімінде жүреді, бұл елеулі дәрежеде әрбір фазаға араластырғышпен берілетін кинетикалық энергияны қолданумен анықталады.

#### *Газ-сұйық жүйесіне арналған реакторлар*

Өнеркәсіптік маңызды болатын көптеген химиялық реакциялар газтәрізді реагент пен сұйық фазада болатын реагент арасында жүреді. Газ-сұйық жүйедегі гетерогенді реакциялар тек қана сұйық фазада жүреді, сол кезде реакцияны жүзе асыру үшін газтәрізді реагент алдымен сұйықта ерітілген болуы тиіс.

Газ-сұйық жүйеге арналған реакторлар конструктивтік белгісі бойынша *фазалардың жанасу бетін жасау тәсілі* бойынша жіктеледі: араластырғышы бар реакторлар; сұйықты механикалық бүріку құрылғысы бар реакторлар; насадкасы немесе табақшалары бар колонна типті реакторлар; барботажды типті реакторлар; қабықшалы типті реакторлар; Эрлифт типті реакторлар.

Газ-сұйық жүйеде процестерді жүргізуге арналған реакторлар ең алдымен абсорбциялық аппараттар принципі бойынша конструкцияланады, үлкен көлемге ие, бірақ салыстырмалы қарапайым және эксплуатациялануы жеңіл болады.



1 – құбырлар; 2 – араластырғыш; 3 – қақпақ

1.36-сурет – Үздіксіз әрекетті нитратор схемасы

*Араластырғышы бар реакторлар.* Араластырғышы бар қарапайым типті реакторлар сирек қолданылады және тек қана өндірістің кішірек масштабтарына ғана жарамды. Фазалардың жанасуы нашар қамтамасыз етіледі және жылуалмасу жағдайлары да қолайсыз.

Сұйықты механикалық бүріку құрылғысы бар реакторлар. Бұл типті реакторлар да газ-сұйық жүйе үшін келесі салдардан өте сирек қолданылады: бұл мерзімді әсерлі реакторлар; біліктерді тығыздау қиын; қозғалатын бөлімдер тез істен шығады: энергия шығыны жоғары.

Колонналы типті реакторлар. Колонналы типті реакторлар насадкалы және табақшалы типті абсорбциялық аппараттардан айырылмайды. Айырмашылық сұйықтың жылжуында болады, ол жүйеде циркуляцияланады. Насадкалы реакторлар неғұрлым қарапайым, бірақ сұйықтың басым бөлігі циркуляциялау жүйесінде болады және оның жеткілікті көлемін қамтамасыз ету үшін көп қайтара циркуляциялауды қолдану қажет, бұл сұйықтың қасиеттеріне кері әсер етеді. Табақшалы аппараттарда сұйықтың белгілі көлемін табақшадағы сұйықтың деңгейі бойынша қамтамасыз етуге болады (олефиндерді күкірт қышқылымен сіңіру үшін, сірке альдегидін сірке қышқылына дейін тотықтыру үшін қолданылады).

Барботажды типті реакторлар. Сұйықпен толтырылған қуыс колонна. Газ бөліп таратқыш арқылы беріледі, сұйық қабаты арқылы өтеді, сепарациялық бөлімде тамшылардан босайды және аппараттан шығарылады. Барботажды реакторлар әсіресе кинетикалық аймақта жүретін реакциялар үшін жарамды. Газдың бірқалыпты таралуын газ бен сұйықтың жақсы жанасуы қамтамасыз етеді, сонымен қатар үздіксіз барботаждалу сұйықтың жақсы араласуын

қамтамасыз етеді. Жылу газдық қоспамен келеді немесе реактор жейдемен немесе аппараттың ішіне орнатылған жылуалмастырғышпен қамтамасыз етіледі.

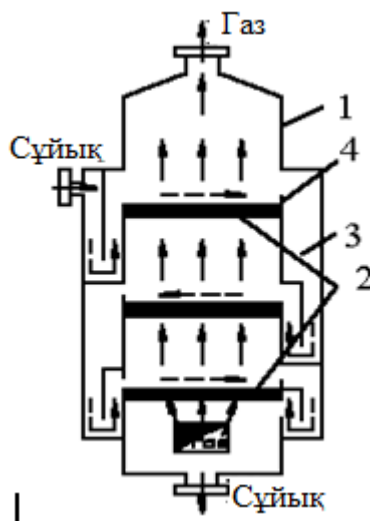
Қабықшалы типті реакторлар. Газ бен сұйықтың арасындағы жанасудың жоғары дәрежесі қабықшалы типті реакторларда қамтамасыз етіледі. Оларда сұйық жіңішке қабықша ретінде құбырлардың ішкі бетімен ағады.

Бұндай аппараттар диффузиялық аймақта жүретін процестерді жүргізуге жарамды.

Көбікті реактор. Көбікті әдістің барботаждыдан айырмашылығы, газдың көпіршіктері сұйық қабатынан еркін қалқып шықпайды, олар соңғыға үлкен жылдамдықпен келеді. Нәтижесінде реакциялық қоспаның тасқынды араласуы жүреді және қозғалғыш деп аталатын көбік түзіледі. Бұндай жүйе диффузиялық кедергінің өте кішкентай мәндерімен сипатталады және диффузиялық аймақта жүретін процестер үшін өте тиімді болуы тиіс.

Көбікті аппарат металдан жасалған корпустан тұрады, онда бірдей арақашықтықта табалдырықтармен жабдықталған тесіктері бар торлы табақшалар орналасқан (1.37-сурет). Сұйықтың табақшадан табақшаға асып құйылуы арнайы асып құйылатын құрылғы арқылы орындалады. Олар жеткілікті кең болуы қажет, себебі көбіктің бұзылуы кезінде бөлінетін газдар газды тығындардың түзілуіне әкелуі мүмкін және осының салдарынан сұйықтың ағуы баялауы мүмкін. Газ астынан беріледі және оның бағыты жылжитын сұйықтың бағытына айқас болуы қажет. Табақшадағы сұйықтың биіктігі табалдырықтың биіктігімен реттеледі.

Көбікті аппараттардың конструкциясы елеуішті ректификациялық колоннадан өте аз айырылады. Аппаратты «көбікті» деп атағанда, оның конструкциялық ерекшелігі айтылмайды, тек қана гидродинамикалық тәртіп жайлы айтылады.



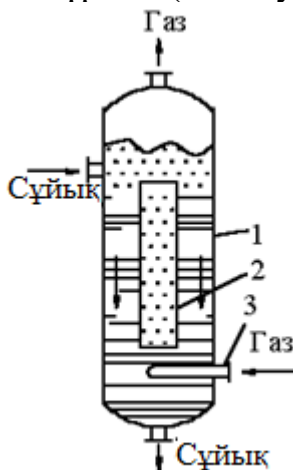
1 – корпус; 2 – торлар; 3 – асып құйылатын құрылғы; 4 – табалдырық

1.37-сурет – Үшсәрелі көбікті аппарат схемасы

Көбікті аппараттар кішігірім, құны үлкен емес және эксплуатациялық

шығындар да аз болады.

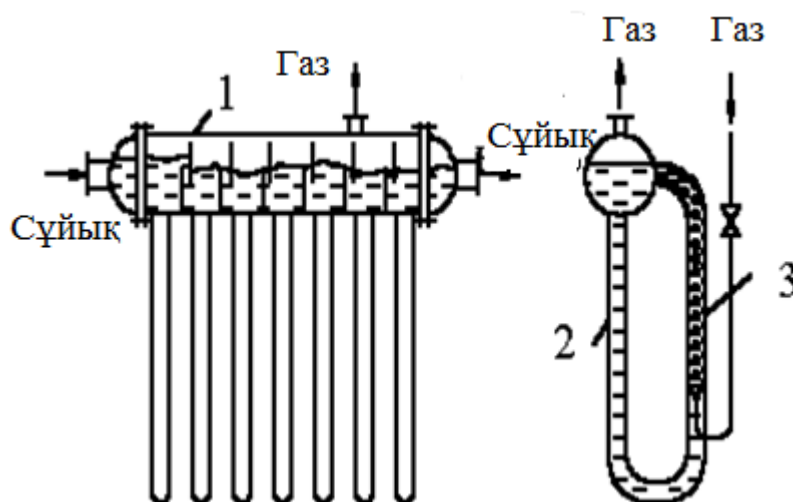
«Эрлифт» типті реакторлар. Бұндай аппараттарда газ бен сұйықтың арасындағы жанасу дәрежесі жоғары. Бұндай аппарат екі бөлімнен – барботажды және циркуляциялық тұрады (1.38-сурет).



1 – аппарат корпусы; 2 – өстес құбыр; 3 – барботёр

1.38-сурет – “ЭРЛИФТ” типті реактор

Көпсекциялы эрлифтті аппараттар бар (1.39-сурет). Көпсекциялы эрлифтті аппараттың әрбір секциясында циркуляциялық және барботажды құбырлар бар. Газ әрбір секцияға жеке құбырмен беріледі. Сұйық секцияның үстіңгі бөлімінен шығарылады, газ оның астыңғы бөліміне беріледі. Газ секциялық барабанның үстіңгі бөлімінде жиналады және жалпы құбырмен шығарылады. Бұндай типті аппараттар көмірсутектердің сұйықфазалы тотығу процестерінде қолданылады.



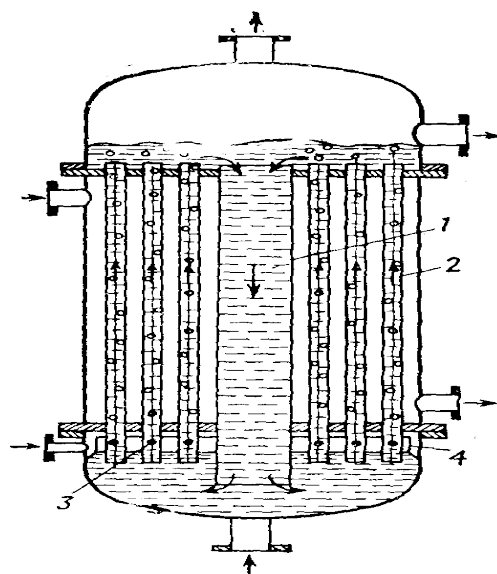
1 – аппарат корпусы; 2 – циркуляциялық құбыр; 3 – борбатажды құбыр

1.39-сурет – Көпсекциялы эрлифтті аппарат

Барботажды қаптамақұбырлы реактор. Жылутасымалдағышқа арналған жалпы жейде бар, алдында қарастырылған аппараттарда жылуды әкелу немес әкету қажет болғанда жейдені әрбір жеке циркуляциялық және барботаждық құбырға орнату қажет (1.40-сурет).

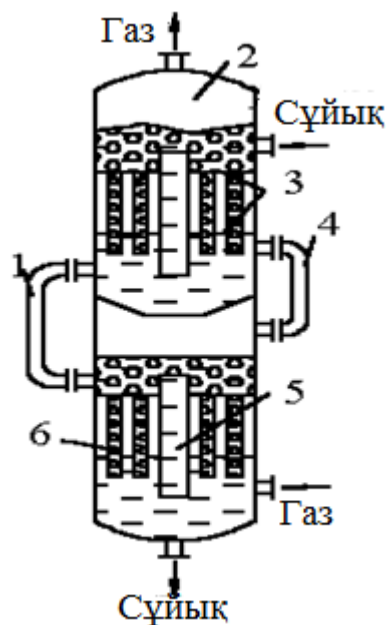
Осындай секциялардың бірнешеуін бір аппаратқа біріктіріп секцияланған қаптамақұбырлы эрлифтті реактор алынады (1.41-сурет).

Бұндай аппараттың әрбір секциясы біз алда қарастырғын реактордай жұмыс істейді. Жалпы аппаратта газ бен сұйықтың қарсы ағыны орын алады. Газ барлық секциялар арқылы астынан үстіне қарай, ал сұйық үстінен астына қарай жылжиды. Бұндай аппараттардың құбырлы бөлімі диаметрлері 38 және 57 мм болатын құбырлардан жасалады. Орталық циркуляциялық құбырдың диаметрі аппараттың диаметріне байланысты, яғни барботажды құбырлардың санына байланысты 100–300 мм болады. Құбырлардың биіктігі 1,5–2,5 м аралығында таңдалады.



1 – циркуляциялық құбыр; 2 – барботажды құбыр; 3 – газдың кіруіне арналған саңылау; 4 – сақиналы арабөлгіш

1.40-сурет – Барботажды қаптамақұбырлы реактор



1 – айналма сұйық жолы; 2 – корпус; 3 – құбыр торы; 4 – айналма газ жолы; 5 – циркуляциялық құбыр; 6 – барботажды құбыр

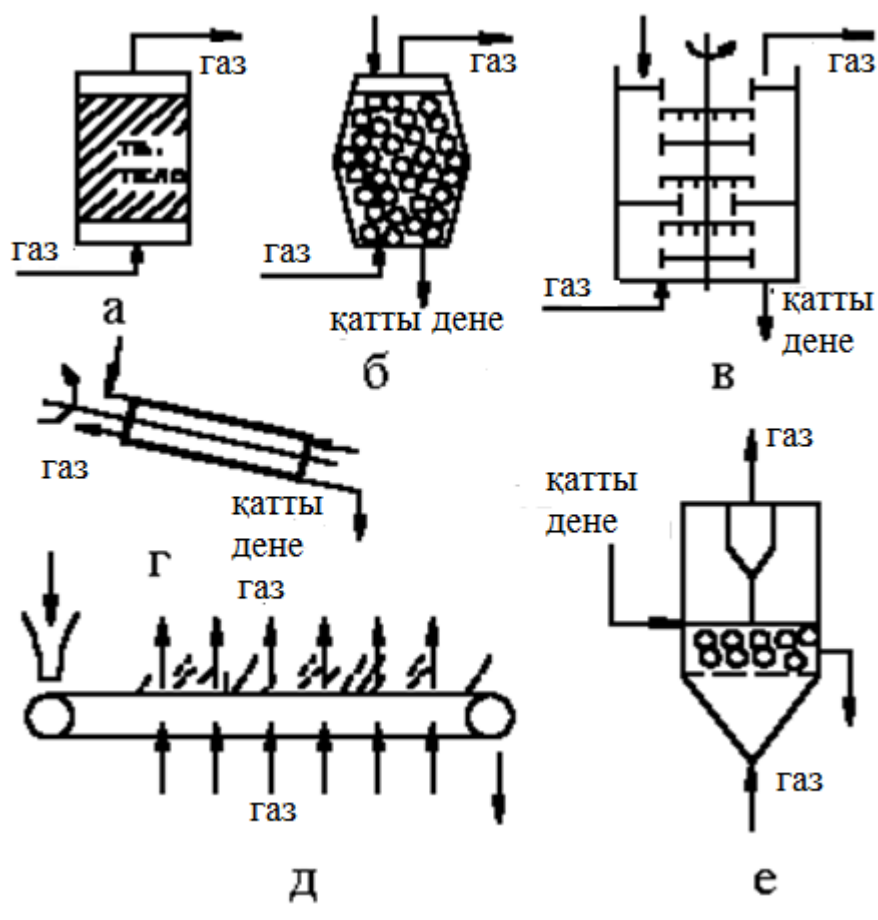
1.41-сурет – Секцияланған қаптамақұбырлы барботажды реактор

*Газ – қатты дене жүйесінде гетерогенді каталитикалық емес реакцияларды жүргізуге арналған реакторлар*

Газ – қатты дене реакцияларының көпшілігінде қатты бөлшектер реакцияның барлық уақытында өз физикалық даралығын сақтайды.

Әрекеттесетін екі фазаның жылжуын есепке алып, газ – қатты реагент жүйесінің реакторларын 1.42-суретте көрсетілгендей жіктеуге болады.

Газ – қатты реагент жүйесінің реакторларының конструктивтік безендірілуі контактты-каталитикалық процестердегі реакторлармен бір типті болғандықтан, оларды түбегейлі қарастыру төменде орындалған.



а) жартылай мерзімді әрекетті; б) қабаттың жылжуымен үздіксіз әрекетті; в) механикалық араластырғышы бар үздіксіз әрекетті; г) корпусы айналатын үздіксіз әрекетті; д) қабаттың механикалық орын ауыстыруымен (транспорт) үздіксіз әрекетті; е) ілінген қабаты бар үздіксіз әрекетті

1.42-сурет – Газ – қатты дене жүйесінде гетерогенді каталикалық емес реакцияларды жүргізуге арналған реакторлардың жіктелуі

### *Каталикалық процестердің реакторлары*

Каталикалық процестерді сутек, аммиак, және күкірт қышқылы тәрізді бейорганикалық технологияның маңызды өнімдері өндірістерінде кездестіруге болады. Әсіресе бейорганикалық синтез өнеркәсібінде тотықтыру және тотықсыздандыру, гидрирлеу және дегидрирлеу, полимеризациялау және поликонденсациялау және т.б. процестерді жүргізуде каталикалық процестерді қолдану ерекше әртүрлі.

Катализаторлардың көмегімен метанол, этанол және жоғары спирттер тәрізді көмірсутектердің оттекті туындылары, формальдегид, ацетальдегид, ацетон, сірке қышқылы және басқа да органикалық қышқылдар алынады.

Каталикалық процестер каучук, пластикалық массалар, жасанды талшықтар, лактар және басқа жоғарымолекулалы қосылыстар алуға қажетті мономерлерді алуда қолданылады. Сонымен қатар катализаторлардың қатысуымен алынады: бутadiен, изопрропилстирол, изобутилен, акрилонитрил және басқа да көптеген мономерлер.

Катализаторлардың қатысуына көптеген мұнай өнімдерін өңдеу әдістері негізделген: каталитикалық крекинг, риформинг, алкилрлеу, изомеризация және ароматизация. Катализаторларды қолданумен тас көмірден мотор отындарын өндіру, яғни отынды сұйылту орындалады. Тамақ өнеркәсібінде катализаторлардың көмегімен құнды қатты майлар алынады.

Сол кезде әдетте «қатты дене – катализатор – газтәрізді немесе бутәрізді реагенттер» жүйесі қарастырылады.

Заттарды алудың контактты-каталитикалық әдістерінің каталитикалық емес әдістердің алдында бірқатар артықшылық бар екенін атап өту қажет:

- процестердің жылдамдықтары жоғары, осының арқасында қуаттылығы жоғары болатын өндірістердің өзінде салыстырмалы кішігабаритті аппараттарды қолдануға болады;

- процестерді атмосфералық қысым астында жүргізуге болады, ал «каталитикалық емес» әдістерде жоғары қысым мен үлкен аппаратура қажет болады;

- процестерді үздіксіз әдіс бойынша жүргізу мүмкіншілігі.

*Катализатор қабаты қозғалыссыз болатын реакторлар*

Контактты-каталитикалық процестер жылудың елеулі мөлшерлерінің бөлінуімен немесе сіңірілуімен жүреді. Сондықтан катализатор қабаты қозғалыссыз болатын аппараттың конструкциясы жылудың әкеліну немесе әкетілу тәсілімен анықталады.

Бұндай аппараттар конструкциясы бойынша келесі топтарға бөлінеді:

- 1) процесс барысында жылуалмасусыз болатын аппараттар, олар адиабаталы болып табылады. Конструкциясы бойынша олар шахталы (немесе сыйымды) аппараттар;

- 2) катализатор қабатын қима бойынша бөлетін аппараттар. Олар құбырлы аппараттар ретінде болады, сонда катализатор көұбырлық немесе құбыраралық кеңістікте орналасады, сонымен қатар ретортты пештер түрінде де болады;

- 3) катализатор қабатының биіктік бойында жеке аймақтарға бөлінетін аппараттар. Аймақтардың арасында қоспа осында орналасқан жылуалмастырғыштарда немесе газтәрізді жылу тасымалдағыштармен араласып, жылытылады немесе салқындатылады. Конструктивті сөрелі аппараттар ретінде жасалады;

- 4) құрандалы аппараттар, оларда жоғарыда аталған аппараттар жалпы корпуста біріктіріледі.

*Шахталы типті реакторлар*

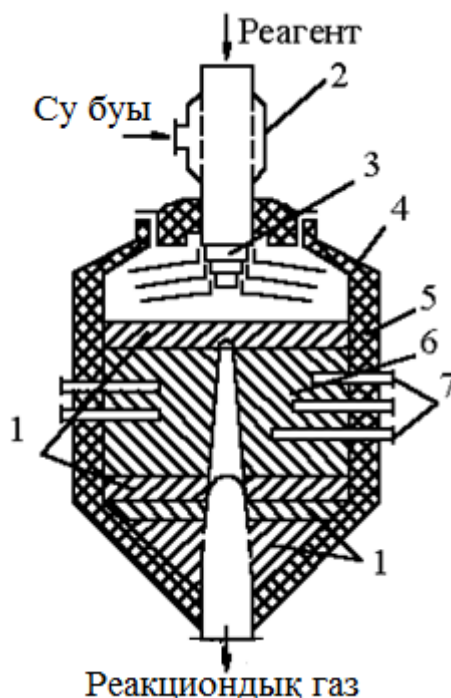
Шахталы типті реакторларда жүзеге асырылатын процестердің мысалы ретінде этилбензолдың стиролға дейін дегидрирленуін, этиленнің тура гидратациялануын және дивинилбутилендердің дегидрирленуін атап өтуге болады. Бұл кезде жылу эффектілері жоғары, бірақ бұндай реакциялар адиабаталы жағдайларда жүзеге асуы мүмкін.

Аппарат (1.43-сурет) ішінде қаптамасы 5 бар корпуста 4 тұрады. Аппараттың үстіңгі бөлімінде этиленбензолдың су буымен әрекеттесуіне қажетті құрылғы 2, реакциондық қоспаны аппарат қимасында бөліп таратқыш

3 орналасқан. температураларды өлшеу үшін катализатор қабатына 6 термометрлерге арналған гильзалар 7 монтаждalған. Реагенттердің ағынын түзету үшін инертті насадка қабаты қарастырылған. Өнім конусты тесікті элемент 8 арқылы шығарылады. Этилбензолды дегидрирлеу 600 °С-да орындалады. реакция көлемнің артуымен жүреді, сондықтан оны вакуум астында жүргізу қажет еді. Дегенмен бұл аппараттың конструкциясының елеулі күрделіленуіне әкеледі және процесті жүзеге асыру қиындайды. Осының салдарынан вакуумның орнына су буымен сұйылту қолданылады. Сол кезде реагенттің парциалды қысымы төмендейді, яғни вакуумды қолданғандағыдай әсер алынады.

Сонымен қатар, су буымен сұйылту, этилбензолды реакция температурасына дейін (600 °С) қыздыруды бұмен орындауға болмайтынымен байланысқан. Сондықтан бұл температураға қол жеткізу үшін аса қыздырылған су буы қолданылады. Реакция адиабалы жағдайда жылуды сіңірумен орындалады, сондықтан реакция барысында реагенттердің температурасы төмендейді.

Бұндай типті аппараттар күкіртті мұнайды гидрирлеу үшін, формальдегидті синтездеу және т.б. үшін қолданылады.



1 – инертті насадка; 2 – газдардың араластырғышы; 3 – газдарды бөліп таратқыш; 4 – корпус; 5 – қаптама; 6 – катализатор қабаты; 7 – термометрлерге арналған гильзалар

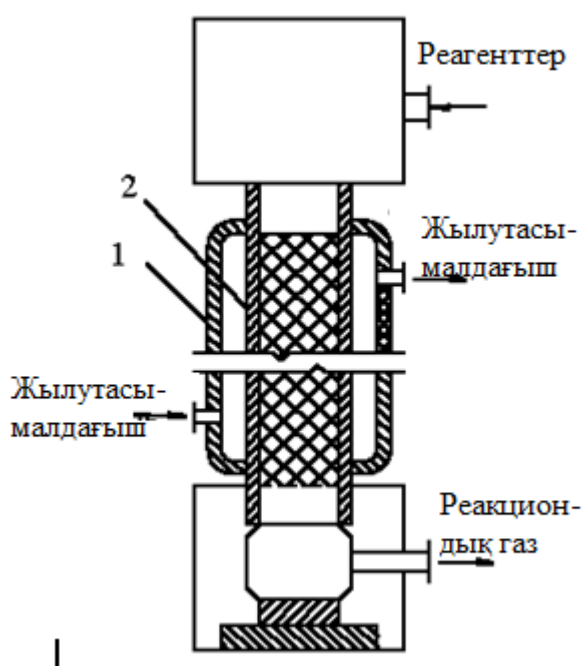
1.43-сурет – Шахталы типті реактор

#### Құбырлы реакторлар

Бұндай типті аппараттарда салқындату беттері реагенттердің жылжу бағыттарына параллельді орналасқан, сондықтан жылуды әкелу немесе әкету

оның бөлінуі немесе сіңірілуі кезінде орындалады.

Конструкциясы жағынан реакторлар әрбір құбырдың маңында салқындатқыш жейдесі бар құбырлы аппарат ретінде орындалуы мүмкін (1.44-сурет). Құбырлы реакторларда салқындатқыш жейдесі жалпы біреу болуы да мүмкін (катализатордың құбырларда немесе құбыраралық кеңістікте орналасуымен қаптамақұбырлы типті реактор). Қосақталған құбырлары бар аппараттар да болуы мүмкін. Бұл кезде катализатор қабатында сақиналы кеңістік болуы мүмкін. Бұндай аппарат пропан-пропиленді фракцияны полимеризациялауда қолданылады. Аппарат жеке секциялардан тұрады. олар 12 болуы мүмкін. Процесс 260 °С-да, 7 МПа қысымда жүреді. Құбырдың ішкі диаметрі 150 мм. Жеке элементті биіктігі 14 м. Бұндай аппараттың артықшылығына салқындатқыш агентті, жоғары қысымды (қысым астындағы қайнаған су) қолдану мүмкіншілігі жатады. Кемшілігіне оның төмен өнімділігі, көп орын алуы, катализаторды түсірудің қолайсыздығы жатады.



1 – корпус; 2 – жейде

1.44-сурет – «Кұбыр ішіндегі құбыр» типті реактордың схемасы

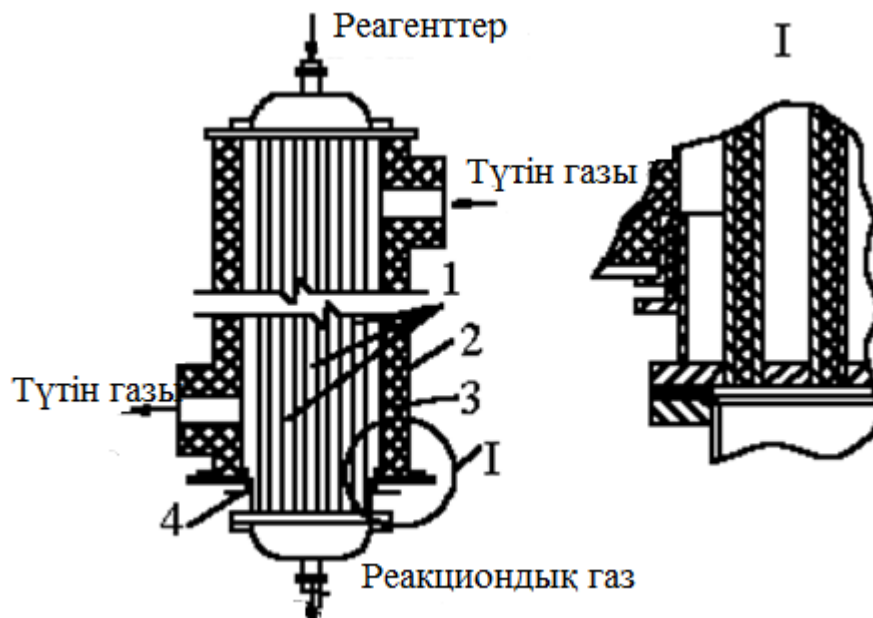
#### Қаптамақұбырлы типті құбырлы контактты аппарат

Циклогексанолды дегидрирлеу капронды алудың технологиялық схемасының бөлімі болып табылады: фенол – циклогексанол – циклогексанон – капролактама. Капролактаманнан капрон алынады.

Процесс 450–460 °С-да және 0,1 МПа қысымда құбырлы реакторда орындалады (1.45-сурет). Қажетті температураны (500 °С) қамтамасыз ету үшін түтін газдары қолданылады. Ол газдар оттық газдарды (1000–1100 °С) қолданыста болған газдармен араластыру арқылы алынады. Реакторда концентрлі арабөлгіштер бар, олар құбырлардың бірқалыпты жылынуын

қамтамасыз етеді. Сонымен қатар реакторда сальник бар, ол температуралық ұзарулардың компенсаторы ролін атқарады. Реактордың диаметрі 1,8 м, биіктігі 6,5 м, құбырлардың диаметрлері 57 мм.

Құбырлы аппараттардың ерекшеліктеріне обечайканың болмауы және құбырлардың оттық камерада орналасуы, сонымен қатар дискілі арабөлгіштердің болуы жатады. Дискілі арабөлгіштер әдеттегі қаптамақұбырлы жылуалмастырғыштардағыдай, құбыраралық кеңістікте түгін газдарының турбулизациясы үшін және контактты құбырларды жылытатын газдардың қажетті температурасына дейін жету үшін циркуляцияланатын газдардың таза газдармен араласуы үшін қажет.



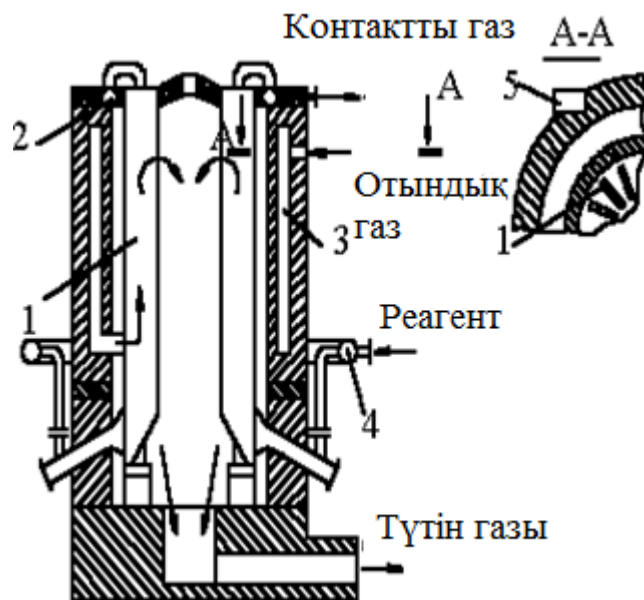
1 – контактты құбырлар; 2 – корпус; 3 – қаптама; 4 – сальник

1.45-сурет – Құбырлы реактор

### Ретортты реакторлар

Ретортты аппараттар, мысалы, академик С.В. Лебедев әдісі бойынша этил спиртін контактты ыдырату арқылы дивинилді алу үшін қажет.

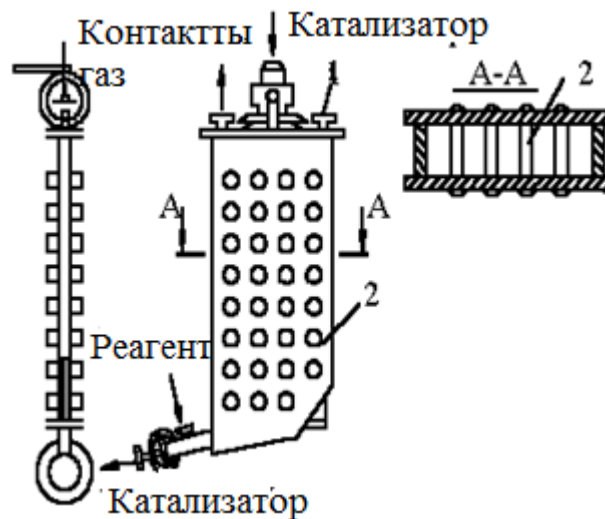
Ретортты пеште 24, 16, 30 және одан артық реторта біріктірілуі мүмкін (1.46-сурет). Реакцияның температурасы 360–370 °С. Аппараттың диаметрі мен биіктігі 6,5 м, яғни бұл аппараттарда биіктік пен аппараттың қимасы арасындағы арақатынас үлкен. Реторта немесе реторталар тобы катализатормен толтырылады және жылутасымалдағыштың ортасына орналастырылған.



1 – реторта; 2 – өнімдерді шығаратын жинағыш коллектор; 3 – муфель; 4 – реагенттердің кірердегі бөліп тарату коллекторы; 5 – бүріккіш

1.46-сурет – Ретортты реактор

Температуралардың ең жақсы таралуын беретін өте ұзартылған тік төртбұрыш болады. Реторттардың көлденең қимасының пішіні әртүрлі болады (1.47-сурет)



1 – термопаралардың гильзасы үшін штуцер; 2 – тартқыштар

1.47-сурет – Реторта

Ретортты пештің негізгі элементі қимасы тік төртбұрыш  $80 \times 1000$  мм және биіктігі 5250 мм болатын реторта болып табылады.

Реторталардың қимасының төртбұрышты болуы ауданы бірдей болатын дөңгелек құбырлармен салыстырғанда катализатор қабатының қимасында температураның аз ауытқуына әкеледі және оларды пеште компактты

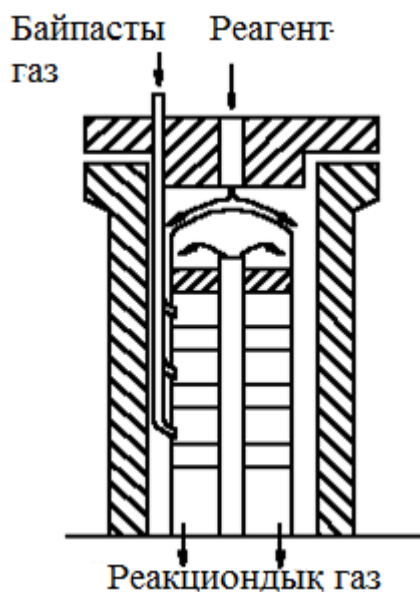
орналастыруға мүмкіншілік береді. Пештің ерекшелігіне реторттардың муфельді орналасуы жатады. Муфельдің қабырғасынан жылу ретортты жылулық сәулеленумен беріледі, бұл кезде реторттар бірқалыпты қыздырылады.

Реторттардың деформациялануына жол бермеу үшін бүйірлік қабырғалар арқылы металдан жасалған сымдар өткізілген, олар ретортаның қабырғаларының сыртқы бетіне дәнекерленген. Ретортты аппараттар өте арбиған болады.

#### Сөрелі типті аппараттар

Катализаторды биіктік бойында бөлу катализатор қабатының биіктігінің бойында аралық жылуды әкелуді және әкетуді орындауға, реагенттердің қосымша мөлшерін енгізуге немесе реакцияның конденсацияланатын өнімдерін шығаруға мүмкіншілік береді.

Катализатор қабатын биіктік бойында бөлу аппараттың конструкциясының күрделіленуіне әкеледі, бірақ бұл реакцияны температуралардың берілген интервалында жүргізуге мүмкіншілік береді. Бұндай реактор метил спирті синтездеуде қолданылады (1.48-сурет). Реакция 400–420 °С-да жүреді. Аппараттың диаметрі 0,8 м және биіктігі 12 м. Қысым 200–300 кг/см<sup>2</sup>.



1 – корпус; 2 – стақан; 3 – катализатор қабаты; 4 – орталық құбыр; 5 – жылуалмастырғыш

#### 1.48-сурет – Сөрелі реактор

Катализаторы бар сөре 3 стақанның 2 ішінде орналасқан. келетін газдар стақан мен корпустың 1 арасындағы сақиналы кеңістікпен жылжиды, сол кезде корпустың қызып кетуі болмайды және газдар алдымен корпус пен сатақанның арасындағы сақиналы кеңістікте, сонан соң аппараттың астына орнатылған жылуалмастырғышта 5, соңында орталық құбырда 4 жылынады.

Байпасты газ – ол сол реагент, бірақ оның температурасы катализатор қабатында реакциядан бөлінетін жылумен жылытылған реагенттердің температурасынан төмен. Байпасты газды енгізу реагенттердің

температурасын катализатор қабатының биіктігінің бойында тиісті интервалды қамтамасыз етуге мүмкіншілік береді.

Катализатор қабаты елеуішті болатын реакторлар. Металдан жасалған елеуіш ретінде болатын өте жіңішке катализатор қабаты бар реакторлар үлкен жылдамдықпен жүретін реакцияларды жүзеге асыру үшін қолданылады. Бұл кезде анықтаушы этап диффузия болады. өнеркәсіпте бұндай типті реакторлар аммиакты тотықтыруда, азот қышқылы, формальдегид және т.б. өндірістерінде қолданылады. Катализатор ретінде бұл жағдайда платинадан жасалған тор немесе платинаның радиймен қорыптасы қолданылуы мүмкін. Реакция 600–700 °С-да жүреді және өнімнің шығуы 100 %-ға жақын болады.

*Катализатор қабаты қозғалыссыз болатын аппараттардағы жылуалмасу*

Алдында химиялық реакция барысына температуралық тәртіптің әсері елеулі болатын аталып өтті. Химиялық реакторларды әртүрлі әдістермен жылытуға немесе салқындатуға болады. Реакциондық аппараттағы жылуалмасу әдісін таңдау ең алдымен химиялық процесті жүргізудің температуралық шарттарына, сонымен қатар жылу тасымалдағыштың физикалық, жылу физикалық және химиялық қасиеттеріне тәуелді болады. Қатты фазасы бар реакторларда ең жоғары температура аппараттың орталық бөлімінде болады. Салқындатқыш қабырғалар болғанда жылуалмасу келесідей жүруі мүмкін:

- 1) бөлшектің (кеуектің) орталық аймағы және оның сыртқы беті арасында;
- 2) катализатордың сыртқы беті және газ ағыны арасында;
- 3) катализатор қабатымен жанасатын дәндердің арасында аппараттың сыртқы салқындатқыш қабырғалары арқылы.

Катализатор дәндерінің металының жылуөткізгішітігі жақсы болғанда оның температурасы тұрақты болып қалады. Ағынның жылдамдығы өте төмен болғанда реакциондық аймақтың жылуы негізінде жылжитын газбен әкетіледі. Егер дәндердің жылуөткізгішітігі төмен болса, онда реакторда температуралар градиенті пайда болады.

Реакторда салқындату немесе жылытудың екі негізгі әдісі бақыланады: Жылумен тура немесе жанама алмасу. Жылуалмасу тура болғанда реакторда жылудың тасымалдануы реакциондық қоспаның жылу тасымалдағышпен тура жанасуы, мысалы жылу тасымалдағыштың реакциондық аймақта циркуляциялануы кезінде орындалады.

Жанама жылуалмасу кезінде реакторда жылу тасымалдағыш пен әрекеттесетін заттар бір-бірінен өткізбейтін бетпен бөлінеді, сол бет арқылы жылуалмасу жүреді.

Температураға байланысты каталитикалық реакциялардың жылдамдығы максимумға ие болады, ол келесі салдардан өзгеруі мүмкін:

- 1) катализатор бетінде реакция қайтымды: белгілі бір температурада кері реакцияның жылдамдығы елеулі артады, ал жалпы жылдамдық төмендей бастайды;
- 2) реагенттердің адсорбциясы қайтымды; өте үлкен температурада

реагенттердің десорбциясының жылдамдығы елеулі болады, ал процестің жалпы жылдамдығы төмендейді.

Сонымен, өзгерудің әрбір дәрежесі үшін реакцияның жалпы жылдамдығы максималды болатын температураны анықтауға болады. бұндай температура оптималды деп аталады.

Каталитикалық реакторларда процестерді жүргізуде маңызды міндет оптималды температуралардың тұрақтылығын қамтамасыз ету болып табылады. әдетте бұл келесідей жүзеге асырылады (1.49-сурет):

1) реактор қабырғасы арқылы жылуалмасумен қамтамасыз етілетін оптималды жұмыс температурасы кезінде реагенттер (және реакция өнімдері) келетін реакциялық аймақты адиабаталы секциялардың көп санына бөлу арқылы;

2) реакциялық аймаққа инертті жылуотасымалдағышты (бу, азот, қатты дене және т.б.) енгізу арқылы;

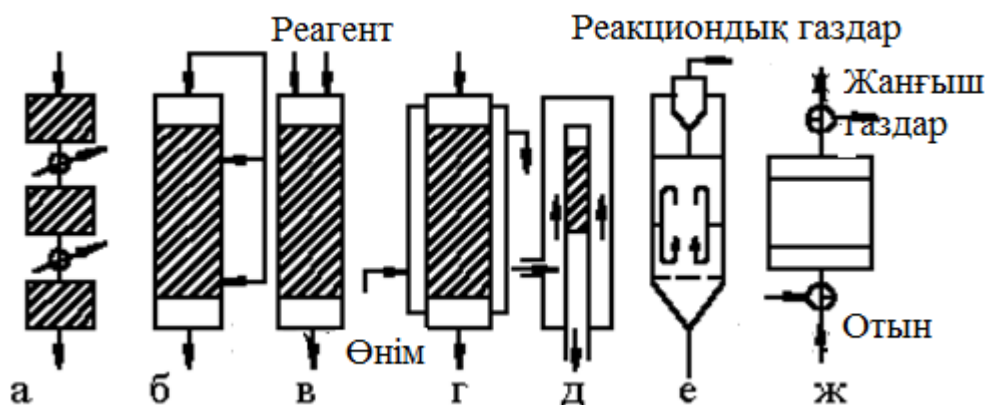
3) реакциялық аймақтың ұзындығы бойындағы әрбір нүктелерге реагенттерді енгізу арқылы;

4) катализаторды құбырларда, жылуотасымалдағыштың ағынының бағыты реагенттердің ағынының бағытына перпендикулярлы болатындай етіп орналастыру арқылы;

5) катализатордың ілінген қабатын қолдану арқылы;

6) регенеративті циклде адиабаталы реакторды қолдану арқылы.

Аталған әдістердің соңғысы бутанды бутадиенге дейін дегидрогенизациялауда қолданылады. Мысалы, бірінші фазада эндотермиялық реакция бойынша катализаторда тұнатын көміртек алынады. Екінші фазада тиісті реагентті енгізумен осы көміртек тотығады және реакциялық аймақтағы температура көтеріледі. Бұл әдістің тиімділігі жұмыстың мерзімдері қысқарған сайын артады.



а) реакторды секциялардың арасында жылуалмастырғыштары бар адиабаталы секцияларға бөлу; б) суық реагенттерді қосу; в) реагент пен инертті жылу агентінің біраз артық мөлшерінің бір мезгілде циркуляциялануы; г) жанама жылуалмасумен каталиткалық қабат; д) реагентпен тура жылумен алмасатын каталиткалық қабат; е) катализатордың қозғалатын (ілінген) қабаты; ж) регенеративті типті каталиткалық реактор

1.49-сурет – Тұрақты оптималды температураларды қамтамасыз ету

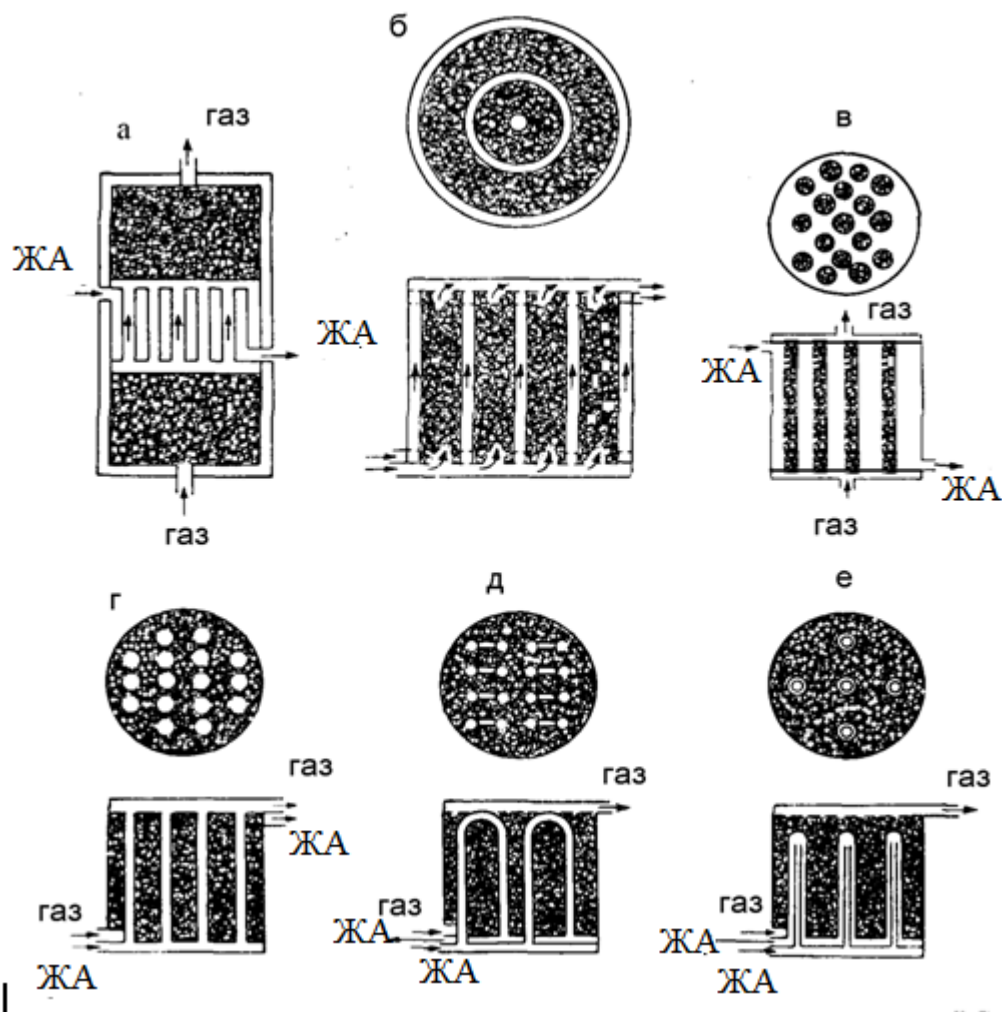
әдістері

Каталитикалық изотермиялық реакторларда оптималды температураларды қамтамасыз етудің неғұрлым тиімді тәсіліне жылудың көлденең (радиалды) тасымалдануы жатады.

1.50-суретте катализаторлары бар реакторларда жылуалмасу бетінің ауданын орналастырудың бірқатар тәсілдері көрсетілген. Жылу тасымалдағыш ретінде газ, қайнайтын сұйық, конденсацияланатын булар және т.б. қолданылуы мүмкін.

Сырттан салқындатылатын немесе жылытылатын реакторда жылудың көлденең немесе тура бағытта тасымалдануы бірнеше жолмен орындалуы мүмкін:

- 1) газ фазада конвекцияланумен;
- 2) катализатордың бір бөлшегінен басқа көршілес бөлшекке жылуөткізгіштікпен;
- 3) катализатор бөлшектерінің және бөлшектер мен газдың арасындағы радиациямен.



а) сыртта орналасқан жылуалмастырғыш; б) концентрлі жылуалмастырғыш; в) құбырларды сыртынан салқындату; г) бір жолды құбырлар арқылы салқындату; д) екі жолды құбырлар арқылы салқындату; е) қосақталған

құбырлар арқылы салқындату; ЖА – жылытқыш агент

1.50-сурет – Катализатор бар реакторларда жылуалмасу бетін орналастыру әдістері

Жылуды тасымалдаудың жалпы механизмі, катализатор қабатында температуралардың шынайы таралуына жазып алуға мүмкіншілік беретін көлденең жылуөткізгіштіктің тиімді коэффициентімен сипатталады (жылудың радиалды тасымалдануы тек қана көлденең жылуөткізгіштік нәтижесінде болады деп жорамалданады).

Шынайы жылуөткізгіштік катализатордың жылу өткізу қасиеттеріне, пішініне, катализатор бөлшектерінің мөлшерлеріне және орналасуына, жылутасымалдағыштың табиғатына және т.б. тәуелді болады.

Жылуалмасу беттері әртүрлі геометриялық пішіндерге (жыланша, жейде, сақина және т.б.) ие болады және реактордың сыртында да, ішіндеде орналасуы мүмкін.

Реактордың сыртынан жылытылуы немесе салқындатылуы көп жағдайларда жейде арқылы орындалады, бұл химиялық технологиядағы жылуалмасудың кең таралған түрі болып табылады.

*Катализатор қайнайтын қабат түрінде болатын реакторлар*

Қайнайтын қабат реакторлары өнеркәсіпте мұнай өнімдерін алюмосиликатты катализаторда крекингілеуде қолданылады. Бұл реакторлар катализатор қабаты қайнайтын күйде болатын ең үлкен реакторлар болып саналады.

Мысалы, көміртек тотығын гидрирлеу үшін (метанолды, жоғары спирттерді синтездеу мақсатында) және аммиак синтезінде (азотты темір катализаторда гидрирлеу) қолданылады.

Қайнайтын қабат көптеген тотықтыру процестерінде, оның ішінде этиленнің тотыққа дейін, нафталин мен ортоксилолдың фтал ангидридіне дейін, күкіртті ангидридтің күкірт ангидридіне дейін және т.б. тотығуында катализатордың сүзетін (қозғалыссыз) қабатына қарағанда неғұрлым технологиялы және экономиялы болып шықты.

Бірқатар өндірістерде технологиялық және кететін газдарды улы және зиянды компоненттерден тазарту зиянды заттарды сусыз заттарға дейін каталитикалық өзгерту арқылы (көмірсутектер мен олардың туындыларын  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ -ге дейін тотықтыру) орындалады. Көптеген жағдайларда кететін шаң бар, ол қозғалмайтын катализатор қабатын тез ластайды. Сондықтан шанданған газдарды тазартуда катализді қайнатйын қабатта жүргізу тиімді болып табылады.

Біздің елде және шет елдерде қайнайтын қабат әдісін қолдану бойынша көп зерттеулер орындалуда.

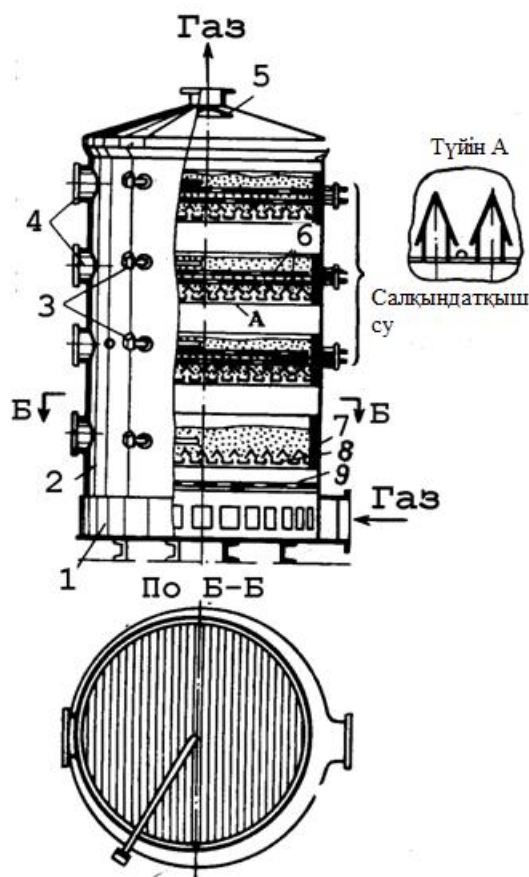
*Қайнайтын қабаты бар реакторлардың конструкциялары*

Күкірт қостотығын 97–99 %-ға дейін тотықтыруда көпсөрелі контактты аппараттар кең таралған. Газдағы  $\text{SO}_2$  концентрациясына байланысты сөрелердің саны 4-тен 6-ға дейін болуы мүмкін.

Төртсөрелі аппарат күкіртті жандыру кезінде алынатын,  $\text{SO}_2$ -нің коцентрациясы 9–10 % (көл.) болатын газды өндеуде қолданылады (1.51-сурет). Бірінші қабаттың температурасы жартылай келетін суық газбен реттеледі. Одан кейінгі қабаттарда тоназытқыштар орнатылған және температура оларға келетін судың мөлшерімен реттеледі.

*Катализатор қабаты жалған сұйылтылған күйде болатын реакторлардың артықшылықтары мен кемшіліктері*

1) қайнайтын қабат әдісі катализатор түйіршіктерінің ішкі бетін ( $d < 1,5$  мм) қолдану нәтижесінде ең алдымен катализаторлардың жұмысының интенсивтілігін арттыруға, қозғалыссыз қабатқа тән болатын диффузия ішіндегі тежелуді толық жоюға мүмкіншілік береді.



1 – газды бірқалыпты енгізуге арналған коллектор; 2 – корпус; 3 – термораралар; 4 – люктер; 5 – ұстағыш; 6 – тоназытқыш элементтері; 7 – футеровка; 8 – жұмыс торы; 9 – газ ағынын реттеуге арналған тор

1.51-сурет – ҚҚ 4 сөрелі аппаратының схемасы

2) Қозғалыссыз қабаттарға тән болатын қабаттар мен жылуалмастыру беттерінде түйіршіктердің кесектер және қабықтар түрінде илектенуі мен пісіп қалуы кезінде пайда болатын, жергілікті қызып кету мен контактты массаның суып кетуін жою салдарынан катализатордың жұмысының интенсивтілігі және оның қызмет ету мерзімі артады.

3) Қайнайтын қабат әдісін қолдану контактты аппараттың кішігірім

болуына және оны автоматтандыруды жеңілдетуге әкеледі.

4) Концентрлі газды өңдеуде ҚҚ аппараттарының жылуалмасу ауданы қозғалыссыз қабатпен салыстырғанда шамамен 20 есе төмендейді.

5) Қайнайтын қабат шаңмен ластанбайды және оны қолдану кезінде гидравликалық кедергі тұрақты болып қалады, ал қозғалыссыз қабаттың гидравликалық кедергісі газды нәзік тазартудың өзінде бір жыл ішінде 1,5–2 есеге артады.

б) Қайнайтын қабаттағы катализатордың улануы қозғалмайтын қабатпен салыстырғанда төмендейді, себебі қозғалмайтын қабат жағдайында темір тотықтарының шаңдары (газ жолдарының коррозиялық шаңы) және мышьяқтың қосылыстары түйіршіктердің бетіне тұнады, оларды экрандайды және катализаторды уландырып, онымен физика-химиялық әрекеттеседі. Ілінген қабатта  $Fe_2O_3$ ,  $As_2O_5$ -тің және басқа заттардың тұрақсыз қабықшалары катализатордың берік түйіршіктерінің бір-біріне үйкелуі кезінде жеңіл жойылады және аппараттан газ ағынымен бірге шығады.

Ұсақ түйіршікті берік катализаторды қолдану контактты аппаратты пневматикалық түрде жеңіл босатуға мүмкіншілік береді.

Сонымен, қайнайтын қабаттың қозғалмайтын қабаттан айырмашылығы процестің жылдамдығы, қабаттың жұмысының уақыт өткенде тұрақты болуы, катализаторды ауыстыру және регенерациялау мүмкіндігі, катализ аймағына жылуды әкету және әкелу әдістерінің өзгеше болуы.

Қайнайтын қабаттың негізгі кемшіліктері:

- шаң ұстайтын құралдардың көп санының болуы;
- түйіршіктердің бір-біріне, реактордың және жылуалмастырғыштың қабырғасына соғылуы және үйкелуі кезінде тозуы;
- аппарат қабырғаларында, түйіршіктердің абразивті қабілеттеріне өте тәуелді болатын, эрозиялардың пайда болуы.

Мысалы, темір-тотықты катализаторлардың түйіршіктері силикагель түйіршіктеріне қарағанда жылдам үйкеліп тозады. Бұл темір тотығының белігілі абразивті қабілетімен байланысты болады.

*ҚҚ аппараттарындағы жылуалмасу.* Ұсақ түйіршікті қайнайтын қабатта каталитикалық процестерді жүргізу жылуалмасудың қабаттың ішінде, сонымен қатар қабат пен жылуалмасу бетінің арасында жоғары интенсивті болуымен сипатталады.

Қайнайтын қабаттағы жылуалмасудың негізгі үш түрі бар:

- 1) катализатор түйіршікері мен газ ағынының арасындағы жылуалмасу;
- 2) қайнайтын қабаттың бір аймағынан екінші аймағына жылудың тасымалдануы;
- 3) қайнайтын қабат пен жылуалмасу беті арасындағы жылуалмасу.

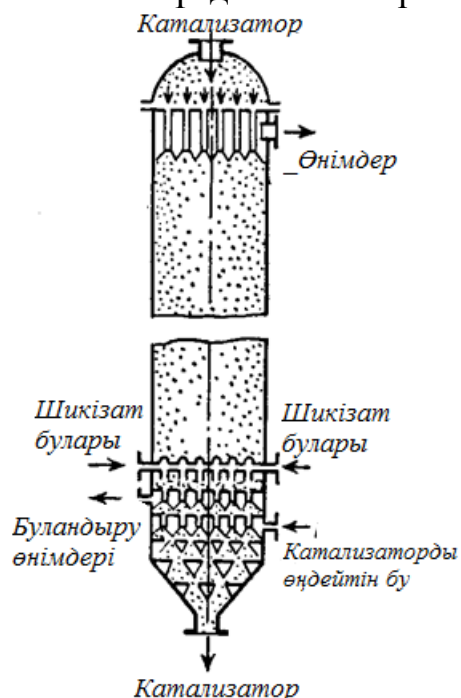
Жылуалмасу бұндай беттеріне аппарат қабырғасы, жылытқыш немесе салқындатқыш жылуалмастырғыштардың беттері және т.б. болуы мүмкін.

Катализатор түйіршіктерінің қайнайтын қабатынан жылуалмасу бетіне (немесе кері бағытта) жылудың тасымалдануының жоғары интенсивтілігі қайнайтын қабаты бар каталитикалық процестердің қозғалмайтын қабаттардан ең басты артықшылығы болып табылады.

Қайнайтын қабаттың қозғалмайтын қабатпен салыстырғандағы жылу беру коэффициентінің артуы қабырғаның маңында қатты бөлшектердің қозғалысының болуымен түсіндіріледі. Бұл кезде жылу беру коэффициентіне әсер ететін газ қабықшасының шекаралық қабатының қалыңдығы төмендейді. Бөлшектердің интенсивті араласуы жылу тасымалдауды жақсартатын жоғары температуралық ауытқуды қамтамасыз етеді.

Жылу беру коэффициенті газ бен катализатор түйіршіктерінің физикалық қасиеттеріне, сонымен қатар жылуалмасу бетінің конструктивтік ерекшеліктеріне тәуелді болады.

Катализатор қабаты қозғалатын күйде болатын реакторлар (1.52-сурет).



1.52-сурет – Катализатор қабаты қозғалатын күйде болатын реакторлар

Түйіршіктелген катализатордың қозғалатын қабаты процесі үздіксіз жүргізуге мүмкіншілік береді. Катализатордың пішіні әдетте ұсақ шарлар түрінде болады. Аппараттың корпусының үйкеліп тозуын төмендету үшін катализатордың жылдамдығы төмен және 12–48 см/мин болады. Катализатор ауырлық күшінің әсерінен үстінен астына қарай жылжиды, яғни реагенттер мен катализатордың жылжуы тура ағысты немесе қарсы ағысты болуы мүмкін.

Катализатор қозғалатын күйде болатын реакторлар жалған сұйылтылған қабаты бар реакторлар тәрізді реагенттерде, регенератордан және катализатор жолынан тұрады.

Катализаторды бір қайтара және екі қайтара көтеруді қолданатын схемалар қарастырылған. Катализаторды көтеру пневмотранспортпен немесе шөмішті элеватордың көмегімен механикалық түрде орындалады.

Катализатор қабаты қозғалыста болатын аппараттардың заңдылықтары катализатор қабаты қозғалыссыз күйде болатын аппараттардың заңдылықтарына ұқсас болады. Тек қана қозғалыссыз қабаттың кеуектілігі 0,4 болатынын атап кету қажет. Отандық өнеркәсіпте катализатор қабаты

қозғалыста болатын аппараттар негізінде мұнай өңдеу өнеркәсібінде кең қолданыс тапқан.

Жалған сұйылтылған қабат тәртібінде өз тиімділіктерін тез жоятын катализаторлар қатысында ұзақ мерзімді процестерді жүргізу тиімсіз болады. Бұндай катализаторлардың белсенділіктерін қамтамасыз ету әдісіне қозғалатын қабаты бар реакторларды қолдану болады. Бұл жағдайда түйіршіктелген катализатор реактордың бойында жылжиды, бұл жаңа катализаторды үздіксіз енгізуге мүмкіншілік береді, яғни жұмыстың ұзақ мерзімінде каталитикалық белсенділіктің тұрақты болуын қамтамыз етеді. Катализатор қабаты қозғалатын қондырғының схемасында реактордың қасында орналасатын немесе біріктірілген аппарат түрінде болатын регенератор қарасырылады. Сондықтан регенерацияланған катализатор бірден реакторға қайтарылады. Катализатордың циркуляциясы оның катализатор қабаты қозғалатын реактордағы белсенділігінің белгілі деңгейін қамтамасыз ету үшін қажет.

### Бақылау сұрақтары

1. Химиялық реактор дегеніміз не және ол не үшін қолданылады?
2. Реактордың бірнеше түрлерінің схемасын салыңыздар. Олардың біреуінде реактордың құрылымдық элементтерін көрсетіңіздер.
3. Химиялық аппараттардың міндеті.
4. Химиялық реакторлардың жіктелуі.
5. Аппараттардың жұмысының негізгі технологиялық сипаттамалары.
6. Өртүрлі гидродинамикалық тәртіпті реакторлардың сипаттамасы.
7. Химиялық өнеркәсіптің реакторлары. Мысалдар келтіріңіздер.
8. Өнімділік, қуаттылық, интенсивтілік дегеніміз не?
9. Бір-бірімен қалай байланысқан:
  - а) Өнімділік және реагенттің өзгеру дәрежесі;
  - б) Өнімділік және мақсатты өнімнің шығуы?
10. «Технологиялық тәртіп» түсінігінің анықтамасы.
11. Каталитикалық реакциялар үшін реакторлар, олардың жіктелуі.
12. Қайтымсыз реакцияның жылдамдығы концентрациямен және өзгеру дәрежесімен қандай байланыста болады (теңдеу, график)?
13. Қайтымсыз реакцияның жылдамдығы температураға қандай тәуелділікте болады (теңдеу, график)?
14. Қайтымды реакцияның жылдамдығы өзгеру дәрежесімен қандай байланыста болады (теңдеу, график)?
15. Химиялық реакциялардың жылдамдығына температура қалай әсер етеді?
16. Сұйық-сұйық жүйе үшін арналған реакторлардың жіктелуі.
17. Сұйық-сұйық жүйесінің идеалды ығыстыру реакторының құрылысы, жұмыс істеу принципі, қолданылу аймағы, артықшылықтары мен кемшіліктері.
18. Колонналы типті реакциондық аппараттың құрылысы, жұмыс істеу

принципі, қолданылу аймағы, артықшылықтары мен кемшіліктері.

19. Газ – қаты жүйесінің каталитикалық емес реакцияларына арналған реакторлардың жіктелуі.

20. Катализатор қабаты қозғалмайтын күйде болатын реакторлардың құрылысы, жұмыс істеу принципі, қолданылу аймағы, артықшылықтары мен кемшіліктері.

21. Катализатор қабаты қайнайтын күйде болатын реакторлардың құрылысы, жұмыс істеу принципі, қолданылу аймағы, артықшылықтары мен кемшіліктері.