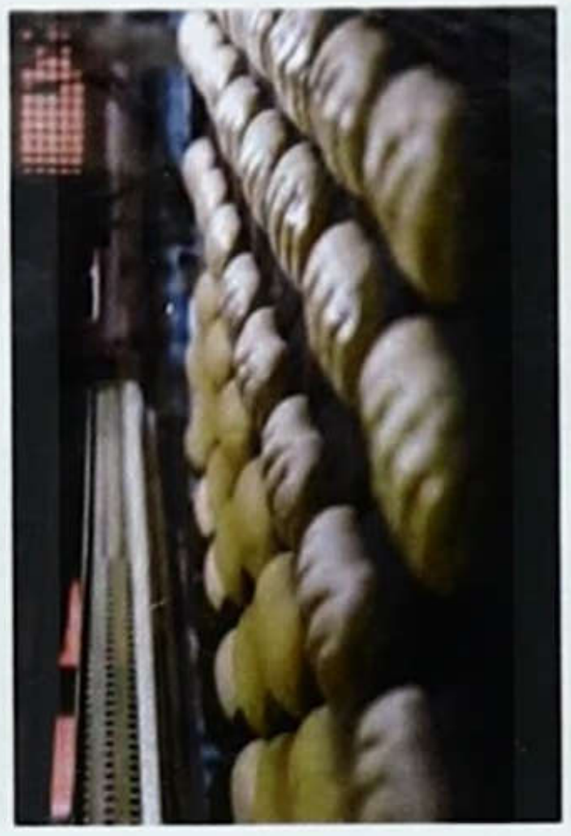
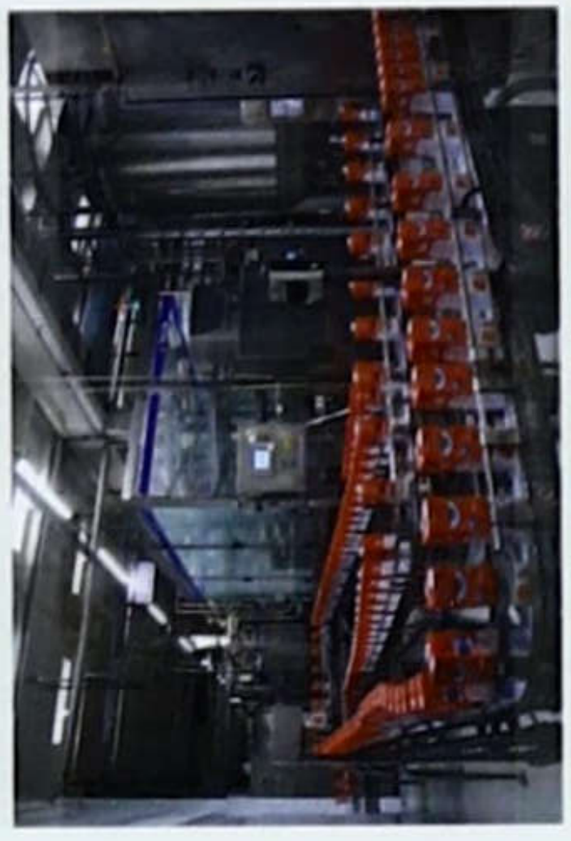
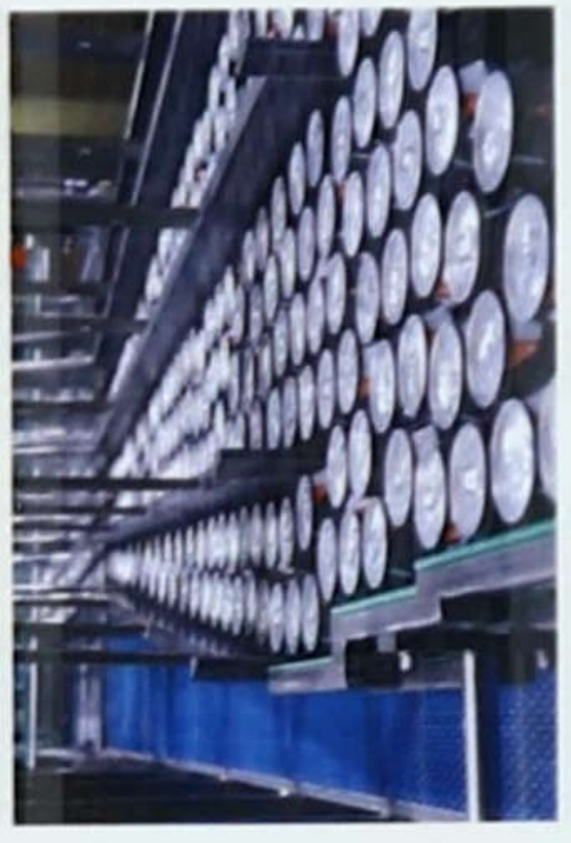
Қ. Күзембаев, Е. Медведков, Г.Кузембаева

ТАМАҚ ӨНДІРІСІНІҢ процестері мен аппараттары



36.8181
К92

36.81я7
К92

Қ. Кузембаев, Е. Медведков, Г.Кузембаева

ТАМАҚ ӨНДІРІСІНІҢ ПРОЦЕСТЕРІ МЕН АППАРАТТАРЫ

Алматы, 2021

УДК 663/664 (075.8)
ББК 36 я73
К92

Қазақстан республикасының БжҒМ Алматы технологиялық университеті Ғылыми-әдістемелік кеңісінің шешімімен баспаға ұсынылды

Рецензенттер:
техника ғылымдарының кандидаты, профессор Сабралиев Н.С.;
техника ғылымдарының кандидаты, профессор Жаманбаев М.А;
"Line Brew Bottlers" ЖШС өндіріс директоры Овсепян Д.Р.

Қ. Күзембаев, Е. Медведков, Г.Кузембаева.
Тамақ өндірісінің процестері мен аппараттары. Оқу құралы.
– Алматы: ТОО Лантар Трейд, 2021 – 272 б.

ISBN 978-601-7659-86-8

"Тамақ өндірісінің процестері мен аппараттары" - бұл тамақ өнімдерін өндіруге арналған жаңа технологиялар мен жабдықтарды жасауға және қолданыстағы технологияларды жетілдіруге мүмкіндік беретін ғылыми және инженерлік білімдердің жиынтығы. Оқу құралында тамақ өнеркәсібі процестерінің теориялық негіздері, механикалық, гидравликалық, жылулық және гидромеханикалық процестердің заңдылықтары қарастырылған. Оқулықта іске асырылатын процестердің ғылыми негіздері және жабдықтың маңызды сипаттамаларын инженерлік есептеулері ұсынылған. Механикалық, жылу және масса алмасу, гидравликалық және гидромеханикалық процестерді жүргізуге арналған құрылғылар сипатталған.

Оқу құралы ЖОО-ның студенттері мен магистранттарына және өндіріс қызметкерлеріне арналған.

Қорқыт Ата атындағы
Қызылорда университеті»
Ғылыми-техникалық кітапханасы
Тіркеу № 705313

УДК 663/664 (075.8)
ББК 36 я73

ISBN 978-601-7659-86-8

© Авторлар ұжымы, 2021
© ТОО Лантар Трейд, 2021

КІРІСПЕ

Қазақстан республикасының Президентінің халыққа жолдауында «Біздің ауқымды алқаптарымыз, ауыл шаруашылығы жерлеріміз - орасан зор әлеуетіміз. Көптеген өлшемдер бойынша біз Канада мен Австралияға ұқсаспыз, бізге тек бір нәрсе - олардың өнімділігі мен экспорттық әлеуеті жетіспейді. Бұл жерде де, тағы да, ең бастысы - нақты және тиімді стратегия, адамдар мен капитал» деп анықтады [1].

Бірақ әзірге тек рыноктың күшіне ғана сенуге болмайды. Үкімет диверсификацияның пәрменді индустриялық саясатына кірісіп, назарды макроденгейден микроденгейге аударуға тиіс. 2010 жылға дейінгі бастапқы кезеңде өз мүмкіндіктері мен бәсекелестік қабілеті тұрғысынан келешегі бар еңбекті қажет ететін салаларға көңіл бөлу керек. Бұл, басымдық тәртібімен айтар болсақ — ауыл шаруашылығы, орман және ағаш өңдеу өнеркәсібі, жеңіл және тамақ өнеркәсібі, туризм, тұрғын үй құрылысы және инфрақұрылым жасау[1].

Біздің әрқайсымыз тамақтану мен ауызсуға ерекше көңіл бөлуге тиіспіз. Біздің мамандарымыз қалай дұрыс тамақтану керек екенін, табыс дәрежесіне қарай өз рационын қалай құру керек екенін, қазіргі заманғы жеке басының тазалығы ережелерін орындауды, сапасы төмен ауызсудың зиянын қалай тигізбеуді бұқаралық ақпарат құралдары арқылы түсіндіруден жалықпауы керек. Кез келген сапасыз тамақ өнімдерін өткізушілер мен жасап шығарушыларға, табиғи ор-аны ластаушылардың бәріне берік және қат-қабат тосқауыл қойылуы қажет[1].

«Біз қазірдің өзінде астық дақылдарын аса ірі экспорттаушылар қатарына ендік. Бізде аса ірі экологиялық таза аумақтар бар және экологиялық таза тағам өнімдерін шығара аламыз. Ауыл шаруашылығы өнеркәсібінде сапалы секіріс жасау толықтай қолымыздағы нәрсе. Бұл үшін бізге жаңа тұрпаттағы мемлекеттік ой-сана қажет болады» деді өзінің халыққа арналған жолдауында Ел Президенті Н.Ә.Назарбаев [2].

Тамақ өнеркәсібі ауыл шаруашылығымен, машина жасаумен, саудамен, көлікпен тығыз байланысты. Ондағы наубайханалар, сүт, ет, көкөніс зауыттары барлық жерде жұмыс істейді.

Көптеген кәсіпорындар көлемі үлкен, қымбат құрал-жабдықтар пайдаланады. Сонымен қатар кішігірім зауыттар (май

шайқайтын, шұжық шығаратын цехтар) де бар. Тамақ өнеркәсібі - тұтас салалар кешені. Оның орналасуына шешуші әсер ететін негізгі екі фактор - *шикізат* және *тұтыну*. *Материалды көп қажет ететін* салаларында дайын өнім бірлігін шығаруға кететін шикізат шығыны үлкен.

Шикізат факторының әсерін көрсететін нақты мысалға - *қант өнеркәсібі* (Алматы, Жамбыл) географиясын жатқызуға болады. Біздің елімізде «*тәтті өнімді*» дәстүрлі түрде қант қызылшасынан өндіреді.

Шикізат базаларына *май айыру өндірісі*, яғни өсімдік майын алу бағытталып орналасады. Қуатты зауыттар күнбағыс өсірілетін (Өскемен), мақта мен мақсары өсірілетін (Шымкент) аймақтарда орналаскан. Алматы мен Ақтөбенің зауыттары негізінен тасымалданып әкелінген майды бөлшектейді.

Жеміс-көкөніс өнеркәсіб тез бұзылатын өнімдер - көкеніс, жеміс өңдеумен айналысады. Ол толығымен дерлік Қазақстанның оңтүстігінде, әсіресе, Алматы облысында орналаскан.

Шикізат кезіне бағытталатын салалардың ішінде балық өнеркәсібі ауыл шаруашылығымен тікелей байланыспағандықтан, ерекше сипатқа ие. Ол ірі көлдердің, су қоймалары мен өзендердің балық қорларын пайдаланады. Саланың басты кәсіпорны - «Атыраубалык» АҚ. Осы кәсіпорын ғана бекіре балықтарының уылдырығын өңдейді.

Тұтыну орындарына өндірістік өңдеуден өткен шикізатты пайдаланатын салалар таяу орналасады. Олардың өнімдері нашар сақталатын (торт, пирожный, басқа да кондитерлік өнімдер, нан) немесе жасалған шикізатынан тасымалдануы қиын болып келеді.

Нан жабу барлық елді мекендерде бар. *Кондитер, макарон өнімдері* өндірісінің де кеңістікте таралу осыған ұксайды. Ең ірі кондитер өндірісі – Алматы мен Қостанайда, шай – Алматыда, макарон енімдері – Пертропавл қаласында орналаскан.

Тамақ индустриясының бірқатар салалары шикізатқа да, тұтынушыға да бағытталып жұмыс істейді. *Ұн тартатын өнеркәсіптер* астық өңдеумен айналысады.

Сүт өнеркәсібінің бастапқы сатылары (пастерленген сүт, қаймақ, кілегей, айран шығару) тұтынушыға таяу орналасады. Оның соңғы сатылары, мысалы, *май шайқау* (мал майы және сары май дайындау) мен *ірімшік жасау* кеп сүт алынатын жерлерде

көбірек дамыған. Еліміздің ең «сүтті» аудандары - Солтүстік пен Оңтүстік.

Ет өнеркәсібінің орналасуы екі жақты болып келеді. Ет өнімдерін даярлау (шұжық, жіңішке шұжық, орама, сүрленген шошқа еті, т.б.) өнімді пайдаланатын орталықтарға орналстылса, ал ет консервілерін (бұқтырылған ет) өндірісі - шикізат көзіне таяу орналасады. Бірақ көбінесе бұл өндірістер бір кәсіпорындарға - комбинаттарға біріктіріледі.

Тамақ өндірісінің шикізат пен жартылай фабрикаттарды өңдеуге арналған әдістерінің барлық алуан түрлі процестерін төрт топқа бөлуге болады.

Бірінші топ- механикалық- жылуфизикалық өндіріс. Бұл ұн-жарма, макарон, кондитерлік, консерві және басқа да өндірістерден тұратын тамақ кәсіпорындарының ең ауқымды тобы.

Өндірістің осы тобы технологиясының негізінде механикалық процестер жатыр: араластыру және бөлу, жіктеу, ұсақтау, қысыммен өңдеу (булау, біліктеу, штамптау), түрлі жылу-масса алмасу процестері (кондиционерлеу, кептіру, қуыру, стерилизациялау және т.б.).

Екінші топ-физика-химиялық өндіріс. Олар үшін ортақ шикізаттан пайдалы заттарды алудың физикалық тәсілдері және оларды одан әрі өңдеудің химиялық әдістері болып табылады. Негізгі технологиялық процесс диффузия немесе экстракция болып табылады. Крахмалды алу кезінде шикізатты ұсақталған массадан сумен жуу қолданылады. Диффузия (экстракциялар) әдісімен қант қызылшасынан, жемістерден және жидектерден шырын алады, майлы тұқымнан өсімдік майы өндіріледі.

Үшінші топ- ашыту өндірісі. Мұнда жетекші процесс ашыту болып табылатын өндірістер жатады: нан және нан жабу, ашытқы дайындау, ашыған сүт өнімдерін, сыра, жүзім шарабы, спирт, әлсіз алкогольді сусындар және т. б. өндіру.

Өндірістің бұл тобының ерекшелігі көмірсулардың ашуын тудыратын микроорганизмдерді технологияда пайдалану болып табылады. Микроорганизмдердің өмірлік көріністері (заттардың синтезі, көбеюі және т.б.) органикалық заттардың тотығуы кезінде алынатын энергия шығындарымен байланысты. Кейбір микроорганизмдер тыныс алу үшін көмірсутектерді (парафиндер, метан) пайдалана алады. Тыныс алу ауа оттегінің қатысуымен

(аэробты тыныс алу) және ауа оттегінің қатысуынсыз (анаэробты тыныс алу) болуы мүмкін. Тамақ өндірісінің технологиясында тыныс алудың екі түрі де қолданылады. Анаэробты тыныс алу құрамында этил спирті бар (алкоголь сусындарын, спирт және т.б. өндіру), аэробты — микробиологиялық шикізатты (нан жабу және жем ашытқылары, ферменттік препараттар, кейбір витаминдер және т. б.) өндіру кезінде пайдаланылады.

Төртінші топ-химиялық реакциялар жетекші буыны болып табылатын химиялық өндіріс. Бұл топқа органикалық емес және биологиялық катализаторларды қолдана отырып крахмал гидролизі арқылы тағамдық глюкозадан сірне алу, гидрогенизация әдісімен әртүрлі майлы өнімдерді алу, этилен мен т. б. табиғи газды гидраттау жолымен этил спиртін алу сияқты бірқатар маңызды өндірістер жатады.

Қазақ халқы тамақ өнімдерін өңдеу, сақтау технологияларына ертеден көңіл бөлген. Қазақ халқы көптеген ғасыр бойы ет және ашыған сүт өнімдерін өңдеу мен дайындаудың мол тәжірибесін жинақтаған. Соның ішінде қазақтың ұлттық асүйіндегі ең танымал өнім ет. Еткөптеген тағамдардың негізі, кез-келген дастарханмен безендірілген ет өнімдері, ет тағамдарының көлемі бойынша мерекелік дастарханның байлығы мен алуан түрлілігі туралы айтылады. Халықтың өмір сүру салтының ерекшелігі тамақ дайындау тәсілдеріне де әсер етті. Сонымен бірге азық-түлікті дайындау және ұзақ уақыт сақтау мәселелеріне де көңіл бөлінген. Етті қайнату, тұздау, ыстау процестерін – қазы, шұжық, жал, жая, карта және т. б. дайындау кезінде пайдаланған.

Сүт және сүт өнімдерін өңдеу тәсілдері де кеңінен пайдаланылды. Әсіресе ашытылған сүт өнімдерін өңдеу технологияларының тиімді тәсілдері енгізілген. Себебі сүтті қайнатып, кептіру арқылы ірімшік жасалынса, ашыған сүзбені ылғалсыздандырып құрт дайындаған. Нан жабу процестерін таба нан, қазанжаппай, күлше т.б. жабуда пайдаланған. Нан өнімдерін ұзақ сақтау және сапасын арттыру үшін қамыр дайындамаларын майлы ортада жылумен өңдеп байурсақтың көптеген түрлерін, шелпек және т.б. өнімдер пісірілген.

Астық өнімдерін ылғалмен, жылумен өңдеу арқылы қуырылған бидай, тары, талқан және жент сияқты өнімдер дайындалған.

Осы қысқа ғана мысалдардан көретініміз елімізде тамақ өнімдерін дайындауда көптеген процестер мен аппараттар туралы мол мәліметтер барын байқаймыз.

Тамақ өндірісінің процестері мен аппараттары ғылымы үлкен жұмыс нәтижесінде құрылды, мысалы 1897 жылы Д. И. Менделеев "Фабрикалық істің негіздері" кітабында бірінші рет процестерді жіктеді. Ары қарай бұл идеяларды Ресей ғалымдары А. К Крупский, И. А. Тищенко және басқа ғалымдар дамытты. Ресейде 1913 жылы проф. И. А. Тищенко "Основные процессы и устройства химической технологии", Кейінірек профессор А. Г. Касаткиннің кітаптары жарық көрді, А. Н. Плановский, Кафаров, Льюис, Уокер, Шервуд, Ричардсон және т. б. ғылымның дамуына елеулі үлес қосқанын процестер мен құрылғыларды құру мен дамытуға қосқан үлесін атап өтуге болады.Мұндай игілі істермен Қазақстан ғалымдары да ат салысты. Солардың ішінде Ахбердиев Ә., Молдабеков Ш. М. «Химиялық технологияның негізгі процестері және аппараттары» Медведков Е.Б. «Процессы и аппараты пищевых производств» оқулықтарын, академик Шоманов Ө. және т.б. ғалымдардың еңбегін атауға болады.

Технология дегеніміз технологиялық процестерді жүргізу үшін физика, химия, биология және басқа да базистік ғылымдар заңдары мен заңдылықтарын тәжіріибе жүзінде пайдалану туралы ғылым.

Тамақ технологиясында әртүрлі процестер жүзеге асырылады және бұл кезде бастапқы шикізаттардың агрегаттық күйінің, ішкі құрылымы мен құрамы бірқатар өзгеріске ұшырайды. Химиялық реакциялармен бірге көптеген механикалық, физикалық және физика-химиялық (газдарды, сұйықтықтарды, қатты материалдарды араластыру; ұсақтау және жіктеу; заттарды қыздыру, салқындату және араластыру; сұйық және газды біртекті емес қоспаларды бөлу және т.б.) процестер орын алады. Осы процестердің дұрыс өтуі өңделінетін өнімге кететін шығындардың төмендеуіне, сапасының артыуына тікелей әсер етеді.

Кез келген процесті жүзеге асыру үшін машиналар мен аппараттар қажет, яғни процесс белгілі бір аппаратуралық тәсілмен безендірілуі тиіс. Процестер ішіндегі механикалық қозғалыстарды орындайтын құрылғы машина деп аталады. Өңделетін шикізатты түрлендіруге арналған, оның мөлшерін,

нысанын, қасиеттерін немесе күйін өзгертуден тұратын машиналар мен аппараттар технологиялық деп аталады. Өзінің технологиялық мақсаты мен конструктивтік ресімделуі бойынша ерекшеленетін машиналар мен аппараттар негізінен типтік бөлшектер мен тораптардан тұрады.

Машиналарға ғана тән ерекшеліктерге жұмыс органдарын, біліктерді, подшипниктерді, корпусты (станиналарды), жетекті және т. б. қамтитын қозғалмайтын және қозғалатын элементтердің болуы болып табылады.

Технологиялық аппараттар әдетте қозғалмайтын: жақтаулар, қақпақтар, тіректер, фланецтер және т. б.элементтерден тұрады. Аппарат әртүрлі механикалық құрылғылармен жабдықталған сиымдылық болып табылады. Сорғылар, компрессорлар, сүзгілер, центрифугалар, жылу алмастырғыштар мен кептіргіштер әртүрлі комбинацияларда көптеген тамақ өндірісінің типтік жабдықтарын құрайтын негізгі аппараттар мен машиналар қатарына жатады.

Сонымен, "Тамақ өндірісінің процестері мен аппараттары" пәнінде негізгі процестердің теориясы, технологиялық процестерді жүргізу үшін қолданылатын аппараттар мен машиналарды есептеу әдістері мен құрылғы принциптері оқытылады.

Пәнді оқыту мақсаты-тағам өндірісінің технологиялық процестері мен аппараттарын инженерлік есептеу әдістері мен техникалық іске асыру принциптері, заңдылықтары туралы білімді қалыптастыру.

Пәннің міндеттері:

* физика мен химияның іргелі заңдары негізінде әр түрлі тағам өндірісінде өтетін жалпы процестер туралы білімді қалыптастыру;

* тамақ өндірісі аппараттарын жетілдіру және үдерістерді рационализациялау бойынша дағдыларды қалыптастыру;

* негізгі техникалық мәселелерді, ғылыми жетістіктерді және тамақ өнімдерін өңдеудің жаңа физикалық әдістерін қолданудың заманауи тенденцияларын жариялау бойынша қабілеттілікті қалыптастыру.

Оқу жоспарындағы оқу пәнінің орны. "Тамақ өндірісінің процестері мен аппараттары" пәнін меңгеру студенттердің математика, физика, теориялық және қолданбалы механика,

гидравлика, термодинамика, физикалық химия және т. б. салаларында алған білімдері мен іскерліктеріне негізделеді.

Пәнді оқу нәтижесінде студент мынаны игеруі тиіс:

* стационарлық және стационарлық емес технологиялық процестерді есептеу әдістерін меңгеру;

* аппараттардың жұмыс органдарының геометриялық өлшемдерін анықтаудың есептік әдістері;

* тамақ өнеркәсібінде қолданылатын процестерді практикалық жүзеге асырудың теориялық негіздері мен тәсілдері;

* процестерді басқару және олардың режимдерін оңтайландыру әдістері;

қажетті дағдылар

* негізгі процестер мен аппараттарды есептеу үшін жылудың, массаның және қозғалыс санының негізгі заңдарын қолдану;

* технологиялық процестің ерекшеліктеріне ең көп жауап беретін қазіргі заманғы аппараттар мен машиналарды таңдау және жобалау;

* аппараттардың технологиялық процесс шарттарына сәйкестігін инженерлік есептермен растау;

* процестерді жүзеге асырудың оңтайлы шарттарын анықтау мақсатында аппараттардың жұмысын зерттеу;

* тамақ өндірісінің процестері мен аппараттары дамуының негізгі ғылыми және техникалық мәселелері мен үрдістері;

* жылудың, массаның және қозғалыс санының негізгі заңдары;

* тиісті процестерді іске асыруға арналған аппараттардың құрылғылары;

• әр түрлі тағам өндірісінің технологиялық процестерінің теориялық негіздері;

• қазіргі заманғы машиналар мен аппараттардың мақсаты, қолданылу саласы, жіктелуі, әрекет принципі және таңдау критерийлері;

* процестер мен аппараттарды зерттеу әдістері, үлгілерден өнеркәсіптік қондырғыларға өту заңдылықтары.

1. ЖАЛПЫ МӘЛІМЕТТЕР

1.1. Тамақ өндірісі процестерінің жіктелінуі

«Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары» пәнінің даму нәтижесінде барлық технолгиялық процестерді төрт топқа бөлуге болады:

1. Жылу процестері - өту жылдамдығы жылу өту (жылуды тарату тәсілдері жөніндегі ғылым) заңдарымен анықталады. Жылу процесіне төмендегі процестер жатады : жылыту;суыту; конденсациялау; балқыту; қатыру; буландыру. Процестің қозғаушы күші – температуралар айырмасы болады.

2. Массаалмасу (диффузиялық) процестері. Мұндай процестер қоспаның бір немесе бірнеше құрастырушыларының бір фазадан екінші фазаға өтуімен сипатталады. Массаалмасу процесіне төмендегі процестер жатады: абсорбция; ректификация (айдау); экстракция; адсорбция; кристализация; кептіру. Процестің қозғаушы күші – концентрациялар айырмасы болады.

3. Гидромеханикалық процестер - өту жылдамдығы гидродинамиканың (сұйықтар мен газдардың қозғалысы жөнінедегі ғылым) заңдарымен анықталады. Гидромеханикалық процестерге төмендегі процестер жатады: сұйықтарды тасымалдау; газдарды тасымалдау; сығу; тұндыру; центрифугалау; араластыру; сүзу. Процестің қозғаушы күші қысымдар айырмасы болады.

4. Механикалық процестер - өту жылдамдығы химиялық кинетикалық заңдарымен анықталады. Механикалық процестерге төмендегі процестер жатады: қатты денелерді ұсақтаужәне кесу; іріктеу немесе сұрыптау; престеу.

Ұйымдастыру тәсілі бойынша негізгі процестер былай жіктеледі:

1. Мерзімді әрекеттегі процестер. Белгілі уақыт ішінде аппаратқа шикізат материалы жүктеліп, ол өңделіп болған соң, аппараттан дайын өнім алынады да, аппаратқа жаңадан шикізат жүктеледі. Мұндай кезде процестің барлық сатысы бір жерде (яғни бір аппаратта) бірақ әртүрлі кезеңде өткізіледі.

2. Үздіксіз әрекетті процестер. Аппаратқа шикізатты жүктеу және одан дайын өнімді алу үздіксіз болады. Мұндай процестің барлық сатысы (стадиясы) бір уақытта, бірақ аппарат көлемінің

әртүрлі нүктелерінде өткізіледі. Сонымен аппарат көлемінің әр нүктелеріндегі температураның, қысымның, концентрацияның және т.б. параметрлерінің мәні уақыт бойынша өзгермейді.

Үздіксіз әрекеттегі процестердің мерзімді әрекеттегі процестерге қарағанда мынадай артықшылықтары бар: а) дайын өнім үздіксіз алынады; б) процесті механикаландыру және автоматтандыру оңай; в) процестің өту режимі тұрақты болғандықтан алынатын өнімнің сапасы біркелкі боладыі; г) жабдықтың ықшамдылығы, яғни материалдық және эксплуатациялық шығындары аз; д) аппараттың жұмысында үзіліс болмағандықтан, берілетін (немесе алынатын) жылу толығымен пайдаланылады және аппараттан шықан жылуды қосымша пайдалану мүмкіндігі бар.

Уақыт бойынша параметрлердің өзгеруіне байланысты процестерді былай ажыратуға болады: тұрақталған; тұрақталынбаған. Тұрақталынған процестерде кез келген параметрдің мәні уақыт бойынша тұрақты, ал тұрақталынбаған процестерде айнымалы болады.

1.2. Материалдық және жылу баланстарының теңдеулері

Материалдық және жылу баланстарын құру негізінде масса мен энергияны сақтау заңдары жатыр. Баланс теңдеулерін құру принципі теңдеулердің сол жақ бөлігінде массаның (жылудың) кіріс ағындарын, ал оң жақ бөлігінде - шығыс ағындарын жазады.

Мысалы, аппаратта қандай да бір процесс бар деп есептейік. Аппаратқа A, B, C компоненттері түседі де процесс нәтижесінде аппаратта D және E компоненттері қалыптасады (1.1).

$$m_A + m_B + m_C = m_D + m_E, \qquad (1.1)$$

мұндағы m – заттың массасы, кг (кг/с).

Аппаратта қандай да бір процесс жүреді делік. Аппаратқа A, B, C компоненттері келіп түседі, нәтижесінде D және E компоненттері қалыптасады. Энегияның сақталу заңы бойынша (1.2)

$$Q_A + Q_B + Q_C + Q_{ішж} = Q_{шыг} + Q_D + Q_E \qquad (1.2)$$

мұндағы Q-жылу ағыны, Дж (Вт); $Q_{шығ}$ - қоршаған ортаға таралған жылу шығыны; $Q_{ішж}$ - химиялық реакция есебінен (егер болса) пайда болған ішкі жылу.

1.3. Процестерді оңтайландыру туралы түсінік

Оңтайландыру-бұл процестің оңтайлы жағдайын таңдау. Бұл шарттарды анықтау оңтайландыру критерийін таңдауға байланысты. Процестің зерттелетін сипаттамалары арасында күрделі өзара байланыс бар, бұл процестің тиімділігін жан-жақты сипаттайтын бірыңғай критерийді таңдауды қиындатады. Негізгі сипаттамалар, әдетте, олардың бірі бойынша тиімділіктің өсуі процестің тиімділігін басқа сипаттамалар бойынша төмендетеді.

Оңтайландырудың экономикалық критерийлері ең әмбебап болып табылады. Экономикалық критерийді оңтайландыру үшін келесі мысалда қарастырайық. Жылу алмастырғыштардың әртүрлі конструкцияларының тиімділігін салыстырамыз. Жылу алмастырғыштардың жұмысының маңызды көрсеткіші жылу-гидродинамикалық (энергетикалық) критерий болып табылады, ол механикалық энергияның қандай бөлігін жылу алмастырғыш аппарат арқылы жылжыту үшін жұмсау қажет екенін көрсетеді. Қажетті жылу алмасу қамтамасыз етілетін жағдайлар жасалады (1.3).

$$E=Q/N, \qquad (1.3)$$

мұндағы Q-жылу алмасу беті арқылы берілетін жылу мөлшері; N-жылу алмастырғыш арқылы сұйықтықты жылжытуға арналған қуат шығыны.

Энергетикалық коэффициент пластиналы жылу алмастырғыштарда барынша жоғары. Содан кейін спиралды және одан әрі — құбырлы аппараттарда.

Экономикалық өлшемнің көмегімен оңтайландыруды жүзеге асыру кезінде аппараттарды жөндеу және қызмет көрсету шығындарын ескеру қажет. Сондықтан, Е энергетикалық коэффициенті аппараттың оңтайлы құрылымын анықтау үшін

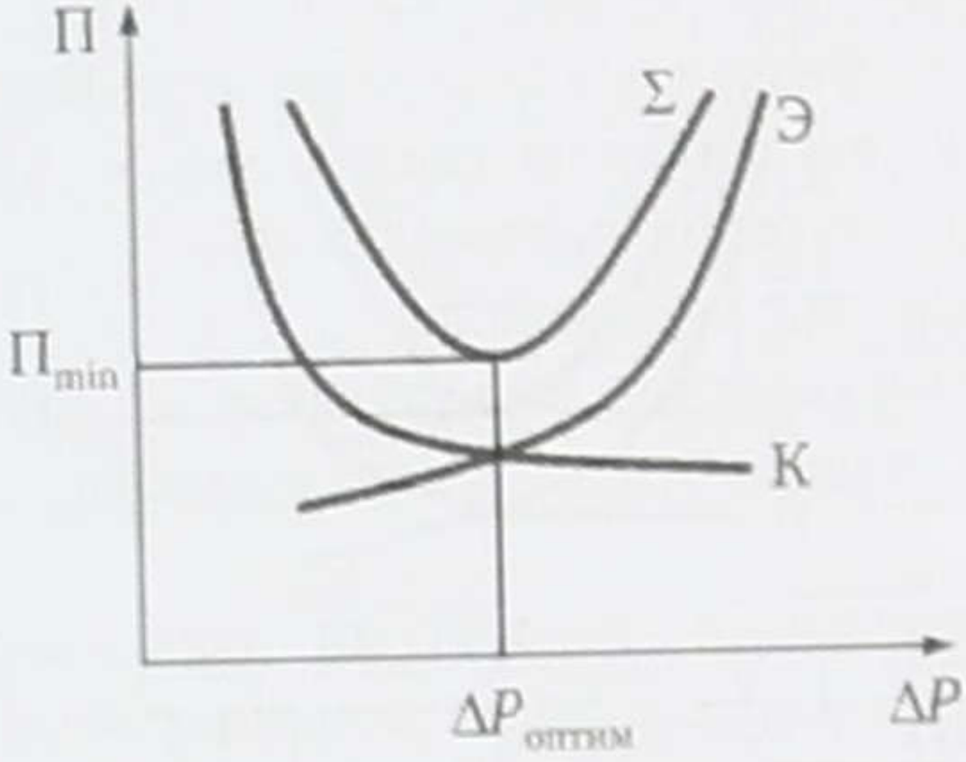
қажетті, бірақ жеткіліксіз болып табылады. Ол техникалық-экономикалық көрсеткіштермен толықтырылуы тиіс.

Сондықтан оңтайландырудың әмбебап өлшемі ретінде экономикалық критерий пайдаланылуы мүмкін (1.4):

$$П = Э + \frac{К}{\tau} \rightarrow \min, \qquad (1.4)$$

мұндағы: П— оңтайландыру көрсеткіші; Э- ағымдағы шығындар (электр энергиясының, амортизацияның және ағымдағы жөндеудің құны); К-күрделі шығындар (жеткізу және монтажға жұмсалатын шығындарды есепке ала отырып, жабдықтың құны); τ-өтелімділік мерзімі.

Жылу алмастырғыштың жұмысын бағалау үшін осы критерийді қолдануды қарастырайық. Жылдамдық ұлғайған кезде, демек, ΔР гидравликалық кедергісі сұйықтықты қайта айдау үшін электр энергиясының шығындары өседі. Нәтижесінде Э пайдалану шығындары да өседі (сурет. 1.1).



1.1- Сурет. П-ның ΔР – ға тәуелділігі

Жылдамдықтың ұлғайуына байланысты жылуалмасу коэффициенті артады, жылуалмасу бетінің ауданы төмендейді, сондықтан аппараттың құны мен күрделі шығындар К төмендейді. Осының нәтижесінде жиынтық шығындар $\sum$ кейбір $ДР_{опт}$ кезінде минималды мәнге ие болады. Осындай мәнді сорғыны таңдау кезінде басшылыққа алу керек.

1.4. Процестерді модельдеу және олардың ұқсастықтары

Аппараттардың технологиялық режимдері мен конструкцияларын әзірлеу кезінде тәжірибелік қондырғы — модельдерде зертханалық жағдайларда алдын ала зерттеулер қажет. Тек үлгілеу нәтижелерін өңдегеннен кейін ғана аппараттардың жаңа үлгілерін жасауға кірісу керек. Модельдерде нақты шарттарды жүргізу процесі модельдеу деп аталады. Моделдеу физикалық және математикалық деп бөлінеді. Физикалық модельдеуде түпнұсқаның физикалық мәні сақталады. Математикалық модельдеуде физикалық өзге құбылыстар жүргізілуі мүмкін, бірақ алынған теңдеулер түпнұсқадағы процесті сипаттайды.

Физикалық және математикалық модельдеу ұқсастық теориясына негізделген. Ұқсастық теориясының негізінде жалпылау ғылымдағы зерттеудің тиімді әдісі болып табылады. Осындай құбылыстардың бірін зерттей отырып, зерттеу нәтижелерін осы топтағы ұқсас құбылыстарының барлық тобына таратуға болады.

Модельдеудің кез келген тәсілі кезінде геометриялық, уақытша ұқсастық, физикалық шамалардың ұқсастығын, бастапқы және шекаралық жағдайларды сақтау қажет. Модельдеу үшін қажетті алғышарттар-геометриялық ұқсастық.

Ұқсастықтың төрт түрі болады:

Геометриялық ұқсастық. Бұл ұқсастық екі аппараттың сәйкес гесометриялық өлшемдерінің қатынасының тұрақтылығын көрсетеді.

Мысалы: өндірістік аппараттың өлшемдері (ұзындығы, диаметрі, т.б.) - L_1,L_2,L_3 ,…ал модельдің сәйкес размерлері – $l_1,l_2,l_3,\ldots$, онда геометриялық ұқсастық шарт бойынша (1.5):

$$L_1/l_1= L_2/l_2 = L_3/l_3=\ldots= \alpha_l=\text{const.} \qquad (1.5)$$

мұндағы α_l - ұқсастық тұрақтылығы.

Егер жүйелер қозғалыста болса, онда олардың барлық сәйкес нүктелері геометриялық ұқсас траекториялармен қозғалуы керек. Процестердің ұқсастығына аппараттардың геометриялық шарты орындалуы қажет, бірақ жеткіліксіз

Уақыт бойынша ұқсастық. Геометриялық ұқсас болған жүйелердің сәйкес нүктелері геометриялық ұқсас траекториямен уақыт бірлігінде геометриялық ұқсас жолмен қозғалады. Бұл уақыт бірлігінің бір-біріне қатынасы тұрақты болады.

$$T_1/t_1=T_2/t_2=T_3/t_3=\ldots=\alpha_t = \text{const.} \quad (1.6)$$

мұнда $T_1, T_2, T_3, t_1, t_2, t_3$ - өндірістік және моделді аппараттардағы уақыт бірліктері. α_t -ұқсастық тұрақтылығы. Уақыт бойынша ұқсастық гомохрондық (уақыт бойынша біркелкілік) -деп атайды.

Физикалық ұқсастық. Қарастырылған екі жүйелердің геометриялық және уақыт бойынша ұқсастық шарттары орындалған жағдайда ұқсас сәйкес нүктелеріндегі физикалық тұрақтылықтарының /мысалы, тұтқырлық, тығыздық, т.б./ қатынастары тұрақты болады, яғни

$$U_1/u_1=U_2/u_2=U_3/u_3=\ldots=\alpha_u=\text{const.} \quad (1.7)$$

U және u - өндірістік және моделді процестердегі физикалық тұрақтылықтары. α_u -ұқсастық тұрақтылығы.

Бастапқы және шекаралық шарттар ұқсастығы.

Егер геометриялық уақыт бойынша және физикалық ұқсастықтар жүйелердің алғашқы және шекаралық шарттарына тән болса, онда олардың бастапқы (мәселен температура, қысым, т.б.және шекарадағы (мысалы, құбыр қабырғасының жанындағы жылдамдық) жағдайларға ұқсас болады. Ұқсастық инварианттар және сандар (критерийлер). Егер бір жүйедегі (мысалы, өндірістік аппаратта) сәйкес шамалардың қатынасын алсақ, онда олардың да қатынасы тұрақты және өлшемсіз болады, яғни

$$L_1/l_1=L_2/l_2=\ldots= i_l;\ T_1/f_1=T_2/f_2=\ldots=i_\tau;\ U_1/u_1=U_2/u_2=\ldots= i_u. \quad (1.8)$$

Бір жүйеден екінші жүйеге өткенде i_l, i_τ, i_u шамалары өздерінің мәндерін сақтап қалады. Өлшемсіз *i* саны ұқсастық инварианты –деп атайды және былай жазылады: $i= i_{dem}$. Екі біртекті физикалық шамалардың қатынасын өрнектейтін ұқсастық инвариантың ұқсастық теорияда симплекс - деп атайды

Сонымен, бірінші ұқсастық теоремасы: ұқсас жүйелер ұқсастықтың сандық тең өлшемдерімен сипатталады (Ньютон бойынша). Екінші ұқсастық теоремасы: ұқсас процестер критериалды теңдеулер түрінде ұсынылуы мүмкін. Критериалды теңдеудің нақты түрі эксперименттік жолмен анықталады. Үшінші ұқсастық теоремасы ұқсастық шарттарын қалыптастырады: егер оларды анықтайтын критерийлері тең болса, жүйелер ұқсас болады

Ұқсастық критерийлерін қолдану айнымалылардың санын қысқартады және эксперименталды өңдеуді жеңілдетеді.

1.5. Ұқсастық критерийлерін алу тәсілдері

Теңдеудің критерийлерді алу үшін оның барлық мүшелерін масштабты көбейткішке бөлу немесе масштабты рөл атқаратын теңдеу мүшелерінің біріне бөлу арқылы өлшемсіз түрге келтіру керек. Бұл тәсіл үшін процесті сипаттайтын теңдеу болу керек. Егер процестің сапалы сипаттамасы бар болса, өлшемдерді талдау әдісін пайдаланады. Оны қолдану π -теоремасымен байланысты.

Процесті сипаттайтын теңдеулердің болуы шартымен критерийлерді алу мысалдарын қарастырайық. Мысалы Ньютонных екінші заңын екі ұқсас жүйе үшін:

$$F_1 = m_1 \frac{dv_1}{d\tau_1};\ F_2 = m_2 \frac{dv_2}{d\tau_2}. \tag{1.9}$$

Масштабты көбейткіштер енгіземіз:

$$\frac{F_1}{F_2} = F_0;\ \frac{m_1}{m_2} = m_0;\ \frac{v_1}{v_2} = v_0;\ \frac{\tau_1}{\tau_2} = \tau_0, \tag{1.10}$$

мұндағы F_0, m_0, v_0, τ_0 — күштің, массаның, жылдамдық пен уақыттың масштабты көбейткіштері.

Жоғарыдағы (1.9) теңдеулерін бір-біріне бөлеміз:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{dv_1}{d\tau_1} \cdot \frac{d\tau_2}{d\tau_1}. \tag{1.11}$$

Масштабты көбейткіштерді ескере отырып мынаны аламыз:

$$F_0 = m_0 \frac{dv_0}{d\tau_0}. \tag{1.12}$$

Сонда өлшемсіз кешен (Ньютон Ne критерийі) мына түрге ие болады:

$$Ne = \frac{F_0 \cdot \tau_0}{m_0 \cdot v_0}. \tag{1.13}$$

Келесі мысалда жұмыстың кинетикалық энергияға айналуын қарастырайық:

$$Fl = \frac{mv^2}{2}, \tag{1.14}$$

мұндағы l — ара қашықтық, м. Екі ұқсас жүйе үшін:

$$F_1 l_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2};\ F_2 l_2 = \frac{m_2 v_2^2}{2}. \tag{1.15}$$

Теңдеулерді өңдеу арқылы:

$$\frac{F_1}{F_2} = F_0;\ \frac{l_1}{l_2} = l_0;\ \frac{m_1}{m_2} = m_0;\ \frac{v_1}{v_2} = v_0;$$

$$\frac{F_1 l_1}{F_2 l_2} = \frac{m_1 v_1^2}{m_2 v_2^2};\ F_0 l_0 = m_0 v_0^2. \tag{1.16}$$

Содан кейін өлшемсіз кешен (Ньютон өлшемі) мына түрге айналады

$$\frac{F_0 l_0}{m_0 v_0^2} = \text{const} = Ne. \tag{1.17}$$

Егер F күшінің орнына ауырлық күшін қабылдасақ G = mg, Фруд криерийін аламыз:

$$\frac{g \cdot l_0}{v_0^2} = Fr. \tag{1.18}$$

Келесі мысалда сұйықтың ағуын қарастырайық. Ньютонның ішкі үйкеліс заңын жазамыз.

«Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» Ғылыми-техникалық кітапханасы
Тіркеу № 705313

$$F = \mu \cdot s \cdot \frac{dv}{dl}.$$

(1.19)

Мұндағы аудан $s \sim l^2$, $m \sim pl^3$ екенін ескереміз, де Ньютон критерийіне кері шама жазамыз:

$$\frac{1}{Ne} = \frac{m_0 v_0^2}{F_0 l_0}.$$

(1.20)

Содан кейін тиісті өзгерулерден кейін Рейнольдс критерийін аламыз:

$$\frac{\rho_0 l_0 v_0}{\mu_0} = Re.$$

(1.21)

Процестің сапалы сипаттамасы жағдайында критерийлерді алу мысалдарын қарастырдық. Бұл жағдайда π-теорема негізіндегі өлшемдерді талдау әдісін пайдаланады.

1.6. Бекингем теоремасы (π- теоремасы)

Ұқсастық критерийлерін алудың бұл әдісі инженерлік эксперименттің негізінде жатыр. Бұл әдіс арқылы есептеу тәуелділігі эксперименталды түрде анықталуы тиіс және айнымалылардың саны айтарлықтай қысқарады.

Мысалы, A_1 өлшемді физикалық шама A_2 , A_3... A_n айнымалы шамалардың функциясы болып табылады. Осы процесті сипаттайтын теңдеудің жалпы түрі:

$$A_1 = f(A_2, A_3, ..., A_n).$$

(1.22)

Кез келген физикалық теңдеу өлшемді- біртекті болуы керек. Бұл A_2, A_3 физикалық шамалардың өлшем бірліктері A_1 өлшем бірлігіндей болу керек. Жоғарыдағы (1.22) теңдеудің оң жағын A_1 бөліп өлшемсіз түрге келтіреміз.

$$\varphi(\pi_1, \pi_2, ... \pi_m) = 0 \text{ немесе } \pi_1 = \varphi^1(\pi_1, \pi_2, ... \pi_m), \qquad (1.23)$$

мұндағы π_1, π_2, ... — өлшемсіз комплекстер.

Әдетте өлшеусіз кешендер дәрежелік функция түрінде алынуы мүмкін.

$$\pi = \frac{A_1^a A_2^b}{A_m^i A_n^k}, \tag{1.24}$$

мұндағы a, b,i, к — дәрежелік функция көрсеткіштері.

Бэкингема теоремасы: өлшемсіз кешендер саны негізгі өлшемдердің санын шегергендегі өлшемді физикалық шамалар санына тең. Гидромеханика есептеріндегі негізгі өлшемділік-ұзындық, масса, уақыт бірліктері. Жылу техникасында оларға температура қосылады. Гидромеханика есептерінде негізгі өлшемдердің саны к = 3. Осылайша, егер өлшемдік физикалық шамалардың санын n арқылы, ал өлшемсіз кешендердің санын m арқылы белгілесек, онда π-теоремасына сәйкес

$$m = n - 3. \tag{1.25}$$

Өлшемсіз кешендердің құрылымын анықтау үшін тәуелсіз өлшемдерімен физикалық шамалар ұғымын енгізу қажет. Бұл өлшемдер екі талапты қанағаттандыруы керек:

- барлық негізгі өлшемдерді қамтуы тиіс;
- олардың әрқайсысының өлшемін қалғандарының комбинациясымен алуға болмайды, яғни дәрежелік көпмүшелік түрінде ұсынылады. Бұл талаптарды гидромеханика есептерінде v, ρ, d физикалық шамаларды қанағаттандырады:

$$v = [\text{м/с}];\ \rho = [\text{кг/м}^3];\ d = [\text{м}]. \tag{1.26}$$

Өлшемсіз кешендерді шешу техникасын келесі мысалда қарастырайық: Ауырлық күшінің әсерінен сұйық ортада қатты шар тәрізді бөлшектердің шөгуін қарастырайық. Қатты дененің қозғалысы кезінде ортаның кедергі күші жылдамдық, тұтқырлық, сұйықтық тығыздығы және бөлшектің диаметрінің функциясы болып табылады:

$$F = F(v, \mu, \rho, d). \tag{1.27}$$

π -теоремасына сәйкес бес өлшемді физикалық шамалар екі өлшемсіз кешенмен ауыстырылуы мүмкін. Осы кешендерді

ашайық. v, p, d-тәуелсіз өлшемдегі шамалар, өлшемсіз кешендерді келесі түрде ұсынуға болады:

$$\pi_1 = \frac{F}{v^x \rho^y d^z};\ \pi_2 = \frac{\mu}{v^x \rho^y d^z}. \tag{1.28}$$

Функционалдық тәуелділіктің жалпы түрі физикалық құбылыстарды сипаттауда жиі кездесетін дәрежелік функция ретінде таңдалды. Енді x, y, z мәндерін таңдау қажет, бұл кезде π_1 және π_2 өлшемділігі бірге тең (өлшемсіз болар еді). Физикалық шамалардың өз өлшемдерімен негізгі өлшемдермен ауыстырамыз:

$$v = [\text{м/с}];$$

$$\mu = [\text{Па}\cdot\text{с}] = \left[\frac{\text{кг}\cdot\text{м}\cdot\text{с}}{\text{с}^2\cdot\text{м}^2}\right] = \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}\cdot\text{с}}\right];$$

$$F = [\text{Н}] = \left[\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}\right];$$

$$\pi_1 = \left[\frac{\text{кг}\cdot\text{м}/\text{с}^2}{(\text{м/с})^x\cdot(\text{кг}/\text{м}^3)^y\cdot\text{м}^z}\right] = [\text{кг}^0\cdot\text{м}^0\cdot\text{с}^0] = 1. \tag{1.30}$$

Өрнектің оң және сол бөліктеріндегі бірдей мүшелердің дәрежелерінің көрсеткіштерін теңестіреміз. Нәтижесінде мына теңдеулер жүйесін аламыз:

$$\begin{cases} 1 - y = 0, \\ -2 + x = 0, \\ 1 - x + 3y - z = 0, \end{cases} \tag{1.31}$$

бұдан

$$y = 1,\ x = 2,\ z = 2. \tag{1.32}$$

Содан өлшемсіз кешен алынады:

$$\pi_1 = \frac{F}{\rho v^2 d^2}. \tag{1.33}$$

Сол сияқты π_2 кешенін ашамыз. Нәтижесінде Рейнольдстың кері өлшемін аламыз

$$\pi_2 = \frac{\mu}{v\rho d} = \frac{1}{\mathrm{Re}}. \qquad (1.34)$$

π-теоремасы өлшемсіз кешендер арасындағы тәуелділіктің нақты түрін анықтағандықтан, жалпы түрде былай жазамыз:

$$\frac{F}{v^2 \cdot \rho \cdot d^2} = f(\mathrm{Re}). \qquad (1.34)$$

Түрлендіруден кейін мына өрнекті аламыз:

$$F = f'(\mathrm{Re}) \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho v^2}{2} = \xi \frac{\pi d^2}{4} \frac{\rho v^2}{2}, \qquad (1.35)$$

мұндағы ξ ортаның кедергі коэффициенті (Рейнольдс критерийінің функциясы); $\pi d^2/4$ – қозғалысқа перпендикуляр жазықтыққа түскен дененің проекциясы; $pv^2/2$- динамикалық (жылдамдықты) арын.

Келесі мысалда диаметрі d, ұзындығы l дөңгелек қима құбыр бойынша сұйықтықтың қозғалысын қарастырайық. Δp үйкелісіне қысымның жоғалуын анықтау қажет. Жалпы түрде былай жазамыз:

$$\Delta p = F(v, \rho, d, \mu, l). \qquad (1.36)$$

π -теоремаға сәйкес, алты өлшемді физикалық шаманың орнына үш өлшемді кешен болады:

$$\pi_1 = \frac{\Delta p}{v^x \rho^y d^z}; \ \pi_2 = \frac{\mu}{v^x \rho^y d^z}; \ \pi_3 = \frac{l}{v^x \rho^y d^z}. \qquad (1.37)$$

Біз осы кешендерді ашып, физикалық шамаларды негізгі өлшемдермен ауыстырамыз:

$$\pi_1 = \left[\frac{\text{кг}/\text{с}^2 \cdot \text{м}}{(\text{м}/\text{с})^x \cdot (\text{кг}/\text{м}^3)^y \cdot \text{м}^z} \right] = [\text{кг}^0 \cdot \text{м}^0 \cdot \text{с}^0]. \qquad (1.38)$$

Бірдей мүшелердің дәрежелерін теңестіреміз:

$$\begin{cases} 1-y=0, \\ -2+x=0, \\ -1-x+3y-z=0 \end{cases} \Rightarrow x=2, y=1, z=0. \tag{1.39}$$

Сонда Эйлер критерийін аламыз:

$$\pi_1 = \frac{\Delta p}{\rho v^2} = Eu. \tag{1.40}$$

Қалған кешендерді де ашамыз:

$$\pi_2 = \frac{\mu}{v\rho d} = \frac{1}{\mathrm{Re}};\ \pi_3 = \frac{l}{d}. \tag{1.41}$$

π -теорема өлшемдер арасындағы нақты байланысты ашпайтындықтан, сондықтан жалпы түрде жазуға болады:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho v^2} = f'(\mathrm{Re}) \cdot \frac{l}{d}, \tag{1.42}$$

немесе

$$\Delta p = f(\mathrm{Re}) \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho v^2}{2}, \tag{1.43}$$

мұндағы f(Re) – үйкеліс коэффициенті λ.

Қорытындысында Дарси – Вейсбах формуласын аламыз:

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho v^2}{2}. \tag{1.44}$$

Бақылау сұрақтары

Физикалық және математикалық модельдеудің мәні неде?

Ұқсастық мәнін модельдеу үшін негіз ретінде түсіндіріңіз.

Ұқсастық: геометриялық, уақытша және физикалық.

Ұқсастық критерийлерін және оларды алу тәсілдерін атаңыз.

Белгілі бір мысалда процестің теңдеуі белгілі болған жағдайда ұқсастық критерийін алу әдісін ашыңыз.

π -теореманы тұжырымдаңыз. Негізгі өлшемдердің түсінігін ашыңыз.

Нақты мысалда өлшемдерді талдау әдісін пайдалана отырып, ұқсастық критерийін алу әдісін ашыңыз.

Негізгі процестерді жіктеу негізіне қандай критерий қойылған?

Материалдық және жылу баланстарының теңдеуін құру принципі неде?

Оңтайландыру критерийлерінің мәні (энергетикалық, экономикалық.

1.7 Тамақ өндірісіндегі аппараттарға қойылатын талаптар

Қоғамдық тамақтанудағы аспаздық өнім өндірісінің барлық процесін шартты түрде алты негізгі кезеңге бөлуге болады:

- шикізатты қабылдау, біріншілік өңдеу және оны сақтау.
- шикізатты аспаздық өңдеуге дайындау
- тағамды дайындау
- дайын аспаздық өнімдерді порциялау және беру.
- ыдыстарды және жабдықтарды жуу.
- шикізат және тағам қалдықтарын жинау және қайта өңдеу.

Берілген әр кезеңді жүзеге асыру сәйкес аппараттарды қолдануды талап етеді.

Аппараттарға қойылатын талаптар. Аппараттардың құрылымдық атқарылуы, олардың тағайындалуы және әрекет ету қағидасындағы елеулі айырмашылығына қарамастан, оларға қойылатын жалпы талаптарды құрастыруға болады. Осы талаптарды келесі негізгі топтарға бөлуге болады: технологиялық, эксплуатациялық, энергетикалық, құрылымдық, экономикалық, жұмыстағы қауіпсіздік, қоршаған ортаны қорғау. Барлық осы талаптар өзара байланысқан және өзара шартталған. Талаптардың бір тобы, басқасымен алдын ала анықталады.

Технологиялық талаптарға, жақсы нәтиже алу арқылы барынша аз уақыт аралығында жүзеге асырылуы тиіс процесті

жүргізудің міндетті шарттары кіреді. Аппараттар барынша аз уақыт шығындар, шикізат және оның қоректік қасиеттерінің жоғалтуларымен тағамды сапалы дайындауды қамтамасыз ету керек.

Аппараттардың эксплуатациялық талаптарына минималды еңбек шығындарымен міндетті шарт ретінде оларға қызмет көрсетудің қарапайымдылығы кіреді. Сондай-ақ эксплуатациялық талаптарға, аппараттардың қайта өңделетін өнімнің, жұғыш құрылдардың және қоршаған ортаның әсерінен туындауы мүмкін тоттануына қарсы тұрақтылығын жатқызады. Сонымен бірге эксплуатациялық талаптарға аппарттардың тексеру, тазалау және жөндеу үшін қолжетімділігі жатады.

Қоғамдық тамақтанудағы машиналар мен аппараттарға қойылатын энергетикалық талаптарға сәйкес, аппараттар энергия үнемдегіш болуы тиіс, яғни энергия және отынның минималды мөлшерін шығындау. Сонымен қатар негізгі энергетикалық көрсеткіш, дайын өнімнің бірлігіне үлестік энергия шығыны болып табылады.

Аппараттарға қойылатын құрылымдық талаптар, оларды жобалау, дайындау, тасымалдау және монтаждаумен байланысты. Жалпы түрде құрылымдық талаптарды келесі түрде құрастыруға болады. Аппараттар стандартты және жеңіл алмастырылатын бөлшектерден және қымбат емес металдар мен материалдардан жасалған, азық-түлікке қандай да бір зиян әсерн тигізбейтін сәйкестендіру түйіндерінен тұруы тиіс. Азық-түлікпен өзара жанасатын, аппараттардың бөлшектерін және түйіндерін дайындау үшін жақсы металл – тот баспайтын болат болып табылады. Осы мақсаттар үшін алюминийді пайдаланбаған жөн. Бұл алюминийдің адам ағзасында жиналып, іс жүзінде одан шықпауымен байланысты. Аппараттарды құрастыру кезінде олардың металл және материал сыйымдылығын төмендеуіне ұмтылуы керек. Сонымен қатар, аппараттар мүмкіндігінше әмбебап болуы тиіс, яғни әр түрлі үрдістерді жүргізу үшін жарамды.

Үлкен габаритке ие аппараттарды құрастыру кезінде олардың құрастырылуын қарастыру қажет. Бұл аппаратты тасымалдауды және монтаждауды жеңілдетеді. Аппарат құрылымының сауатты дизайнерлік шешімінің талаптары маңызды болып табылады. Ол заманауи эстетикалық талаптарға

және осы аппаратта жұмыс істеудің психологиялық ерекшеліктеріне сай болуы тиіс.

Аппараттарға қойылатын экономикалық талаптар жоғарыда қарастырылған талаптармен тығыз байланысты. Аппараттар дайындау кезінде арзан, ал монтаж және пайдалану кезінде қысқа мерзімде есесі қайтуы керек екені айқын. Аппараттарға қойылатын міндетті талаптарға оларда жұмыс істеу қауіпсіздігі болып табылады. Бұл жағынан аппараттар мінсіз болуы тиіс.

Қоршаған ортаны қорғаумен байланысты талаптарды қысқаша келесідей келтіруге болады: үрдістерді жүргізу кезінде алынатын және қоршаған ортаға лақтырылатын қалдықтар (сұйық, газ тәрізді, қатты), оған ластайтын әсер тигізбеуі керек.

Өнеркәсіпте шығарылатын машиналар мен аппараттардың техникалық деңгейін арттырған сайын, оларға қойылатын талаптар күрделене түседі. Сәйкесінше, өнеркәсіптік және ауыл шаруашылық өнімдерінің барлық түрлерінің стандарттары жетіледі

Аппараттың ең негізгі сипаттамасының бірі - оның өнімділігі: аппаратта уақыт бірлігінде алынатын өнім мөлшері немесе өңделетін шикізат мөлшері (кг/с, $м^3$/с, дана/с). Аппараттың өнімділігін мерзімді әрекетті процестерді үздіксіз әрекетті процестермен алмастыру арқылы, жоғары температуралы, қысымды, терең вакуумды, ультрадыбысты және т.б. жаңа технологиялық процестерді пайдалану арқылы көбейтуге болады.

Аппарат жасалынатын материал коррозияға төзімді болуы қажет. Аппараттың конструкциясы оны тазалауға, жөндеуге ыңғайлы болуы керек және осы операциялар тез жасалынуы қажет.

Алынатын өнім бірлігіне немесе өңделетін шикізат бірлігіне шығындалған энергия мөлшері мүмкіндігінше аз жұмсалуы, яғни аппараттың энергия сыйымдылығы аз болуы керек.

Аппараттарға қойылатын талаптар. Аппараттардың құрылымдық атқарылуы, олардың тағайындалуы және әрекет ету қағидасындағы елеулі айырмашылығына қарамастан, оларға қойылатын жалпы талаптарды құрастыруға болады. Осы талаптарды келесі негізгі топтарға бөлуге болады: технологиялық, эксплуатациялық, энергетикалық, құрылымдық, экономикалық, жұмыстағы қауіпсіздік, қоршаған ортаны қорғау. Барлық осы талаптар өзара байланысқан және өзара шартталған. Талаптардың

бір тобы, басқасымен алдын ала анықталады. Технологиялық талаптарға, жақсы нәтиже алу арқылы барынша аз уақыт аралығында жүзеге асырылуы тиіс процесті жүргізудің міндетті шарттары кіреді. Аппараттар барынша аз уақыт шығындар, шикізат және оның қоректік қасиеттерінің жоғалтуларымен тағамды сапалы дайындауды қамтамасыз ету керек. Аппараттардың эксплуатациялық талаптарына минималды еңбек шығындарымен міндетті шарт ретінде оларға қызмет көрсетудің қарапайымдылығы кіреді. Сондай-ақ эксплуатациялық талаптарға, аппараттардың қайта өңделетін өнімнің, жуғыш құрылдардың және қоршаған ортаның әсерінен туындауы мүмкін тоттануына қарсы тұрақтылығын жатқызады. Сонымен бірге эксплуатациялық талаптарға аппарттардың тексеру, тазалау және жөндеу үшін қолжетімділігі жатады. Қоғамдық тамақтанудағы машиналар мен аппараттарға қойылатын энергетикалық талаптарға сәйкес, аппараттар энергия үнемдегіш болуы тиіс, яғни энергия және отынның минималды мөлшерін шығындау. Сонымен қатар негізгі энергетикалық көрсеткіш, дайын өнімнің бірлігіне үлестік энергия шығыны болып табылады. Аппараттарға қойылатын құрылымдық талаптар, оларды жобалау, дайындау, тасымалдау және монтаждаумен байланысты. Жалпы түрде құрылымдық талаптарды келесі түрде құрастыруға болады. Аппараттар стандартты және жеңіл алмастырылатын бөлшектерден және қымбат емес металдар мен материалдардан жасалған, азық-түлікке қандай да бір зиян әсерн тигізбейтін сәйкестендіру түйіндерінен тұруы тиіс. Азық-түлікпен өзара жанасатын, аппараттардың бөлшектерін және түйіндерін дайындау үшін жақсы металл – тот баспайтын болат болып табылады. Осы мақсаттар үшін алюминийді пайдаланбаған жөн. Бұл алюминийдің адам ағзасында жиналып, іс жүзінде одан шықпауымен байланысты. Аппараттарды құрастыру кезінде олардың металл және материал сыйымдылығын төмендеуіне ұмтылуы керек. Сонымен қатар, аппараттар мүмкіндігінше әмбебап болуы тиіс, яғни әр түрлі үрдістерді жүргізу үшін жарамды. 17 Үлкен габаритке ие аппараттарды құрастыру кезінде олардың құрастырылуын қарастыру қажет. Бұл аппаратты тасымалдауды және монтаждауды жеңілдетеді. Аппарат құрылымының сауатты дизайнерлік шешімінің талаптары маңызды болып табылады. Ол заманауи эстетикалық талаптарға және осы аппаратта жұмыс

істеудің психологиялық ерекшеліктеріне сай болуы тиіс. Аппараттарға қойылатын экономикалық талаптар жоғарыда қарастырылған талаптармен тығыз байланысты. Аппараттар дайындау кезінде арзан, ал монтаж және пайдалану кезінде қысқа мерзімде есесі қайтуы керек екені айқын. Аппараттарға қойылатын міндетті талаптарға оларда жұмыс істеу қауіпсіздігі болып табылады. Бұл жағынан аппараттар мінсіз болуы тиіс. Қоршаған ортаны қорғаумен байланысты талаптарды қысқаша келесідей келтіруге болады: үрдістерді жүргізу кезінде алынатын және қоршаған ортаға лақтырылатын қалдықтар (сұйық, газ тәрізді, қатты), оған ластайтын әсер тигізбеуі керек. Өнеркәсіпте шығарылатын машиналар мен аппараттардың техникалық деңгейін арттырған сайын, оларға қойылатын талаптар күрделене түседі. Сәйкесінше, өнеркәсіптік және ауыл шаруашылық өнімдерінің барлық түрлерінің стандарттары жетіледі.

Конструкциялық талаптарға төмендегілер жатады:

-аппараттың стандарттылығы және бөлшектерінің алмастырылғыштығы;

-аппаратты жинауда ең аз еңбектің шығындалуы;

-тасымалдау, жөндеу ыңғайлығы;

-аппараттың және оның бөлшектерінің массасының ең аз болуы.

Аппараттың массасы аз болуы үшін оның бүйір бетінің көлеміне қатынасы аз болуы керек. Шар пішінді аппаратта бұл қатынас ең аз, ал жазық түпті цилиндр пішінді аппараттар үшін $\frac{Í}{D} = 2$ болады. Бұл кезде аппаратты жасауға шығындалған материалдын массасы да аз болады, яғни оның бағасы да азаяды.

Процестің өтуінде сұйық көбіктенбесе немесе буланбаса, онда мұндай аппараттар үшін толтырылу коэффициенті $\varphi = 0{,}8 \div 0{,}85$, ал қатты көбіктенсе немесе буланса $\varphi = 0{,}5 \div 0{,}6$ болады. Қант, ашытқы және фермент өндірістерінде аппараттардың сыйымдылығын толық пайдалану үшін олеин қышқылы, ультрадыбыс, әртүрлі механикалық құрылғылар және т.б. аркылы көбік қабатын сөндіреді. Соңғы кездерде консерві, қант және басқа кәсіпорындарда бұл мақсатта кремнийорганикалық (силиконды) сұйықтар А-154, КЭ-10-12 және т.б. қолданылуда.

Аппараттарға қойылатын ең негізгі талаптардың бірі - олардың, қаупсіз жұмыс істеуі. Сондықтан, аппараттарды сақтандырғыш құрылғылармен жабдықтайды және қозғалмалы бөлігін қоршайды. Тамақ өнеркәсібінің аппараттары санитарлы - гигиеналық талаптарға жауап беруі керек. Бұл үшін аппараттар толық жабық және тазалау, дезинфекциялау онай болуы керек. Аппараттар тамақ өнімдермен әрекеттескенде зиянды заттар пайда болмайтын материалдардан жасалынуы керек.

Аппараттың сыртқы көрінісі пішіні және түсі мүмкіндігінше әдемі болуы қажет.

1.8 Аппараттар жасалынатың материалдар

Тамақ өнеркәсібінің аппараттарын жасау үшін әртүрлі металдар, метал емес материалдар және пластикалық массалар колданылалы.

Металдардан болат, шойын, мыс, латунь, аллюминий, бронза және т.б. қолданылады. Көптеген тамақ өндірістерінде Ст2 және Ст3 қолданылады. Дегенмен, бұл болаттар тез коррозияланады, тамақ өнімі татпен ластанады және темір өнімге өтеді. Темірдің аз мөлшерінің өзі тамаққа қара түс және ұнамсыз металл дәмін береді. Сондықтан, егер аппараттар жай болаттан немесе шойыннан жасалса, онда олардың ішкі беті қорғаныс қабатпен қапталады.

Егер орта агрессивті немесе жоғары температуралы болса, онда болаттардың тат баспайтын, кышқылға төзгіш және қызуға төзгіш арнаулы түрлері қолданылады.

Жоғары коррозиялық төзімділігіне және жылуөткізгіштігіне байланысты мыс жылуалмастырғыш, ректификациялық және т.б. аппарааттарды жасауда колданылады. Тамақ өнеркәсібінде мыстың қоспалары бронза және латунь қолданылады.

Сыра қайнату және сүт өндірістеріндегі аппараттарды жасауда аллюминий кеңінен қолданылады. Аллюминий ауада тотығып, жұқа тотық қабатымен қапталады. Аллюминий ыдыста дайындалған тамақта С витамині сақталады.

Тамақ өнеркәсібінің аппараттарын жасауда шыны кеңінен қолданылады. Шыны тамақ өнімін дайындаудың гигиеналық

жағдайын жоғарылатады. Шыны шарап жасау және сүт заводтарындағы аппараттар, құбырлар жасауда қолданылады. Шынының негізгі артықшылықтары: химиялық берік, термиялық кедергі коэффициенті және гидравликалық кедергі коэффициенті төмен; жанғыш емес; гигроскоптық емес. Кемшілігі: морттығы, олардың бөліктерін жалғаудың қиындығы. Соңғы кездерде химиялық, механикалық және термиялық беріктігі жоғары молибденді боросиликатты шынылар қолданылуда.

Темірбетон жинағыш ыдыстарды жасауда қолданылады. Олардан жасалған ыдыстың ішкі беті лакпен қапталады. Тамақ өнеркәсібінде аппараттарды жасауда ағаш қолданылады.

Пластикалық массалардан: винипласт, фаолит, полиэтилен, фторопласт, текстолит және асбовинил кеңінен қолданылады.

Винипласт жақсы пісіріледі және желімденеді. Ол барлық минерал қышқылдарға төзімді. Фаолит құбыр, жылуалмастырғыштың элементтерін, насос, арматура жасауда қолданылады.

Полиэтилен агрессивті ортада жоғары химиялық беріктігімен белгілі. Тімсемді полиэтиленмен болатты және темірбетонды резервуарларды, футеровкалайды; олардан ыдыстар жасайды; олардың пленкасы тамақ онімдерін орау үшін пайдаланады.

Аппараттардың жұмыс бетін коррозиядан сақтау үшін эмаль, керамикалық қышқылға төзгіш плиталар, эпоксидті шайырлар ЭД-5, ЭД-6, бакелитті және полихлорвинилді лактар, т.б. қорғаныс каптамалар қолданылады.

1.9 Аппараттарды есептеу

Аппарат – бұл өнімге физика-химиялық қасиеттерін немесе осы өнімнің агрегаттық күйін өзгертумен жүретін әсер ету жүзеге асатын құрылғы (мысалы, құрғату, айыратын куб, реактор).

Аппаратта химиялық және биохимиялық, жылу және диффузия процестері өтеді. Оның негізгі бөлігі өнім физика-химиялық және биологиялық факторлар әсерінен өңделетін жұмыс камерасы болып табылады.

Машинада өнімге механикалық әрекеттер әсер етеді. Бұл кезде өнім қасиеттерін өзгертпейді, тек оның пішіні мен көлемі өзгереді.

Машинаның басты жұмыс элементтері (мысалы, ұсатқыш, диірмен, үккіш, кескіш) өнімді сыртқы түрін өзгерте отырып, тікелей өңдейтін қозғалатын құрылғылар (қалақтар, пышақтар, балталар) болып табылады.

Аппаратураны есептеудің бірнеше әдістері бар.

Эмпирикалық формулалар мен анықтама материалдары бойынша инженерлік есептеу. Анықтама материалдары және нормативтер конструкциясы бойынша аналогты жұмыс тәжірбиесі және өндірісте бар аппараттардың тағайындалуы негізінде құрылады.

Аппаратураның инженерлік есептеуі негізгі мақсаттары келесіге әкеледі: энергетикалық құралдарды (электр энергиясы, бу, су және т.б. шығындар), сонымен қатар белгілі бір уақыт ішінде шикізаттың берілген көлемін өңдеу үшін керекті аппараттар көлемі мен санын анықтау.

Жылу энергетикалық энергия шығынын аппараттың энергетикалық балансы негізінде теңдеу арқылы анықтайды. Аппараттар саны мен көлемі технологиялық процестің ұзақтығына немесе өңделетін заттың аппаратта болу уақытына тәуелді анықталады.

Периодтық аппараттардың берілген шамалар қатарына мыналар жатады:

- өңделетін материалдардың тәуліктік көлемі, яғни барлық аппараттардың

өнімділігінің тәуліктік қосындысы $V_м$, $м^3$/тәулік;

- материалды өңдеу процессі жүру үшін қажетті уақыт, τ' сағат;
- қосымша операцияларға (жүктеу, түсіру, аппаратты жуу) кететін уақыт, τ'' сағат.

Сонда бір циклдың жалпы ұзақтығы

$$\tau = \tau^{1} + \tau^{11}. \qquad (1.45)$$

Тәулігіне бір аппаратта орындалатын циклдар саны мынаған тең

$$a = 24/\tau. \qquad (1.46)$$

Ары қарай бір аппараттың көлемі V $м^3$, конструктивті және техника-экономикалық пікірге сүйене отырып (өндірістік аудан шамасы, қызмет көрсету жағдайлары, ғимаратты жабуға рұқсат етілген қысым, аппараттардың беріктілік сипаттамалары) беріледі. Аппараттың толық көлемі өңделетін материалмен толтырылмайды. Аппаратта аппараттың толық көлемінен V $м^3$, φ (аппаратты толтыру коэффициенті) жұмыс көлемі $V_р$ $м^3$ деп аталатын көлем

$$V_р = V \varphi. \qquad (1.47)$$

Өнімнің қаркынды қайнауы немесе көбіктенуі болатын аппараттар үшін толтыру коэффициенті 0,4-0,6 тең деп алынады, қалған жағдайларда 0,7-0,85 шегі таңдалады.

Барлық аппараттармен бір тәулікте жүргізілетін циклдар санының қосындысы мынаған тең

$$b = V_m/V_р. \qquad (1.48)$$

Енді берілген өнімділікті қамтамасыз ету үшін қажетті аппараттар санын анықтауға болады, яғни

$$n= b/a= V_m \tau / 24V_р, . \qquad (1.49)$$

Әдетте n санын 10-15%-ға өсіреді. Аппарат көлемін, оның диаметрін және биіктігін аппараттың берілген сыйымдылығына V, $м^3$ сүйене отырып, конструтивті түрде таңдайды.

Үздіксіз әрекет ететін аппараттардың берілген шамалар қатарына мыналар жатады:

- өңделетін шикізаттың бір тәуліктегі көлемі;
- өнімнің аппаратқа келіп түсетін уақыты (аппаратқа түскен уақыттан одан шығуына дейін) τ, с;
- өнімнің аппарат арқылы өту жылдамдығы ω, м/с.

Барлық аппараттардың өнімділігін$V_с$, яғни аппаратқа бір секунд ішінде түсетін өнім көлемінің қосындысы

$$V_с = V_m /(24* 3600), м^3/с. \qquad (1.50)$$

Одан кейін бір уақытта жұмыс істейтін аппараттар саны n беріледі (конструктивті және техника-экономикалық пікірлерге сүйене отырып) және әр аппаратқа бір секундта түсетін өнім көлемі анықталады (аппараттың секундтық өнімділігі),

$$V_c^1 = V_c/n, \text{ м}^3/\text{с}. \qquad (1.51)$$

Аппараттың көлемін оның секундтық өнімділігі бойынша есептейді

$$V = V_c^1 \tau, \text{ м}^3 \qquad (1.52)$$

материалдың аппарат арқылы өту жылдамдығын біле отырып, оның қимасын f және диаметрін d анықтайды

$$f = V_c^1/\omega, \text{ м}^2; \qquad (1.53)$$

$$d = (4f/\pi)^{1/2}. \qquad (1.54)$$

Өнімнің аппаратқа түсу уақыты τ бойынша аппараттың жұмыс істейтін бөлігінің ұзындығын есептейді

$$\ell = \omega\tau, \text{ м}. \qquad (1.55)$$

Ұқсастық әдісін қолдану арқылы эксперименттi-есептеу жолы. Бұл әдіс өнім өңдеудің тиімді режимін табу мақсатымен бірнеше тәжірибе өткізу үшін аппараттың шағын моделінің құрылысын қарастырады. Тәжірбиелер нәтижесін барлық ұқсас процестер мен үлкен көлемді аппараттарға тарататындай етіп өңдейді.

Шағын модельдегідей әсермен үлкен аппаратқа процесс жүргізу үшін үлкен және кіші аппараттардың геометриялық өлшемдері пропорционал болу керек, яғни геометриялық ұқсастығы сақталу керек. Сонымен бірге тәжірбие жүргізу кезінде физикалық және уақыттық ұқсастығын сақтау керек.

Аппараттың шағын моделінде процесті өңдейді және оның тиімді параметрлерін яғни өнімнің тиімді қозғалу жылдамдығын, уақытын, температурасын және қысымын табады.

Тәжірибе физика-химиялық көрсеткіштер қатарымен: тұтқырлығымен, тығыздығымен, концентрациясымен, жылу өтімділігімен сипатталатын белгілі бір шикізатқа жасалады.

Осы модельге жасалған тәжірибелер нәтижелері математикалық өңделеді, яғни алынған тиімді процесс параметрлерін шикізат сипаттамасымен және аппарат (модель) өлшемдерімен бірге ұқсастық критерийлері деп аталатын математикалық өлшемсіз кешенге апарады.

Процестің ғылыми анализі негізінде рационалды формулалар бойынша аппаратура есептеуі. Процестің кинетикалық заңдылықтарының ғылыми анализі аппараттың минималды өлшемдері болатын процесті жүргізудің тиімді жағдайларын орнатуға мүмкіндік береді. Есептеуді гидродинамика (сұйықтықтар мен газдардың қозғалысы туралы ғылым), жылу және масса алмасу заңдарынан шығатын рационалды формулалармен жүргізіледі. Ол дайын өнімдердің шығуын (процестің материалдық балансынан), процестің жылу әсерін (энергетикалық балансынан), процестің қозғалыс күші (жүйенің тепе-теңдік жағдайынан) және процестің жылдамдығын табуға мүмкіндік беретін жылдамдық коэффициентін анықтауға әкеледі.

Бұл есептеулер тұрақты деп санайтын процестің орташа жылдамдығына қатысты орташа берілгендер бойынша есептеген кезде, статистикалық болуы мүмкін.

Процестің әр түрлі этаптарында оның нақты жылдамдығымен байланыстырылған кинетикалық есептеулер нақтырақ болып саналады. Бұл жағдайда бүкіл процесті кезеңдерге бөледі және әр кезең үшін процестің жылдамдығының орташа мәнін алады. Мысалы, тағамдық өнімдерді кептіру процессін екі кезеңге бөлуге болатынын белгілі: тұрақты максимал жылдамдық периоды және жылдамдықтың төмендеу периоды. Олардың әр қайсысы әр түрлі ұзақтығымен және кептірілетін өнімге сәйкес температурамен сипатталады. Егер кептірудің екі периодын да ескермейтін болса және аппаратура есептеуін процестің орташа жылдамдығымен жүргізетін болса, онда ол қатты жуықтатылған болады.

Рационалды формулалар мен теңдеулер арқылы орындалған есептеу аппараттың негізгі өлшемдерін: сыйымдылығын, биіктігін, диаметрін, қыздырылатын бетін келесі формуладан анықтауға мүмкіндік береді

$$\chi = V/k\Delta = V/\omega, \qquad (1.56)$$

мұндағы x – аппараттың ізделетін өлшемі;

V – аппаратта уақыт бірлігінде өңделетін өнім көлемі;

K – процестің жылдамдығының коэффициенті;

Δ - процестің қозғаушы күші.

Есептеудің бұл әдісі, егер өндірісте аналогты аппараттар жоқ, ал құраластырылатын аппаратта өтетін процесс механизмі жақсы белгілі және ғылыми анализге берілетін болса қолданылады.

2 ТАМАҚ ӨНДІРІСІНДЕГІ ШИКІЗАТТАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІ

Өңдеу кезінде берілген қасиеттерге ие болатың өнім алу үшін шикізаттардың физикалық-механикалық қасиеттерін өзгертеді. Материалдың физикалы-техникалық қасиеттеріне негізінен структуралық-механикалық, жылулық-физикалық және физикалық-химиялық қасиеттері жатады. Аппараттың өлшемдерін және құрылымын, оның өнімділігін, жұмыс істеу режимін және оны жасайтын материалдарын осы қасиеттер анықтайды.

Өңделетін материалдардың қасиеттері олардың құрылысына, кейбір құрастырушыларының құрамының сапасы мен мөлшеріне, оларға әсер ететін температура мен қысымға және т.б. факторларға байланысты болады.

Шикізатпен өнімнің құрамында су, көмірсутектер, белоктар, майлар, минерал тұздар, органикалық қышқылдар, сонымен бірге витаминдер және ферменттер болады. Витаминдер мен ферменттер өнімде аз мөлшерде болғандықтан материалдардың техникалық қасиеттері негізінен олардың ішіндегі органикалық және аноргаликалық заттардың мөлшерімен анықталады.

Көптеген шикізат пен өнімдердің техникалық қасиеттері өте жақсы зерттелген және анықтамалар мен арнаулы әдебиеттерде келтірілген. Дегенмен, көптеген мәліметтер жетіспейді, соңдықтан техникалық есептеуді қиындатады. Осыны жеңілдету үшін төменде материалдардың кейбір техникалық қасиеттерін есептеп анықтауға қажет байланыстар берілген.

Тағам өнеркәсібінде шикізатты өңдеп және әр түрлі агрегаттық күйдегі дайын өнімдерді алады: қатты, сұйық, бу және газ тәрізді. Процестерді және құралдарды есептеу үшін тамақ өнімдерінің және шикізаттың қасиеттерін білу қажет. Көптеген тамақ өнімдері біркелкі және біркелкі емес қоспалар болып табылады. Біртекті қоспаларға ерітінділер, мысалы қантты, сулы-спиртті, шырындар және т.б. жатады. Біртекті қоспалар ерітілген заттың концентрациясымен сипатталады.

Біртекті емес қоспаларға сұйықпен араласқан қатты заттарды, сонымен қатар басқа сұйықтарда ерітілмеген қоспалар жатады. Біртекті емес қоспаларды сипаттау үшін көлемді немесе массалық үлес түсінігін енгізеді, мысалы сұйықтықтағы қатты

заттың бөлігі. Барлық заттардың қасиеттерін физикалық (тығыздық, үлестік салмақ, тұтқырлық, беттік тартылу және т.б.) және жылуфизикалық (үлестік жылусыйымдылық, жылуөткізгіштігі, температураөткізгіштік және т.б.) деп бөлуге болады.

Тығыздық. Дене (зат) массасының көлемге қатынасын тығыздық деп атайды. Өлшем бірлігі- (кг/м^3)

$$\rho = M / V \qquad (2.1)$$

мұндағы, M – дене массасы, кг; V – көлемі, м^3 .

Тығыздық үлестік көлемге v_Y кері шама болып табылады;

$$\rho = 1/v_Y \qquad (2.2)$$

мұндағы, v_Y=V/M.

Ерітіндінің тығыздығы оның массалық үлесіне байланысты болады. Екі заттың тығыздығының ара қатынасын салыстырмалы тығыздық деп атайды. Әдетте заттардың салыстырмалы тығыздығын тазартылған судың салыстырмалы тығыздығымен анықтайды:

$$\rho_{сал} = \rho/\rho_{су} \qquad (2.3)$$

мұндағы, ρ – заттың тығыздығы; $\rho_{су}$ – судың тығыздығы.

Суспензия тығыздығын мына формула бойынша анықтайды:

$$\rho_{сус} = \rho_{кт}\varphi + \rho_с(1 - \varphi) \qquad (2.4)$$

мұндағы, $\rho_{кт}$ – суспензиядағы қатты заттар тығыздығы, кг/м^3 ; φ – суспензиядағы қатты фаза үлесі; $\rho_с$ – сұйықтың тығыздығы, кг/м^3 .

Температурасы 20^{0}C кезіндегі қантты сироптардың, жемісті шындардың және қантты сүттердің тығыздығын мына формула бойынша анықтайды:

$$p_{20} = 10[1{,}42x + (100 - x)], \qquad (2.5)$$

мұндағы, x – құрғақ заттардың концентрациясы, %.

Осы өнімдердің температурасы 20^0C жоғары болса келесі формуланы қолданады:

$$\rho_t = \rho_{20} - 0{,}5(t - 20), \qquad (2.6)$$

мұндағы, t - өнім температурасы, ^{0}C.

Томат өнімдерінің тығыздығы:

$$\rho = 1016{,}76 + 4{,}4\,x - 0{,}53t. \qquad (2.7)$$

Сусымалы өнімдерді (астық, құмшекер, картоп ұнтақтары және т.б.) сипаттау үшін көлемдік тығыздығы түсінігін енгізді:

$$\rho_к = (1 - \varepsilon)\,\rho_к \qquad (2.8)$$

мұндағы, $\rho_к$ – сусымалы өнімнің көлемдік тығыздығы, кг/м^3; ε – сусымалы өнімнің қуыстылығы; $\varepsilon = V_М / V_Н$; $V_М$ – қуысты материалдың көлемі, м^3 ; $V_Н$ –материалдың көлемі, м^3 ; $\rho_к$ – материал бөліктерінің шынайы тығыздығы, кг/м^3 . Бос сусыма материалдар үшін қуыстылық әдетте мына шекте болады: ε = 0,38...0,42.

Тұтқырлық. Сұйықтықтардың қасиеттерің ламинарлы ағу кезінде күштерге қарсылығын білдіруін және оның бөліктерін салыстырмалы орын ауыстыруын тұтқырлық деп атайды. Тұтқырлықты динамикалық және кинематикалық деп екі түрге бөледі. Тұтқырлық шынайы сұйықтықтың тұтқырлығы болмайтын идеалды сұйықтық арасындағы негізгі айырмашылығы болып табылады. Сұйықтық қабаттарының арасындағы ішкі үйкелесудің алғашқы негізгі заңдары 1686 ж. Ньютонмен берілген және келесілерге жіктеледі: - тұтқырлық және ішкі үйкелесу күші іс жүзінде қысымға байланысты емес; - ішкі үйкелесу күші аралас қабаттардың салыстырмалы орын ауыстыру жылдамдығына немесе жылдамдық градиентіне тура пропорционалды. Ньютонмен айтылған сұйықтықтың ішкі үйкелесуі туралы ережесі әрі қарай ірі орыс ғалымы Н.П. Петровтың (1836-1920) тәжірибелерімен тексерілген. Ньютон заңының математикалық формуласы:

$$T = \mu F dw / dn \qquad (2.9)$$

мұндағы, Т – ішкі үйкелесу күші немесе жанама күші; μ – тұтқырлықтың динамикалық коэффициенті немесе динамикалық тұтқырлық (Па·с); F – сұйық қабаттардың жанасу ауданы, $м^2$; dw / dn – жылдамдық градиенті (1/с).

Ньютон заңынан ішкі үйкелесу күші немесе жанама қуат түсінігінен шығады.

$$\tau = T/P = \mu dw/dn \qquad (2.10)$$

Соңғы теңдеуден динамикалық тұтқырлық коэффициенті dw/dn = 1 және τ =μ.

Кинематикалық тұтқырлық ($м^2$ /с) келесі теңдеу бойынша анықталады:

$$v = \mu / p \qquad (2.11)$$

Тұтқырлық эталоны тазартылған су болып табылады, сондықтан кейбір кездері тұтқырлықты Энглер градусымен өлшейді. Энглер градусындағы тұтқырлық (°Е) бір ыдыстағы зерттелетін сұйықтың 200 $см^3$ уақыт аралығында τ_1 және дәл сондай көлемді ыдыста τ уақыттағы 20^0 С температурада тазартылған судың қатынасы, яғни °Е = t1/ t болып табылады. СИ жүйесінде ($см^2$ /с) Энглер градусының тұтқырлығының кинематикалық тұтқырлыққа көшуі $У_{беллод}$ эмпирикалық формуласы бойынша орындалады:

$$V = 0{,}0731\ °E - 0{,}0631/\ °E \qquad (2.12)$$

Жылусыйымдылық. Затқа жеткізілетін жылу санының оның температурасының өзгеруіне ара-қатынасы. Зат санының жылусыйымдылық бірлігін (с) үлестік жылу сыйымдылық деп атайды. Есептерде массалық, көлемдік және мольдық үлестік жылусыйымдылықтарды колданады. Үлестік жылусыйымдылық қоршаған орта мен заттар арасында энергия алмасу қандай процес(изобаралық, изохоралық, адиабаталық, политропикалық, изотермиялық) кезінде жүруіне байланысты болады. Есептеу тәжірибесінде көбінесе изобаралық жылусыйымдылықты c_p және изохоралық жылусыйымдылықты cv қолданады. Олар өзара мына теңдеумен байланысқан: $c_p - c_v = R$, мұндағы R – универсалды

газды тұрақтысы, Дж/(мольК); Дж/(кгК). c_p /c_v = к қатынасын адиабатылық көрсеткіштер деп атайды. Массалық үлестік жылусыйымдылық массасы 1 кг заттың температурасын бір градусқа көтеру үшін қанша жылу саны қажеттігін көрсетеді. Сұйықтар мен газдардың жылусыйымдылығы температураға байланысты және оны көтерген сайын артады.

Заттардың үлестік жылусиымдылығы келесі диапазондарда өлшенеді: сұйықтардікі 0,8...4,19 кДж/(кгК); газдардікі 0,5...2,2; қатты заттардыкі 0,13...1,8 кДж/(кгК). Біртекті емес жүйелердің үлестік сылусыйымдылығы:

$$c_p = c_a\varphi_a + c_b\varphi_b + c_c\varphi_c + ..., \quad (2.13)$$

мұндағы, c_a, c_b, c_c – компоненттердің массалық үлестік жылусыйымдылығы; $\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$ – сәйкес заттардың қоспадағы массалық үлестері.

Томат өнімдерінің үлестік жылусыйымдылығы [Дж/(кг·К)]

$$c = 4228,7 - 20,9x - 10,88t; \quad (2.14)$$

мұндағы, x – құрғақ заттардың концентрациясы; t – температура, ^{0}C.

Өсімдік шикізатының жылусыйымдылығы:

$$c = c_c(1 - 0,01w) + 41,87w, \quad (2.15)$$

мұндағы, c_c – құрғақ заттардың үлестік жылусыйымдылығы, w – ылғалдылық, %.

Сахарозаның үлестік жылусыйымдылығы:

$$c = 4190 - 0,01x\cdot 2510 - 7,54 + 4,61\ (100 - Д_б), \quad (2.16)$$

мұндағы, $Д_б$ - өнімнің жақсы сапалылығы, %.

Қамырдың үлестік жылусыйымдылығы:

$$c = 1675(1 + 0,015w); \quad (2.17)$$

Астықтың үлестік жылусыйымдылығы:

$$c = 1550 + 26{,}4w. \qquad (2.18)$$

Жылуөткізгіштік. Жылу қозғалысы мен микробөліктердің өзара әрекеті нәтижесінде дене температурасының теңесуіне алып келетін дененің жақсы жылынған бөліктерінен нашар жылынған бөліктеріне энергияны тасымалдау үрдісін жылуөткізгіштік деп атайды. Қатты материалдардағы, сұйықтардағы және газдардағы жылуөткізгіштіктің қарқындылығы жылуөткізгіштік коэффициентімен λ сипатталады. 30^0C температура кезіндегі сұйықтың жылуөткізгіш коэффициентін мына формула бойынша есептеуге болады:

$$\lambda = A_1 \, c\rho^3 \, (\rho / M)^{1/2}, \qquad (2.19)$$

мұндағы, A_1 – сұйықтардың ассоциациялық деңгейіне байланысты болатын коэффициенті (ассоциацияланған сұйықтар үшін, мысалы су үшін $A_1 = 3{,}58 \cdot 10\text{-}8$; ассоциацияланбаған сұйықтар үшін, мысалы: бензол $4{,}22 \cdot 10\text{-}8$), c – сұйықтардың үлестік жылусыйымдылығы, Дж/(кгК); ρ – сұйықтың тығыздығы, кг/м^3 ; M – молекулярлық массасы.

Жеміс шырындарының, сироптадың, қантты сүттердің жылуөткізгіштік коэффициентін келесі формуламен анықтайды:

$$\lambda_t = \lambda_{20} + 0{,}00068(t-20). \qquad (2.20)$$

Температурасы 20^0C кезінде $\lambda_{20} = 0{,}593 - 0{,}025x^{0{,}53}$, мұндағы, x – құрғақ заттардың концентрациясы.

Температура өткізгіштік. Берілген нүкте маңында зат көлемінде температуралық өрістің өзгеруі кезінде (температураның бөлінуі) осы көлемде температураның өзгеру үрдісін температура өткізгіштік деп атайды.

Температура өткізгіштік температураөткізгіштік коэффициентімен *a* сипатталады:

$$a = \lambda / (c\rho), \qquad (2.21)$$

мұндағы, a – температураөткізгіштік коэффициенті, м^2/с; λ – жылуөткізгіштік коэффициенті, Вт/(м К); c – үлестік жылусыйымдылық, Дж/(кг К); ρ – тығыздық, кг/м^3 .

Беттік керілу. Гидравликалық үрдістер заңдары бойынша барлық сұйықтардың түбінде орналасқан кез келген молекула көрші молекулалармен гравитация күштер арқылы тартылады. Осы тартылу күші өзара тепе-тең, сондықтан бірден білінбейді. Сұйықтықтың түбінде емес, бетінде орналасқан молекулаларда бөліну күші басқаша болады. Олар жоғарыдан емес, төменнен және барлық жақтардан тартылады. Себебі олар сұйықтықта емес басқа орталарда орналасқан.. Нәтижесінде беткі қабат серпінді қабыршақ сияқты тартылған жағдайға ұқсас болады. Беттік тартылу табиғи сұйықтықпен анықталады. Беттік тартылу әрекетін көру үшін келесі тәжірибені өткізуге болады. Шайды ішіп, түбінде шамбасымен бірге кішкене сұйық қалдырыңыз. Шайды қасықпен немесе шірпімен сұйықтық бетін ақырындап қозғаңыз. Ол сол сәтте жоғары қарай (шамба бөлшектерін өзімен ерітіп) ұмтылады. Бұл – беттік тартылу әрекетінің нәтижесі. Егер екі құрғақ шыны пластинаны бір-біріне қойсақ, олар жеңіл бөлінеді. Ал егер де бір шыныны суласақ, онда оларды бөлу қиынға түседі. Бұл да беттік созылу әрекетінің нәтижесі.

Көптеген процестерде тамшылы сұйықтар қозғалыс кезінде газ немесе бір бірімен араласпайтын басқа тамшылы сұйықтармен жанасады. Бұл кезде сұйық тамшы, басқа сұйықтағы тамшылар немесе сұйықтаға газдардың көпіршіктері газ тәрізді формаға жақын формаларды қабылдайды.

Жанасу бетін көбейту үшін, яғни жаңадан беттер пайда болу үшін белгілі бір энергияны жұмсау қажет. Жаңадан пайда болатын бетке жұмсалатын жұмысты *фазалар ара* немесе *беттік керілу* деп аталады.

$$[\sigma] - Дж / м^2 = \frac{Н \cdot м}{м^2} = \frac{Н}{м} \qquad (2.22)$$

Беттік керілу температура көбейген сайын азаяды. σ мәні қатты заттардың тамшылы сұйықтармен суланууын сипаттайды, сулану абсорбциялық ректификациялық аппараттарға өтетін процестердің гидродинамикалық шартына едәуір әсер етеді.

Анықтама әдебиеттерде беттік керілу сұйық – ауа шекарасында беріледі. Екі араласпайтын сұйықтар жанасқандағы беттік керілу сұйық – газ шекарасындағыдан кем болады.

3. ГИДРАВИКА НЕГІЗДЕРІ

Гидравлика - сұйықтың қозғалысы мен тепе-теңдік күйінің заңдылықтарын зерттейтін және оларды инженерлік тәжірибеде пайдаланудың жолдарын қарастыратын негізгі ғылым. Гидравлика әр түрлі сұйықтың тепе-теңдік жағдайы мен оның қозғалу (ағу) заңдылығын зерттейді де, осы заңның практикада түрлі инженерлік-техникалық есептеулер кезінде қолдану тәсілдері беріледі.

Гидравлика мынадай негізгі бөлімдерден тұрады: гидростатика, кинематика және гидродинамика.

Гидростатика сұйықтың тыныштықта тұрғандағы тепе-теңдігі мен қатты дененің сұйыққа түгелімен немесе жартылай батқан кездегі сипатын зерттейді. Кинематика сұйық қозғалысының (ағынының) геометриялық көрсеткіші мен уақыт ішіндегі (жылдамдығы мен үдеуі) жағдайын зерттейді.

Гидродинамика сұйық қозғалысының заңдылығын және оған түсетін барлық күш әсермен бірге зерттейді.

Гидравликаның зерттеу объектісі – сұйықтар. Олардың табиғатта төрт агрегатты күйі - қатты, сұйық, газ түрінде және плазмалы болып бөлінеді. Сұйықтың негізгі қасиеттеріне өте төменгі температура мен жоғары қысым кезінде, қатты дене қасиетінде болатындығын (мұз), ал өте жоғары температура мен ең төменгі қысым кезінде газ түріндегі қасиетіне айнала алатындығын (бу) жатқызуға болады. Сұйық дегеніміз - физикалық дене, оның бөлшектері ете қозғалғыш келеді де, аққыш және сыртқы күш әсерінен өзінің формасын өзгерте алатын қасиеті бар. Сұйықтар сығылатын (газ түрлі) және қысылмайтын немесе өте аз сығылатын болып бөлінеді. Сұйық қозғалысының заңдылығын зерттеуді жеңілдету үшін идеалды және реалды сұйықтар деп екіге бөлінеді.

Идеалды - тұтқырсыз сұйық, бұл сұйықта үйкеліс күші мен жанама кернеу күші болмайды да, сыртқы күш әсерінен оның көлемі өзгермейді. Реалды - тұтқырлы сұйық, табиғатта кездесетін сұйық қысымымен температураның әсерінен көлемі өзгереді. Сондықтан гидравликада нақтылы сұйықты абсолютті сығылмайтын дене ретінде зерттейді.

Реалды сұйық Ньютондық және Бингемдік болып бөлінеді. Ньютон сұйығындағы қозғалысты сұйық бір қабатының екінші

қабатына қарағандағы жанама кернеу (ішкі үйкеліс) оның жылжу жылдамдығына пропорционалды болады. Егер сұйық тыныштықта тұрса, бұл кернеу күші нөлге тең болады. Ньютон сұйығына су, май, бензин, керосин, глицирин, ауа газдары, т.б. жатады.

Бингем сұйығының ағысы өте баяу болады, Ньютон сұйығынан айырмасы - тыныштықта тұрған кезіндегі бұл сұйықта жанама күші (ішкі үйкеліс) олады, әрі мұның шамасы сұйықтың түріне байланысты. Бингем сұйығына битум, балшықты лай, колоидтар, т.б. жатады.

Гидростатика. Сұйықтың бөлшектеріне әсер ететін күштер беттік және барлық жақты болып бөлінеді. Бет жақты күштерге, мысалы, қысым және ішкі үйкеліс күштері жатады. Сұйықтың кез келген нүктесіндегі гидростатикалық қысымы P оның бос бет қабатына түсетін қысымнан A және биіктігі h сол нүктеден бос бет қабатына дейінгі кашықтыққа тең болады.

Қысым. Паскаль Заңы. Гидростатикалық қысым. Қатты (серпімді) денелерден сұйықтықтың негізгі айырмашылығы-өз пішінін оңай өзгерту қабілеті. Сұйықтықтың бөліктері бір-біріне қатысты қозғала отырып, еркін қозғалуы мүмкін. Сондықтан сұйықтық құйылған ыдыстың формасын қабылдайды. Сұйықтыққа, газ тәрізді ортаға, қатты денелерді батыруға болады. Сұйықтықтар газдарға қарағанда, іс жүзінде қысылмайды. Гидростатикада денеге таралған күштерді сипаттау үшін жаңа физикалық шама – қысым енгізіледі. Қысым осы беттің S ауданына перпендикуляр әрекет ететін F күш модулінің қатынасы ретінде анықталады:

$$P = F/S. \qquad (3.1)$$

Егер күш перпендикуляр аланға бұрыш бойымен бағытталса, онда осы күшпен жасалатын қысым мынадай формула бойынша болады:

$$P = F\cos\alpha/S. \qquad (3.2)$$

Паскаль заңы: сұйықтыққа (немесе газға) әсер ететін қысым осы сұйықтықтың кез келген нүктесіне өзгеріссіз және барлық бағыттарда беріледі.Ыдыстың түбіне немесе бүйір қабырғаларына сұйықтық қысымы қысым өлшенетін нүктеден сұйықтық

бағанасының биіктігіне байланысты. Сұйықтық бағанының гидростатикалық қысымы мынадай формула бойынша есептеледі (3.1-сурет)

$$P=\rho gh. \qquad (3.3)$$

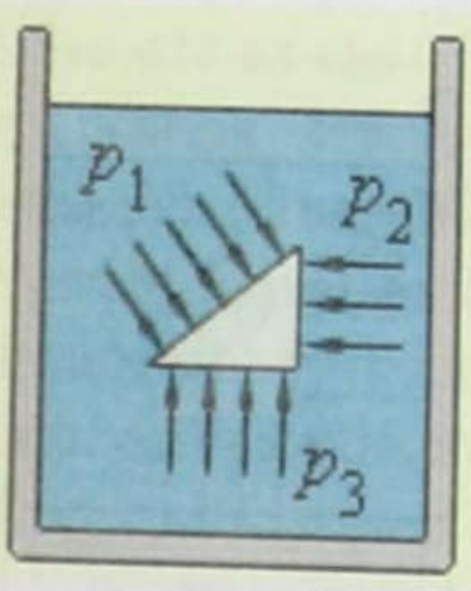
Көрсетілген қысым ыдыстың түріне байланысты емес, тек сұйықтық түріне (яғни оның тығыздығына) және осы сұйықтықтың бағанасының биіктігіне байланысты. Паскаль Заңына сәйкес h тереңдіктегі осындай қысым сұйықтық ыдыстың бүйір қабырғаларына да әсер етеді.

Сонымен, егер гидростатика бойынша тапсырмада кейбір нақты нүктеде бүйірлік қырдағы сұйықтық бағанасының қысымы туралы сөз болса, онда мұндай қысым алдыңғы формула бойынша, мұнда h-осы нүктеден сұйықтық бетіне дейінгі қашықтық. Бірақ кейде гидростатика бойынша есептерде ыдыстың барлық бүйір бетіне орташа қысымды есептеу қажет. Бұл жағдайда мына формуланы қолданамыз (3.2- сурет):

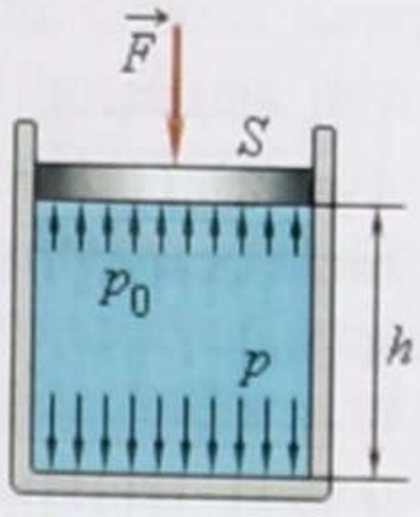
$$P_{бүйір} = (p_{бет} + p_{түбі})/2 = (pg*0+pgh)/2= pgh/2. \qquad (3.4)$$

Бұл жағдайда, h-ыдыстағы сұйықтық бағанының жалпы биіктігі. Егер сұйықтық цилиндрде поршень астында болса, онда кейбір сыртқы күшпен поршеньге әрекет ете отырып, сұйықтықта $p_0 = F/S$ қосымша қысым жасауға болады, мұнда: S – поршень ауданы. Осылайша, h тереңдікте сұйықтықтың толық қысымын жазуға болады (3.3-сурет):

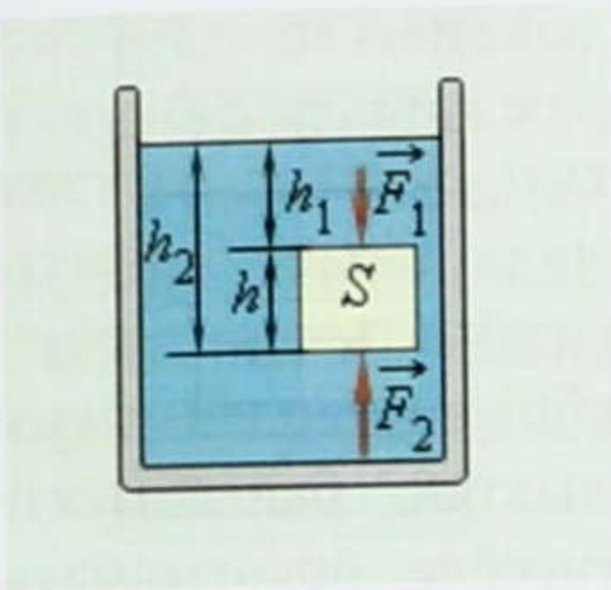
$$P = p_0 + pgh. \qquad (3.5)$$



3.1-сурет. Паскаль заңы



3.2-сурет. Қысымның сұйық бағанына байланысы



3.3-сурет. Архимед күші.

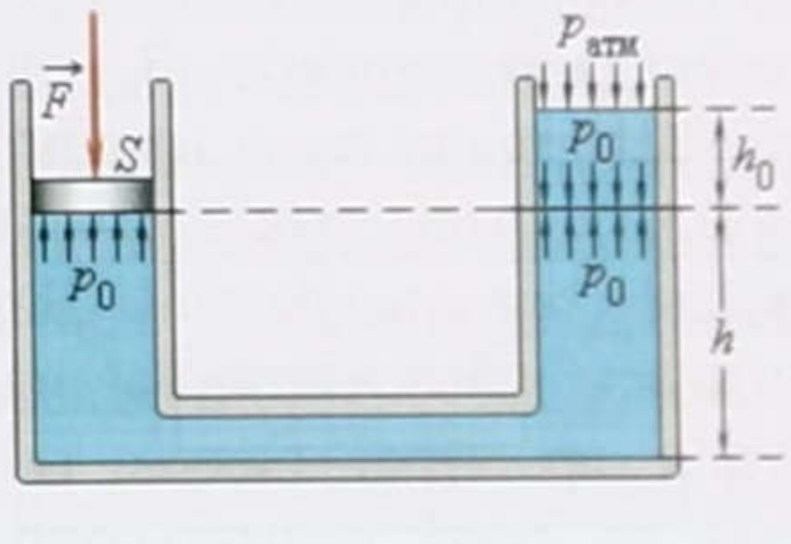
$F_A = F_2 - F_1 = S(p_2 - p_1) = \rho g S h$, $F_1 = p_1 S$,

$F_2 = p_2 S$

$F_A = F_2 - F_1 =$

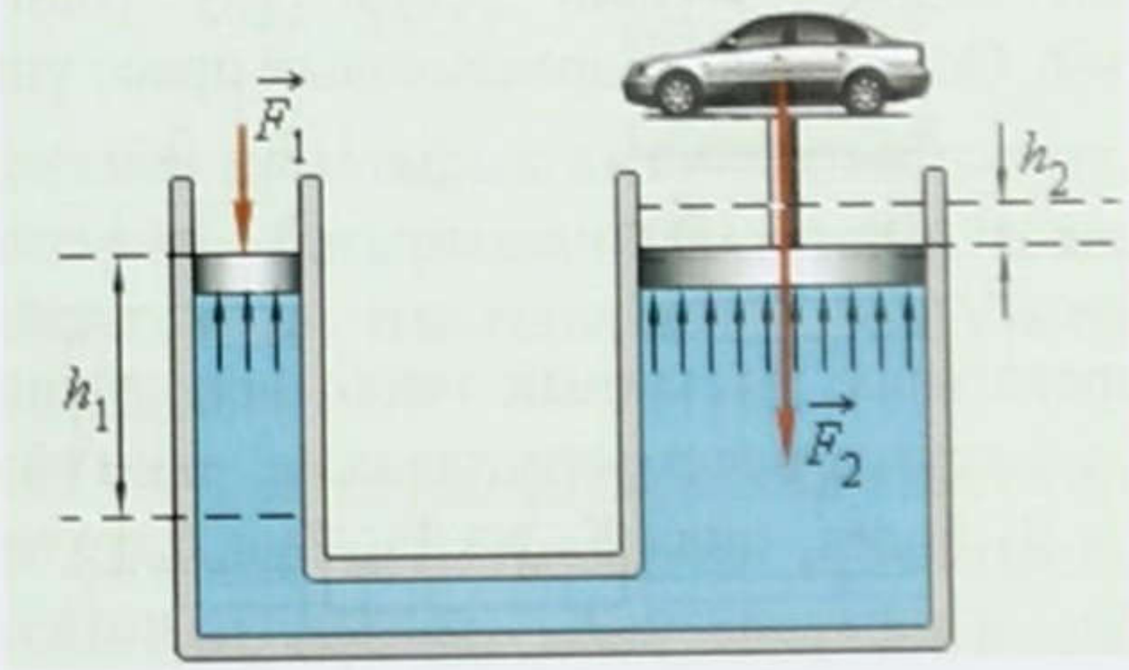
$S(p_2 - p_1) = \rho g S h$,

$F_1 = p_1 S$, $F_2 = p_2 S$.



3.4-сурет. Байланысқан сиымдылықтар. Оң жақтағы сиымдылық беті бос.

h деңгейінде сиымдылықтар ішіндегі қысым бердей және $p_0 = F/S = \rho g h_0 + p_{атм}$. Сиымдылықтар түбіндегі қысым $p = p_0 + \rho g h$.



3.5-сурет. Гидравликалық машина.

Егер поршень алып тастаса, сұйықтық бетіне қысым атмосфералық қысымға тең болады. Егер біз суға батқан болсақ, онда кейбір тереңдікте қысым екі қысымнан тұрады – атмосфераның қысымы мен су бағанасының қысымы (ол батудың тереңдігімен анықталады).

Байланысқан ыдыстар. Өзара канал арқылы жалғасқан сұйықтық толтырылған ыдыстар байланысқан деп аталады. Бақылаулар кез келген нысандағы байланыстағы ыдыстарда

біртекті сұйықтық әрқашан бір деңгейде орнатылатынын көрсетеді. Байланысқан ыдыстарға арналған есептер гидростатикада өте таралған (3.4-сурет).

Бірдей формада және өлшемдегі әртекті сұықтар басқаша болады. Әдетте ыдыстың барлық бөліктерінде бірдей биіктікте бірдей қысым орнатылуы тиіс. Бірақ егер сұйықтықтар әртекті болса, онда осы сұйықтықтар бағандарының биіктігі бірдей қысым жасау үшін әр түрлі болуы тиіс. Сондықтан, байланысқан ыдыстарда әр текті сұйықтықтар бір деңгейде орнатылмауы мүмкін.

Гидравликалық пресс. Егер байланысқан ыдыстарды екі тік орналасқан цилиндрін поршеньдермен жапса, онда поршеньдерге қоса берілген сыртқы күштердің көмегімен сұйықтықта жүйенің кез келген нүктесінде гидростатикалық қысымнан көп есе асатын р үлкен қысымын жасауға болады. Сонда барлық жүйеде р бірдей қысым (Паскаль Заңына сәйкес) белгіленеді деп есептеуге болады. Егер поршеньдердің S_1 және S_2 әртүрлі аудандары болса, онда оларға сұйықтық жағынан $F_1 = pS_1$ және $F_2 = pS_2$ түрлі күштер әсер етеді. Модуль бойынша, бірақ қарама-қарсы бағытталған сыртқы күштер тепе-теңдікте жүйені ұстап тұру үшін поршеньдерге салынуы тиіс. Осылайша, гидравликалық пресс үшін:

$$F_1/S_1 = F_2/S_2 \qquad (3.6)$$

Бұл арақатынас қысымның теңдігінен туындайды және тек мінсіз гидравликалық престе орындалады, яғни үйкеліс жоқ болса. Егер $S_2 >> S_1$ болса, онда $F_2 >> F_1$. Бұл шарттар орындалатын құрылғылар гидравликалық сығымдағыштар (машиналар, домкраттар) деп аталады. Олар күшінде айтарлықтай ұтысты алуға мүмкіндік береді. Егер тар цилиндрдегі поршень F_1 сыртқы күшінің әсерінен h_1 қашықтығына төмен жылжытылса, онда кең цилиндрдегі поршень H_2 қашықтығына ауысады, ол ара қатынасынан табылуы мүмкін:

$$F_1h_1 = F_2h_2 . \qquad . \qquad (3.7)$$

Соңғы формула жұмыстың теңдігінен туындайды және үйкеліс күші әсер етпейтін мінсіз машиналар үшін ғана орындалады. Осылайша, гидравликалық баспасөзде барлығы

"механиканың алтын ережесіне" толық сәйкес келеді: біз қанша рет күшінде жеңеміз, сонша біз қашықтықта ұтыламыз. Бұл ретте бірде-бір машина жұмыста ұтысқа ие бола алмайды.

Гидравликалық пресс механизм болғандықтан, оның жұмысын ПӘК (пайдалы әсер коэффициенті) сипаттауға болады. Гидростатика бойынша есептерде гидравликалық престің пәк мынадай формула бойынша есептеледі (3.5-сурет):

$$ή = F_2h_2/ F_1h_1. \quad (3.8)$$

мұндағы: $A_{пол} = F_2h_2$- пайдалы жұмыс(жүкті көтеру бойынша жұмыс), $A_{затр} = F_1h_1$- жұмсалған жұмыс. Көптеген міндеттерді гидравликалық престің пәк 100% - ға қабылдайды. ПӘК идеалды гидравликалық пресс туралы болған жағдайда есептеледі.

Архимед Заңы. Сұйықтықтағы дене салмағы. Қысымдар айырмасы негізінде сұйықтықтың әр түрлі деңгейлерде туындайтын итергіш немесе Архимед күші, мына формула бойынша есептеледі:

$$F_A= pgV, \quad (3.9)$$

мұндағы: V – денемен ығыстырылған сұйықтықтың көлемі немесе дененің сұйықтыққа батырылған бөлігінің көлемі, ρ-дене батырылған сұйықтықтың тығыздығы, демек, ρV-ығыстырылған сұйықтықтың массасы.

Сұйықтыққа (немесе газға) батырылған денеге әрекет ететін Архимед күші денемен ығыстырылған сұйықтықтың (немесе газдың) салмағына тең. Бұл Архимед заңы деп аталатын ол кез келген пішіндегі денелер үшін әділ.

$$P_{сұйықтағы\ дене} = P_{ауадағы\ дене} (1-(p_{сұйық}/p_{дене})). \quad (3.10)$$

Бұл формула көп есептерді шешу кезінде қолданылуы мүмкін. Архимед заңының көмегімен теңізде ғана емес, сонымен қатар ауамен жүзу де жүзеге асырылады. Архимед заңынан, егер $p_{дене}$ денесінің орташа тығыздығы сұйықтықтың (немесе газдың) тығыздығынан артық болса (немесе басқаша mg > FA), дене түбіне түсіріледі. Егер рт < ρ (немесе басқаша mg < FA) болса, дене

сұйықтықтың бетінде жүзеді. Батырылған дене бөлігінің көлемі ығыстырылған сұйықтықтың салмағы дене салмағына тең болады. Әуе шарын ауада көтеру үшін оның салмағы ығыстырылған ауаның салмағынан аз болуы тиіс. Сондықтан ауа шарлары жеңіл газдармен (сутегімен, гелиймен) немесе қыздырылған ауамен толтырылады.

Дененің жүзуі. Егер дене сұйықтықтың бетінде болса (жүзеді), онда оған бір-бірін теңестіретін екі күш (Архимед жоғары және төмен ауырлығы) әсер етеді. Егер дене тек бір сұйықтыққа батырылған болса, онда мұндай жағдай үшін Ньютонның екінші заңын жазып және қарапайым математикалық операцияларды орындау арқылы келесі көлем мен тығыздықты байланыстыру өрнегін алуға болады:

$$V_{батырылған}/V = p_{дене}/p_{сұйық}. \quad . \qquad (3.11)$$

мұндағы: $V_{батырылған}$ – дененің батырылған бөлігінің көлемі, V – дененің толық көлемі. Осы арақатынастың көмегімен жүзу міндеттерінің көпшілігі оңай шешіледі.

Гидростатикалық қысым қасиеттері. Тыныштықтағы сұйықтықта кернеудің бір ғана түрі мүмкін болады – сығу кернеуі, яғни гидростатикалық қысым. Сұйықтықтағы гидростатикалық қысымның бірнеше қасиеті бар. Біріншісі - сұйықтықтың сыртқы бетінде гидростатикалық қысым әрқашан да қарастырылатын сұйықтың көлемінің ішіндегі нормаль бойынша бағытталады. Бұл қасиет тікелей қысым анықтамасынан нормаль сығушы қысым түрінде шығады. Сұйықтықтың сыртқы беті деп сұйықтық бөлімінің газ тәріздес ортамен немесе қатты қабырғалармен бірге болатын бет деп қана емес, сондай - ақ сұйықтықтың жалпы көлемінен бөлінетін элементар көлемдер беті деп түсінеміз. Екіншісі: Сұйықтық ішіндегі кез – келген нүктеде гидростатикалық қысым барлық бағыттары бойынша бірдей, яғни қысым берілген нүктеде әрекет ететін аудан көлбеулігі бұрышына тәуелсіз.

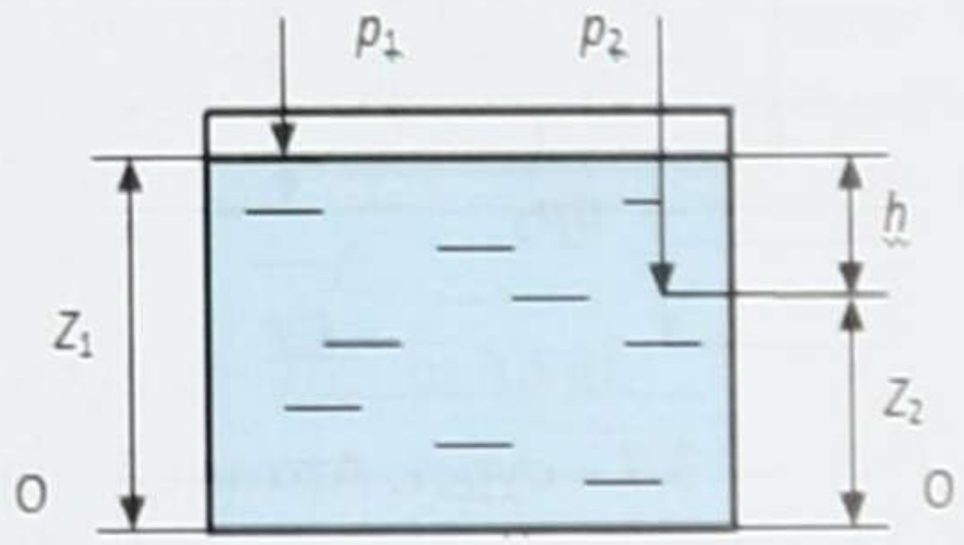
Егер сұйыққа сыртқы күштер әсер етсе, ол сұйықтың ішкі күштерінің (молекулааралық) тепе-теңдігін бұзады. Кез келген қимада ішкі күштердің қосындысынөлден ауытқиды және ол сыртқы күштерге қарсы бағытталады. Ішкі күштердің шамасы сыртқы күштермен теңескенше өседі. Сұйықтың мұндай күйін

жүктену (күштену) деп атайды. Соған сәйкес сұйық қимасында пайда болған күштерді жүктену күштері деп атайды.

Эйлердің тепе-теңдік теңдеуі. Тыныштық жағдайында болатын сұйықтыққа әсер ететін күштер арасындағы қатынастар Эйлер тепе-теңдігінің дифференциалдық теңдеулерімен көрінеді. Гидростатиканың негізгі теңдеуі Эйлер теңдеуімен сипатталады (3.6- сурет):

$$Z + p/(\rho g) = \text{const}, \qquad (3.12)$$

мұнда Z – геометриялық арын, м; $p/(\rho g)$ - статикалық (пьезометриялық) арын, м. Теңдеуден сұйықтықтың кез келген нүктесі үшін геометриялық және пьезометриялық арынның қосындысы – тұрақты шама.



3.6 - сурет-Эйлер заңы

3.6- суретті қарастырайық. Бұл жағдайда бір нүкте ашық резервуарда (Z_1, p_1) сұйықтық бетінде, екіншісі - $h = Z_1 - Z_2$ тереңдікте орналасқан Эйлер теңдеуі осы екі нүкте үшін мынандай көрініс қабылдайды:

$$Z_1 + p_1/(\rho g) = Z_2 + p_2/(\rho g), \qquad (3.13)$$

$$Z_1 - Z_2 = (p_2 - p_1)/(\rho g), \qquad (3.14)$$

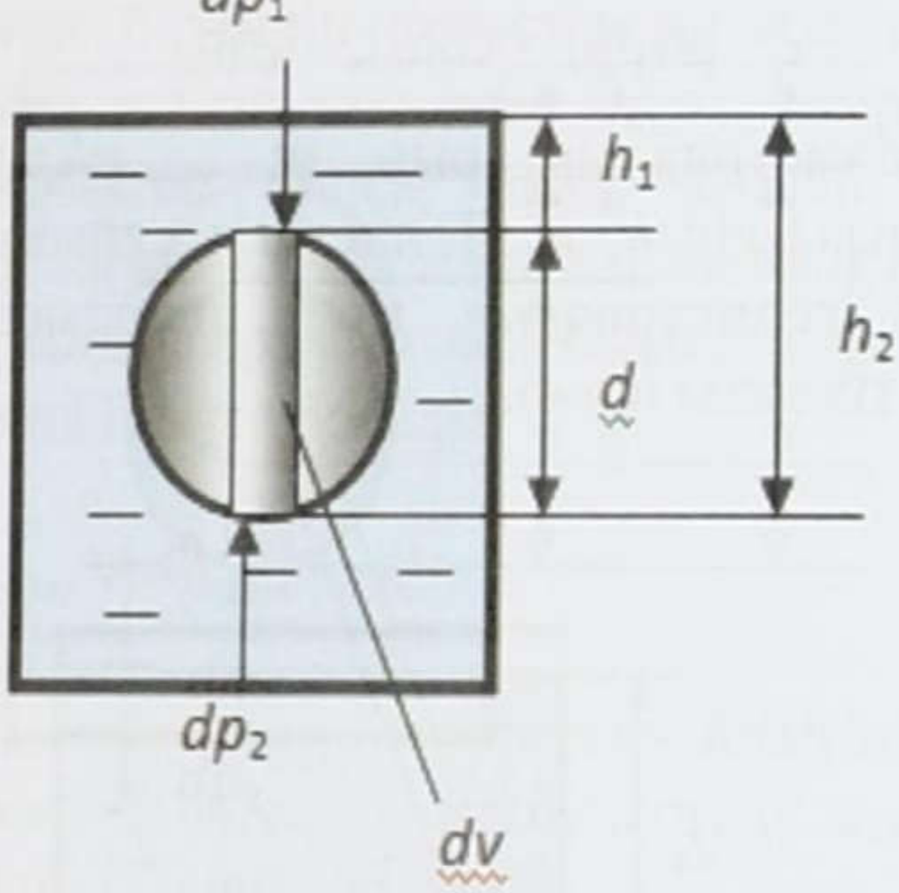
мұндағы ρ – тығыздық, кг/м^3; p – қысым; Z – геометриялық биіктік, м; g – гравитациялық тұрақты, 9,81 м/с^2.

Паскаль Заңы. Бұл $h = Z_1 - Z_2$ – бату тереңдігі ескере отырып (2.14) теңдеуінен Паскаль заңы аламыз:

$$p_2 = p_1 + \rho g h . \qquad (2.15)$$

Теңдеуден h тереңдіктегі қысым гидростатикалық қысым шамасына pgh артады. Сұйықтықтың кез келген нүктесінде пайда болатын қысым оның көлемінің барлық нүктелеріне беріледі.

Архимед Заңы. Сұйықтыққа батырылған денеге ығыстырылған сұйықтықтың салмағына тең итеретін күш әсер етеді. 3.7- суретті қарастырайық.



3.7 – сурет. Архимед заңы

Сұйықтыққа батырылған дене диаметрі d шар түрінде болады, оның көлемі- V. Паскаль заңына сәйкес h тереңдіктегі қысым мына теңдеумен сипатталады:

$$p_h = p_ж + \rho gh . \qquad (3.16)$$

Денеден қарапайым dv көлемін таңдаймыз. Элементарлық дененің жоғарғы алаңына сұйықтық қысымының күші:

$$dF_1 = p_ж\ gh1\ dS . \qquad (3.17)$$

Төменгі қарапайым алаңға сұйықтық қысымының күші:

$$F_2 = p_ж\ gh2\ dS. \qquad (3.18)$$

Денеге әсер ететін итеру күші:

$$dF_в = dF_2 - dF_1 = p_ж\ ghdS, \qquad (3.19)$$

мұндағы dS – элементарлық алаң, $м^2$; $F_в$ – итеру күші, Н; $p_ж$ – сұйықтықтың тығыздығы, $кг/м_3$; h_1 , h_2 – бату тереңдіктері, м; g – еркін түсу үдеуі, $м/с^2$.

Ауырлық күші:

$$F_t = rTgV\ . \qquad (3.20)$$

Сұйықтық жағынан денеге әсер ететін күш пен ауырлық күшінің қосындысы

$$F_г = F_т - F_ж = V\ (г_т - г_ж)g. \qquad (3.21)$$

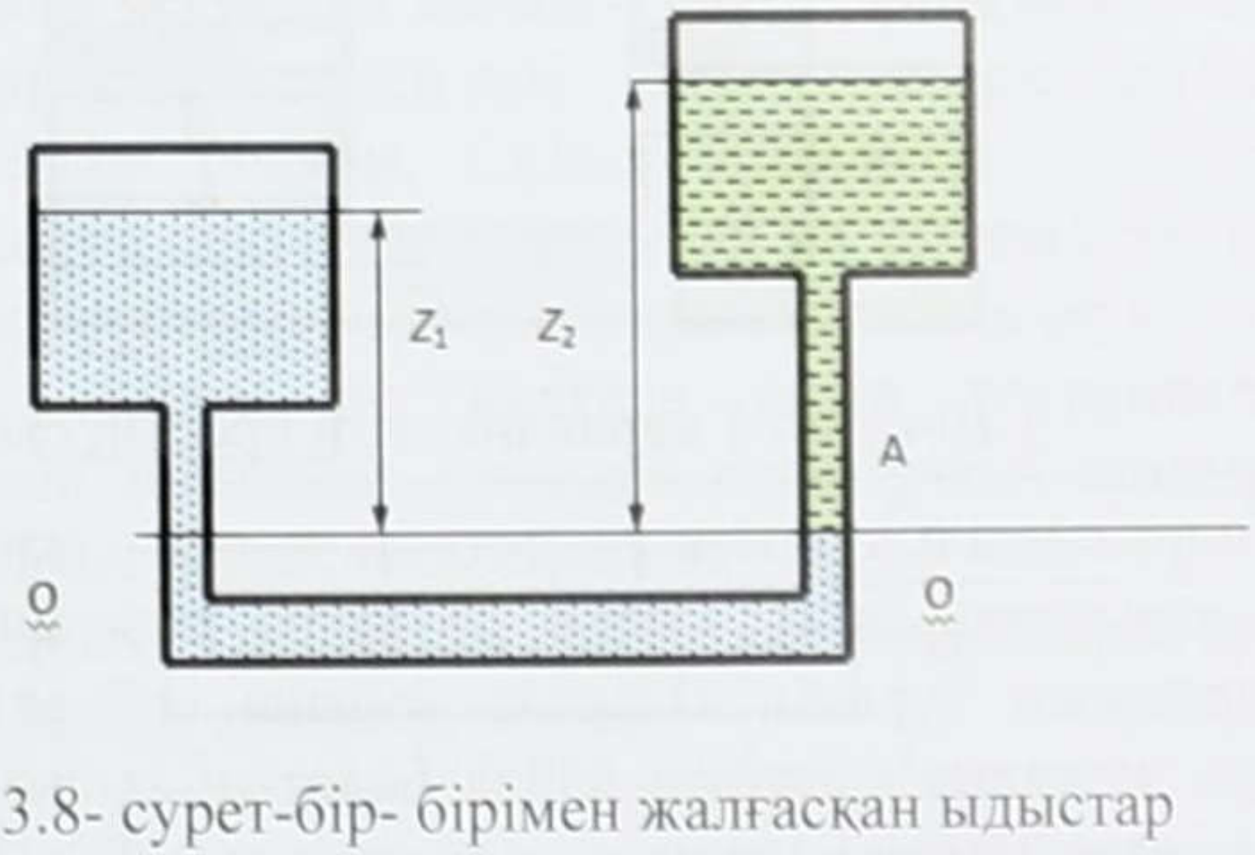
Егер денесінің тығыздығы сұйықтығының тығыздығынан көп болса, онда (+Рр) дене батады. Егер $г_т < г_ж$ болса , онда (– Рр) дене су бетіне қалқып шығады.

Архимед Заңы тұндыру, флотация және т. б. процестерін есептеу кезінде қолданылады.

Гидростатика заңдарын техникада қолдану. 3.8- суретте бір бірімен жалғасқан ыдыстарды көреміз. Олардың ішінде араласпайтын, тығыздықтары әр түрлі сұйықтықтар бар. Олардың деңгейлері Z_1 және Z_2. ОО- есептеу жазықтығы, А нүктесі сұйықтықтардың бөліну нүктесін көрсетеді. Осы жағдай үшін Эйлер теңдеуі:

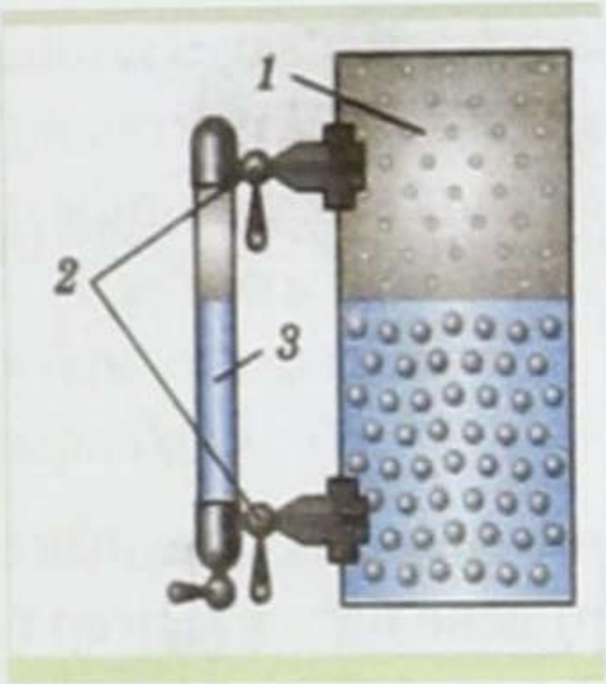
$$Z_1 + p_1 /(\rho\ g) = Z_2 + p_2 /(\rho\ g), \qquad (3.22)$$

осыдан: $Z_1 / Z_2 = p_1 / p_2$.



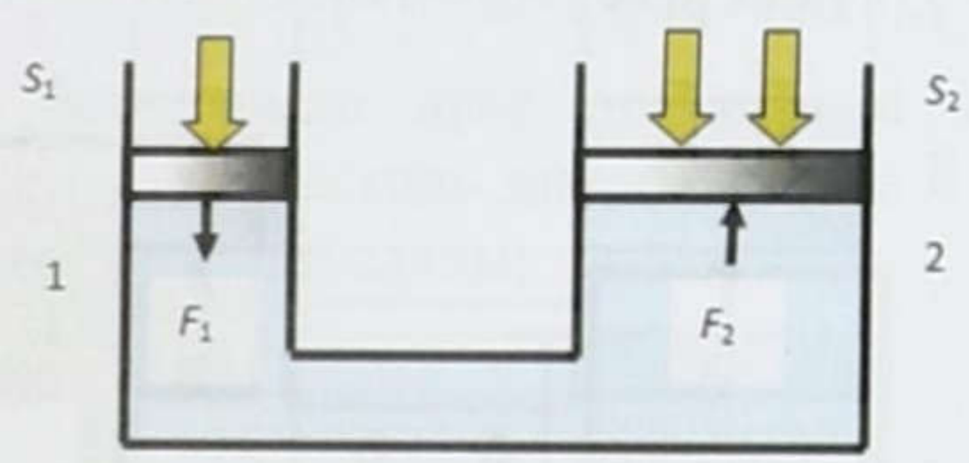
3.8- сурет-бір- бірімен жалғасқан ыдыстар

Бұл принцип, мысалы, су жылытатын және бу қазандықтарында және сұйықтық деңгейін анықтау үшін басқа да аппаратурасында қолданылады (3.9- сурет).



3.9 - сурет. Байланысқан сиымдықтары пайдалану :
Бу қазанының деңгей көрсету құрылымы:
1-бу қазаны; 2- крандар; 3- су деңгейі.

Гидравликалық престер. Қандай да бір көлемге бекітілген сұйықтықтың барлық нүктелеріне қысымды беру принципі сығымдағыштарда, тежегіштердің гидравликалық күшейткіштерінде және қоса берілген күштерді күшейту қажет болған жағдайда басқа да осындай жағдайларда қолданылады. Гидравликалық престің схемасы 3.10- суретте көрсетілген.



3.10-сурет-Гидравликалық престің схемасы

Гидравликалық пресс S_1 бетінің ауданы және S_2 болатын үлкен диаметрлі екі (1 және 2) өзара жалғанған диаметрлі цилиндрлерден тұрады. Паскаль Заңына сәйкес 1 цилиндрде поршень қозғалысы кезінде пайда болатын қысым 2 цилиндрге беріледі және бірдей болады: $p_1 = p_2$ немесе $F_1/S_1 = F_2/S_2$, мұнда F_1 – 1 цилиндрде поршень жағынан сұйықтыққа әсер ететін күш, ал F_2 – сұйықтық жағынан 2-поршеньге әсер ететін күш. Сонда:

$$F_1/ F_2 = S_1/S_2 \text{ немесе } F_2 = F_1\ S_2/S_1. \qquad (3.23)$$

Бұл арақатынастан гидропрестегі шағын цилиндрге қосылған күш S_2/S_1 үлкен цилиндрде артады.

Гидростатика - гидравликаның негізгі бір бөлімі, ол сұйықтың тене-теңдігі мен қатты дененің түгелімен немесе жартылай батқан кездегі сипатын зерттейді. Тыныштықта түрған сұйықтың жанама күш - кернеуі нөлге тең болады да, оған нормалы күш - кернеуі әсерін тигізеді (оның салмақ күші).

Гидродинамика дегеніміз - сұйық қозғалысының заңдылығын және сұйықтың қатты денемен ағу кезіндегі байланысын, сұйық ішіндегі қысымды зерттейтін гидравликаның негізгі бір бөлімі. Осыған байланысты сұйық механикасының ішкі және сыртқы есептері деген ұғым енгізіледі. Ішкі есептеріне құбырдағы, ашық арықтағы сұйық қозғалысытары, т.б. жатады. Сыртқы есептеулеріне сұйықтың қатты денені айналып ағу түрлері жатады.

Гидравлика саласы сұйық кинематиканы динамикамен бірге қарастырады да, оның айырмашылығын, түрлерін зерттеумен қатар сұйық кинематикалық сипаттамаларына түскен күштерді есептемегендегі сұйық қозғалысын, ал сұйық динамикасы сұйық қозғалысына түсетін күштердің байланыстылық заңдылығын зерттейді.

Гидравликалық сұйықты үздіксіз орта ретінде қарайды да, оның барлық кеңістіктігінде толық толтырады. Көбінесе гидродинамикалық есептерді шешкен кезде сұйықтың қозғалуы, оған түсетін сыртқы күштермен қатар салмақ күші, сыртқы қысым, т.б. күштер белгілі болады. Сұйық қозғалысын түсіндіретін белгісіз факторларға ішкі ғидродинамикал ық қысым және кейбір кеңістіктегі әрбір нүктедегі сұйық жылдамдығының ағуы жатады. Гидравликалық ңысым әр нүктеде оның координатының функциясы болып табылады, сонымен қатар уақыт аралығында өзгеруінен, ол уақыт функциясы t болады.

Гидродинамика – сұйықтық пен газ механикасының ертеден келе жатқан әрі жақсы дамыған саласы.

Оның көмегімен сұйықтықтың жалпы қасиеттеріне механиканың негізгі заңдары мен тәсілдерін қолдана отырып, сұйықтық алып жатқан тұтас ортаның кез келген нүктесінің жылдамдығы, қысымы тәрізді өлшемдер анықталады.

Гидродинамика теориялық гидродинамика және тәжрибелік гидродинамика болып екіге бөлінеді. Теориялық гидродинамикада сұйықтықтың жеке бөлшектері сұйық орналасқан тұтас ортаның материалдық нүктелері ретінде қарастырылады немесе сұйықтық

алып жатқан кеңістіктегі жылдамдықтар өрісі зерттеледі. гидродинамика тұрғысынан алғанда сұйықтықтың ең басты қасиеті – аққыштық пен тұтастық. Сұйықтықтың газ тәріздес ортадан негізгі айырмашылығы – оның сығылмайтындығы. Мұндай сұйықтықтар үшін үзіліссіздік теңдеуі мен Навье-Стокс теңдеуі қолданылады. Тұтқыр сұйықтық қозғалысы қарастырылғанда, ағыс сипаттамасы болып табылатын өлшемсіз шама – Рейнольдс саны қолданылады. Эксперименттік гидродинамика тәсілдерінің қатарына сұйықтық қозғалысы мен оған шекаралас орналасқан қатты дене маңындағы ағысты кішірейтілген масштабта қайта жасап алуға негізделген модельдеу тәсілдері жатады. гидродинамиканың көптеген есептерін шешуге ұқсастық теориясы мен ұқсастық өлшеміне негізделген гидродинамикалық тәжірибелер де қолданылады. Гидродинамика әдістері сорғыларды, құбырларды, т.б. есептеуге мүмкіндік береді.

Гидродинамиканы үйренуде негізгі объектілердің бірі сұйық ағыны, яғни шекттеулі беттіктері арасында сұйық массасының қозғалысы болып табылады. Сұйық әр түрлі күштер әсерінен қозғалады: ауырлық күшінің; ішкі қысым; инерциялы күш және т.б.

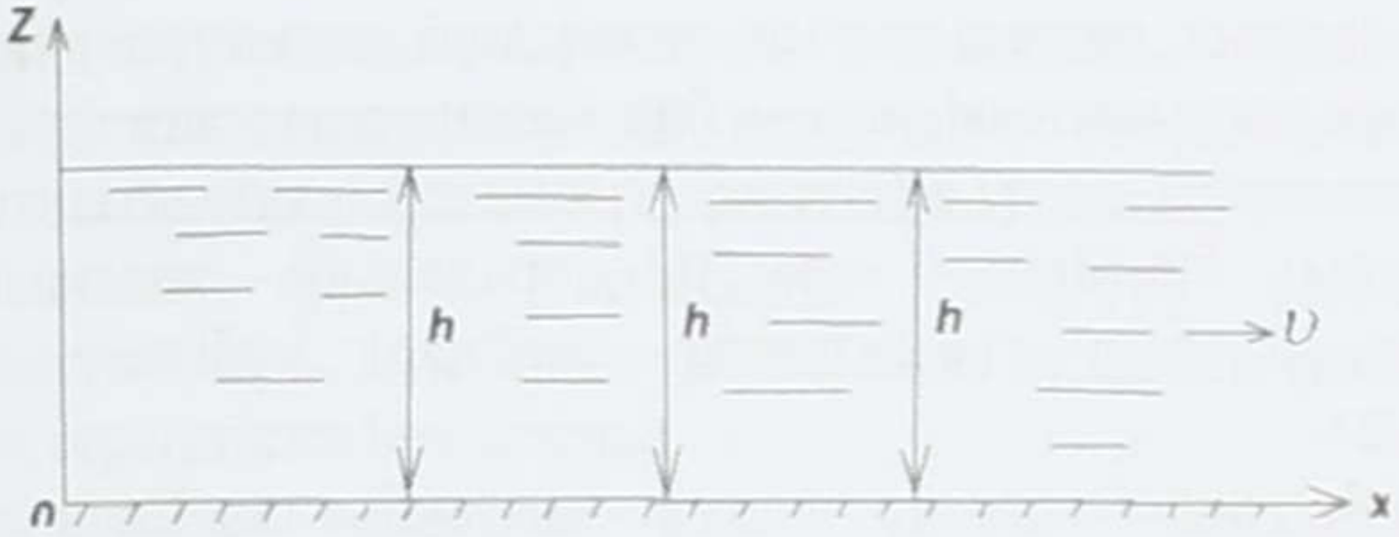
Егер сұйық қозғалысы қалыптасқан болса, бұл ретте ағым бойымен қима өлшемі мен бейнесі өзгермесе, онда ол бірқалыпты деп аталады.

Бірқалыпсыз деп ағым ұзындығы бойынша оның көлденең қимасы және соған сәйкес орташа жылдамдығы өзгеретін, қалыптасқан сұйық қозғалысын айтады.

Қалыптасқан деп уақыт өтісімен тереңдік, жылдамдық, үдеу, қысым өзгермейтін, ал тек қарастырып отырған нүктенің сұйық ағымындағы қалпына тәуелді қозғалыс түрін айтады.

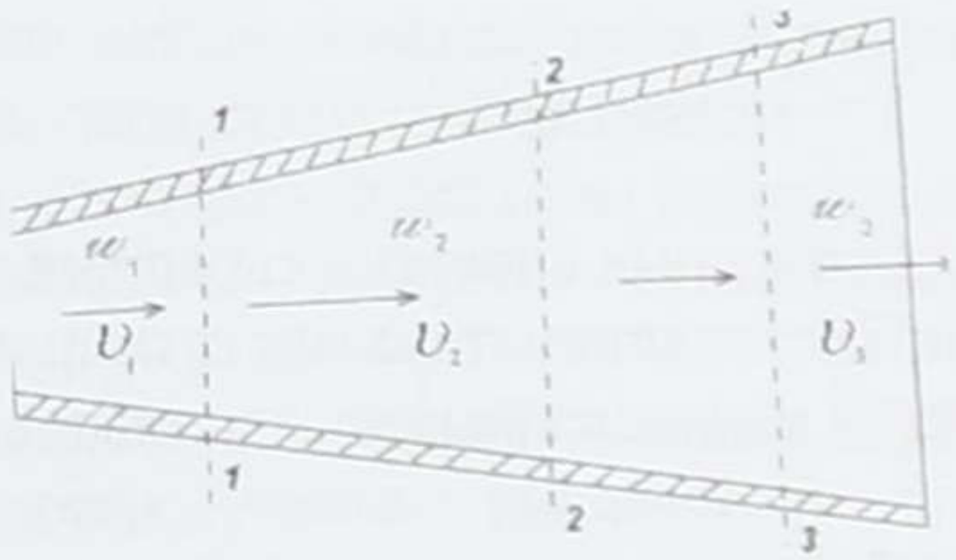
Қалыптаспаған қозғалыс деп жоғарыда аталған компоненттердің барлығы тек координаттардың емес, сонымен қатар, уақыт функциясы болғандағы қозғалыс түрін айтады.

Бірқалыпты қозғалысқа, мысал ретінде, дұрыс пішінді арнаменен тұрақты толтыру тереңдігіндегі сұйық қозғалысын келтіруге болады (3.11-сурет).



3.11-сурет. Біркалыпты қозғалыс

Қалыпсыз қозғалысты конустық құбырда байқауға болады, онда ұзындық бойынша ағымның көлденең қимасы, демек жылдамдық, қысым және тереңдікте өзгереді (3.12-сурет)



3.12-сурет. Қалыпсыз қозғалыс

Сұйықтың қозғалыс заңдарын оқып үйренуде екі түрлі есеппен түйісу керек болады:

1) *сыртқы есеп,* сұйық ағынының гидродинамикалық сипаттамалары көрсетілген, сұйықты айнала ағатын денеге салынған күшті табу керек.

2) *ішкі есеп*, сұйыққа әсерін тигізетін күштер берілген, ағынның гидродинамикалық сипаттамаларын табу керек.

Ағынның *гидродинамикалық сипаттамалары* болып: гидродинамикалық қысым; сұйық қозғалысының жылдамдығы.

Гидродинамикалық қысым – сұйықтың қозғалысы кезінде дамитын ішкі қысым.

Берілген нүктеде сұйық қозғалысының жылдамдығы – берілген нүктеде орналасқан, сұйық бөлшектерінің кеңістікте ауысу жылдамдығы. Жылдамдық бірлік уақыт ішінде сұйық бөлшегінің жүріп өткен жолының ұзындығымен анықталады.

Жылумен қамтамасыз ету және желдету жүйелерін гидравликалық есептеу кезінде *эквивалентті диаметр* түсінігі қолданылады, ол төрт гидравликалық радиусқа тең:

$$d_э = 4R = 4\,\omega/\,\chi.. \qquad (3.28)$$

Ағын шығыны – бірлік уақытта ағынның нақты қимасы арқылы өтетін сұйықтық көлемі, Q, м/с, $м^3$/сағ.

Ағынның салмақтық шығыны –бірлік уақытта ағынның нақты қимасы арқылы өтетін сұйықтық салмағы, V, кг/с, т/сағ. Салмақтық және көлемдік шығындар арасында келесі тәуелділік орын алады:

$$M = Q\,. \qquad (3.29)$$

Ағынның орташа жылдамдығы –ағын шығынының нақты қимасының ауданына қатынасы, v, м/с

$$v = Q/\,\omega. \qquad (3.30)$$

Сұйықтықтың орныққан қозғалысындағы ағынның орташа жылдамдығы – Q шығындағы ω берілген нақты қима бойынша сұйықтықтың барлық бөлшектеріне сәйкес нақтылы жылдамдықпен қозғалатын барлық нүктелерге бірдей ағын жылдамдығы.

Құйынды қозғалыс. *Сұйық бөлшектің траекториясы* – қозғалыс барысында сұйық бөлшек салатын қисық сызық.

Сұйық бөлшек –пішінін өзгертуін ескермеуге болатын сұйықтықтың аз көлемі. Сұйықтықта қозғалатын ағын өз пішіндерін өзгертпейтін қарапайым құйыншалардан тұрады деп алайық, яғни ағынды ойша қарапайым құйыншалар қатарына бөлеміз. 3.13 - суретте сұйықтықтың құйындық қозғалысының моделі көрсетілген.

3.13 сурет – Сұйықтықтың құйындық қозғалысының моделі

Орныққан қозғалыста орналасқан сұйықтық ағынын қарастырайық (3.14 - сурет). Бір-бірінен Δl арақашықтықта

алынған, осы ағынның 1, 2 ,3 ... нүктелерінде берілген уақыт кезіндегі сұйықтықтың бөлшектерінің шамасы мен қозғалыс жылдамдығын сипаттайтын u_1, u_2, u_3 … векторларын жүргіземіз.

3.14- сурет – Сұйықтықтың ағын қозғалысының векторлық сүлбесі

Сұйықтықтың бөлшектерінің қозғалысының векторларына жүргізілген және берілген уақыт кезінде сұйықтық бөлшектерінің ретті бағытын сипаттайтын жанама қисық *ток сызығы* деп аталады.

Траектория Δl белгілі бір уақыт аралығында сұйықтықтың бір бөлшегінің қозғалу жолын көрсетеді, ал ток сызығы әртүрлі бөлшектерді біріктіріп және t уақытта қозғалып жатқан сұйықтықтың кейбір шапшаң сипаттамасын береді.

Егер қозғалатын сұйықтықта шексіз аз тұйық контурды белгілеп алып және сәйкес уақыт кезіне байланысты оның барлық нүктелері арқылы ток сызығын жүргізсек, онда *ток трубкасы* деп аталатын трубкалы өткізбейтін бет пайда болады. Ток трубкасының ішінде қозғалатын сұйық салмағы *қарапайым құйыншаны* тудырады. Қарапайым құйынша екі қасиетке ие:

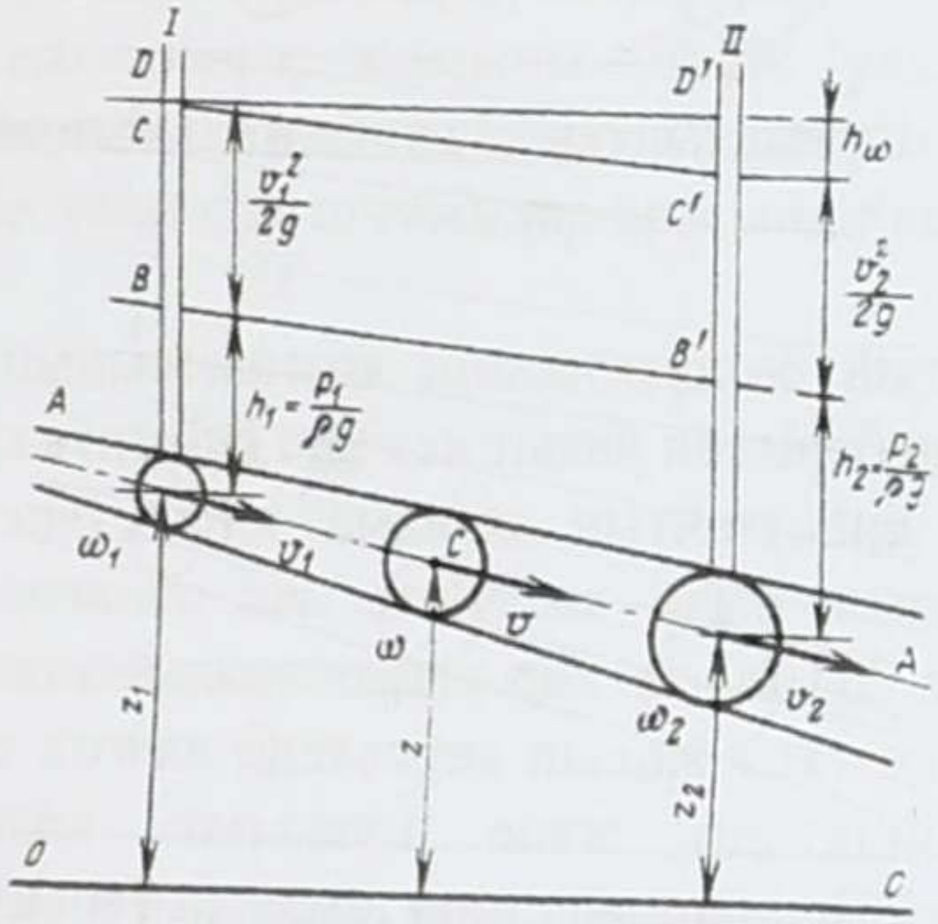
а) бір нақты қимадағы құйыншалардың көлденең қималарының жылдамдықтары мен аудандары олардың аздығынан өзгермейді;

б) әртүрлі нақты қималардағы құйыншалардың көлденең қималарының жылдамдықтары мен аудандары өзгеруі мүмкін, алайда олардың ω көлденең қимасының ауданында құйыншаның жеке бөлшектерінің v жылдамдық туындысы тұрақты болып қалады *(қарапайым құйыншаның үзіліссіздік теңдеуі)*

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 = v_3 \omega_3 = \text{const.} \qquad (3.31)$$

Сол себепті, сұйықтық ағыны деп қандай да бір бағытта қозғалатын бөлшектердің үзіліссіз салмағын сипаттайтын қарапайым құйыншалардың бірлестігін айтады.

Сұйықтық және газ қозғалысының негізгі теңдеулері. Бернулли теңдеуі. Қимасы өзгеріп отыратын құбырдағы сұйық ағынынан екі еркін I-I және II-II қимасын таңдаймыз (3.15 -сурет). ω_1 және ω_2 ауырлық центрі қималарындағы қысымды P_1 және P_2, v_1 және v_2 - орташа жылдамдық, z_1 және z_2 - алынған қимадағы ағын осінің вертикаль координаталары деп белгілейміз .



3.15 - сурет – Бернулли теңдеуін сипаттайтын схема

Онда I және II қималардағы ағынның толық меншікті энергиясы сәйкесінше төмендегідей жазылады

$$Э_{уд} = \alpha_1 v_1^2 / (2q) + P_1/(pq) + z_1 , \qquad (3.32)$$

$$Э_{уд} = \alpha_2 v_2^2 / (2q) + P_1/(pq) + z_2 , \qquad (3.33)$$

Реалды сұйық қозғалысы кезінде энергияның жарты бөлігі бірінші қимадан екіншк қимаға дейінгі жолдағы үйкеліс күшін жоюға жұмсалады . Ол энергия жылуға айналып , жойылады. Шығын өлшемін h деп белгілейміз .

I және II қималардағы энергия балансын *(нақты сұйық ағыны үшін Бернулли теңдеуі)* төмендегідей жазуға

$$\alpha_1 v_1^2 / (2q) + P_1/(pq) + z_1 = \alpha_2 v_2^2 / (2q) + P_1/(pq) + z_2 + h, \qquad (3.34)$$

немесе

$$\alpha_1 v_1^2 / (2q) + P_1/ \gamma + z_1 = \alpha_2 v_2^2 / (2q) + P_1/ \gamma + z_2 + h, \qquad (3.35)$$

мұндағы $\alpha v^2 / (2q)$ -жылдам ағынның биіктігі . $P/(pq)$ - пьезометр бойынша әрбір жазықтық үшін есептелетін пьезометрлік биіктік; Z- геометриялық биіктік; h - жылуға айналған энергия бөлігіне тең жоғалған арын.

Бернулли теңдеуі сұйық қозғалысы кезіндегі негізгі элементтердің арасында математикалық байланыс орнатады , яғни орташа жылдамдық пен гидродинамикалық қысым арасында . Ол энергияның бір түрі басқа бір түрге ауысып жылдамдық жоғарлаған кезде қысымның төмендейтінін , керісінше жылдамдық жылдамдық төмендеген кезде қысымның артанынын көрсетеді .

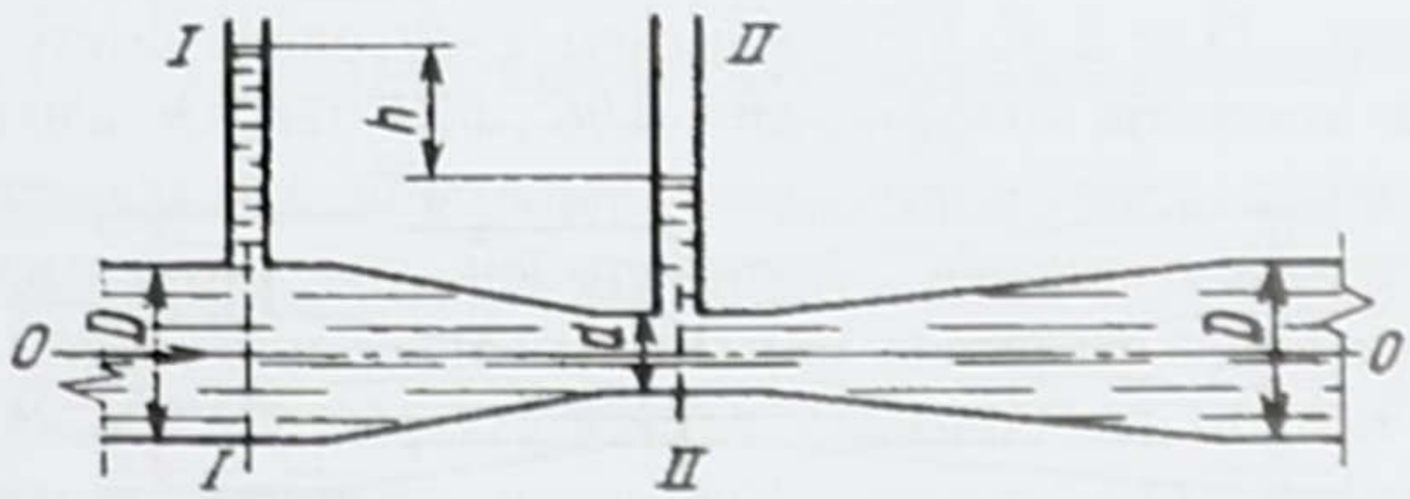
Бернулли теңдеуінің физикалық (энергетикалық) мағынасы: сұйықтың қозғалысы кезінде үш меншікті (ұқсастық, қысым және кинетикалық) энергияның қосындысы өзгермейді. остаётся неизменной.

Гидродинамикалық арын – арынның, геометриялық және пьезометриялық биіктіктердің қосындысы.

$$H = \alpha v^2 / (2q) + P/(pq) + z. \qquad (3.36)$$

Құбырдағы су өлшегіш құрылғы Вентури суөлшегіші Бернулли теңдеуін қолдануды қарастырамыз (3.16 - сурет), яғни диаметрі D негізгі құбырда кіші диаметрлі d құбыр орналасады. Кіші диаметрлі құбыр негізгі құбырмен конусты өткелдер арқылы жалғанған .

Негізгі құбыр (I-I қима) және тарытылған қимаға (II-II қима) көрсетуі бойынша құбырдағы сұйық шығыны Q анықталатын пьезометрлер жалғанған.



3.16 - сурет– Вентури су өлшегішінің схемасы

Сұйық шығынын анықтау үшін су өлшегіштің жалпы формуласын анықтаймыз. $z_1=z_2 = 0$; $\alpha_1= \alpha_2 = 1$ және $h = 0$. (қималар арасындағы қашықтық аз болғандықтан h=0) шарттарын қоямыз . Құбыр О осінен өтетін О-О жазықтығындағы қиманың ауырлық центрінде орналасқан нүкте үшін Бернулли теңдеуін жазамыз

$v_1^2 /(2q) + P_1/(pq) = v_2^2 /(2q) + P_2/(pq)$ немесе $P_1/(pq) – P_2/(pq) = v_2^2 /(2q) - v_1^2 /(2q)$. (3.37)

3.16- суретте көрсетілгендей

$$P_1/(pq) – P_2/(pq) = h \quad \rightarrow h = v_2^2 /(2q) - v_1^2 /(2q). \qquad (3.38)$$

Соңғы теңдеуде v_1 және v_2 шамалары белгісіз . Үзіліссіздік теңдеуін қолдана отырып $v_1/v_2 = \omega_1/ \omega_2 = D^2/d^2$ түрінде жазуға болады , осыдан $v_1=v_2 = D^2/d^2$.

Оны түрлендіріп келесі теңдеуді аламыз $h = v_1^2 /(2q)(D^4/d^4-1)$.

Негізгі құбырдағы (I-I қима) ағынның жылдамдығы мынаған тең

$$v_1 = [2qh/(D/d)^4 -1]^{1/2}. \qquad (3.39)$$

$Q = v_1\omega_1 = v_1 \pi D^2/4$, сонда $Q = D^2/4 [2qh/(D/d)^4 -1]^{1/2}$.

болғандықтан .

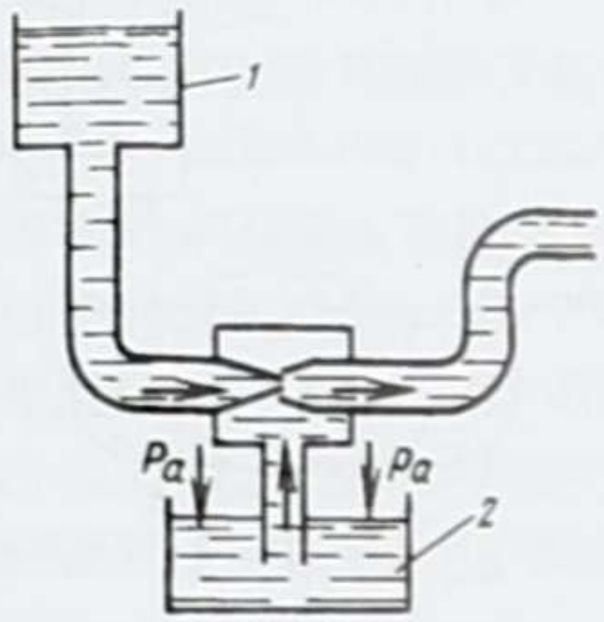
Берілген су өлшегіш үшін тұрақты шаманы K арқылы белгілейміз :

$$K = \pi D^2/4\ 4 [2qh/(D/d)^4 -1]^{1/2}, \qquad (3.40)$$

Сонда $Q = \xi K h^{1/2}$, мұндағы ξ -су өлшегіштегі напор шығының ескеретін коэффициент, 0,96…0,98 тең деп алынады . Соған сәйкес ұлғайтылған және тартылған қималардағы су өлшегіштердің диаметрін , пьезометрмен өлшенетін қысымдар айырымын h біле отырып су шығын оңай анықтауға болады.

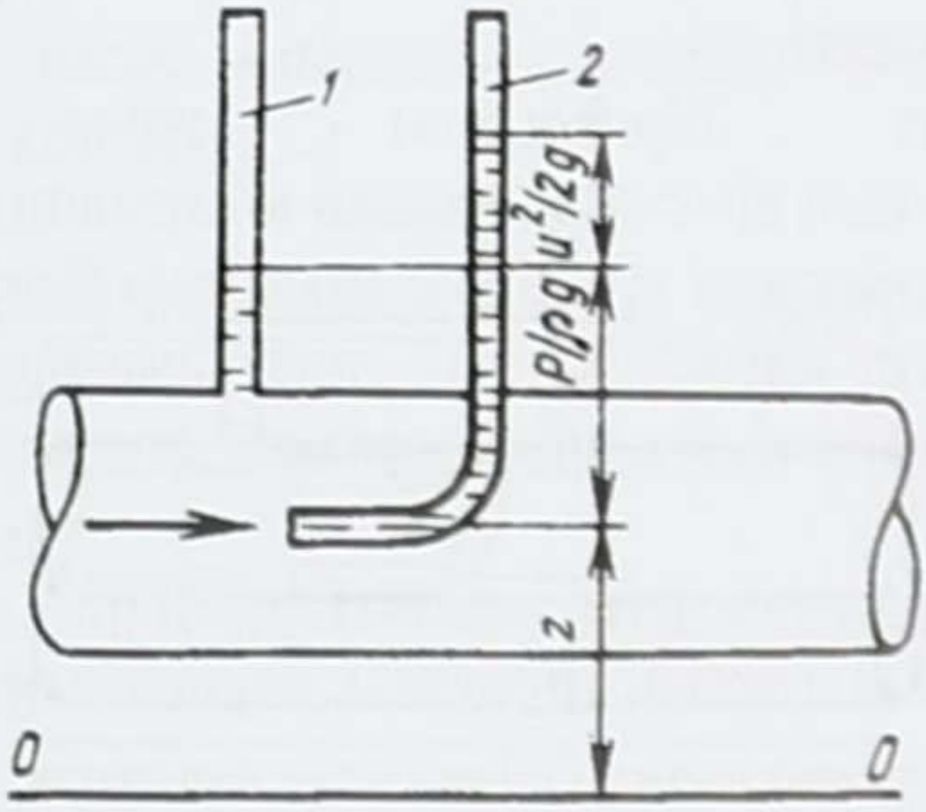
Су ағынды насостарда су бактан 1 тарылтуы бар құбырға келіп түседі (3.17-сурет). Құбырдың жіңішке қимасында жылдамдық артады. Бұл кезде Бернулли теңдеуіне сәйкес қысым атмосфералық төменгі қысымға дейін азаяды, сондықтан 2 бакка

түсірілген сұйық трубка бойымен сорылады. Қозғалыстың жылдамдық шамасы үлкен болса , сұйық 2 бактан үзіліссіз сорылады.



3.17-сурет – Су ағынды насос схемасы.

Қозғалыстағы сұйықтың ағын жылдамдығын Пито түтігімен анықтайды . Бұл құрылғы екі шетінен ашық , шыны түтіктен тұрады (3.18- сурет) .



3.18 - сурет – Пито трубкасы бар құрылғы схемасы

Қозғалыстағы сұйықтың жылдамдығы әсерінен Пито трубкасында қосымша қысым пайда болады (жылдамдық арыны)

$$h= v^2 2q;\ v = (2qh)^{1/2};\quad v = k(2qh)^{1/2}, \tag{3.41}$$

мұндағы k-трубка құрылымына байланысты және тарировка жолымен анықталатын коэффициент .

Сұйық шығынын анықтау үшін су өлшегіштің жалпы формуласын анықтаймыз. $z_1=z_2 = 0$; $\alpha_1= \alpha_2 = 1$ және $h = 0$. (қималар арасындағы қашықтық аз болғандықтан h=0) шарттарын қоямыз . Құбыр О осінен өтетін О-О жазықтығындағы қиманың ауырлық центрінде орналасқан нүкте үшін Бернулли теңдеуін жазамыз

$v_1^2 /(2q) + P_1/(pq) = v_2^2 /(2q) + P_2/(pq)$ немесе $P_1/(pq) – P_2/(pq) = v_2^2 /(2q) - v_1^2 /(2q)$. (3.37)

3.16- суретте көрсетілгендей

$$P_1/(pq) – P_2/(pq) = h \quad \rightarrow h = v_2^2 /(2q) - v_1^2 /(2q). \qquad (3.38)$$

Соңғы теңдеуде v_1 және v_2 шамалары белгісіз . Үзіліссіздік теңдеуін қолдана отырып $v_1/v_2 = \omega_1/ \omega_2 = D^2/d^2$ түрінде жазуға болады , осыдан $v_1=v_2 = D^2/d^2$.

Оны түрлендіріп келесі теңдеуді аламыз $h = v_1^2 /(2q)(D^4/d^4-1)$.

Негізгі құбырдағы (I-I қима) ағынның жылдамдығы мынаған тең

$$v_1 = [2qh/(D/d)^4 -1]^{1/2}. \qquad (3.39)$$

$Q = v_1\omega_1 = v_1 \pi D^2/4$, сонда $Q = D^2/4 [2qh/(D/d)^4 -1]^{1/2}$.

болғандықтан .

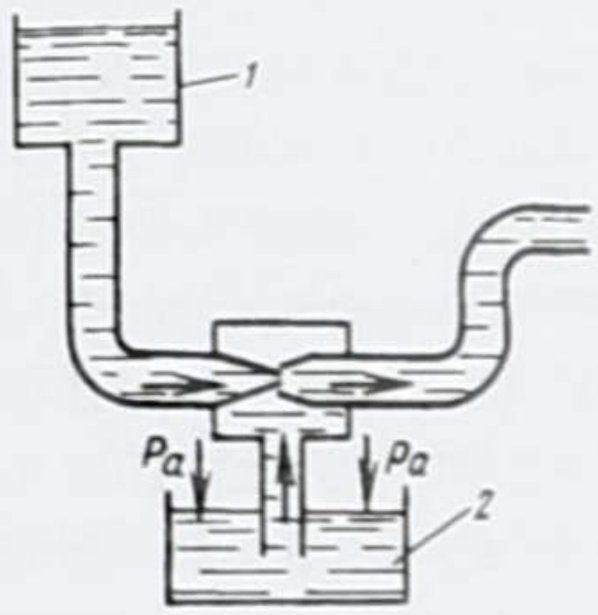
Берілген су өлшегіш үшін тұрақты шаманы K арқылы белгілейміз :

$$K = \pi D^2/4\ 4 [2qh/(D/d)^4 -1]^{1/2}, \qquad (3.40)$$

Сонда $Q = \xi K h^{1/2}$, мұндағы ξ -су өлшегіштегі напор шығыныҒ ескеретін коэффициент, 0,96…0,98 тең деп алынады . Соған сәйкес ұлғайтылған және тартылған қималардағы су өлшегіштердің диаметрін , пьезометрмен өлшенетін қысымдар айырымын h біле отырып су шығын оңай анықтауға болады.

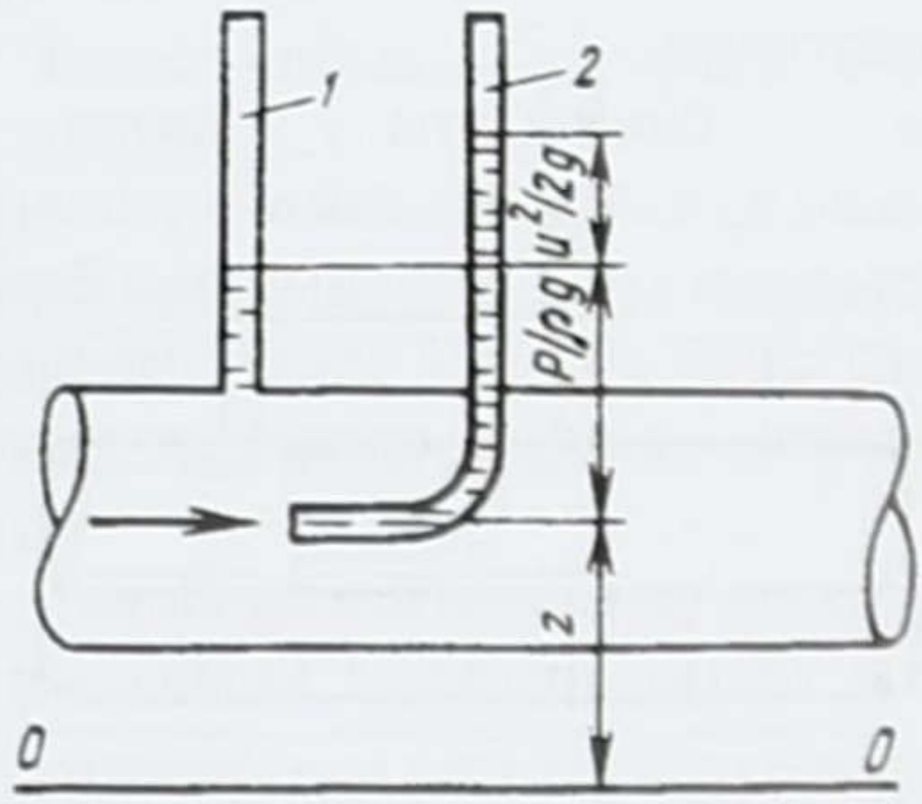
Су ағынды насостарда су бактан 1 тарылтуы бар құбырға келіп түседі (3.17-сурет). Құбырдың жіңішке қимасында жылдамдық артады. Бұл кезде Бернулли теңдеуіне сәйкес қысым атмосфералық төменгі қысымға дейін азаяды, сондықтан 2 бакка

түсірілген сұйық трубка бойымен сорылады. Қозғалыстың жылдамдық шамасы үлкен болса , сұйық 2 бактан үзіліссіз сорылады.



3.17-сурет – Су ағынды насос схемасы.

Қозғалыстағы сұйықтың ағын жылдамдығын Пито түтігімен анықтайды . Бұл құрылғы екі шетінен ашық , шыны түтіктен тұрады (3.18- сурет) .



3.18 - сурет – Пито трубкасы бар құрылғы схемасы

Қозғалыстағы сұйықтың жылдамдығы әсерінен Пито трубкасында қосымша қысым пайда болады (жылдамдық арыны)

$$h = v^2 2q;\ v = (2qh)^{1/2};\quad v = k(2qh)^{1/2}, \qquad (3.41)$$

мұндағы k-трубка құрылымына байланысты және тарировка жолымен анықталатын коэффициент .

Бақылау сұрақтары

1 Гидравлика дегеніміз не және оның негізгі мақсаты?
2 Сұйықтар дегеніміз не және олардың түрлері.
3 Идеалды және реалды сұйықтарды қалай түсінесіз?
4 Гидродинамика нені зерттейді?
5 Сұйықтық қандай күштердің әсерімен қозғалады?
6 Ағынның қандай сипаттамалары гидродинамикалық болып табылады? Олардың анықтамасын беріңіз.
7 Сұйықтық ағысының қандай режимдері бар?
8 Сұйықтықтың ламинарлық және турбуленттік қозғалыстары арасында қандай айырмашылық бар?
9 Сұйықтықтың ағынының қоғалыс режимі қандай критериймен сипатталады?
10 Рейнольдс санының қандай мәндерінде қозғалыстың ламинарлық және турбуленттік режимдері байқалады?
11 Сұйықтық қозғалысының қандай түрлері бар?
12 Орныққан сұйықтық қозғалыс орныкпағаннан қандай айырмашылығы бар?
13 Сұйықтықтың арынды және арынсыз қозғалыстарының мысалдарын келтіріңіз
14 Сұйықтықтын бірқалыпты және бірқалыпсыз қозғалыстарының арасында қандай айырмашылығы бар?
15 Ағынның нақты қима түсінігіне анықтама беріңіз?
16 Ағынның нақты қимасы қандай сипаттамаға ие?
17 Ағын шығынымен ағынның орташа жылдамдығы деп нені атайды?
18 Сұйық бөлшек және траекториясы деген не?
19 Токтың сызығы, токтың трубкасы, қарапайым ағынша деп нені атайды?
20 Қарапайым ағынша қандай қасиеттерге ие?
21 Сұйық және қатты бөлшектердің қозғалыстары қалай бөлінуі мүмкін?
22 Сұйық бөлшертердің түспелі, айналмалы және деформациялы қозғалыстары қалай сипатталады?
23 Құйынды қозғалысқа анықтама беріңіз.
24 Құйындеп деген не және оның көлемі қалай анықталады?
25 Құйынсыз қозғалыс деген не?
26 Элементар бөлшектің үзіліссіздік теңдеуі қандай?
27 Ағынның үзіліссіздік теңдеуі және оның мәні ?

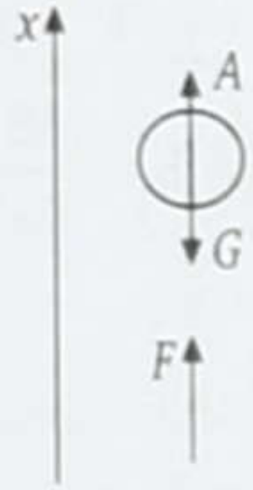
28 Энергия дегеніміз не?
29 Кез келген заттың механикалық энергиясы қандай шамалармен сипатталады ?
30 Потенциалдық және кинетикалық энергиялардың арасындағы айырмашылықтың мәні неде ?
31 Элементар бөлшектің толық механикалық энергиясы қалай анықталады?
32 Бөлшектің меншікті энергиясын қалай анықтаймыз?
33 Ағынның толық энергиясы неге тең?
34 Меншікті потенциалдық және меншікті кинетикалық энергияларды қалай анықтауға болады ?
35 Ағынның толық меншікті энергиясы неге тең?
36 Кариолис коэффициенті нені есептейді ?
37 Сұйықтың реалды ағыны үшін Бернулли теңдеуі қандай болады ?
38 Бернулли теңдеуінің энергетикалық мағынасы ?
39 Гидродинамикалық напор дегеніміз не?
40 Вентури су өлшегіші үшін Бернулли теңдеуі қалай қолданылады?
41 Су ағынды насос мысалы негізінде Бернулли теңдеуін практикалық қолдану.
42 Пито трубкасы
43 Идеал сұйықтың қозғалысы кезінде дифференциалды теңдеу қандай болады?
44 Бірқалыпты ағыс және тегіс қозғалыс үшін Эйлер теңдеуі қандай болады?
45 Тұтқыр сұйық үшін дифференциалды қозғалыс теңдеуі қандай болады?
46 Турбуленттік қозғалыстың негізгі сипаттамалары қандай?
47 Лездік жергілікті жылдамдық түсінігіне анықтама бер.
48 Жылдамдықтың пульсациясы дегеніміз не ?
49 Орташаландырылған жылдамдық және пульсациялық жылдамдық құраушысы дегеніміз не?
50 Ұқсастық теориясы және модельдеу нені оқытады және модельдеудің басты міндеті не?
51 Қандай ағыстар ұқсас болады ?
52 Геометриялық, кинематикалық және динамикалық ұқсастықтарға анықтама бер.
53 Ұқсастық критерийі дегеніміз не және олар не үшін қажет?

54 Динамиикалық ұқсастықтың қандай критерийлерін білесіз?
55 Сіз білетін динамикалық ұқсастық критерийлері қандай физикалық факторларды ескереді?

4 ГИДРОМЕХАНИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР

4.1 Гравитациялық өрісте қатты бөлшектердің тұнуы

Сұйық ортада диаметрі d қатты шар тәрізді бөлшектердің қозғалысын қарастырайық. Түйіршікке әсер ететін күштерді белгілейік: G-ауырлық күші; A-Архимед күші; F-орта кедергісінің күші (4.1 -сурет).



4.1- сурет. Қатты түйіршіктің тұндыру жылдамдығы

Алғашқы кезде бөлшек dv/dt үдеуімен тұна бастайды да содан кейін тұрақты жылдамдықпен тұнады. Нәтижесінде күштердің динамикалық тепе-теңдігі пайда болады:

$$F = G - A. \tag{4.1}$$

Күштердің өз мәндерін қоямыз. Архимед күшін және ауырлық күшін массаның үдеуге көбейтіндісі, ал массаны көлемнің тығыздыққа көбейтіндісі ретінде анықтаймыз. Содан:

$$\xi \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho v^2}{2} = \frac{d^3}{6} \cdot g(\rho_{част} - \rho_{среды}). \tag{4.2}$$

Бұл теңдеуді жылдамдық аркылы υ шешеміз:

$$v = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{gd(\rho_ч - \rho_{ср})}{\xi \rho_{ср}}}, \tag{4.3}$$

мұндағы υ - сұйықтыққа қатысты қатты бөлшектердің қозғалыс жылдамдығы. υ_m - аппарат қабырғаларына қатысты бөлшектердің қозғалыс жылдамдығы; $\upsilon_ж$ — аппарат қабырғаларына қатысты

сұйықтықтың қозғалыс жылдамдығы. Егер сұйықтық пен дене қозғалысының бағыты сәйкес келсе, онда υ жылдамдығы $\upsilon = \upsilon_m - v_ж$ тең болады, ал керісінше болса $\upsilon = \upsilon_m + \upsilon_ж$. Ортаның кедергі коэффициенті анықтау үшін сұйықтың қозғалыс режімдерін ажыратайық: ламинарлы режім болса:

$$10^{-4} < \mathrm{Re} < 2;\ \xi = \frac{24}{\mathrm{Re}}; \tag{4.4}$$

өтпелі режімде:

$$2 \leqslant \mathrm{Re} < 500;\ \xi = \frac{18,5}{\mathrm{Re}^{0,6}}; \tag{4.5}$$

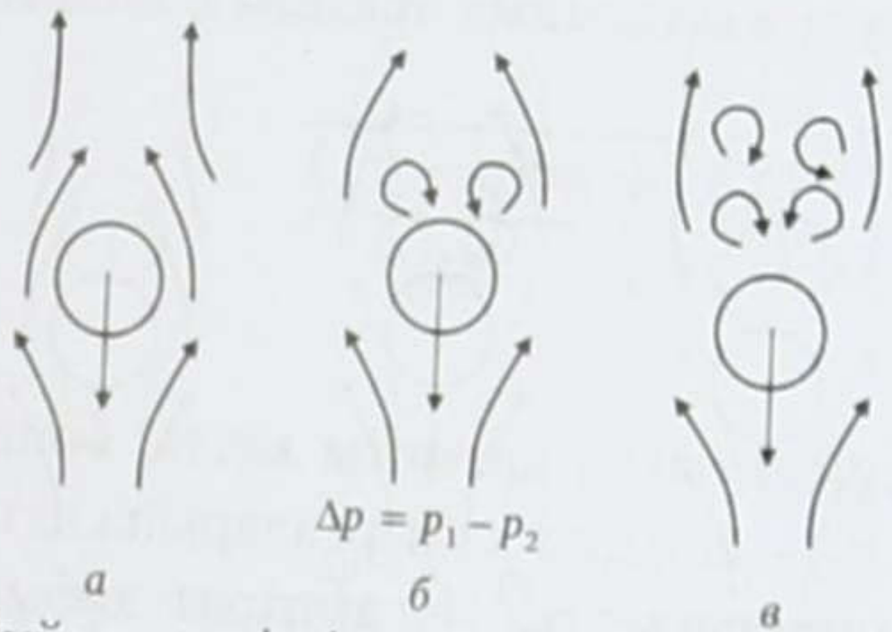
турбулентті режім кезінде:

$$500 \leqslant \mathrm{Re} < 2 \cdot 10^5;\ \xi = 0,44. \tag{4.6}$$

Егер $\mathrm{Re} > 2 * 10^5$ босла кедергі кризисі басталады да кедергі коэффициенті және ξ жылдам төмендейді. Қозғалыс режімдері деп сұйықтың түйіршік жанындағы қозғалысты айтады (4.2-сурет).

а) ламинарлық режим. Қабаттар араласпайды, бір-біріне параллель қозғалады. Бұл жағдайда Ньютон ішкі үйкеліс заңы белгіленеді;

б) өтпелі режим. Түйіршіктің артқы бөлігінде құйын пайда болады. Инерция күштерінің әсерінен олардың денеден ажырауы орын алады. Нәтижесінде бұл жақта төмен қысымды аймақ пайда болады. Осылайша, дененің алдыңғы және артқы бөліктерінде қысым айырмашылығы пайда болады. Бұл айырмашылық дененің қозғалысына қарсылық туындайды. Жалпы кедергі үйкеліс мен құйын түзілуден тұрады;



4.2-сурет. Сұйықтық ішіндегі қатты дененің қозғалысы

в) турбуленттік режим. Бұл жағдайда үйкеліс кедергісін елемеуге болады.

Стокс облысында (ламинарлы режім) Стокс күшін аламыз:

$$F = 3\pi d v \mu; \tag{4.7}$$

Стокс жылдамдығы:

$$v = \frac{1}{18} \cdot \frac{g d^2 (\rho_ч - \rho_{ср})}{\mu}. \tag{4.8}$$

Осыдан:

$$F \sim v. \tag{4.9}$$

Осы жолмен күш пен жылдамдық арақатынасын анықтауға болады:

- өтпелі режим үшін:

$$F \sim v^{1,4}; \tag{4.10}$$

-турбуленттік режім үшін:

$$F \sim v^2. \tag{4.11}$$

Жоғарыдағы талдаулардан шығатын шешім: ең тиімді тұндыру ламинарлық қозғалыс режимінде жүзеге асырылады.

Гидромеханикалық ұқсастық критерийлері. Тұндырғыштарды есептеуге (Re - басқа) арналған бірнеше өлшемсіз кешендерді жазайық. Жоғарыдағы 4.3- теңдеудің екі жағын квадраттап және d^2/v^2 көбейтеміз, мұндағы v - кинематикалық тұтқырлық, $м^2/с$.

Сонда:

$$\frac{d^2}{\nu^2} v^2 = \frac{4}{3} \cdot \frac{g d (\rho_ч - \rho_{ср})}{\xi \rho_{ср}} \cdot \frac{d^2}{\nu^2}; \tag{4.12}$$

немесе

$$\xi Re^2 = \frac{4}{3} \cdot \frac{g d^3 (\rho_ч - \rho_{ср})}{\rho_{ср} \nu^2}. \tag{4.13}$$

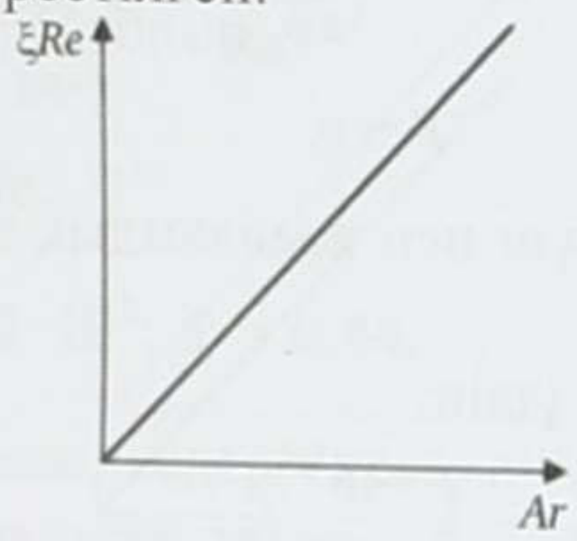
Архимеда критерийі

$$Ar = \frac{gd^3(\rho_ч - \rho_{ср})}{\rho_{ср}\nu^2}. \qquad (4.14)$$

Осыдан соң тұндыру процесінің критериалды теңдеуін аламыз:

$$\xi Re^2 = \frac{4}{3} \cdot Ar. \qquad (4.15)$$

Осы критерийлердің байланысын график түріндегі көрінісі төмендегі 4.3- суретте көрсетілген.



4.3- сурет. Re және Аг арасындағы байланыс

Лященко критерийін кіргізейік:

$$Ly = \frac{Re^3}{Ar}, \qquad (4.16)$$

сонда:

$$Ly = \frac{v^3 d^3 \rho \nu^2}{\nu^3 g d^3(\rho_ч - \rho_{ср})} = \frac{v^3 \rho}{\nu \cdot g(\rho_ч - \rho_{ср})}. \qquad (4.17)$$

Лященко Ly критерийі бөлшектердің диаметрін анықтауға мүмкіндік береді. Жылдамдықты біле отырып, Лященко критерийін анықтауға болады, ол бойынша - Рейнольдс критерийі Re, ал Рейнольдс критерийі бойынша — диаметр. Немесе d диаметрін біле отырып, Архимед өлшемін, содан кейін Рейнольдс өлшемін және ақырында жылдамдықты анықтауға болады. Критерийлердің сыни мәндері 4.1- кестеде берілген.

Рейнольдс пен Архимед өлшемдері арасындағы аналитикалық байланыс қозғалыс режиміне байланысты критериалды теңдеулердің көмегімен ұсынылуы мүмкін:

- ламинарный

$$Ar \leqslant 36;\ \mathrm{Re} \leqslant 2;\ \mathrm{Re} = 0{,}056 \cdot Ar; \tag{4.18}$$

4.1-кесте. Критерийлердің сыни мәндері

Re	Аг	Ly
0	36	0,222
500	83000	1500

-өтпелі

$$Ar = 36 \div 83 \cdot 10^3;\ \mathrm{Re} = 2 \div 500;\ \mathrm{Re} = 0{,}152 \cdot Ar^{0{,}715}; \tag{4.19}$$

-турбулентті

$$Ar > 83 \cdot 10^3;\ \mathrm{Re} > 500;\ \mathrm{Re} = 1{,}74 \cdot Ar^{0{,}5}. \tag{4.20}$$

Егер бөлшектің шар тәріздес болмаса, сол көлемдегі сфералық бөлшектердің диаметрі эквивалентті деп аталатын сызықтық өлшемі ретінде алынады:

$$d_{экв} = \sqrt[3]{6V/\pi}. \tag{4.21}$$

Шар тәрізді емес бөлшектердің жылдамдығын есептеу үшін пішін факторы енгізіледі:

$$\Phi = S_{сфера}/S_{түйіршік}, \tag{4.22}$$

мұндағы $S_{сфера}$- түйіршіктің көлеміне тең сфера беті.

Сфералық емес түйіршіктің тұндыру жылдамдығы мына теңдеумен анықталынады

$$v' = \Phi \cdot v. \tag{4.23}$$

Еркін емес қысылған тұндыру кезінде тұндырып жатқан түйіршіктерден пайда болған ағынды ескеру қажет. Осы жағдайларда тұндыру жылдамдығын анықтау үшін капиллярлы модельді қолданамыз, бұл бөлшектер капиллярлардың тұтас сериясын құрайтын тізбек түрінде тұндырады. Қуыстылықты ε арқылы белгілейміз.

Қабаттың қуыстылығы - бұл $V_{\sum}$ жалпы көлеміндегі бөліктер арасындағы бос кеңістіктің үлесі

$$\varepsilon = V_{бос}/V_{\sum}. \tag{4.24}$$

Сонда (1- ε) қатты түйіршіктердің алатын үлесі.

Аудан бірлігі арқылы уақыт бірлігінде тұнатын қатты фазаның көлемі ығыстырылған сұйықтықтың көлеміне тең. Сондықтан:

$$\varepsilon v_{ж} = (1 - \varepsilon) v_m. \tag{4.25}$$

Алынған теңдеуді түрлендіреміз:

$$v_m = \varepsilon \cdot (v_{ж} + v_m). \tag{4.26}$$

Егер сұйықтық пен дене бағыты сәйкес келмесе, онда $v = v_m + v_m$. Сонда:

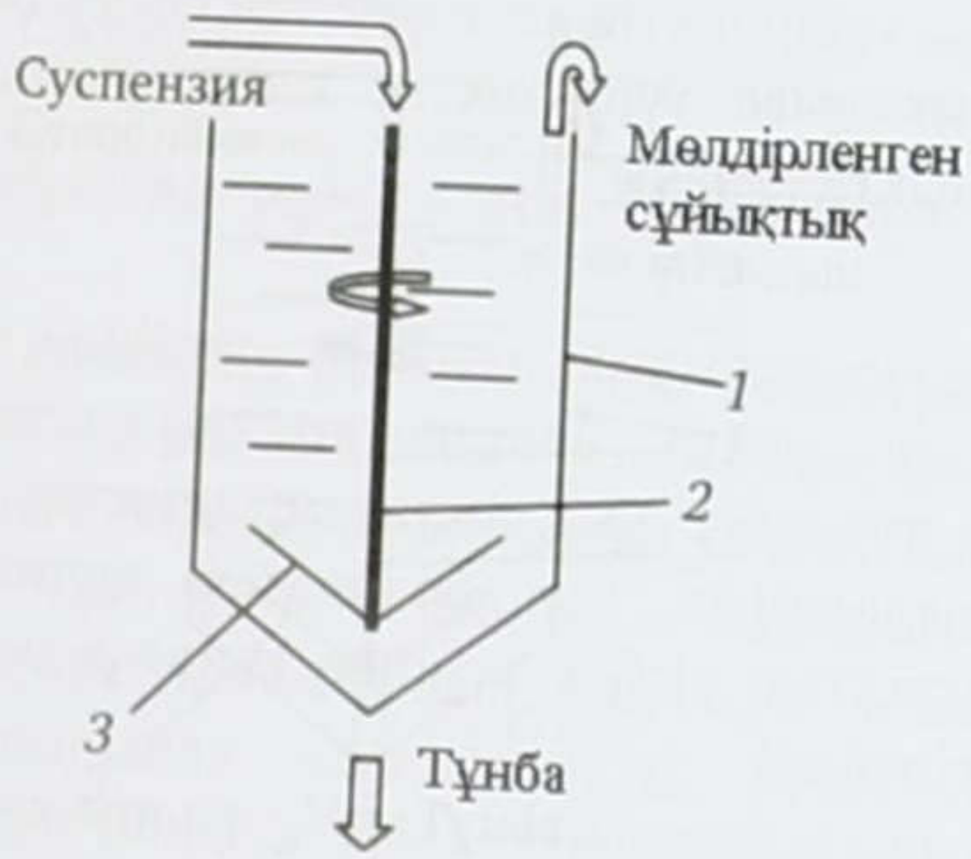
$$v_m = \varepsilon \cdot v. \tag{4.27}$$

Тұндырғыштар. Периодтық, жартылай үздіксіз және үздіксіз әрекет ететін аппараттар бар.

- мерзімді аппараттарда азық-түліктердің мерзімді түсуі және алынуы жүреді;

- жартылай үздіксіз аппараттарда — суспензия үздіксіз келіп түседі және үздіксіз ағартылған сұйықтық шығарылады, тұнбаның шығуы мезгіл-мезгіл болады;

- үздіксіз — барлық өнімдердің үздіксіз түсуі және шығарылуы жүзеге асырылады (4.5 - сурет).



4.4-сурет. Үздіксіз тұндырғыш схемасы: 1 - корпус; 2 - араластырғыш білігі; 3 - тырналы қалақтар.

Егер капиллярлық тұндыру үлгісін қарастырсаңыз, онда біз мыналарды байқаймыз.

Қысылған жағдайларда қатты бөлшектерді ығыстыру есебінен сұйықтықтың өрлемелі ағындары түзіледі. Содан кейін, бұрын көрсетілгендей, тұндыру кезінде нақты тұндыру жылдамдығы пайда болады

$$v_m = \varepsilon \cdot v. \tag{4.28}$$

Егер суспензия концентрациясы туралы деректер болмаса, онда шамамен былай қабылдауға болады

$$v_m = \frac{1}{2} \cdot v. \tag{4.29}$$

Тұндырғышты есептеу мөлдірленген сұйықтық бойынша жүргізіледі:

$$V_{мелд} = v_m \cdot f, \tag{4.30}$$

мұндағы f - тұндыру беті ($\pi D^2/4$); $V_{мөлд}$ -мөлдірленген сұйықтықтың көлемді шығыны, $м^3/с$.

Есептеу кезінде тұндырғыштың аумақтық өлшемдерін, атап айтқанда, (4.30) – теңдеуінен ауданын, содан кейін диаметрін анықтаймыз.

Мөлдірленген сұйықтық шығыны материалдық баланс теңдеулерінен анықталады:

- өнімдер бойынша:

$$m_{сусп} = m_{мөлд} + m_{тұнба}, \tag{4.31}$$

мұндағы *m* – өнім массасы, кг/с;

- қатты фаза бойынша (құрғақ заттар бойынша):

$$m_{сусп}\, b_{сусп} = m_{кз}\, b_{кз}, \tag{4.32}$$

мұндағы $b_{кз}$ - шөгіндідегі құрғақ заттың массалық үлесі,%; $b_{сусп}$ - суспензиядағы құрғақ заттың массалық үлесі, %.

Алғашқыда $b_{мөлд} \approx 0$ деп қабылдауға болады. (4.31) және (4.32) теңдеулерді шешу арқылы:

$$m_{мөл} = m_{сусп}\,(1 - b_{сусп}/b_{кз}), \tag{4.33}$$

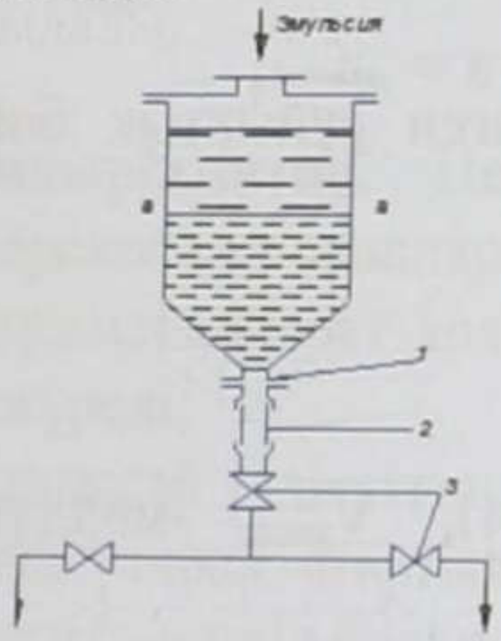
Көлемдік өнімділік ($м^3/с$) мынаған тең:

$$V_{мөл} = m_{мөл} / \rho_{мөл}. \quad (4.34)$$

(4.30) теңдеуден тұндырғыштың есептік ауданын табамыз:

$$f = V_{мөл} / v_m. \quad (4.35)$$

Төмендегі 4.5 - суретте периодты тұндырғыш схемасы көрсетілген. Ол 1- ағызу жеңінен, 2- терезеден, 3- крандардан тұрады. Тұндырылған сұйықтық (эмульсия) 3- краннан шығарылады.



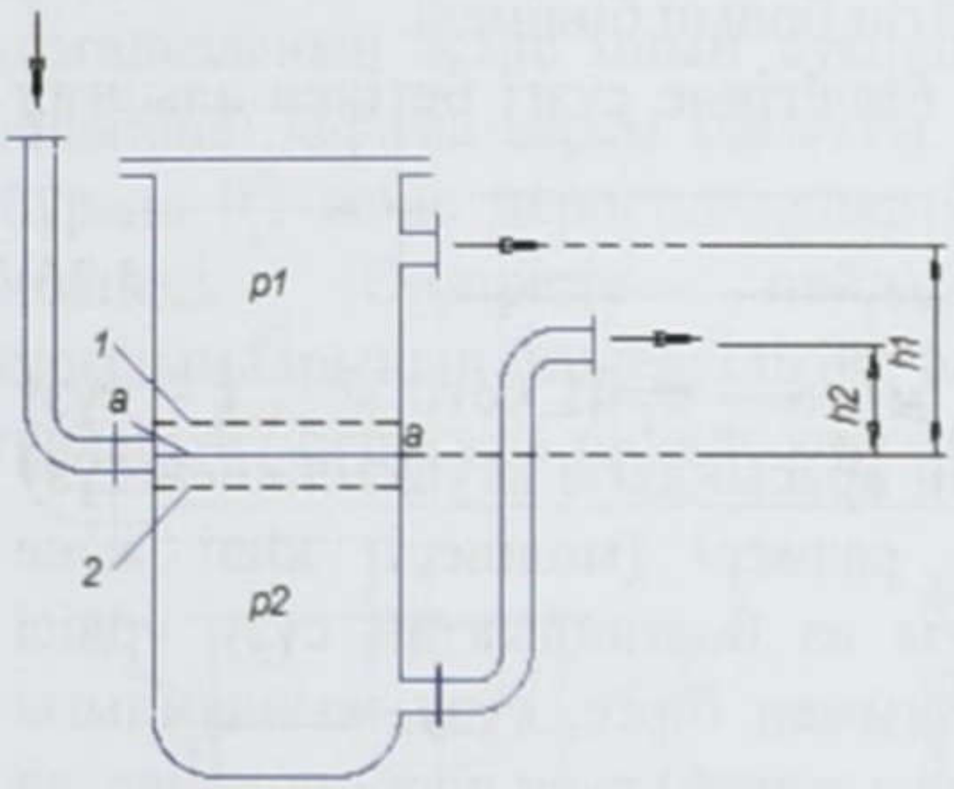
4.5- сурет. Периодты тұндырғыш: 1-ағызу жеңі; терезе; 3-крандар; а-а- сұйықтардың беті.

Төменгі 4.6 - суретте эмульсияларға арналған периодты тұндырғыш көрсетілген. Тұндырғыш цилиндр тәрізді кіру және шығу жеңдері бар сиымдылық. Эмульсия сиымдылыққа жоғары жағынан беріледі де 1- және 2- бөгеттерден өтеді. Тұндырылған эмульсияның сұйық бөлігі жоғары жақтағы жеңдерден шығарылады, ал ауыр бөлігі төменгі крандардан шығарылады.

4.2 Сүзу процесі

Қатты бөлшектерді ұстап қалатын, ал сұйықты өткізіп жіберетін кеуекті бөгеттер жәрдемімен суспензияларды ажырату, сүзу үрдісі деп аталады. Суспензияларды сүзгі - деп аталатын аппараттарда ажыратады. Сүзгілер сүзу бөгеттері арқылы екі

бөлікке бөлініп, оның бір бөлігіне суспензия құйылады. Осы екі бөліктің екі жағындағы қысымдар айырмасының әсерінен сұйық сүзу бөгеттерінің кеуектерінен өтіп, ал олардың бетінде қатты бөлшектер ұсталып қалады. Сонымен суспензия таза сүзінді және ылғалды тұнбаға ажыратылады. Кейбір кезде қатты бөлшектер сүзу бөгетінің кеуектерінде ұсталынып, тұнба пайда болмайды. Осындай қасиеттерге байланысты сүзу үрдісі екі түрге бөлінеді: тұнба пайда болу жолымен сүзу; сүзу бетінің кеуектерін толтыру (бітеу) арқылы сүзу.



4.6 - сурет. Үздіксіз әрекетті тұндырғыш:

1, 2 торлы бөгеттер а-а-сұйықтардың беті.

Сүзу процесінің қозғаушы күші – қысымдар айырмасы болып табылады. Іс жүзінде сүзу үрдісі үш түрлі режимде өткізіледі: егер суспензияның жоғарғы жағын қысылған газбен (көбінесе ауамен) немесе сүзу бөгетінің астыңғы жағын вакууммен қосса, онда сүзу үрдісі тұрақты қысымдар айырмасында өтеді; егер суспензия сүзгіге поршенді насостар жәрдемімен берілсе, онда сүзу процесі тұрақты жылдамдықта (W = const) өтеді, себебі электркозғатқыштың тұрақты айналу санында насостың өнімділігі тұрақты болады. Бұл кезде жоғарыда көрсетілгендей, тұнба қабатының кедергісі көбеюіне байланысты қысымдар айырмасы көбейеді; егер суспензия сүзгіге ортадан тепкіш насостар жәрдемімен берілсе, онда сүзу үрдісі оның жылдамдығының және қысымдар айырмасының өзгеруінде өтеді, себебі электркозғатқыштың тұрақты айналу санында насостың өнімділігі тұнбаның кедергісі көбейген сайын азаяды.

Сүзу үрдісінің өнімділігі және алынатын сүзіндінің мөлдірлігі, көбінесе, сүзу бөгеттерінің қасиеттеріне және

олардың дұрыс таңдалуына байланысты. Олардың негізгі қасиеттеріне кеуектерінің тұнбаның бөлшектерін ұстап қалатындай размері (мөлшері, көлемі), гидравликалық кедергісі, сүзілетін ортаның беріктігі; механикалық және жылулық беріктіктері жатады. Сүзу бөгеттері металды торлардан, мақталы матадан және т.б., жүнді матадан, синтетикалық (капрон, нейлон, капролавсан және т.б.) және керамикалық материалдардан, шынылы мақтадан және т.б. жасалынады. Сонымен бірге сүзгі бөгеті ретінде құм, түйіршік тас, тұнба және т.б. қабаттарды қолданылады. Сүзу бөгеттері структуралық құылысына байланысты иілгіш және иілмейтін болып бөлінеді.

Сүзу жылдамдығы уақыт бірлігінде сүзгі бетінен алынған сүзінді көлемін көрсетеді

$$Wc = dVc/(Sdt), \qquad (4.36)$$

мұнда Vc – сүзіндінің көлемі, $м^3$; S – сүзгі беті, $м^2$; τ – сүзу уақыты, с. Тұнба бөлшектерінің арасындағы кеуектілікпен сүзу бөгеттерінің кеуектіліктерінің размері (мөлшері) кіші және ондағы сұйықтың жылдамдығы аз болғандықтан сүзу үрдісі ламинарлы режимде өтеді. Сонымен бірге, сүзу жылдамдығы қысымдар айырмасына (қозғаушы күшке) тура пропорционал, ал сұйықтың тұтқырлығы және тұнба қабаты мен сүзгі бөгеттерінің жалпы гидравликалық кедергісіне кері пропорционал болады

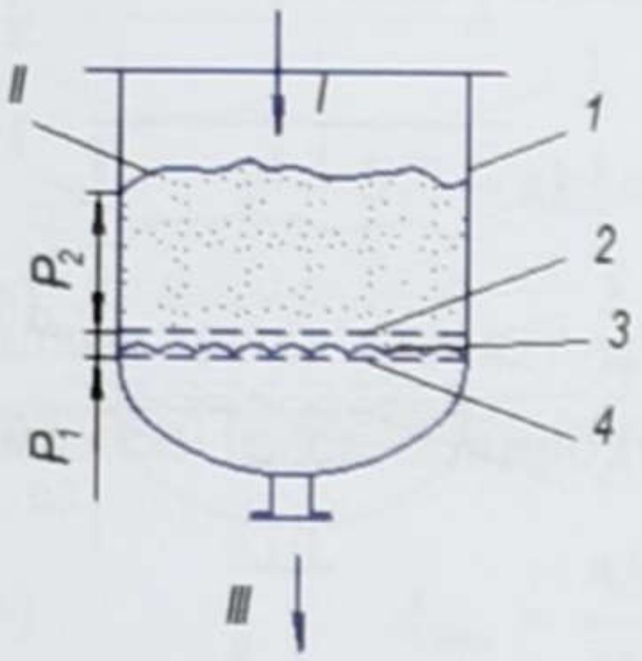
$$W_c = \Delta P /[\mu(R_t + R_{cb})], \qquad (4.37)$$

мұндағы ΔP- қысымдар айырмасы, Па; μ – суспензияның сұйық фазасының тұрақтылығы, Па; R_t тұнба қабатының кедергісі, $м^{-1}$; R_{cb} – сүзу бөгеттернің кедергісі, $м^{-1}$.

Сүзгілер жұмыс істеу әрекетіне қарай мерзімді және үздіксіз әрекетті болады. Түнба пайда болытын үрдістерге мерзімді және үздіксіз әрекетті, ал сүзгі бөгетінің кеуектерін толтыру үрдісінде тек мерзімді әрекетті сүзгілер пайдаланылады. Қысымдар айырмасымен қамтамасыз ету тәсіліне байланысты сүзгілер вакуумда (ΔP = 0,06÷0,08 МПа) және қысым астында (ΔP = 0,3÷0,5 МПа) жұмыс істейтін болып бөлінеді. Қысым астында жұмыс істейтін сүзгілердің құрылымының механикалық беріктігі жоғары болуы қажет болғандықтан вакуумды сүзгілерді пайдалану тиімділеу. Дегенмен, тұнбаның гидравликалық кедергісі үлкен болса және көп сығылмайтын тұнба болса, онда

қысымдар астында жұмыс істейтін сүзгілерді пайдалану тиімді болады. Технологиялық мақсатқа байланысты: суспензияларды ажырататын және өндірістік газдарды тазалайтын болып бөлінеді.

Сүзу беттеріне байланысты: маталы бөгетті, сығылмайтын дәнді беттегі (құмды, көмірлі және т.б.) және қатты беттегі (металды тор, кеуекті керамика, т.б.) болып бөлінеді. Сүзу үрдісінің өтуіне және сүзгілердің тиімді жұмыс істеуіне суспензиядағы қатты бөлшектердің ауырлық күші әсерінен тұнуының көп маңызы бар. Сондықтан, сүзгілер сүзінді қозғалысының және оның ауырлық күшінің өзара бағыттары бойынша: қарама-қарсы бағытты /бұрыш -180^0 /, бір бағытты /бұрыш 0^0/ және перпендикуляр бағытты /бұрыш 90^0 / болып бөлінеді. Өндірісте пайдалану тиімділігіне және құрылымдарының біркелкілігіне байланысты қазіргі сүзгілердің түрлері 4.7 суреттегі тәсілде көрсетілген.



4.7- сурет. Сүзгі схемасы: 1 – сиымдылық; 2 – сүзгі матасы; 3 – өткізу торы; 4 – тірек торы; I – суспензия; II – тұнба; III – фильтрат

Сүзгілі қабаттан өтетін сұйық қозғалысының гидродинамикасы. Сүзу бөгетінің бетіндегі тұнбадан сұйықтың жылжу кезіндегі гидравликалық кедергі мына формула бойынша анықталады (түйіршікті қабат).

$$\Delta p = \lambda' \frac{l}{d_{экв}} \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \qquad (4.38)$$

мұндағы Δр - түйіршікті қабат арқылы сұйықтықтың өтуі кезінде қысымның төмендеуі; l - түйіршікті қабат каналдарының орташа ұзындығы, м; $d_{экв}$ -арналардың эквивалентті диаметрі, м; υ -

арналардағы сұйықтық қозғалысының орташа жылдамдығы, м/с;
λ^1 - үйкелістің гидравликалық кедергісінің коэффициенті.

Егер l ~ H деп қабылдасақ, онда шөгіндінің гидравликалық кедергісі

$$\Delta p = \lambda \frac{H}{d_{экв}} \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \qquad (4.39)$$

мұндағы λ-арналардың гидравликалық кедергісінің коэффициенті;
H - түйіршікті қабаттың биіктігі, м.

Кедергі коэффициенті мына теңдеу бойынша есептеледі

$$\lambda = \frac{133}{\mathrm{Re}} + 2{,}3. \qquad (4.40)$$

Re < 1 кезінде (ламинарлық қозғалыс режимі) екінші мәнді ескермеуге болады, онда:

$$\lambda = \frac{133}{\mathrm{Re}}. \qquad (4.41)$$

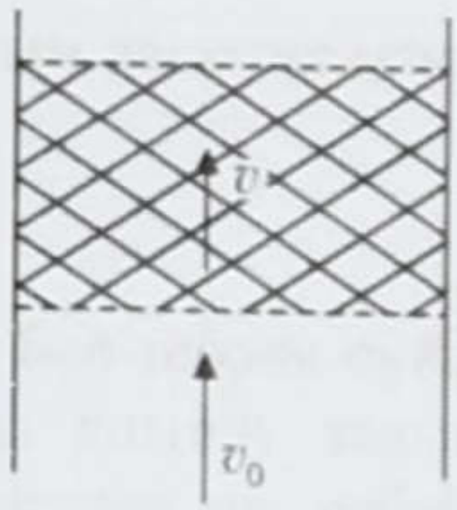
Турбуленттік режимде (Re > 7000) бірінші мәнді ескермеуге болады, сонда:

$$\lambda = 2{,}3. \qquad (4.42)$$

Түйіршікті қабаттың сипаттамасы. Қабаттың қуыстылығы мына теңдеумен анықталынады (4.8-сурет):

$$\varepsilon = \frac{V_\Sigma - V_{тв}}{V_\Sigma} = 1 - \frac{V_{тв}}{V_\Sigma} = 1 - \frac{\rho_{слоя}}{\rho_{тв}};\ \varepsilon = м^3/м^3, \qquad (4.43)$$

мұндағы $\rho_{каб}$ – қабаттың көлімдік тығыздығы; $V_\sum$ - қабаттың жалпы көлемі, $V_{тв}$ – қатты түйіршіктер көлемі, v_0- «жалған» жылдамдық (аппараттың барлық қимасына бөлінген, м/с; v – нақты жылдамдық (бос қимаға бөлінген),м/с.



4.8 -сурет. Қуысты қабат схемасы

S - бөлшектің меншікті беті - бөлшектің көлем бірлігіндегі беті. Диаметрі d шар тәрізді бөлшектер үшін

$$S = \frac{\pi d^2}{\frac{1}{6}\pi d^3} = \frac{6}{d};\ S = \text{м}^2/\text{м}^3. \tag{4.44}$$

а — қабаттың меншікті беті - оның көлем бірлігіндегі қабаттың беті:

$$a = S(1-\varepsilon);\ a = \text{м}^2/\text{м}^3, \tag{4.45}$$

мұндағы (1-ε) - қатты түйіршіктер үлесі. $d_{экв}$ - арналардың эквивалентті диаметрі, төмендегі белгілі қатынастан анықталады

$$d_{экв} = \frac{4S}{П}, \tag{4.46}$$

мұндағы S – канал қимасының ауданы, м^2; П - периметр, м. Түрлендіруден соң:

$$d_{экв} = \frac{4\varepsilon}{a} \tag{4.47}$$

немесе

$$d_{экв} = \frac{4\varepsilon}{S(1-\varepsilon)}. \tag{4.48}$$

Бұл жылдамдық арасындағы қатынас мына теңдеумен теңдеумен анықталады

$$v = \frac{v_0}{\varepsilon}. \tag{4.49}$$

Жоғарыда баяндалғанды ескере отырып, Re критерийі түрлендіруден кейін мынадай түрге ие болады

$$\mathrm{Re} = \frac{v\rho d_э}{\mu} = \frac{v_0\rho \cdot 4\varepsilon}{\varepsilon \cdot \mu \cdot S(1-\varepsilon)} = \frac{4\rho v_0}{\mu \cdot S(1-\varepsilon)}. \tag{4.50}$$

Полидисперсті жүйелер үшін келесі белгілеулерді енгіземіз: V_Σ, V_1, V_2, ... V_i- бұл жалпы көлем мен барлық фракциялардың жалпы көлемі; S, S_1, S_2,... S_i, - бөлшектің орташа меншікті беті және әрбір фракцияның меншікті беті; x_i, = V_i/ V_Σ,- і-ші фракцияның көлемдік үлесі. Сонда қабаттың жалпы беті

$$V_\Sigma \bar{S} = V_1 S_1 + V_2 S_2 + \ldots + V_i S_i, \tag{4.51}$$

немесе

$$\bar{S} = \frac{V_1}{V_\Sigma} S_1 + \frac{V_2}{V_\Sigma} S_2 + \ldots + \frac{V_i}{V_\Sigma} S_i, \tag{4.52}$$

немесе

$$\bar{S} = \sum x_i \cdot S_i. \tag{4.53}$$

Полидисперсті жүйе арналарының эквивалентті диаметрі мынадай формула бойынша анықталады:

$$\bar{d}_{экв} = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{d_i}} \qquad (4.54)$$

Сүзгілеу теориясы. Бұл теория сұйықтықтың қозғалмайтын түйіршікті қабат арқылы қозғалу заңына негізделген. Әдетте, қозғалыс ламинарлық сипатқа ие, себебі бұл режим ең тиімді теңдеуді негізге алып, онда тиісті түрлендірулерді жүргізу арқылы мынаны аламыз:

$$\Delta P = \lambda \frac{H_{oc}}{d_э} \cdot \frac{\rho v^2}{2} = \frac{133 \cdot \varepsilon \cdot S(1-\varepsilon) \cdot \mu \cdot H_{oc} \cdot S(1-\varepsilon)\rho v_0^2}{v_0 \rho 4\varepsilon \cdot 4\varepsilon \cdot 2\varepsilon^2}, \qquad (4.55)$$

немесе

$$\Delta P = 4{,}17 \frac{S^2(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \mu \cdot H_{oc} v_0 = r_{oc} \cdot \mu \cdot H_{oc} \cdot v_0, \qquad (4.56)$$

мұндағы H_{oc} — тұнба биіктігі; r_{oc} –тұбаның меншікті кедергісі. Тұнба сығылмайтын десек, r = const және r_{oc} = const. Сонда (2.25) өрнегінен жылдамдық

$$v_0 = \frac{V_ф}{\tau \cdot f} = \frac{\Delta P}{\mu \cdot r \cdot H_{0c}}. \qquad (4.57)$$

Бұл теңдеуді z сүзгі қалқасының кедергісін ескеру қажет болған жағдайда таратамыз:

$$v_0 = \frac{V_ф}{\tau \cdot f} = \frac{\Delta P}{\mu(r_{oc} H_{oc} + z)}, \qquad (4.58)$$

мұндағы f- сүзгілеу ауданы; τ – сүзгілеу уақыты; $V_ф$ – фильтрат көлемі. Жылдамдық тұрақты емес болғандықтан, ол былай өрнектелінеді:

$$v_0 = \frac{1}{f} \cdot \frac{dV_ф}{d\tau}. \qquad (4.59)$$

Осыдан сүзу жылдамдығының дифференциалды теңдеуі алынуы мүмкін:

$$\frac{dV_ф}{d\tau} = \frac{\Delta P \cdot f}{\mu(r_{ос}H_{ос} + z)}. \qquad (4.60)$$

Тұнба биіктігі $H_{ос}$ фильтрат көлеміне тәуелді:

$$H_{ос} = \frac{V_{ос}}{f} = \frac{xV_ф \cdot f}{f}, \qquad (4.61)$$

мұндағы х-фильтрат көлемінің бірлігіне келетін шөгіндінің мөлшері, $м^3/м^3$.

Сонда:

$$\frac{dV_ф}{d\tau} = \frac{\Delta P \cdot f}{\mu \cdot \left(r_{ос} \cdot \frac{x \cdot V_ф}{f} + z\right)}. \qquad (4.62)$$

Сүзгілеу жалпы тұрақты жылдамдықпен өтеді (v_0 = const) немесе тұрақты қысымда өтеді (ΔP = const): а) v_0 = const, t = const:

$$\frac{V_ф}{f \cdot \tau} = \frac{\Delta P}{\mu(r_{ос}H_{ос} + z)}; \qquad (4.63)$$

б) ΔP = const, t = const. Айнымалыларды бөліп және 2.27 теңдеуді интегралдаймыз:

$$\int_0^\tau d\tau = \int_0^{V_ф} \frac{\mu \cdot r_{ос} \cdot xV_ф}{f^2 \Delta P} dV_ф + \int_0^{V_ф} \frac{\mu \cdot z \cdot dV_ф}{\Delta P \cdot f}. \qquad (4.64)$$

Осыдан сүзгілеу мерзімі анықталады

$$\tau = \frac{\mu \cdot r_{ос} \cdot x \cdot V_ф^2}{2f^2 \Delta P} + \frac{\mu \cdot z}{\Delta P \cdot f} V_ф. \qquad (4.65)$$

Теңдеудің екі жағын да фильтрат көлеміне бөліп

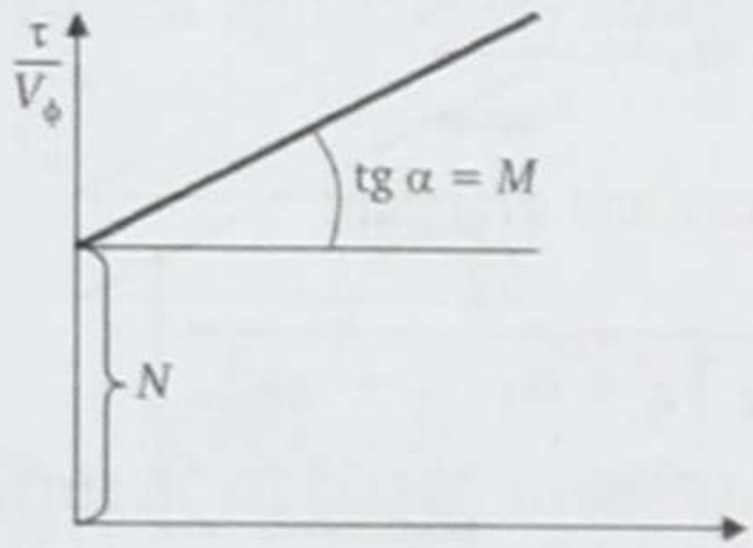
$$\frac{\tau}{V_\phi} = \frac{\mu \cdot r_{oc} \cdot x \cdot V_\phi}{2f^2 \cdot \Delta P} + \frac{\mu \cdot z}{\Delta P \cdot f}. \qquad (4.66)$$

M мен N- мен белгілесек

$$M = \frac{\mu \cdot r_{oc} \cdot x}{2f^2 \cdot \Delta P};\ N = \frac{\mu \cdot z}{\Delta P \cdot f}. \qquad (4.67)$$

Сонда 4.67- теңдеу тік сызықты түрге ие болады (4.9-сурет):

$$\frac{\tau}{V_\phi} = M \cdot V_\phi + N. \qquad (4.68)$$



4.9 -сурет. τ/V_ϕ V_ϕ тәуелділігі

Сүзгінің максималды өнімділігін есептеу (периодтық әрекет сүзгілері үшін).

Периодтық әрекет сүзгілерін пайдалану кезінде негізгі және қосалқы операцияларды ажыратады.

Негізгі: сүзу; шөгінді жуу; үрлеу (әдетте есептеулерде қысқа мерзімділіктің салдарынан есептелмейді).

Қосымша: суспензияны жүктеу; шөгінді түсіру; сүзгіні жұмысқа дайындау.

Сүзу циклінің ұзақтығы мыналардан тұрады:

$$\tau_{цикл} = \tau_{негізгі} + \tau_{\ қосымша}, \qquad (4.69)$$

мұндағы $\tau_{негізгі}$ және $\tau_{қосымша}$ —негізгі және қосымша операциялар уақыттары.

Негізгі операциялардың ұзақтығы (4.68) және (4.69) теңдеулерден анықталады. Содан кейін цикл: Сонда $\tau_{цикл}$:

$$\tau_{\text{цикла}} = \left(\alpha + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{r \cdot \mu \cdot x \cdot V_{\phi}^2}{\Delta p \cdot f} + (1 + \alpha) \cdot \frac{\mu \cdot z \cdot V_{\phi}}{\Delta p \cdot f} + \tau_{\text{вспом}} \tag{4.70}$$

немесе

$$\tau_{\text{цикла}} = B_1 \cdot V_{\phi}^2 + B_2 \cdot V_{\phi} + \tau_{\text{вспом}}, \tag{4.71}$$

ұндағы

$$B_1 \cdot V_{\phi}^2 + B_2 \cdot V_{\phi} = \tau_{\text{основн}}. \tag{4.72}$$

Сүзгінің өнімділігі мынаны құрайды

$$m_V = \frac{V_{\phi}}{\tau_{\text{цикла}}} \tag{4.73}$$

(4.72) теңдеуін еске ала отырып:

$$m_V = \frac{V_{\phi}}{B_1 \cdot V_{\phi}^2 + B_2 \cdot V_{\phi} + \tau_{\text{вспом}}}. \tag{4.74}$$

Сүзгі жұмысының оңтайлы шарттарын анықтау үшін құрылғының өнімділігі барынша болатын V_{ϕ} мәнін таңдау қажет. Ол үшін туынды өрнектерді алайық (4.74) және оны нөлге теңестіреміз:

$$m'_V = \left(\frac{V_{\phi}}{\tau_{\text{ц}}}\right)' = \frac{V'_{\phi} \cdot \tau_{\text{ц}} - V_{\phi} \cdot \tau'_{\text{ц}}}{\tau_{\text{ц}}^2} = \frac{B_1 V_{\phi}^2 + \tau_{\text{вспом}} - 2B_1 V_{\phi}^2}{(B_1 V_{\phi}^2 + B_2 V_{\phi} + \tau_{\text{вспом}})^2} = 0. \tag{4.75}$$

Түрлендіруден кейін:

$$\tau_{\text{вспом}} - B_1 V_{\phi}^2 = 0 \tag{4.76}$$

немесе

$$\tau_{\text{вспом}} = B_1 V_{\phi}^2. \tag{4.77}$$

Егер z. Содан кейін теңдеуден (4.75):

$$\tau_{\text{осн}} = B_1 V_{\phi}^2. \tag{4.78}$$

Демек, сүзгі жұмысының оңтайлы шарты (максималды өнімділік) мына теңдеу болып табылады

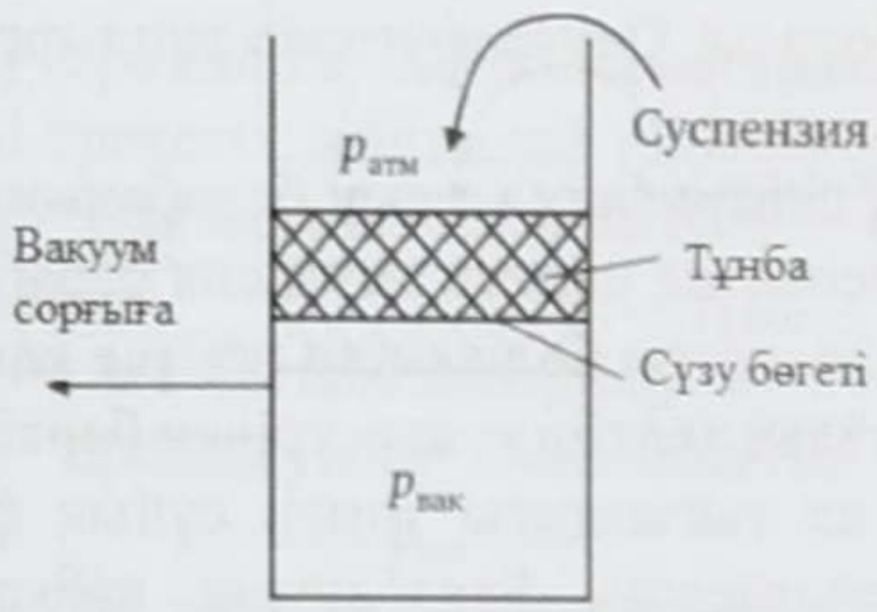
$$\tau_{\text{негізгі}} = \tau_{\text{қосымша}}, \tag{4.79}$$

Ең көп таралған сүзгілердің құрылғысы.

1. Сұйылтумен жұмыс істейтін Нутч-сүзгі (4.10- сурет). Сүзгіш қалқаға дейін және одан кейін қысымның айырымы:

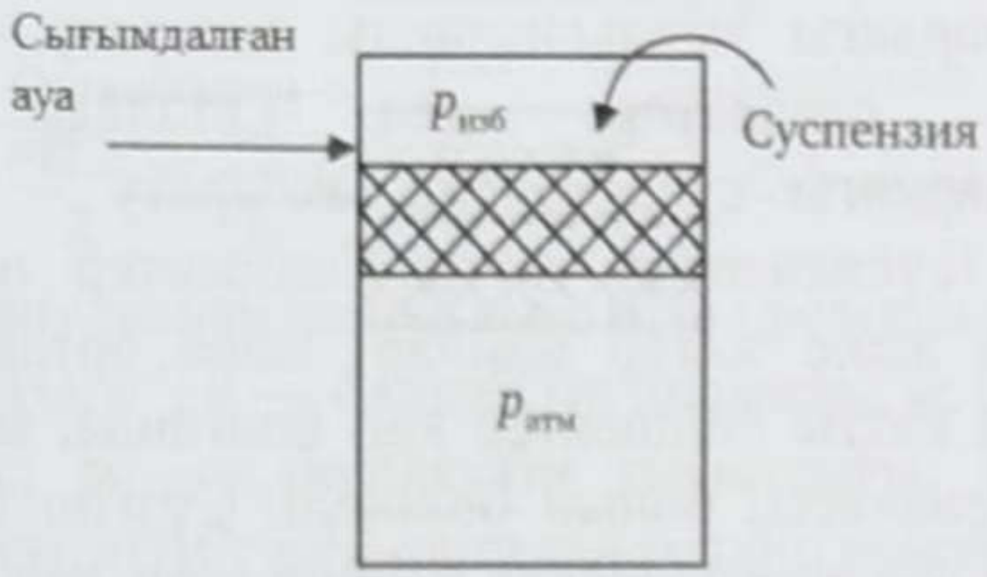
$$\Delta p = p_{\text{атм}} - p_{\text{вак}}. \tag{4.80}$$

Артықшылығы: дайындаудың қарапайымдылығы. Бұл конструкцияның кемшіліктері - қысымның айырымының төмендеуі болуы (1 атм-ден артық емес) және тұнбаны қолмен түсіруі



4.10 - сурет. Нутч-фильтр сүзгісі

Артық қысыммен жұмыс істейтін Нутч-сүзгі (4.11-сурет).



4.11- сурет. Нутч-фильтр сүзгісінің схемасы

Қысылған ауа артық қысым жасайды:

$$\Delta p = p_{изб} - p_{атм}. \qquad (4.81)$$

Δр алдыңғы конструкцияға қарағанда қажетті қысымға дейін ұлғайтылуы мүмкін. Бұл сүзгілерде үлкен Δр бар. Алайда, шөгіндіні қолмен түсіру сақталады.

4.3 Центрифугалау

Сұйық әрекетті жүйелерді (суспензия және эмульсия) ортадан тепкіш күш әсерімен ажыратуды центрифугалау деп атайды. Центрифугалау үрдісі арнаулы машиналар – центрифугаларда өткізіледі. Центрифугалардың негізгі бөлігі – тік немесе горизонталь білікте үлкен жылдамдықпен айналатын барабан(ротор) болады. Центрафугалар тұндырғыш және сүзгіш болып бөлінеді.

Тұндырғыш центрифугалардың барабанының қабырғалары тұтас болады. Суспензия немесе эмульсия барабанының төменгі жағына беріледі де, қатты бөлшектер немесе үлкен тығыздықты сұйық фазада ортадан тепкіш күш әсерінен барабан қабырғасына қарай ығысады, ал тығыздығы төмен сұйық фаза аппараттың осіне жақын орналасады. Барабанның қабырғасында тұнба қабаты пайда болып, ал ажыратылатын сұйық фаза немесе фугат барабанның үстіңгі жағынан шығарылады. Ортадан тепкіш күштің әсерінен қатты бөлшектер матаның бетінде ұсталып қалады, ал сұйық тұнба қабаты және мата арқылы барабаннның тесіктерінен сыртқа шығарылады. Тұндырғыш центрифугалардағы эмульсияларды ажырату – сепарация, ал центрифуга сепаратор деп аталады. Тұндырғыш центрифугалардағы суспензияны ажырату – ортадан тепкіш мөлдірлену (суспензияда қатты бөлшектер өте аз болғанда, мысалы, лак және жағар майлар) және ортадан тепкіш тұну (суспензияда қатты бөлшектер көп болғанда, мысалы, көмірдің судағы суспензиясы) болып бөлінеді. Сүзгіш центрифугаларда суспензияны ажырату ортадан тепкіш сүзу деп атайды. Барабан және оның ішіндегі суспензия (эмульсия) айналғанда пайда болатын ортадан тепкіш күш мәні:

$$C = m\omega / R = G\omega / (gR) = GnR/900 \text{ Н}, \qquad (4.82)$$

мұндағы G – барабан және материалдың салмағы, (Н); $\omega = \pi Rn/30$ барабанның айналым жылдамдығы, м/с; N – барабанның 1 минуттағы айналу саны; R – барабанның ішкі радиусы, м ; g – еркін түсу үдеуі; $G = n^2$ - деп қабылданған. Центрифугалардың жұмыс істеу тиімділігі ажырату факторына байланысты болады:

$$K_a = \omega^2 R / g = n^2 R/900. \qquad (4.83)$$

Ажырату факторы қаншалықты көп болса, центрифуганың ажырату қабілеті соншалықты жоғары болады. Центрифугалардың ажырату қабілеттігін сипаттайтын екінші көрсеткіші, оның өнімділігінің индексі Е болып табылады. Ол ажырату факторы / K_a / мен барабанның торлы бетінің (F) көбейтіндісіне тең:

$$E = K_a F, \text{ м}^2. \qquad (4.84)$$

Жұмыс істеу приципіне байланысты төмендегідей болып бөлінеді: мерзімді әрекетті; жартылай үздіксіз әрекетті; үздіксіз әрекетті. Ажырату факторына байланысты: - егер $K_a < 3500$ қалыпты центрифуга;

-егер $K_a < 3500$ аса жоғары центрифуга.

Барабанның орналасуына байланысты: горизонталды; көлбеу; тік.

Барабанды бекіту тәсіліне байланысты:тік бойлы; аспалы.

Тұнбаны түсіру тәсілдеріне байланысты:қол күшімен; пышақпен немесе қырғышпен; шнекпен; ілгері – кейінді қозғалатын поршенмен; ауырлық күші әсерімен (гравитациялық); ортадан тепкіш күш әсерімен.

Центрден тепкіш өрістегі бөлшекке әсер ететін күштер теңдеуі

$$\xi \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho v^2}{2} = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_ч - \rho_c)\omega^2 R, \qquad (4.85)$$

мұндағы R — айналу осінен қашықтық, м; ω - ротордың бұрыштық айналу жылдамдығы, c^{-1}; d — бөлшектің диаметрі, м; υ — тұндыру жылдамдығы, м/с; $\rho_ч$ — бөлшектің тығыздығы, кг/м^3; ρ_c — ортаның тығыздығы, кг/м^3; $\omega^2 R$-ортадан тепкіш өрістің үдеуі, м/с^2.

Центрифуганың жұмысын сипаттайтын маңызды параметр-центрифуга күші ауырлықтың күшінен қанша рет (әдетте $К_р \approx 5000$ және одан да көп) асып түсетінін көрсететін $К_р$ бөлу факторы):

$$\frac{\omega^2 R}{g} = K_р. \tag{4.86}$$

Жоғарыдағы 4.85-теңдеуді $К_р$ арқылы жазамыз

$$\xi \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho v^2}{2} = \frac{\pi d^3}{6}(\rho_ч - \rho_с) K_р \cdot g. \tag{4.87}$$

Ламинарлық режім үшін:

$$\xi = \frac{24}{\mathrm{Re}}; 3\pi \cdot d \cdot v \cdot \mu = \frac{\pi d^3}{6}(\rho_ч - \rho_с) K_р \cdot g, \tag{4.88}$$

бұдан, $v \sim К_р$.

Өтпелі режім үшін:

$$\xi = \frac{18{,}5}{\mathrm{Re}^{0{,}6}}, \tag{4.89}$$

бұдан $х \sim К_р^{0{,}7}$.

Турбуленттік режім үшін:

$$\xi = 0{,}44,$$

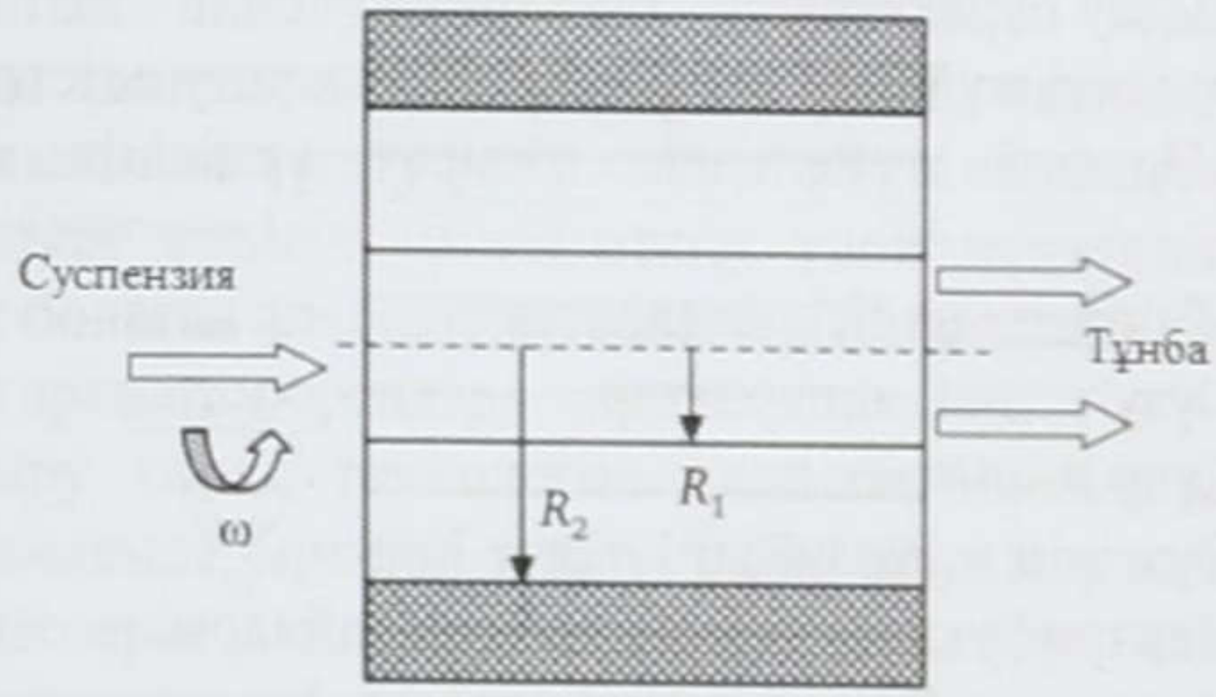
бұдан $v = К_р^{0{,}5}$.

Барлық үш режимнің талдауынан бөлу процесі ламинарлық режимде ең тиімді болып келеді.

Периодтық әрекет ететін тұндырғыш центрифугаларды есептеу схемасы 4.12 –суретте көрсетілген. Центрифугаларды есептеу центрифугалау ұзақтығын анықтау. Тиімді ламинарлы режім үшін

$$3\pi d \cdot v \cdot \mu = \frac{1}{6}\pi d^3 (\rho_ч - \rho_с) \cdot \omega^2 R. \tag{4.90}$$

Бұдан Стокс жылдамдығын аламыз:



4.12 - сурет. Тұндыру центрифуга схемасы

$$v_{Ст} = \frac{1}{18} \cdot \frac{d^2(\rho_ч - \rho_c)}{\mu}\omega^2 R;$$

$$v_{Ст} = \frac{dR}{d\tau}. \qquad (4.91)$$

(4.90) теңдеуін (4.91) бөліп, айнымалыларды бөлеміз. Алынған теңдеуді R_1 ден R_2 дейін және 0-ден τ дейін интегралдаймыз:

$$\int_{R_1}^{R_2} \frac{dR}{R} = \int_0^{\tau} \frac{1}{18} \cdot \frac{d^2(\rho_ч - \rho_c)}{\mu}\omega^2 \cdot d\tau, \qquad (4.92)$$

мұндағы R_1 —суспензии шегі; R_2 — тұнба шегі. Түрлендіруден кейін:

$$\ln\frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{18} \cdot \frac{d^2(\rho_ч - \rho_c)}{\mu}\omega^2\tau. \qquad (4.93)$$

Осыдан τ- ды анықтаймыз.

$$\tau = \frac{\ln\frac{R_2}{R_1}18\mu}{d^2(\rho_ч - \rho_c)\omega^2}. \qquad (4.94)$$

Бақылау сұрақтары:

1.Әртекті жүйелер және оларды ажырату әдістері.

2. Әртекті жүйелердің ажырау үрдісінің материалдық балансы.

3. Тұндыру үрдісі, аппараттар.

4. Сүзу үрдісі, аппараттар,.

5. Сүзу жылдамдығы.

6. Сүзгінің құрылысы.

7. Центрифугалаудың негізгі жағдайлары.

8. Ортадан тебу күші және ажырау факторлары.

9. Центрифугтік тұндырғылардың жұмыс принципі және құрылысы.

10. Центрифугалы сүзгілердің жұмыс принципі және құрылысы.

4.4 Механикалық араластырғыштар

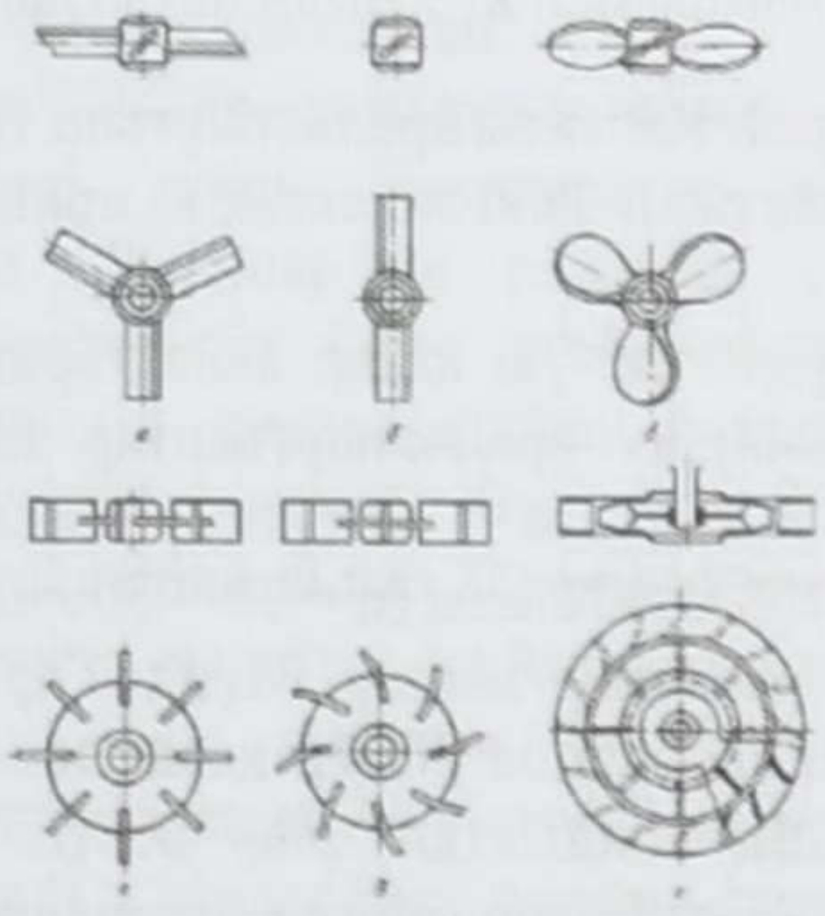
Өнеркәсіпте суспензия, эмульсия және гомогенді жүйелерді (ерітінділерді) алу үшін химиялық, жылу және массаалмасу үдерістерінің қарқындылығын көбейту үшін, сұйық орталарды араластыру үшін кеңінен пайдаланылады. Сұйық орталарды араластырудың негізгі үш тәсілі болады: механикалық (араластырғыштар жәрдемімен); - пневматикалық (сығылған ауа немесе инертті газдар жәрдемімен); циркуляциялық насостар немесе соплалар жәрдемімен.

Араластыру үдерісі негізінен: араластыру сапасы және араластырғыш әрекетінің қарқындылығымен сипатталады. Араластыру үдерісінің сапасы әртүрлі процестердің мақсатына байланысты түрліше белгіленеді: мысалы, суспензияларды алуда, араластыру сапасы қатты бөлшектердің аппарат көлеміне бірыңғай таралу дәрежесін сипаттайды; жылу және массаалмасу үрдісінің қарқындылығын көбейтуде жылу және массаөту коэффициенттерінің араластырғанда қаншалықты көбейгенін сипаттайды. Араластыру сапасы араластырғыш құрылғылары мен аппараттың құрылысына және араласатын сұйыққа берілетін энергия шамасына байланысты болады. Араластыру қарқындылығы технологиялық процестің берілген нәтижесіне жету үшін кеткен уақыт мөлшерімен немесе белгілі уақыттағы

араластырғыштың айналу санымен анықталады. Араластыру қарқындылығы қаншалықты жоғары болса, араластырудан берілген сапалылығына жету үшін соншалықты аз уақытты керек етеді. Араластыру үрдісін тиімді өткізу үшін мүмкіндігінше аз уақытта қажет болаған араластыру сапасын қамтамасыз ету керек1 Араластыруға арналған орталар.

Араластыру тамақ технологиясында бір ортадағы екінші ортаның осы көлемде біркелкі түзілуі үшін, әрі жылу және масса алмасу процестерін қарқынды түрде күшейту үшін көп олданылатын гидромеханикалық процесс. Араластыру процесі тамақ өндірісінде әртүрлі эмульсия және суспензия дайындауда кеңінен қолданылады. Жылу және массаалмасу процестерінде араластыру процесі шекаралық қабатты азайту арқылы белгілі бір реакцияға қатысатын қосылыстардың бетін ұлғайту үшін қолданылады, ол процестің қарқынды түрде жеделдеуіне әсерін тигізеді. Тамақ өндірісінде көбінесе сұйық ортараларды араластыру жиі қолданылады.

Сұйық орталарды араластырудың негізгі үш тәсілі болады: механикалық - әртүрлі пшінді араластырғыштармен; пневматикалық - сығылған ауа немесе инертті газдармен; циркуляциялық - насостар немесе соплолармен (4.13-сурет).

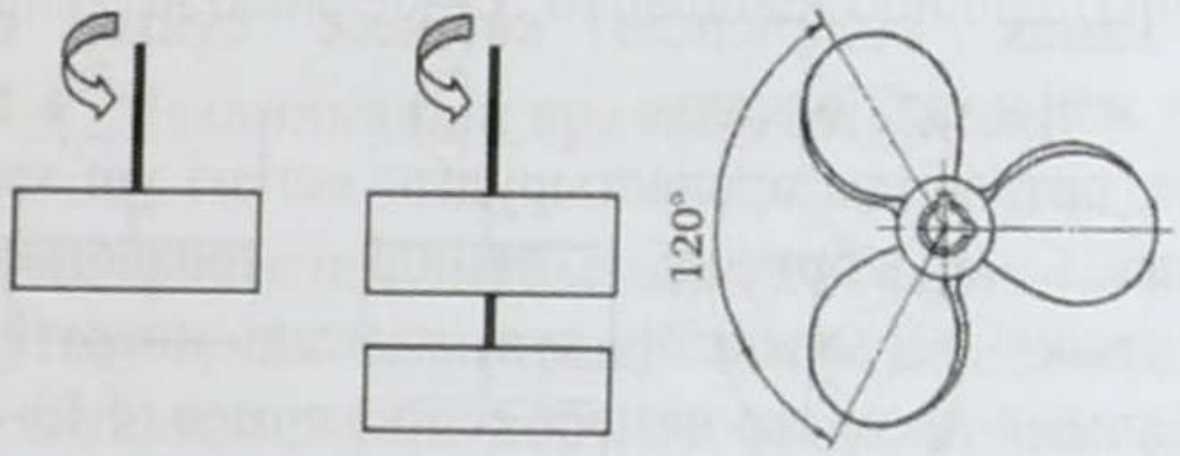


4.13 -сурет. Араластырғыштардың типтері: а-үш қалақшалы; б–екі қалақшалы; в–пропеллерлі; г–ашық турбиналы; д-қайырылған қалақшалары бар ашық турбиналы; е– жабық турбиналы.

Ауамен және циркуляциялық араластыру тәсілдері жоғары тиімділікті болып келеді, бірақ мынадай кемшіліктері бар: салыстырмалы түрде көп энергия шығыны; ауамен араластырғанда химиятың (ашу)тотығу мүмкіншілігі немесе оның жылжымалық фазасының булану мүмкіншілігі.

Араластырудың тамақ өндірісіндегі кең тараған тәсілі – механикалық араластыру. Механикалық араластыру әртүрлі пішінді қалақтары бар араластырғышпен (рамалы, қалақты, пропеллері, турбиналы, жалпақ қалақты т.б.) жүргізіледі.

Қалақты араластырғыштар білікке бекітілген екі немесе одан да көп қалақтардан тұрады. Олардың негізгі артықшылығы - дизайнның қарапайымдылығы және арзандығы. Дегенмен, бұл араластырғыштардың тиімділігі жеткіліксіз, себебі негізінен радиалды ағындарды қамтамасыз етеді. Қалақтың осьтік ағынын жасау үшін біліктің осіне 30-45° бұрышпен орналастыру қажет.



4.14 -сурет. Қалақты араластырғыш типтері:
а- бір қалақты; б – екі қалақты; в- пропеллерлі.

Араластыру үшін екі-үш қатар қалақтарды орнатады және рамалық немесе зәкірлік араластырғыштар қолданылады. Бұл араластырғыштар P < 1 Па * с тұтқыр емес сұйықтықтарды араластыру үшін пайдаланылады (n = 30—300 айн/мин)

Пропеллерлі араластырғыштар. Мұндай араластырғыштарда кеме винтінің пішіні бойынша иілген қалақтары (үнемі өзгеретін еңістігі бар) болады, сондықтан олар осьтік ағындар құруды қамтамасыз етеді. Әдетте үш жақты пропеллер таралған. Бұл араластырғыштар қуатты осьтік ағындарды жасайды, сондықтан Re мәні бірдей болғанда, олардың айналуына кететін қуат қалақшаларға қарағанда аз. Дегенмен, олар өндірістің күрделілігімен және жоғары құндылығымен ерекшеленеді. Бұл

араластырғыштар сұйықтықтарды тұтқырлықпен n = 2000-3000 айн/мин араластыру үшін қолданылады.

Араластыру процесіндегі механикалық араластырғыштардың тұтынатын қуаты критерийлі жалпы теңдеуінен анықтауға болады :

$$Eu_M = A \cdot Re^m_M \qquad (4.95)$$

мұндағы:Eu_M немесе K_n - модификацияланған Эйлер саны немесе қуат критерийі

$$Eu_M = N/(\rho \cdot n^3 \cdot d^5) = K_n \qquad (4.96)$$

Re_M - модификацияланған Рейнольдс саны

$$Re_M = \rho \cdot n \cdot d^2 / \mu , \qquad (4.97)$$

А және m – тұрақты сандар, тәжірибелік жолымен анықталады.

Есептеулерді жеңілдету үшін қуаттың тәжрибелік мәндері K_n және Re_M арасындағы графикалық байланыспен беріледі. $K_n = f(Re_M)$ графикалық байланысы көптеген стандартты араластырғыштар үшін жасалынған.

Механикалық араластырғыштермен сұйықтарыды аралсатырғанда екі түрлі: ламинарлық және турбуленттік режімдер болады. Ламинарлық режимде ($Re_M < 30$) сұйық арластырғыш қалақтармен бірге жай араласады. ($Re_M > 10^2$) болғанда турбуленттік режим пайда болады. (Rем> 10^5) - кемелденген турбулентті режим. Бұл кезде K_n -нің мәні Re_M – мәніне байланысты болмайды. Пневматикалық (барботажды) араластыру. Араластырылатын сұйықтың химиялық активтігі үлкен және газ (мысалы, ауадағы оттегі) сұйықпен химиялық әрекеттесуі қажет болғанда сығылған инертті газбен немесе ауамен пневматикалық араластыру қолданылады. Араластырудың бұл тәсілі төмен қарқынды процес және энергия шығыны механикалық араластыруға қарағанда көп.

Циркуляциялық араластыру. Сұйық ортаны қарқынды араластыру үшін оны аппарат - циркуляциялық насос - аппарат контуры бойынша көп қайталап насоспен сорып айдау керек

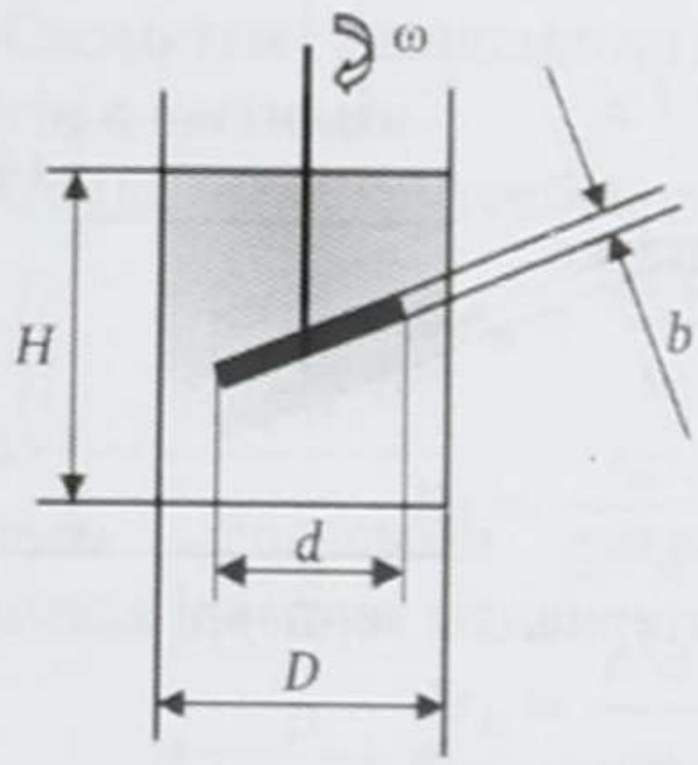
Араластыруға ортадан тепкіш насос немесе ағынды насостар пайдаланылады.

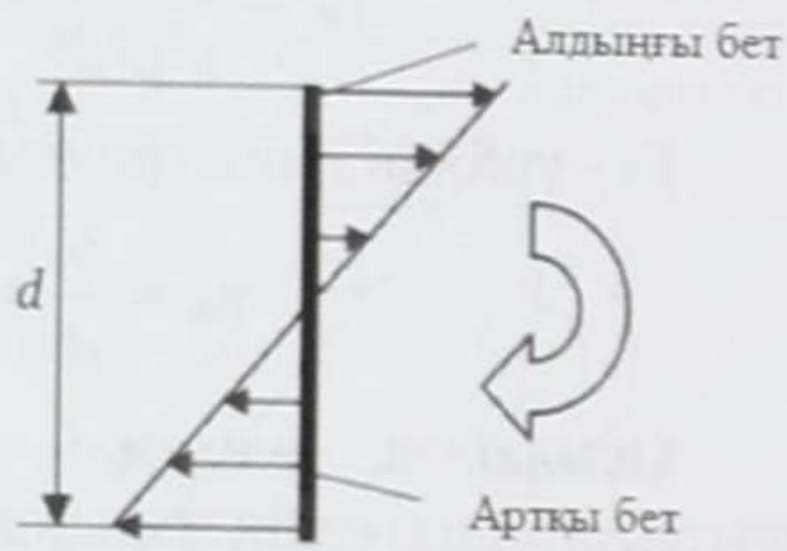
Құбырлардағы араластыру. Құбырлардағы араластыру ең қарапайым тәсіл және сұйықтарды тасымалдағанда қолданылады. Бұл тәсіл аз тұтқырлы және бір- бірінде тез еритін сұйықтарды араластыруда қолданылады. Араластыру құбыр ішіне диафрагма, жартылай бөгеттер, винтті насадка және т.б. орнатылу арқылы жүзеге асады . Араластыруда сұйық ағынының энергиясы

Араластыру процестің жүру сапасы - араластырудың тиімділікпен қолданылуында және оның жүруі үшін қойылған мақсаттың орындалуында, сонымен қатар араластыру сапасы араластырғыш құрылғылар мен аппараттың құрылысына және араласатын сұйыққа берілетін энергия шамасына байланысты болады. Араластыру қарқындылығы технологиялық процестің берілген нәтижесіне жету үшін кеткен уақыт мөлшерімен немесе белгілі уақыттағы араластырғыштың айналу санымен анықталады. Араластыру қарқындылығы қаншалықты жоғары болса, араластырудан берілген сапалығына жету үшін соншалықты аз уақыт керек етеді.

Тамақ өнеркәсібінде механикалық араластыру эмульсиялар мен суспензияларды дайындау, гомогенді жүйелерді алу үшін, сондай-ақ жылу және масса алмасу процестерін қарқындату үшін қолданылады. Механикалық араластыру айналмалы білікке отырғызылған қалақтардың комбинациясы болып табылатын араластырғыштың көмегімен жүзеге асырылады (4.15 -сурет).

Араластырғышты айналдыру кезінде алдыңғы және артқы бөліктердегі Δр қысымдарының айырмашылығы бар. Бұл әдетте N пайдалы қуаты арқылы білдіретін электр қозғалтқышы тарапынан білікке қосылған күшпен еңсерілетін қысым ауытқуы. Процесті сипаттау үшін ұқсастық теориясын пайдаланады. Өлшемсіз кешендерді алу үшін өлшемдерді талдау әдісі қолданылады. Белгілі болғандай, Δр түрлі геометриялық және физикалық шамалардың функциясы болып табылады:





Жылдамдықтар эпюрасы

4.15-сурет.Араластырғыш схемасы

$$\Delta p = f(v, \mu, d, g, D, H, \rho, b), \tag{4.98}$$

мұндағы d-араластырғыштың диаметрі; D-аппараттың диаметрі; b-араластырғыш қалағының ені; v-сұйықтықтың жылдамдығы; g-еркін құлау үдеуі; p-сұйықтықтың тығыздығы; H-аппараттағы сұйықтықтың биіктігі; ρ — сұйықтықтың тұтқырлығы.

π-теоремаға сәйкес тоғыз өлшемді параметрлерді алты кешенге және симплекстерге ауыстырға болады. Осы кешендерді ашқаннан кейін мына теңдеулер аламыз:

Ей - Эйлер критериі:

$$\pi_1 = \frac{\Delta p}{v^x \rho^y d^z} = \frac{\Delta p}{\rho v^2} = Eu; \tag{4.99}$$

Re - Рейнольдс критериі:

$$\pi_2 = \frac{\mu}{v^x \rho^y d^z} = \frac{\mu}{v \rho d} = \frac{1}{\mathrm{Re}}; \tag{4.100}$$

Fr - Фруд критериі:

$$\pi_3 = \frac{d \cdot g}{v^2} = \frac{1}{Fr}; \tag{4.101}$$

Γ_1 – бірінші геометриялық симплекс:

$$\pi_4 = \frac{D}{d} = \Gamma_1; \tag{4.102}$$

Γ_2 - екінші геометриялық симплекс:

$$\pi_5 = \frac{H}{v^x \rho^y d^z} = \frac{H}{d} = \Gamma_2; \qquad (4.103)$$

Γ_3 - үшінші геометриялық симплекс:

$$\pi_6 = \frac{b}{d} = \Gamma_3. \qquad (4.104)$$

Осылайша, өлшемді физикалық шамаларды өлшемсіз ауыстырғаннан кейін мынандай критериалды теңдеуді аламыз

$$Eu = f(\mathrm{Re}, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3). \qquad (4.105)$$

(4.105) теңдеудің көмегімен қуат коэффициенті есептеледі. Араластыруға жұмсалатын қуатты есептеу үшін белгілі өрнекті қолданамыз

$$N = M_{кр}\omega. \qquad (4.106)$$

Бұдан айналдыру моментін $M_{кр}$ табамыз

$$M_{кр} = Fd \sim \Delta p d^2 d\,. \qquad (4.107)$$

Бұрыштық жылдамдық мынаған тең $\omega = 2\pi n$,
$\omega \sim n$ деп аламыз. Сонда:

$$N \sim \Delta p d^3 n. \qquad (4.108)$$

(4.108) теңдеуінен:

$$\Delta p \approx \frac{N}{d^3 n}. \qquad (4.109)$$

(7.109) теңдеуін Эйлер өлшеміне (инженерлік есептеулерде k_n - қуат коэффициенті) қоямыз. Содан:

$$Eu = \frac{N}{d^3 n \rho n^2 d^2} = \frac{N}{d^5 n^3 \rho} = k_N. \qquad (4.110)$$

K_N, ортаның тығыздығын, араластырғыштың диаметрі, айналу жиілігін біле отырып, қуатты есептеуге болады:

$$N = k_N \rho n^3 d^5. \qquad (4.111)$$

Сызықтық жылдамдықтың орнына критерийлерге айналу жиілігін n енгіземіз:

Сонда мына критеийлерді аламыз:

$$\mathrm{Re}_{\text{м}} = \frac{nd^2\rho}{\mu};$$

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho n^2 d^2};$$

$$Fr_{\text{м}} = \frac{n^2 d}{g}. \qquad (4.112)$$

Сонымен мынаны аламыз:

$$k_N = f(\mathrm{Re}_{\text{м}}, Fr_{\text{м}}, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3). \qquad (4.113)$$

Тәжірибеде құйын немесе толқын түзілмесе Фруд критерийін ескермеуге болады. Сонда (4.113) былай жазылады:

$$k_N = f(\mathrm{Re}_{\text{м}}, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3). \qquad (4.114)$$

Критерийлер аралық функционалдық тәуелділік дәрежелік функция түрінде ұсынылуға болады

$$k_N = A \cdot \mathrm{Re}_{\text{м}}^m \cdot \Gamma_1^x \cdot \Gamma_2^y \cdot \Gamma_3^z, \qquad (4.115)$$

мұндағы A, m, x, y, z — эмпирикалық коэффициенттер.

Сонымен, араластыру режімін анықтап алып және араластырғыш типін таңдау арқылы K_N мәнін есептеуге болады. Өнімнің тығыздығын, араластырудың айналым жиілігін және араластырғыш өлшемін анықап алған соң араластыруға арналған қуатты табуға болады.

Бақылау сұрақтары:

1. Ағынды араластыруға арналған араластырғыштар.
2. Араластырғыш жұмысына тұтынатын қуаты қандай негізгі шамаға байланысты?
3. Араластыру кезіндегі энергия шығыны үшін критериальды теңдеудің жалпы түрі қалай жазылады?
4. Араластырғыш үшін Эйлер және Рейнольдс сандары қалай анықталады?
5. Араластырғышты қозғалысқа келтіретін электроқозғалтқыш қуаты қалай анықталады?

6. Әртүрлі араластырғыштар үшін электроқозғалтқыштың қуатын қалай таңдайды?
7. Араластыру тиімділігін бағалау.
8. Пневматикалық араластыруға арналған араластырғыштар.
9. Пневматикалық араластырғыштарды есептеуде қажетті қысым және сығылған газ шығыны (мөлшері) қалай анықталады?
10. Газдың сұйықты араластырудағы жұмысы қалай анықталады?
11. Араластыру дегеніміз не?
12. Араластыру процесінің жіктелуі және мәні.
13. Сұйық орталарды араластыру әдістері.
14. Механикалық араластырғыштар.
15. Олардың жұмыстарының негіздері және құрылғылары.
16. Араластырғыш жұмысына тұтынатын қуаты қандай негізгі шамаға байланысты?
17. Араластыру кезіндегі энергия шығыны үшін критериальды теңдеудің жалпы түрі қалай жазылады?
18. Араластырғыш үшін Эйлер және Рейнольдс сандары қалай анықталады?
19. Араластырғышты қозғалысқа келтіретін электроқозғалтқыш қуаты қалай анықталады?
20. Әртүрлі араластырғыштар үшін электроқозғалтқыштың қуатын қалай таңдайды?
21. Ағынды және пневматикалық араластыруға арналған араластырғыштар.
22. Араластыру тиімділігін бағалау.

4.5 Баромембраналық процестер

Бароменбраналық процестер - бұл ерітінділерді жартылай өткізгіш қалқалар (мембраналар) арқылы қысыммен сүзу арқылы бөлу тәсілдері. Мынандай бароменбраналық процестер бар: кері осмос, нанофильтрлеу, ультрафильтрлеуя және микрофильтрлеу.

Кері осмос-мембраналарда бөлу, нәтижесінде мембранадан тек су молекулалары өтеді. Процесс p = 3-10 МПа қысымда жүзеге асырылады. Қуыстардың мөлшері 0,1-1 нм.

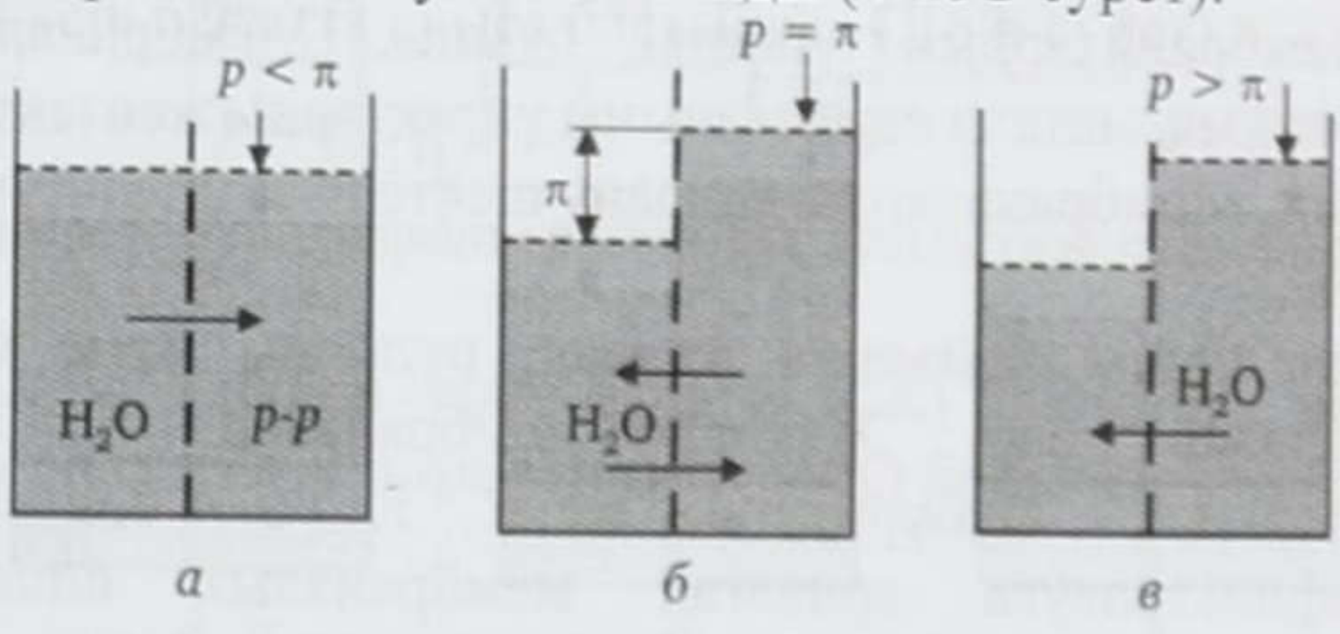
Нанофилътрлеу - бұл мембраналарда бөліну, нәтижесінде мембраналар арқылы су молекулалары мен кейбір төмен молекулалық қосылыстар (бір валентті натрий, калий, хлор иондары) өтеді және ақуыз, лактоза және көп валентті иондар (кальций, магний, фосфаттар) молекулалары кідіреді. Процесс р = = 1-3 МПа қысымда жүзеге асырылады. Қуыстардың мөлшері 1-10 нм.

Ультрафилтрлеу - бұл мембраналарда бөлу, нәтижесінде мембрана арқылы су молекулалары, төмен молекулалы қосылыстар өтеді және жоғары молекулалы қосылыстар (ақуыз) молекулалары кідіреді. Ультрафильтрлеу кезіндегі қысым р = 0,3—1 МПа, қуыс мөлшері — 10-100 нм құрайды.

Микрофильтрлеу - бұл мембраналарда бөлу, нәтижесінде мембранада қатты микротүйіршіктер, коллоидтер, микроорганизмдер сақталады. Бұл жағдайда қысым — 0,3 МПа дейін, қуыстар мөлшері — 100 нм-10 мкм.

Бөлудің теориялық негіздері. Кері осмос бөлу негізінде еріткіштің (судың) жартылай өткізгіш мембрана арқылы ерітіндіге өздігінен өту құбылысы жатыр (4.16 а-сурет).

Егер ерітінді жағынан тепе-теңдікке жеткеннен кейін (4.16-сурет) осмостық қысымнан асатын қысым болса, еріткіш ерітіндіден кері бағытта ауыса бастайды (4.16 в-сурет).



4.16 – сурет. Кері осмоспен бөлу схемасы: *а* – еріткіштің ерітіндіге өздігінен өтуі; б – тепе – теңдік-парциалды қысым осмотикалыққа тең; в- кері осмос. Еріткіш қайта өте бастайды.

Кері осмостың қозғаушы күші-қысымның ауытқуы:

$$\Delta p > p - \pi, \qquad (4.116)$$

мұндағы p – ерітінді үстіндегі артық қысым; π – осмотикалық қысым.

Мембраналардың негізгі сипаттамалары. Селективтілігі, %:

$$\varphi = \frac{b_н - b_{кон}}{b_н} \cdot 100, \quad (4.117)$$

мұндағы $в_н$ және $в_{кон}$ - бастапқы ерітіндідегі және сүзгіштегі ерітілген заттың массалық үлесі.

Өтімділігі, л/(м^2 • сағ):

$$G = \frac{V}{f \cdot \tau}; \quad (4.118)$$

мұндағы V – фильтрат көлемі, л; f- мембрана бетінің ауданы, м^2; τ – процесс мерзімі, сағат.

Мембраналар жоғары бөлу қабілетіне (селективтілігі), жоғары меншікті өтімділікке (өткізгіштікке), химиялық төзімділікке, механикалық беріктікке ие болуы тиіс. Мембраналар негізінен микркуысты жұқа қабат құрайтын полимерлік материалдардан жасалады.

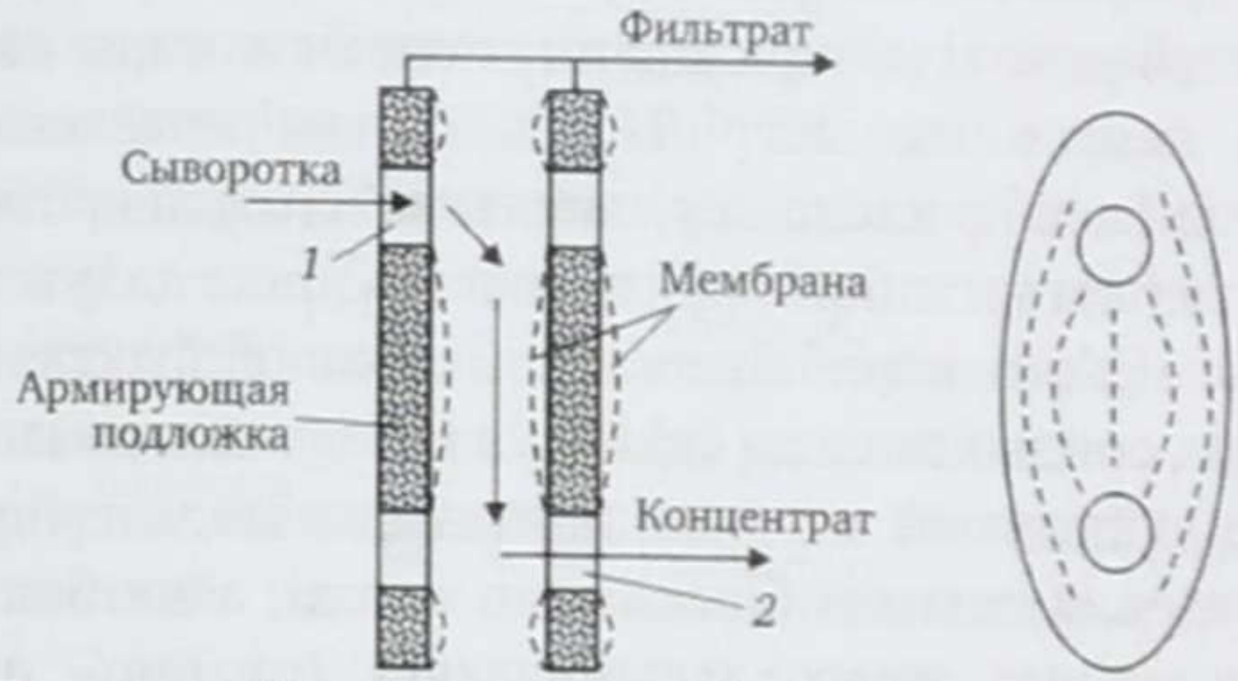
Мембраналардың үш буына бар. Мембраналардың бірінші буыны. Бұл мембраналар ацетатцеллюлозадан жасалған. Мембраналарды қолдану шектері: температура 0-50°С, pH 4-8.

Мембраналардың екінші буыны. Бұл мембраналар полисульфонамидтен жасалған. Қолдану шектері: температура 0-80°С, pH 4-12.

Мембраналардың үшінші буыны. Мембраналар көмір, керамикалық, металл немесе шыны ұнтақтарды жентектеу арқылы жасалған. Мембраналарды қолдану шектері: температура 0-200°С, pH 0-14.

Бет пішіні бойынша жалпақ, рулонды және цилиндрлік мембраналар бар. Жалпақ мембраналар, өз кезегінде, эллиптикалық, тікбұрышты және т. б. болуы мүмкін. Ультрафильтрлеуге арналған мембраналық аппараттардың құрылғысы (4.17- сурет).

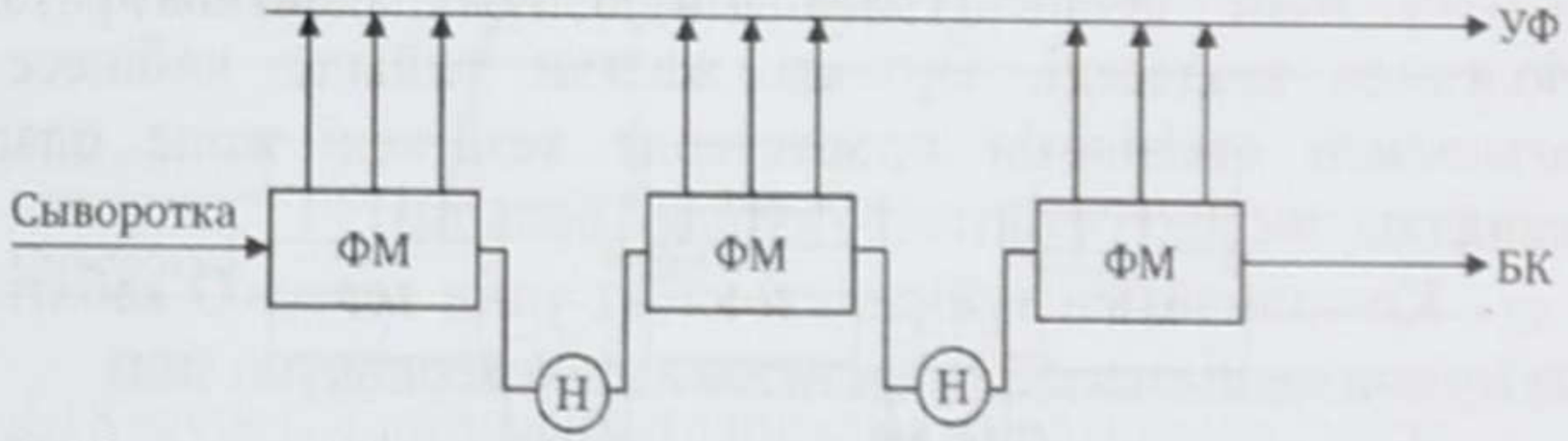
Сүт сарысуы сүзгіш элементтегі 1 тесіктері арқылы пайда болған көлденең арна арқылы түседі, содан кейін ол пластина аралық арналар бойынша бөлінеді. Төмен молекулалық қосылыстар мембрана арқылы өтеді, төсеніштің ішіне түседі және сүзгіш түріндегі төсеніштің шеткі бөлігіндегі тесіктер арқылы шығарылады. Жоғары молекулалық қосылыстар мембранамен кідіріп, 2 тесігі арқылы өтіп, бірте-бірте шоғырланып, келесі модульдерге түседі.



4.17 -сурет. Сүзгілеу элементі жұмысының схемасы

Мембраналық әдістермен бөлу қарапайым сүзуден принципті түрде ерекшеленеді, өйткені кері осмос, нанофильтрация және ультрафильтрация процесінде сүзгіш бетінде тұнба жинақталмайды, фильтрат пен концентрат түзіледі.

Ультрафильтрациялық қондырғы - бұл сүзгі модульдерінің (ФМ), сорғылардың (Н), сыйымдылықтар мен жылу алмастырғыштардың жүйесі (4.18-сурет).



4.18 -сурет. Ультрафильтрациялық қондырғы схемасы

Қондырғы ақуыз концентраты (БК) бойынша және әр элементтен бөлінетін ультрафильтрат (УК) бойынша параллельді жұмыс істейді.

4.6 «Жалған қайнау» процесінің гидродинамикасы

Майда түйіршікті қатты фазалардың қатысуымен өтетін көптеген процестердің (кептіру, адсорбция, күйдіру, гетерогенді катализ және т.б.) өту сапасы қатты фазадағы температура мен концентрацияның таралцының біркелкілігіне байланысты болады. Бұл талаптар жоғарыдағы аталған процестерді жалған сұйылу қабатында орындалады. Жалған сұйылу қабатында

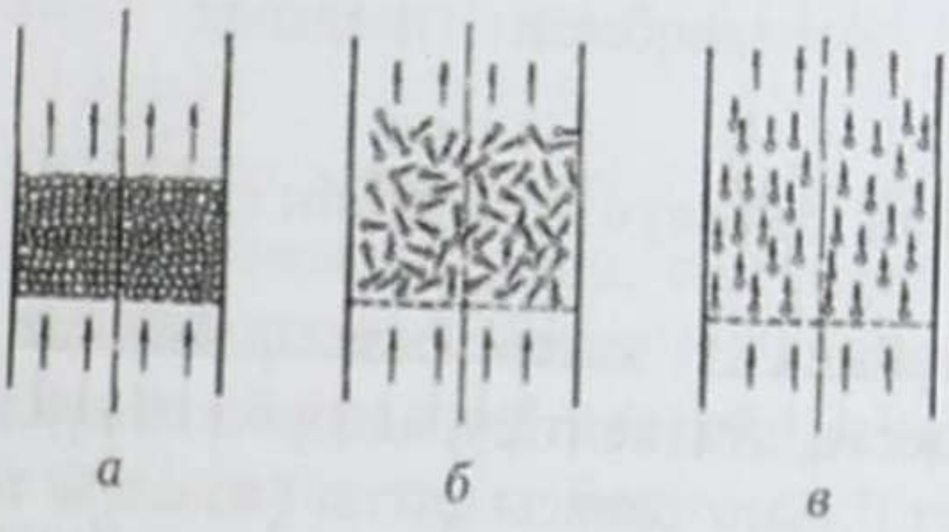
қатты түйіршікті материалдар төменнен жоғары қарай берілген сұйық түйіршікті материалдар төменнен жоғары қарай берілген сұйық немесе газ әсерінен қарқынды араласады да, олар сұйықтың кейбір қасиеттеріне (ағымдылық, ыдысты қисатқанда қабаттың жоғарғы беті горизонталь күйінде қалуы және т.б.) ие болады. Сырт көрінісінен бұл қабат сұйықтың қайнауына ұқсайды, сондықтан оны «қайнау» қабаты деп те атайды. Газдың немесе сұйықьтың жоғарғы жылдамдығында түйіршікті қатты бөлшектер ағынымен бірге ілесіп кетеді, яғни бөлшектерді бір жерден екінші жерге тасымалдауға (пневмо- немесе гидро тасымалдау) болады және көптеген мерзімді процестерді үздіксіз өткізуге мүмкіндік туады.

Жалған сұйылу қабатының сруктурасы газ немесе сұйықтың жылдамдығына, қатты түіршікті материалдардың қасиеттеріне (тығыздық, бөлшектің размері мен пішіні және т.б.) байланысты болады. Жалған сұйылу қабаты біртекті және әртекті болады. Біртекті жалған сұйылу қатты бөлшекпен газ немесе сұйықтың тығыздықтары бір-біріне жақын және бөлшектердің пішіні мен өлшемдері бірдей болғанда кездеседі. Әртекті жалған сұйылу көбінесе газ ағынымен өткізілетін процестерде кездеседі және олардың каналды, піспекті фонтанды түрлері болады.

Қозғалмайтын түйіршікті қабат үшін келесі G қабатының ауырлық күші мен ΔP гидравликалық кедергі күші тән:

$$G > \Delta P. \qquad (4.119)$$

4.19 -суретте қатты бөлшектер қабаты арқылы газдың (сұйықтықтың) қозғалысы көрсетілген:

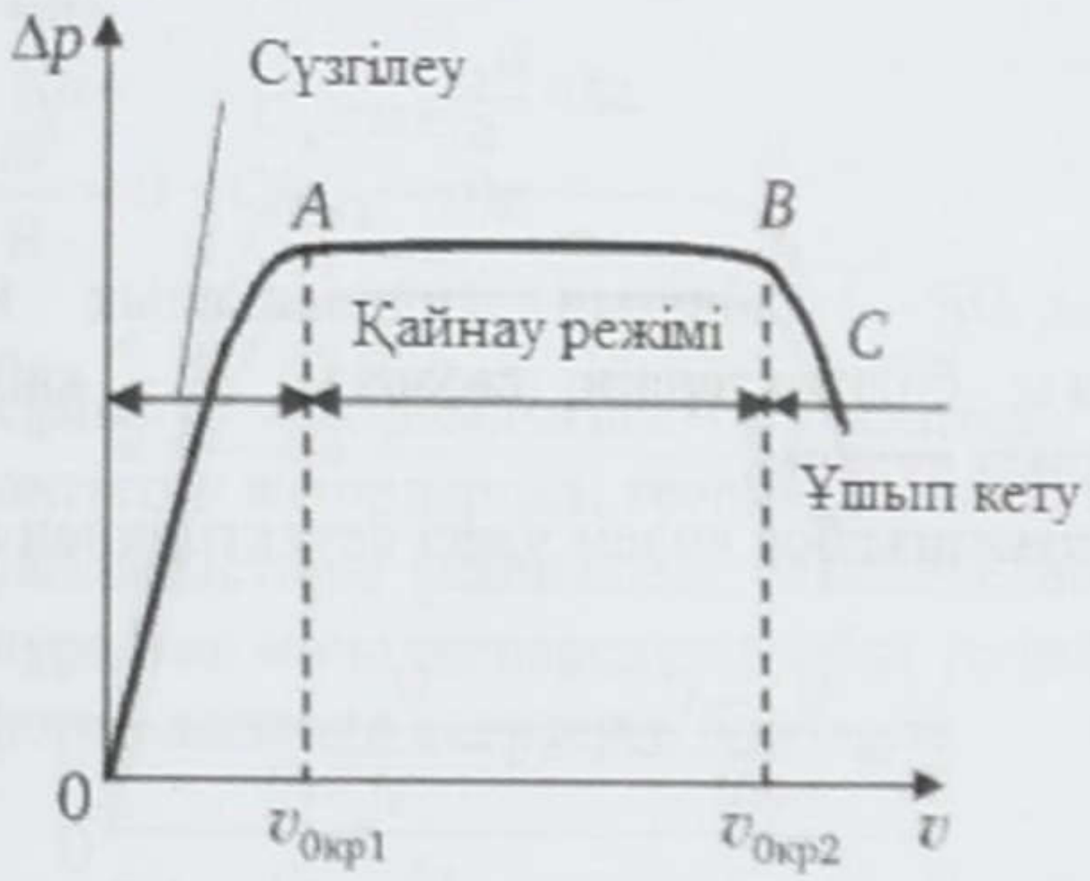


4.19 –сурет. Газдың «сұйықтың) қатты түйіршіктер қабатынан өтуі: а-қозғалмайтын қабат; б- «жалған қайнау» қабаты; в –қатты түйіршіктер ағынмен тасымалданып кетеді.

4.20 -суретте бұл (а) режимге ОА учаскесі сәйкес келеді.

Газдың қозғалмайтын түйіршікті қабаты арқылы қозғалыс жылдамдығы ұлғайған кезде ΔР гидравликалық кедергісі артады. Кейбір шекті ΔР жеткенде жылдамдық $v_{кр1}$ бірінші сыни мәніне жетеді және бөлшектер бір-біріне қатысты жылдам жылдамдыққа ие болады. Бұл жағдай "қайнаған" деп аталады, немесе жылдам сұйылған қабат - АВ учаскесі.

Жылдамдық екінші сыннан жоғары болғанда $v_{кр2}$ қабаты бұзылып, жаппай жылжу немесе пневмотасымалдау пайда болады.



4.20 - сурет. ΔР -нің «жалған» жылдамдыққа тәуелділігі

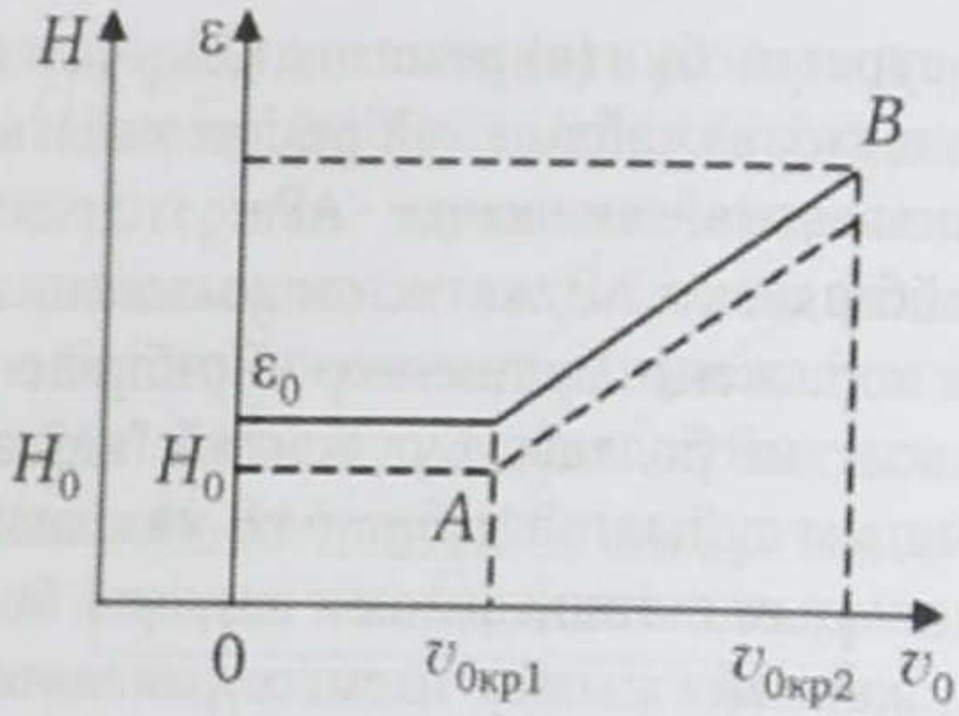
«Жасанды» жылдамдыққа байланысты Н қабатының биіктігін өзгеруінің және қуыстылықтың типтік графиктері 4.21 –суретте берілген.

Бір жеке бөлшек үшін жалған сұйылу шарты былай жазылады:

$$f=mg \qquad (4.120)$$

мұндағы f- бөлшекке әсер ететін көтергіш күші; m – бөлшектің массасы.

Дәл осындай жалған сұйылу шарты бардлық қабат үшін мынадай түрде жазылады:



4.21- Қабат биіктігінің ағын жылдамдығына тәуелділігі

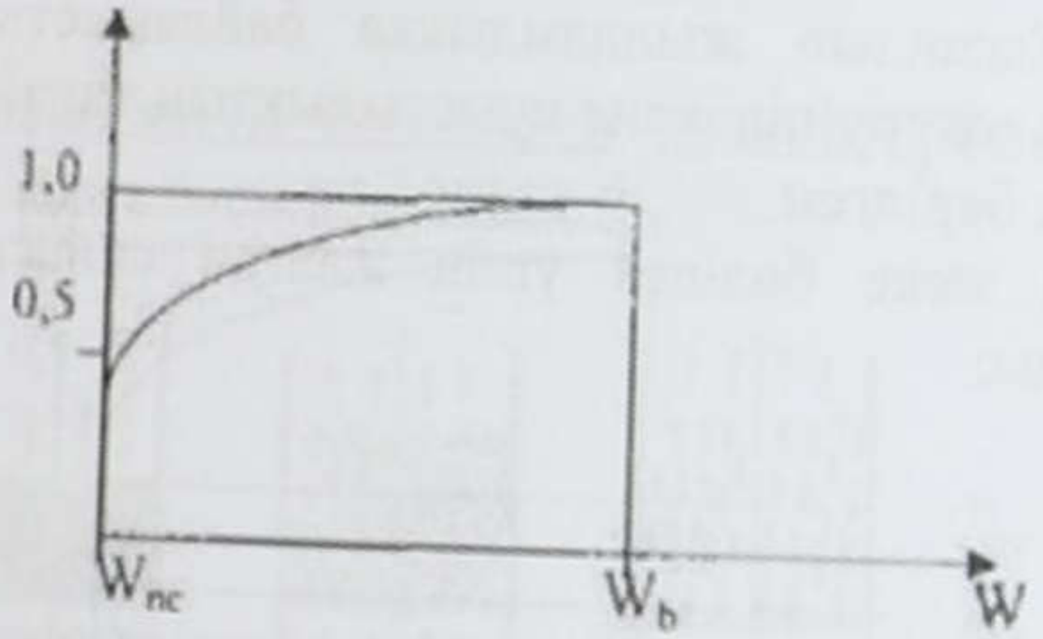
$$\Delta P = \frac{G_{к.б.}}{S} \qquad (4.121)$$

мұндағы: DP – қабаттың гидраликалық кедергісі; $G_{қ.б.}$ – қабаттағы бөлшектердің салмағы; S – қабаттың көлденең қимасының ауданы.

Қабаттағы бос көлем үлесі кеуектілікпен анықталады:

$$E = \frac{V_к - V_{қ.б.}}{V_к} = 1 - \frac{V_{қ.б.}}{V_к} \qquad (4.122)$$

мұндағы $V_қ$ – жалған сұйылу қабатының көлемі.



4.22 -сурет. Жалған сұйылу қабаты кеуектілігінің ағын жылдамдығына байланысы.

Қабаттағы қатты бөлшектер көлемін былай анықтауға болады:

$$V_{ж.б.} = HS(1-\varepsilon) \qquad (4.123)$$

мұндағы: H – жалған сұйылу қабатының биіктігі.

Ағынның көтеру күшін есепке алып бөлшектердің салмағын анықтауға болады:

$$G = HS(1-\varepsilon)(\rho_{қ.б} - \rho)g = H_0S(1-\varepsilon_0)(\rho_{қ.б} - \rho)g \qquad (4.124)$$

мұндағы $r_{қ.б}$, r - қатты бөлшектің және газдың (сұйықтың) тығыздықтары; H_0, e_0 – қозғалмайтың қабаттың биіктігі және кеуектілігі. e_0=0,4.Сонымен, жалған сұйылу шартын мынадай түрде жазуға болады.

$$\frac{\Delta P}{H} = (1-\varepsilon)(\rho_{қ.б.} - \rho)g \qquad (4.125)$$

Жалған сұйылу жылдамдығын $W_{ж.с.}$ есептеу жолымен анықтау үшін көптеген авторлардың теориялық және жартылай эмпирикалық байланыстары ұсынылған. Мысалы, шар тәрізді бөлшектерден құралған монодисперсиялы қабат үшін $W_{ж.с.}$ мәні О.М.Тодестің формуласымен есептеуге болады:

$$Re_{ж.с} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} \qquad (4.126)$$

мұнда: Ar – Архимед саны, Re – Рейнольдс саны.

$$Ar = \frac{d^3(\rho_{қ.б} - \rho)g}{\nu^2\rho}; \quad Re_{ж.с} = \frac{w_{ж.с}d}{\nu} \qquad (4.127)$$

мұндағы d – бөлшектің диаметрі, n - ортаның (газдың немесе сұйықтың) тұтқырлығының кинематикалық коэффициенті.

Қабаттың берілген кеңебін қамтамасыз ететін газдың (сұйықтың) жылдамдығын анықтау үшін төмендегі интерполяциялық теңдеуді қолданады:

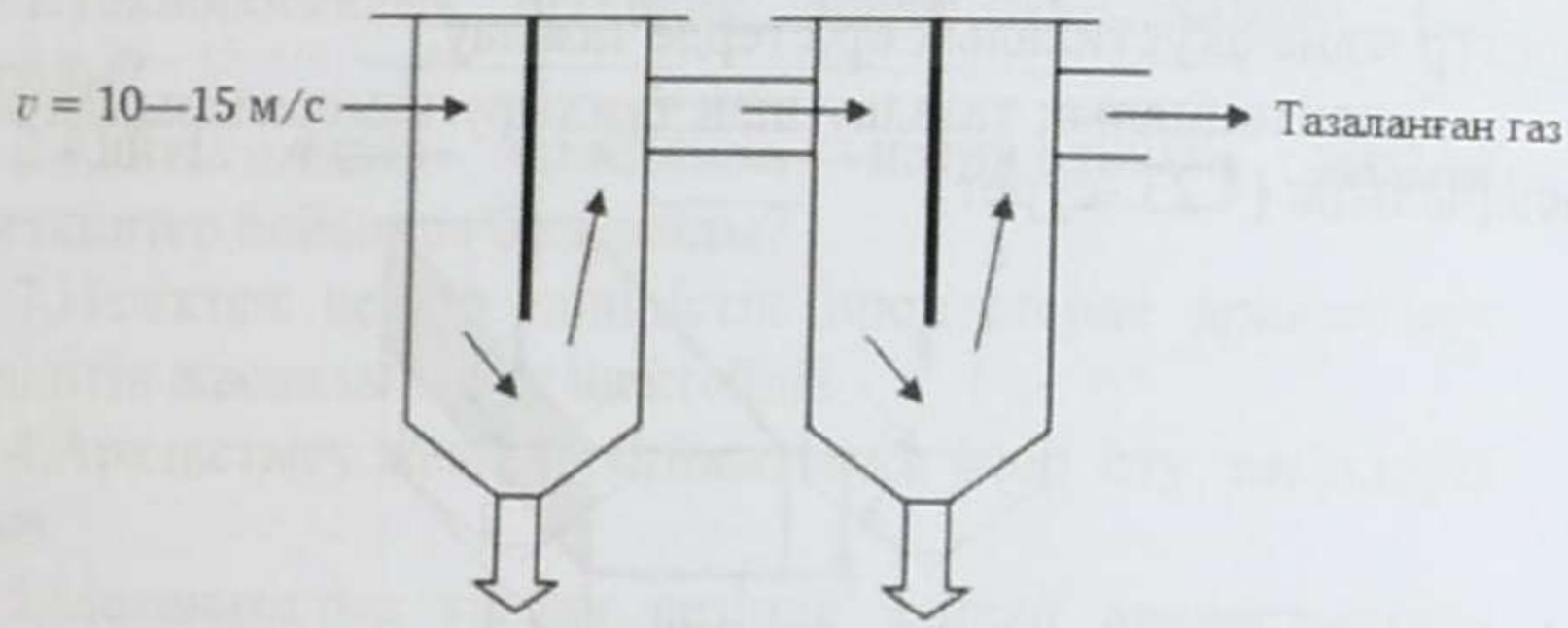
$$Re = \frac{Ar\varepsilon^{4,75}}{18 + 0,6\sqrt{Ar\varepsilon^{4,75}}} \qquad (4.128)$$

мұндағы жалған сұйылу қабатының кеуектілігі $0,4 < \varepsilon < 1$. Жекеленген бөлшектің еркін қозғалыс кезіндегі газдың

шөгетін бөлшектердің ең аз диаметрі. Гравитациялық тазалау үшін тазалау әсері d_0 = 100 мкм кезінде 30-40% құрайды.

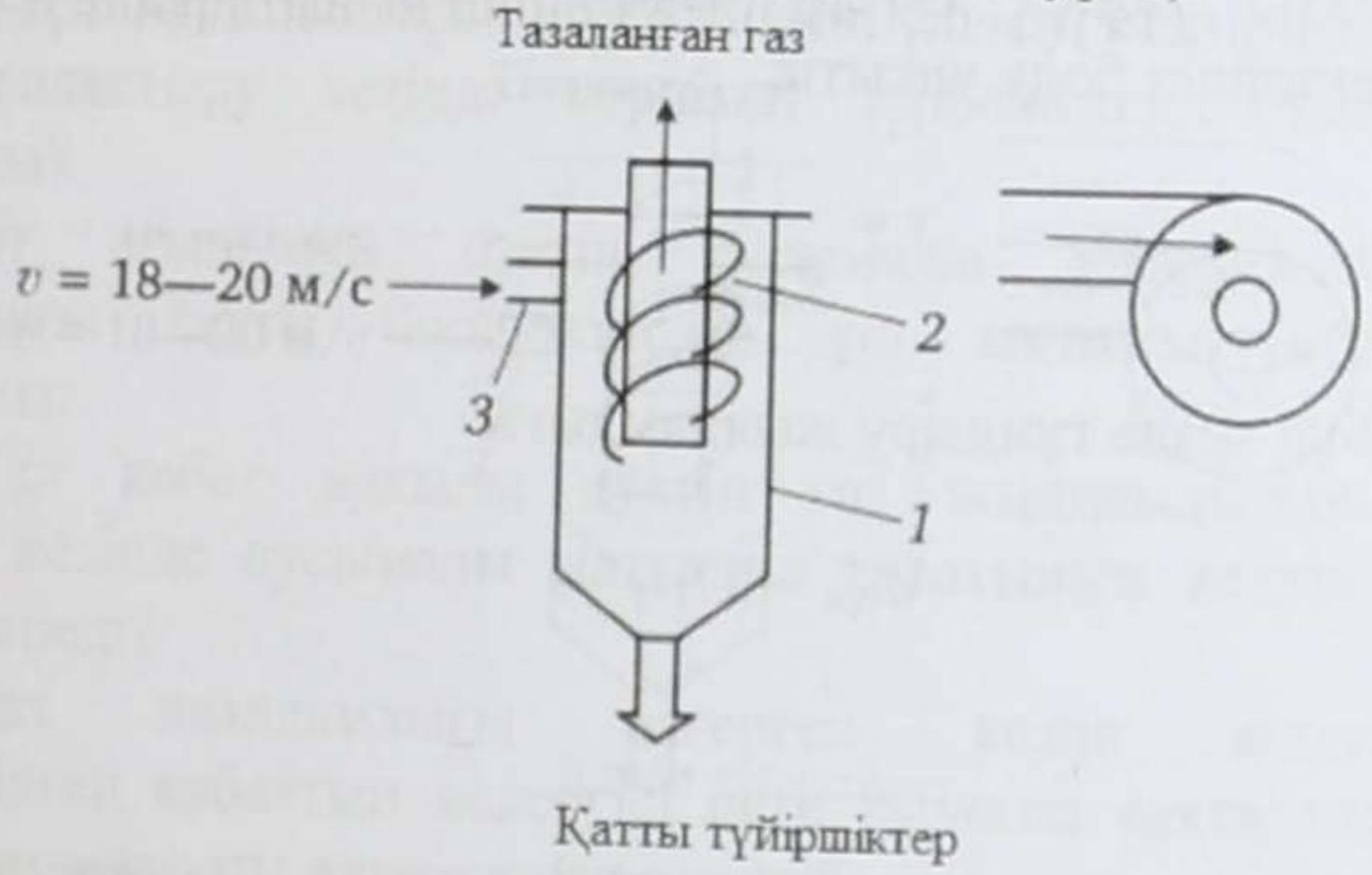
Инерциялық тазарту газ ағыны қозғалысының траекториясының күрт өзгеруі кезінде пайда болатын инерциялық күштердің әрекетіне негізделген. Қатты бөлшектер, үлкен инерцияға ие, қозғалыстың бастапқы траекториясын сақтап, аппараттың түбіне төмен түседі. Газ молекулалары қалқалардың арасымен аппараттың жоғарғы бөлігінде шығарылады (4.124 - сурет). Тазалау тиімділігі d_0 = 25 мкм болғанда 60% құрайды.

Циклондарда ортадан тепкіш күштер әсерімен тазалау.



4.24 - сурет. Инерциялық тазалау схемасы

Шаңданған газ 3 тангенциалды тәсілмен 3- аппаратқа бекітілген тікбұрышты келте құбыр арқылы айналмалы қозғалыспен аппаратының ішіне түседі, (4.125- сурет).



4.25 –сурет. Циклон схемасы: 1 - корпус; *2* - шығару құбыры; *3* — келте құбыр

Газ ағыны спираль бойымен төмен жылжып, конус түбіне жетеді. Ағынның ортасында вакуум жасалады, оған тазартылған газ ұмтылады, содан кейін 2- шығару құбыры арқылы сыртқа шығарылады. Қатты бөлшектер ортадан тепкіш күштің әсерінен радиалды қозғалады.

Аппарат қабырғасына жеткенде, олар кинетикалық энергия қорын жоғалтады, аппараттың төменгі бөлігіне түсіп, тұнады.

Циклонды есептеу. Түйіршікке ортадан тепкіш өрісінде әсер ететін күштер балансын жазайық. Ламинарлық режим ең тиімді болғандықтан мына теңдуді аламыз (4.133).

$$3\pi d \cdot v_{Ст} \cdot \mu = \frac{(\rho_т - \rho_c) d_0^3 \pi}{6} \cdot \frac{v_{вх}^2}{R_{ср}}, \quad (4.133)$$

мұндағы $\upsilon_{вх}^2 / R_{ср}$ ортадан тепкіш өрісінің үдеуі; $R_{ср} = (R_1 + R_2)/2$ - радиалды бағытта түйіршіктің орташа жолы; R_1 – циклон радиусы; R_2 – шаңды сыртқа шығару құбырының радиусы.

V газ көлемін және M_V циклонының өнімділігін біле отырып, аппаратта бөлшектердің болу ұзақтығын анықтаймыз:

$$\tau = \frac{V}{m_V}. \quad (4.134)$$

Бұдан Стокс жылдамдығын мына теңдеу арқылы анықтауға болады

$$v_{Ст} = \frac{R_1 - R_2}{\tau}. \quad (4.135)$$

Содан кейін Стокс жылдамдығы формуласынан (4.90) бөлшектердің диаметрі d_0 есептеледі. Әдетте d_0 5-10 мкм. Циклондарда тазалау тиімділігі 70-95% және d_0 – ге тәуелді.

Бақылау сұрақтары

1. Тұндыру процесінің мақсаты қандай? Сұйық ортада қатты жалғыз шар тәрізді бөлшектерді тұндыру теориялық жылдамдығын алыңыз.
2. Тұндыру режимі жылдамдыққа қалай әсер етеді? Ең тиімді қорғау режимін байланыстырыңыз.
3. Үздіксіз жұмыс істейтін тұндырғыштың құрылғысы мен жұмыс принципін сипаттаңыз. Тұндырғышты есептеу қалай жүргізіледі?

4. Сепараттау процесінің мақсаты мен мәні қандай? Елестетіп көріңізші схемасын барабанды сепараторлардың сливкоотделителя және молокоочистителя. Тиісті негіздемелерді енгізе отырып, кілегейткіш пен сүт тазалағыштың конструктивтік айырмашылықтарын атаңыз.
5. Центрифугалау процесінің мақсаты қандай? Ортадан тепкіш өрісте қатты жалғыз шар тәрізді бөлшектердің тұнуының теориялық жылдамдығын алыңыз. Бөлу факторының түсінігін түсіндіріңіз.
6. Түйіршікті қабаттың сипаттамаларын және олардың арасындағы байланысты сипаттаңыз.
7. Гидравликалық кедергінің ауырлық күші мен күшінің арақатынасына сүйене отырып, сүзу, псевдотожемдеу және тозу (пневмокөлік) саласының болу шарттарын жазыңыз. Сүзу және псевдоожиждеу аймағында түйіршікті қабаттың кедергісі қалай есептеледі? Іс жүзінде бұл режимдер қайда қолданылады?
8. Баромбраналық процестердің мақсаты қандай? Олардың ағынының ортақтығы неде және олардың ерекшеліктері қандай? Мембраналардың негізгі сипаттамаларын атаңыз. Мембраналардағы бөліну процестеріне әсер ететін параметрлерді атаңыз.
9. Механикалық араластыру процесінің мақсаты және оның мәні қандай? Механикалық араластыруға энергия қалай есептеледі? Араластыруға қуат шығынының теңдеуін алыңыз.
10. Газ жүйелерін тазалаудың әртүрлі әдістерін сипаттаңыз және олардың тиімділігін салыстырмалы бағалауды жүргізіңіз.

5. МЕХАНИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР

5.1 Ұсақтау

Ұсақтау (ұнтақтау) - қатты бүтін денені оның бетін ұлғайту және технологиялық процестерді қарқындату мақсатында бөліктерге бөлу процесі. Ұнтақтау соққы, жаншу, жару, үйкелу, үзілу, иілу арқылы жүзеге асырылады. Ұсақтаудың сызықтық дәрежесімен сипатталатын ірі, орташа, ұсақ, жұқа және өте жұқа ұсақтау бар:

$$i = \frac{D}{d}, \tag{5.1}$$

мұндағы D, d-ұсақтауға дейінгі және одан кейінгі орташа диаметрлер, мм:

- ірі D/d = (1500⁄300)/(300⁄100);
- орташа D/d = (300⁄300)/(50⁄10);
- майда D/d = (50⁄10)/(10⁄2);
- майдалау D/d = (10⁄2)/(2⁄75*10^{-3});
- өте майда D/d = (2⁄75*10^{-3})/(75*10^{-3} ⁄75*10^{-4}).

Кирпичев гипотезасына сәйкес ірі ұсақтау кезінде дененің бұзылуына жұмсалатын жұмыс ΔV көлемінің өзгеруіне пропорционалды (деформация жұмысы):

$$A = \Delta V \cdot H_м, \tag{5.2}$$

мұндағы Нм = const берілген материал үшін оның құрылымдық-механикалық қасиеттеріне байланысты.

Орташа және ұсақ жармалау жұмысы көлемнің деформациялануы мен жаңа беттің түзілуінен тұрады:

$$A = \Delta V \cdot H_м + \Delta S \cdot H_s, \tag{5.3}$$

мұндағы ΔS беттің қосылуы; H_s - бос беттік энергияға пропорционалды материал тұрақтылығы. Серпімділік теориясы бойынша деформацияның жұмысы

$$A = \frac{\sigma^2 \Delta V}{2E}, \tag{5.4}$$

мұндағы σ-бұзатын кернеу, Н/м; Е- серпімділік модулі, Н/м^2. Осыдан:

$$A = \frac{\sigma^2 \Delta V}{2E} + H_s \Delta S.$$

(5.5)

Жұқа және өте жұқа ұсақтау кезінде көлем деформациясының жұмысын елемеуге болады, содан:

$$A = \Delta S \cdot H_s,$$

(5.6)

Беттік белсенді заттарды (ББЗ) қосу, әдетте, ұсақтау процесін айтарлықтай жеңілдетеді. Бірдей материалдан жасалған екі геометриялық ұқсас денелер үшін жұмсалған жұмыстың арақатынасы

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{V_1 H_м}{V_2 H_м} = \frac{V_1}{V_2}.$$

(5.7)

Кирпичев теориясы Кик тәжірибесімен расталады. Сынғыш шойыннан түрлі көлемдегі шарлар кейбір биіктіктен лақтырып, шар қираған биіктікті анықтады. Бұл жағдайда жұмыс мынаған тең:

$$A_1 = V_1 \rho \cdot h_1 g;\ A_2 = V_2 \rho \cdot h_2 g,$$

(5.8)

мұндағы р — тығыздық. Осыдан:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{V_1 h_1}{V_2 h_2}.$$

(5.9)

(5.8) және (5.9) арақатынасынан $h_1 = h_2$. Осылайша, эксперимент сол биіктіктен лақтыру кезінде шарлар сынғанын растады.

Ұсатқыштарға қойылатын жалпы талаптар: процестің жеңілдігі мен жылдамдығы; бөліктердің біртектілігін қамтамасыз ету; ең аз шаңды қалыптастыру; орнату ықшамдығы; ең төменгі энергетикалық шығындар; қызмет көрсетудің жеңілдігі және қауіпсіздік техникасын сақтау.

Тамақ өнеркәсібінде қолданылатын ұсақтау машиналары көп түрлі конструкциялық құрылымдарымен ерекшелінеді. Олар келесі түрлерге бөлінеді: жармалағыштар, гомогенизаторлар, ысқылау машиналары; диірмендер, кесу машиналары, куттерлер және т.б.

Кесу машиналары пластиналы, дискілі, роторлық, шнекті және т. б. Кесу машиналары көкөніс өнімдерін ұсақтауға (немесе белгілі ір пішін беруге) арналған.

Білікті станоктар кондитер өнімдерін ұнтақтау, ұн тарту зауыттарында астықты және оны қайта өңдеу өнімдерін ұсақтау үшін қолданылады. Білікті диірмендердің жұмыс тиімділігі - түйіршіктердің ұсақталу дәрежесімен, біліктердің әрбір жұбының өнімділігімен және электр қуатының шығынымен ерекшелінеді.

Жармалағыштар тамақ қоспаларын дайындау кезінде дәндерді, бұршақтарды, қант кристалдарын және басқа да компоненттерді ұсақтау үшін қолданылады.

Білікті механизмдер кондитерлік өнімдерді өндіруге арналған құрамында майы бар рецептуралық қоспаларды ұсақтау кезінде пайдаланылады.

Гомогенизаторлар клапанды, дискілі немесе ортадан тепкіш және ультрадыбыстық болып бөлінеді. Гомогенизатор құрылымын анықтайтын негізгі фактор- плунжерлер саны. Осы белгі бойынша шығарылатын гомогенизаторларды бір-, үш - және бес плунжерлі деп бөлуге болады.

Кесу машиналары ұсақтауға арналған түрлі тамыржемістілерді текшелерге, таяқшаларға және жұқа қабатшаларға турауға арналған.

Жармалағыштар тамақ өнімдерін ұсақтау білікті (жүзімді), пышақты болып бөлінеді (5.1-5.2-суреттер).

Барлық ұсақтау машиналары ұнтағыштар мен диірмендерге бөлінеді. Ұнтақтағыштарды ірі және орташа ұнтақтау үшін, ал диірмендерді – орташа, ұсақ, жұқа және коллоидты ұсақтауда қолданады. Барлық ұсақтау машиналарына жалпы талаптар қойылады: - ұсақталған материал кесектерінің біркелкілігі; - жұмыс кеңістігінен ұсақталған кесектердің жойылуы; - шаң қалыптасуы төмен деңгейде болуы; - жүктің үздіксіз және автоматты түсірілуі; - ұсақтау дәрежесін реттеу мүмкіндігі; - жылдам тозатын бөліктерді жеңіл ауыстыру мүмкіндігі; - өнім бірілігіне энергияның аз шығымы. Негізгі ұсақтау машиналары келесі типтерге бөлінеді: - жақты, гирациялық (жартылай дірілді), балғалы ұнтақтағыштар және соққылы әрекетті ұнтақтағыштар; - үйкеліс машиналары; - білікшелі ұнтақтағыштар мен жүгіргіштер; - шарлық және сырықты (стержневые) ұнтақтағыштар; - сақиналы, дірілді және коллоидты диірмендер. 5.3 -суретте ұнтақтағыштардың негізгі сызбалары көрсетілген. Кесуге арналған қондырғылар жіктеледі: 1) бағыты бойынша – сынғыш, қатты, серпінді және әртекті материалдарды кесуге арналған; 2)

әрекет ету принципі бойынша – кезеңді, үздіксіз және комбинирленген; 3) кесу құралының түрі бойынша – пластинкалы, дискілі, ішекті, көлбеу, роторлы, ағынды (сұйықтық және пневматикалық), ультрадыбысты және лазерлік. 4) кесу құралының қозғалу сипаты бойынша – айналмалы, ілгері-кейінді, жазық-параллелді, бұрылмалы және дірілді қозғалысты; 5) кесу кезіндегі материал қозғалысының сипаты және оны бекіту түрі бойынша. Кесуге арналған ең үлкен өнімділікті машиналарды қант зауыттарында қолданады. Ет және консерві өнеркәсібінде волчок деп аталатын ет, картоп және қызылша кесуге арналған машиналар кеңінен қолданылады. Сонымен қатар етті жұқа тарту үшін куттер деп аталатын машиналар пайдаланылады.

5.3 -сурет. Ұнтақтағыштардың принципиалды сызбасы: а – жақты: 1 – қозғалмалы жақ; 2 – қозғалмайтын жақ; 3 – материал; б – конусты: 1 – қозғалмалы жақ; 2 – қозғалмайтын жақ; 3 – материал; в –білікті; г – балғашалы: 1 – балғашалар; 2 – тор көзді елек; 3 – дайын өнім шығаруға арналған келте құбыр; д – дезинтегратор; е – коллоидты диірмен; ж – тас диірмен; з – жүгірме барабандар; и – шарлы; к – ысқылау; л – ағынды.

Білікті диірмен жұмысы. Олар бір, екі немесе бірнеше көлденең біліктерден тұрады. Біліктер бір-біріне қарама -қарсы айналады. Беті тегіс, бұдырлы, қыртысты, тісті болуы мүмкін. Біліктер мойынтіректерде орналасқан және мойынтіректердің бірі қозғалыссыз орнатылған (5.4-сурет), ал екіншісі серіппенің көмегімен бекітіледі. Осылайша, біліктер арасындағы саңылауды реттеу қамтамасыз етіледі және біліктерді сынудан сақтайды. Өнімділігі, $м^3/с$:

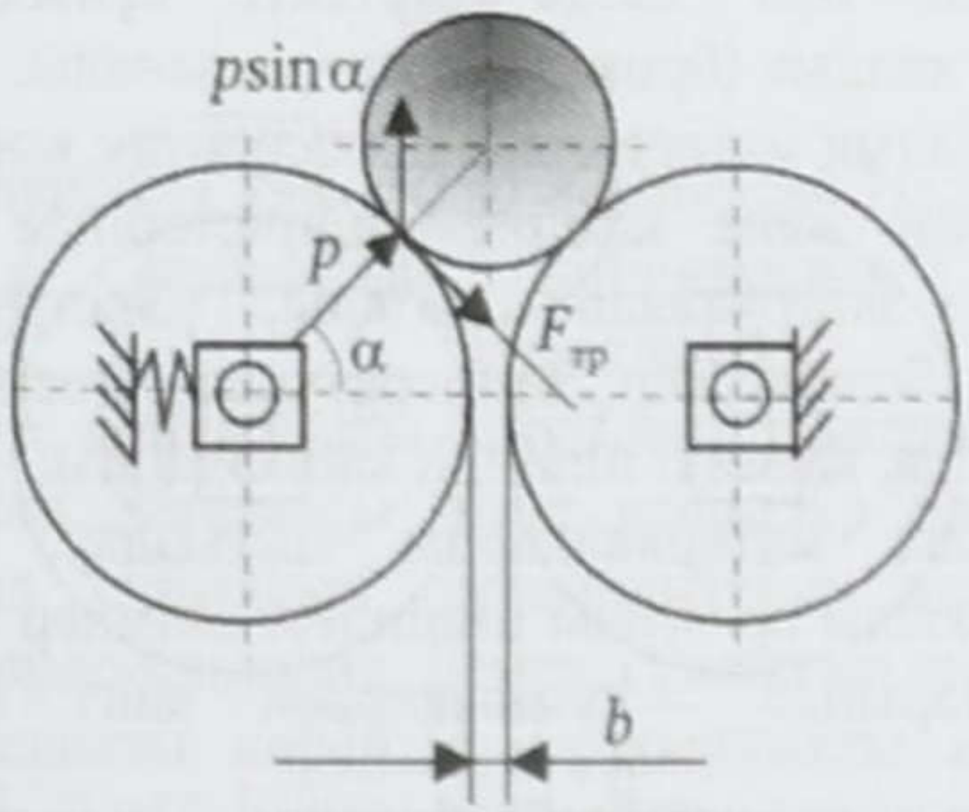
$$m_V = \varphi \cdot \pi \cdot D \cdot l \cdot b \cdot n, \tag{5.10}$$

мұндағы b, I - біліктер арасындағы саңылаудың ені, ұзындығы, м; D-біліктер диаметрі, м; n-айналу жиілігі, $с^{-1}$; φ = (0,5-0,7) - берудің әркелкілігін ескеретін коэффициент.

Ұсақтағыштың қалыпты жұмысын қамтамасыз ету үшін біліктер арасындағы саңылаудан материалдың бөлігін итермеу шартын жасау қажет.

Білікке кесек жағынан оның ауырлығына байланысты Р күші әсер етеді, білік жағынан да Р күші әсер етеді. Осы күштің тік бағыттағы Psin күші кесекті жоғары жаққа итермелейді. Тура сондай күш екінші білік жағынан әсер етеді. Сонда жалпы күш мынаған тең:

$$\sum p = 2p\sin\alpha. \tag{5.11}$$



5.4- сурет. Білікті жармалағыш схемасы

Пайда болған үйкеліс күші

$$F_{тр} = 2fp. \tag{5.12}$$

Оның тік бағыттағы бөлігі 2fp-cosa. Бұл күш түйіршікті саңылауға итереді. Ол үшін 2p sin a < 2fp cos a шарты қажет, мұндағы f = tg_{cp} — үйкеліс коэффициенті. Осыдан түйіршікті итермелеудің шарты tg a < tg f және a< <P.

5.2 Престеу

Тамақ шикізаттарын, өнімдерін қысыммен өңдеудің мынадай түрлері бар:

- сығу-сұйықтықты қатты денеден бөлу;
- қалыптау немесе қалыптау-пластикалық денелерге белгілі бір пішін беру;
- престеу-бөлшектерді үлкен агрегаттарға байлау. Сығу-жасушаны алдын ала ұсақтау (қабақтың протоплазмасын) содан соң бөленген сұйықты бөлу

Тамақ өнеркәсібінде ең жиі қолданылатын механикалық процестердің бірі престеу болады. Бұл кезде арнаулы механикалық құрылғылар - престер жәрдемімен материалдарға сыртқы қысым әсер етеді.

Қатты денелерден сұйықты сығып шығару екі мақсатты көздеуі мүмкін: біріншіден сұйық бағалы компонент ретінде (шырын, өсімдік майлары, және т.б.) қатты денеден ажыратылып алынады; екіншіден сұйық бағасыз компонент ретінде ажыратылады. Бұл кезде біртекті сұйық және біртекті нығыздалған қалдық (брикет пішінді) алынады.

Пластикалық материалдарды қалыптау және штамптау, нан жабу, макарон және кәмпит өндірістерінде қолданады. Бұл процестерге экструзияда жатады. Экструзия процесінде материалдар белгілі бір температурада тесіктерден сығылып шығарылады да, қажетті пішінді: қабылдайды.

Сусымалы материалдарды нығыздау, престеу немесе брикеттеу арқылы әр-түрлы пішіндегі өнімдер алынады, мысалы қант зауыттарында құмшекерден қант кесектерін алуда қолданады.

Сұйықты сығып алу процесіне мына негізгі факторлар әсер етеді: қысым шамасы; материалдың құрамы мен қасиеттері, әсіресе оның беріктігі мен кеуектілігі; материалдың өлшемдері;

престеу уақыты; процестің температуралық жағдайы; прессте-летін қабаттың қалыңдығы.

Жалпы жағдайда қысым өскен сайын престеу тиімділігі артады. Бірақ, өндірістің технологиялық мүмкіншіктілеріне байланысты қысымның шамасы шектелеулі. Өсімдік майын сығып алуға мына формула ұсынылады:

$$W = CW_0 p^{1/2}; \qquad (5.13)$$

$$W = CW_0 [(\sqrt{p}\sqrt{\tau})/\nu^a] \qquad (5.14)$$

мұндағы W - шыққан май мөлшері, %; С - материалдың түріне байланысты константа; W_0 - материалдағы майдың бастапқы мөлшері, %; р - сығып алудағы қысым шамасы, Па; τ - сығып алу уақыты; ν- майдың кинематикалық тұтқырлығы, $м^2/с$; а - майдың түріне байланысты дәреже көрсеткіш.

Сығып алынатын сұйық сығу процесінде көлденең қимасы өзгеріп тұратын капиллярлардың күрделі жүйесі бойынша сүзу процесіндегі ұзақ жол жүрүі керек. Сондықтан, капиллярлар арқылы ағатын сұйық мөлшерін Пуазейль теңдеуі арқылы анықтауға болады:

$$V = \frac{\pi r^4 \tau \Delta p}{8\mu l}, \qquad (5.15)$$

мұнда Δр - капиллярдағы қысымдар айырмасы; Па; d - капилляр диаметрі, м; μ -сұйықтың динамикалық тұтқырлығы, Па·с; *l* - капилляр ұзындығы, м.

Бұл теңдеуге байланысты сығылып шығатын сұйықтың мөлшері қысымдар айырмасы және капилляр өлшеміне тура пропорционал, ал сұйықтың тұтқырлығына және капилляр ұзындығына кері пропорционал. Демек, сұйықтың толық сығылып шығуы үшін қысымды көбейтіп, тұтқырлықты азайту керек.

Дегенмен, қысым шектен тыс көбейгенде капиллярлардың қимасы тарылады, яғни престің өнімділігі азаяды. Сондықтан, тиімді қысым ша-масы материалдың структуралы-механикалық қасиетін, алынатын сұйықтың мөлшері мен сапасын есепке алып, тәжірибелік жолмен анықталады.

Сұйықтың толық шығуын қамтамасыз ету үшін материал кейбір кезде алдын-ала ұсақталады және термиялық, электрлік әдіспен өңделеді. Сұйықтың тұтқырлығын азайту үшін материалды технологиялық жағдай көтере алатын температураға дейін ысытады.

Пластикалық тұтқырлы материалға жататын өнімдер қалыпталады және штампталады. Мұндай өнімдер белгілі бір шекке дейін ғана серпімді деформацияланады. Бұл шектен өткен соң олар кері қайтпайтындай деформацияланады және тұтқыр сұйық сияқты ағады. Мұндай тұтқыр денелердің ағысы Бингам заңына бағынады.

Пластикалық тұтқыр денелерге релаксация құбылысы тән болады. Релаксация (сорып алу) деп, тұрақты, белгілі деформацияда денедегі кернеудің азаюын айтады. Релаксация уақыт бойынша, ягни белгілі мерзімде өтеді. Релаксация мерзімі деп, тұрақты деформацияда кернеудің е (е - натураль логарифмнің негізі) есе азаю уақытын айтады.

Осыған байланысты қалыптау, штамптау уақыты релаксация мерзімінен аз болмау керек. Тек осындай жағдайда процесс аяқталды деп есептеуге болады. Қамыр тәрізді материалдарды штамптауда, олардың бетіне сурет салуда кернеудің қажетті мәнін мына формуламен анықтауға болады:

$$\tau_m = (\varepsilon_{кал} / \tau)\, \mu, \qquad (5.16)$$

мұнда $\varepsilon_{кал}$ - қалдық деформация; τ - штамптау уақыты,с; μ - тұтқырлық, Па·с. Қалдық деформация мәні:

$$\varepsilon_{кал} = \delta / H, \qquad (5.17)$$

мұндағы δ - штампталған суреттің калыңдығы, м; h - штампталатын заттың бастапқы қалыңдығы, м., μ-дің мәні тәжірибе арқылы анықталады; мысалы, кондитер бидай қамырының түрлері үшін $\mu = 1{,}26 \div 9{,}9$ Па·с.

Престеу процесінің тиімділігін сипаттайтын жалпы параметр ныгыздау коэффициенті болып табылады:

$$\beta = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot 100\%, \qquad (5.18)$$

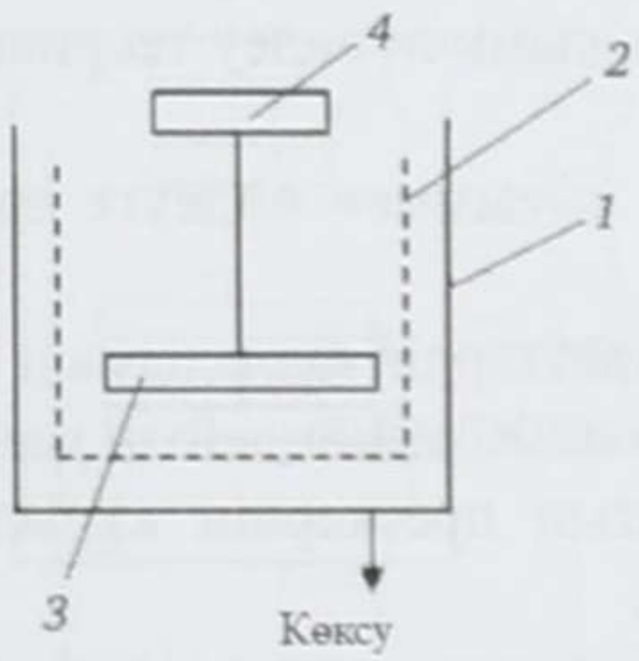
мұндағы $V_б$ - материалдың бастапқы көлемі, $м^3$; $V_с$ - престеуден кейінгі материалдың көлемі, $м^3$.

Престеу жұмысы

$$A = \int_{h_н}^{h_к} fpdh, \tag{5.19}$$

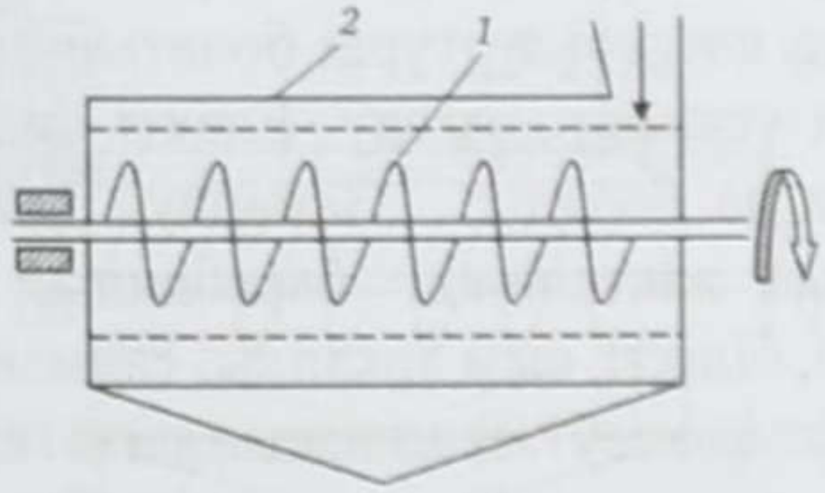
мұндағы $h_н$ $h_к$ -брикеттің бастапқы және соңғы биіктігі; f –қима ауданы, $м^2$; p – престеу қысымы, $Н/м^2$; h - поршень жолының ұзындығы, м.

Механикалық жолмен престеу төмендегі 5.5 - суретте көрсетілген. Мұнда өнім 3- плитамен сығымдалған кезде бөлінген ылғал тор көзді қабырғадан шығып сыртқы ваннадан сыртқа шығарылады.



5.5- сурет. Престеу схемасы: 1- сыртқы ванна; 2- тор көзді қабырға; 3- сығымдау плитасы; 4- плитаны жылжытатын бұранда.

Гидравликалық шнекті престер (5.6-сурет) 2- барабан ішіне орналастырылған 1 -айналмалы шнек сығымдалатын массаны жылжытады. Массаның жылжуына қарай өту алаңы тарыла бастайды.



5.6 - сурет. Шнекті прес схемасы

Шнекті престің өнімділігі, кг/с:

$$m = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{s_0 n}{60} \rho\varphi \text{ кг/с}, \qquad (5.20)$$

мұндағы D-масса түскен жердегі барабанның диаметрі, м; n- және s_0 — сол жердегі шнектің айналу жиілігі мен адымы, айн/мин; м; р - тығыздығы, кг/м^3; (р-өніммен бірге барабанның білікпен және шнек орамымен толтырылуын да ескереді).

Бақылау сұрақтары.

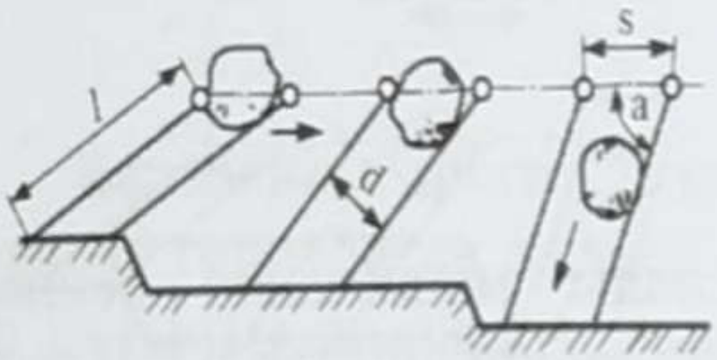
1. Престеу процесі дегеніміз не?
2. Материалдарды қысыммен өңдеудің мақсаты не?
3. Материалдарды қысыммен өңдеу теориясының негіздерін қалай жазуға болады?
4. Тамақ өнімдерін қысыммен өңдеуге арналған машиналардың жіктелуі?
5. Кеңінен тараған престердің құрылымын сипаттап беріңіздер?
6. Тамақ өнімдерің қысыммен өңдейтің машиналардың жіктелуі.
7. Ең жиі қолданатың престердің құрылғысың және олардың өнімділігін анықтау.

5.3 Іріктеу және сұрыптау

Көкөністер мен жеміс-жидектерді іріктеу арнаулы іріктеу машиналарында жүргізіледі. Ірікту машиналарының негізгі жұмыс атқару принципіне өнімді айнымалы қуыстың үстімен жылжыту. Қуыстардың түрі әр түрлі болуы мүмкін. Іріктеудің ең қарапайым түрі тор көздері әр түрлі болатын көлбеу орнатылған тербелмелі електің үстімен қозғалу. Електі цилиндр тәрізді етіп жасап, айналдырса да болады. Заманауи іріктеу машиналары төмендегідей болып жіктелінеді: барабанды, таспалы, шнекті, тербелмелі, дискілі, білікті, сым арқанды, салмақтық және құрама.

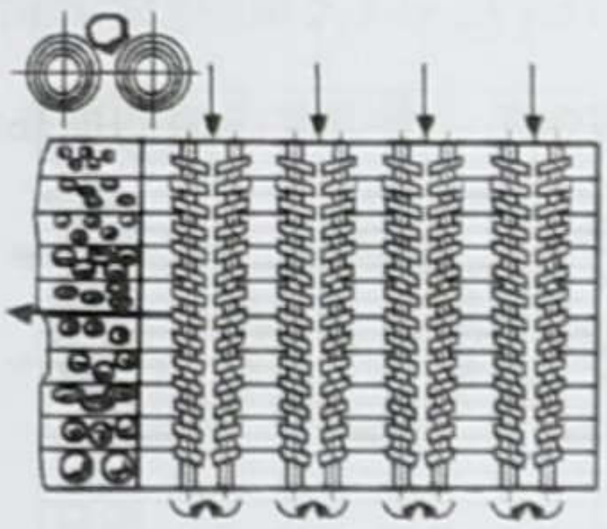
Сым арқанды іріктеу машинасындағы екі сым арқандар параллель емес және ара қашықтықтары бірте бірте өзгеретін қозғалыстағы құрылым. Өнімнің өлшемі қуыстың өлшемінен кем

болса транспортерге түседі, s > d. Мұндай машиналарда алты жұпты сым арқандары бар (5.7 - сурет).



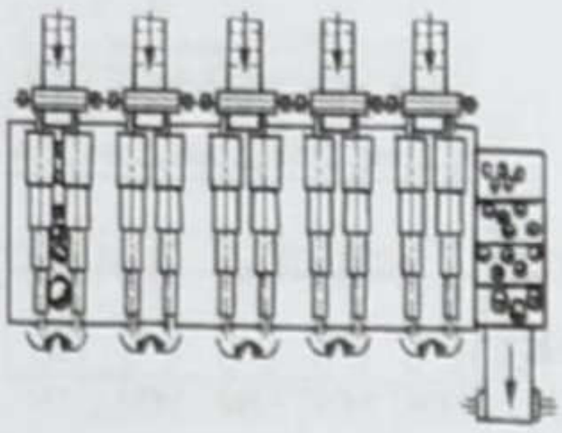
5.7- сурет. Сым арқанды іріктеу машинасы

Шнекті іріктеу машиналары екі бағытта айналатын екі шнекте, ал шнектердің қадамдары бірдей бірақ диаметрлері кішірейеді (5.8 - сурет). Пайда болған қуыстар әр түрлі сфералық болғандықтан, жылжыған домалақ өнімдер іріктелінеді.



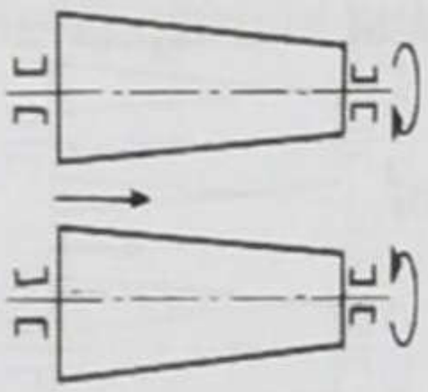
5.8- сурет. Шнекті іріктеу құрылымы

Сатылы іріктеу құрылымы (5.9 - сурет) қарама-қарсы айналатын екі біліктен тұрады. Біліктер көлбеу орнатылғандықтан өнім үстімен жылжиды. Бес жұптан, әр түрлі өлшемді, біліктер әр түрлі пішіндегі өнімдерді іріктеуге арналған.



5.9-сурет. Сатылы іріктеу құрылымы.

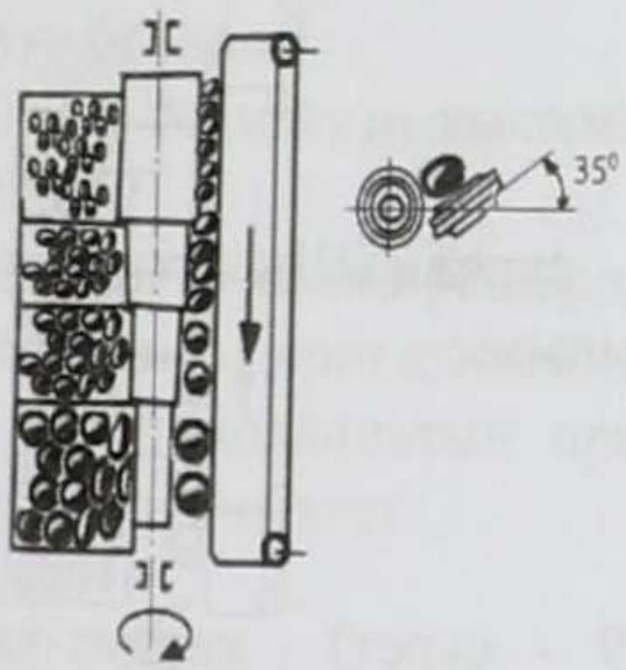
Конусты іріктеу құрылымы (5.10 - сурет) біріне-бірі қарсы айналатын жылтыр бетті конусты біліктерден тұрады. Біліктердің арасындағы қуыстардың өзгеруі өнімді іріктеуге әсер етеді.



5.10 - сурет. Конусты іріктеу құрылымы.

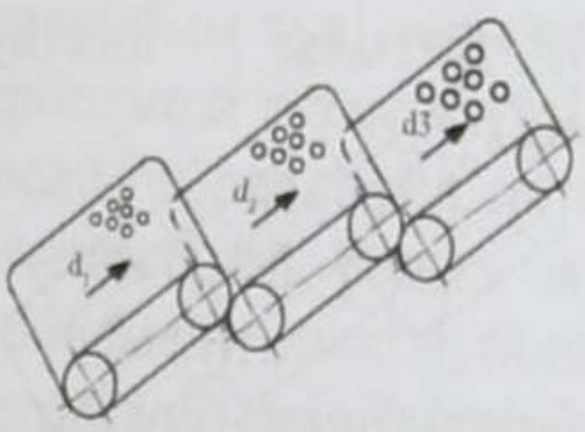
Тамақ өндірісінде білікті- таспалы машиналар кеңінен тараған.Олар көптеген жеміс-жидектер мен көкөністерді іріктеуге арналған.

Білікті-таспалы іріктеу құрылымы (5.11 - сурет) сатылы айналамалы білік пен оған паралелль бірақ көлбеу орнатылған таспалы транспортер арасындағы қуыстардың көмегімен өнімді іріктейді.



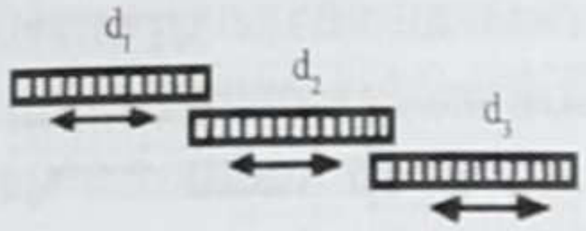
5.11- сурет. Білікті-таспалы іріктеу құрылымы

Таспалы іріктеу құрылымы (5.12-сурет) көлбеу орнатылған бірақ ір түрлі тесік қуыстары бар таспалар. Өнім таспаға түсіп өзі сиытын тесіктерден өтіп үш топқа бөлінеді.



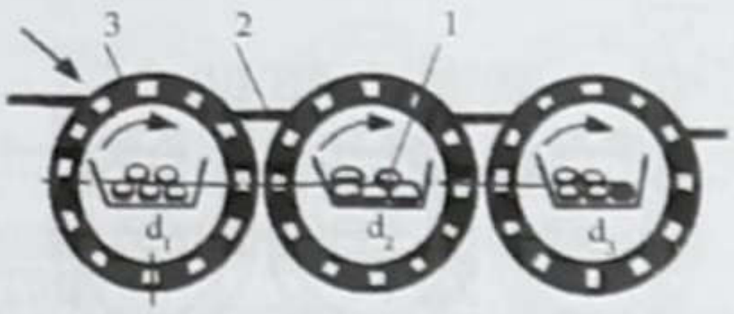
5.12- сурет.Таспалы іріктеу құрылымы.

Тербелмелі іріктеу құрылымы картопты және тағы басқақатты түбіртамырларды іріктеуге арналған (5.13- сурет) .



5.13-сурет. Тербелмелі іріктеу құрылымы.

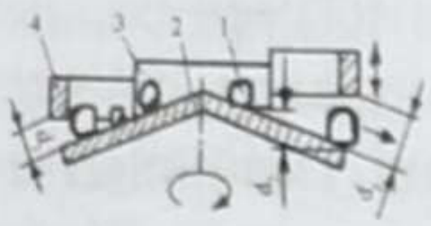
Барабанды іріктеу құрылымы айналмалы тесікті барабан. Барабан горизонтқа көлбеу етіп орындалады. Баран ішінде өнімді бір қалыпты жылжыту үшін бұрандалы бағыттағыш бекітілген. Барабан беті әр түрлі тесікті зоналарға бөлінген. Тесіктер дөңгелек немесе сопақ етіп жасалған. Осы тесіктерден өткен өнімдер барабан астындағы астауларға түседі, ал өтпегендері келесі барабан ішіне беріледі. Барабанды іріктеу құрылымының бірінде өнім 3- барабанның тесігінен өтіп ішіндегі 1- астаға түседі де сыртқа шығарылады. Барабан аралығында 2- көлбеу жазықтық орнатылған(5.14- сурет).



5.14- сурет. Барабанды іріктеу құрылымы.

Бірақ барабанды іріктеу құрылымы жұмсақ өнімдерге жарамайды, себебі өнім жарақат алады.

Дискілі іріктеу құрылымы (5.15- сурет) 2- айналмалы дискіден және 3,4- қырлы қабырғадан тұрады. Олар дискі бетімен ір түрлі диаметрлер жасайды.

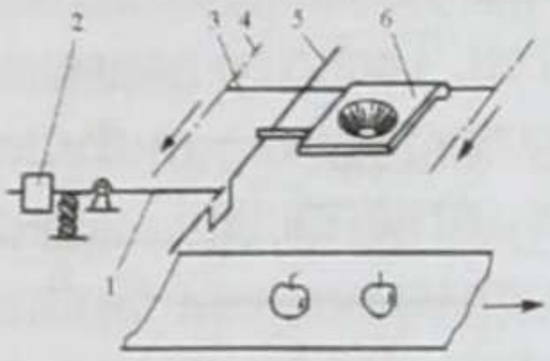


5.15-сурет. Дискілі іріктеу құрылымы

Диаметрлерді өзгерту үшін қырларды көтеруге болады. Өнім айналған конусты беттің үстімен ортадан тепкіш күштің арқасында қуыстардан сыртқа шығады.

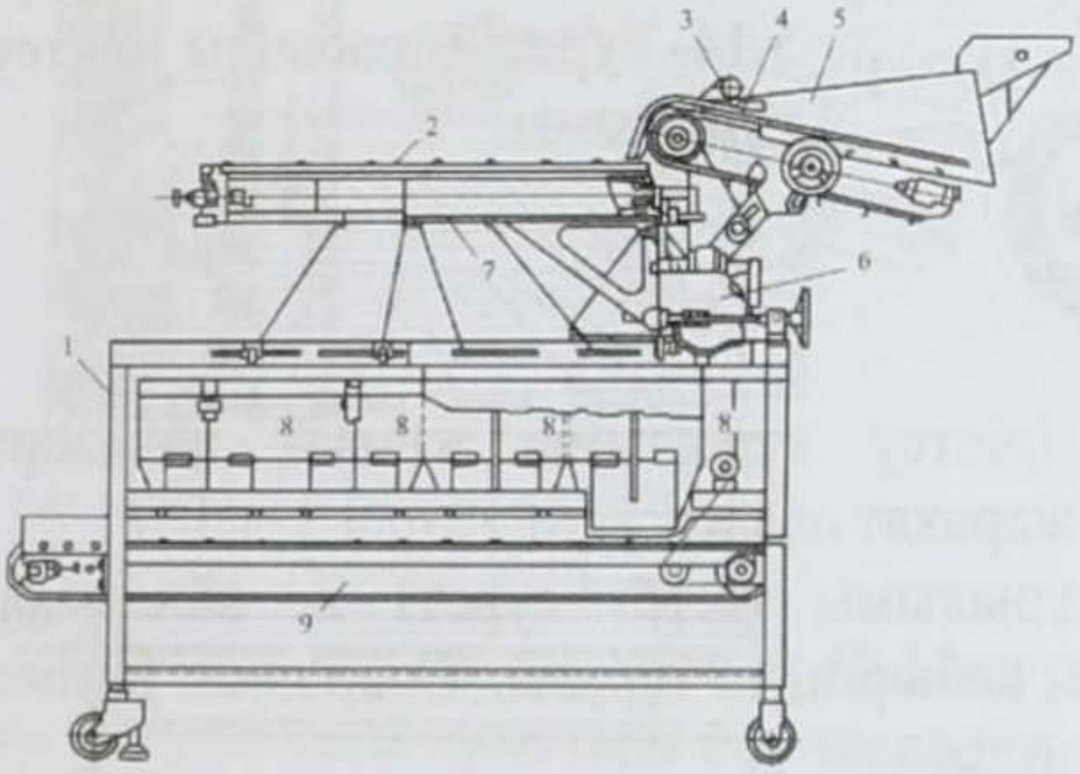
Салмақтық іріктеу құрылымы (5.16- сурет) қабылдау табақшасынан және өлшеу механизмінен тұрады. Өлшеу табақшасы шарнир арқылы екі шынжырлы 4- транспортерге жалғанған. Транспортер бойымен тұрақты етіп салмақтық

құрылым мен бекітілген. Оның бір жағында екі шынжырлы 2-жүкті рычаг пен 1- пышақ орнатылған. Жылжыған кезде тіректі 3-саусақты 6- табақша 5- бағыттауыш бойымен сырғанайды. Бағыттауыш бойында 1- пышақ орнатылған. Егер табақша мен өнімнің моменті жүктік жасайтын моментінен көп болса пышақ саусақшамен төмен түседі де табақшаны аударады. Өнім қабылдау құрылымына иүседі.



5.16- сурет. Салмақтық іріктеу құрылымы.

Төмендегі 5.17- суретте әмбебап іріктеу машинасы көрсетілген.

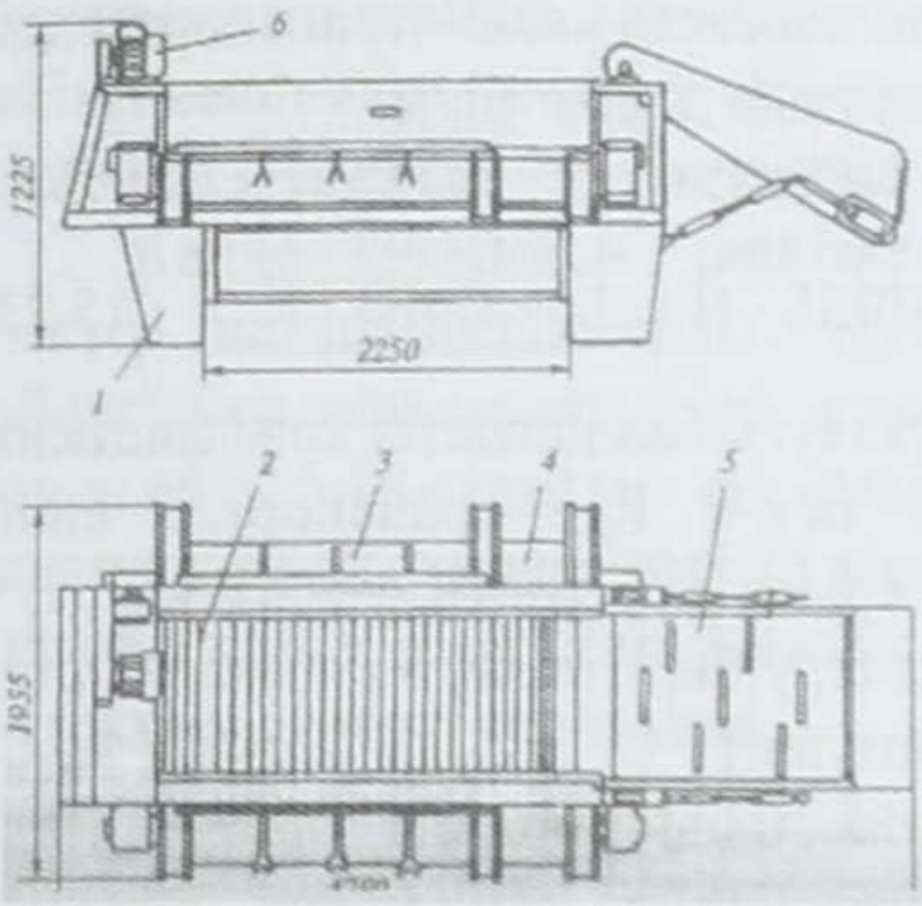


5.17- сурет. Әмбебап іріктеу машинасы

Машина ауыспалы жұмыс органдарының көмегімен барлық көкністерді іріктеуге арналған. Машина 1- станинадан, 5- тиеу құрылымынан, 2- іріктеу басынан, 8- өнімді машиналдан шығаратын 8- жинақшадан және 6- жетектен тұрады. Жетек электрқозғаушыдан, орам тісті редуктордан, шынжырлы берілістен, айналмалы сатылы біліктерден немесе шнектерден тұрады. Іріктеу басындағы бес жұп 7- сатылы біліктер біріне бірі қарсы айналады. Өнім бес ағынды болып қозғалады. Сатылы біліктер немесе шнектер жемістер мен көкөністерді өлшемдері бойынша іріктейді. Өнімді іріктеу басына 3- айналған түсіргіш арқылы түседі. Түсіргіш 4- таспалы транспортер үстіне орнатылған. Іріктеу басынан өнімдер 8- жинақтағышқа түседі.

Жинақшаларға жиналған біртекті өлшемді өнімдер 9- таспалы транспортер арқылы өндіріске жіберіледі.

Маркасы А9-ККБ іріктеу машинасы төмендегі 5.18- суретте көрсетілген.



5.18 - сурет. Маркасы А9-ККБ іріктеу машинасы

Машина көкөністер мен жемістерді іріктеуге арналған. Машина 1- станинадан, 2- іріктеу түйінінен, 3- фракциялық транспортерден, .4- қалдықтарды шығаруға арналған транспортерден, 5- элеватордан, 6- жетектен тұрады. Іріктеу түйіні роликті іріктеу шынжырынан және роликтер арасын реттейтін құрылымнан тұрады. 3- таспалы транспортердің беті әрбір фракцияны бөлетін бөгеттермен жабдықталған. Элеватор қабылдау шанағынан және таспалы конвейер резина қырғыштарымен өнімді біркелкі етіп машинаға төгеді.

Шикізаттар элеватордың қабылдау шанағына беріліп, ары қарай қырғыштармен іріктеу бетіне төгеді.Роликтердің үстімен жылжыған өнімдердің қалдықтары роликтер арасындағы қуыстардан 4- транспортер арқылы сыртқа шығарылады. Іріктеу бетіндегі роликтердің арасы бірте бірте алыстап іріктелінген өнімдер 3- транспортер арқылы сыртқа шығарылады.

Шнекті іріктеу машинасының өнімділігі, кг/с

$$П = ϕ \cdot F \cdot V \cdot ρ, \qquad (5.21)$$

мұндағы: φ – толтыру коэффициенті; F – машинадағы өнімнің қима ауданы, $м^2$; V – өнімнің қозғалу жылдамдығы, м/с; ρ – өнімнің көлемдік тығыздығы, $кг/м^3$.

Білікті іріктеу машинасының өнімділігі , П (кг/с)

$$П = V \cdot \phi \cdot g \cdot Z/d, \qquad (5.22)$$

мұндағы: V – тарнспортердің жылдамдығы, м/с; φ – транспортердің өнімділігін пайдалану коэффициенті (φ=0,6…0,65); g – өнімнің орташа массасы, кг; Z – транспортердегі өнімнің ағын саны; d – өнімнің орташа диаметрі, м.

Іріктеу құрылымдарындағы электркозғаушы қуаты, N (кВт)

$$N = (M/h_M) \cdot (K_2 \cdot V \cdot L + 0{,}0055 \cdot П \cdot gL + ПgH) \cdot K_2, \qquad (5.23)$$

мұндағы: М – транспортерді жүктеуге байланысты коэффициент; h_M -беріліс механизмдерінің пәк-і; K_2 –транспортер еніне байланысты коэффициент; g – еркін түсу үдеуі, g=9,81 м/с^2; L – транспортер ұзындығы, м; Н - көтеру биіктігі, м; K_2 – транспортер ұзындығына байланысты коэффициент.

Көптеген сусымалы шикізаттарды өндіріс орындарында сапасы бойынша немесе геометриялық өлшемдері бойынша ажыратады. Сонымен бірге сусымалы заттардан бөгде қоспаларды бөлу үдерісі де орындалады.

Сусымалы шикізаттардың түйіршіктерінің өлшемдері бойынша бөлу жіктеу деп аталынады. Жіктелінген кезде сусымалы шикізаттар жекеленген фракцияларға бөлінеді. Жіктеудің үш түрі бар: гидравликалық, ауа күшімен және механикалық күштер көмегімен.

Гидравликалық жіктеу кезінде сусымалы заттар түйіршіктерінің белгілі сұйықта тұнбаға шөгу қабілеті пайдаланылады.

Ауа қозғалысында түйіршіктердің ауырлық күші немесе ортадан тепкіш күштері арқасында жіктелінуі сепарация деп те аталынады.

Аталған жіктелу түрлері негізінде тамақ өнеркәсібінің көптеген салаларында кеңінен қолданылады,ал тамақтану орындарының цехтарында жіктеудің механикалық түрлері қолданылады.

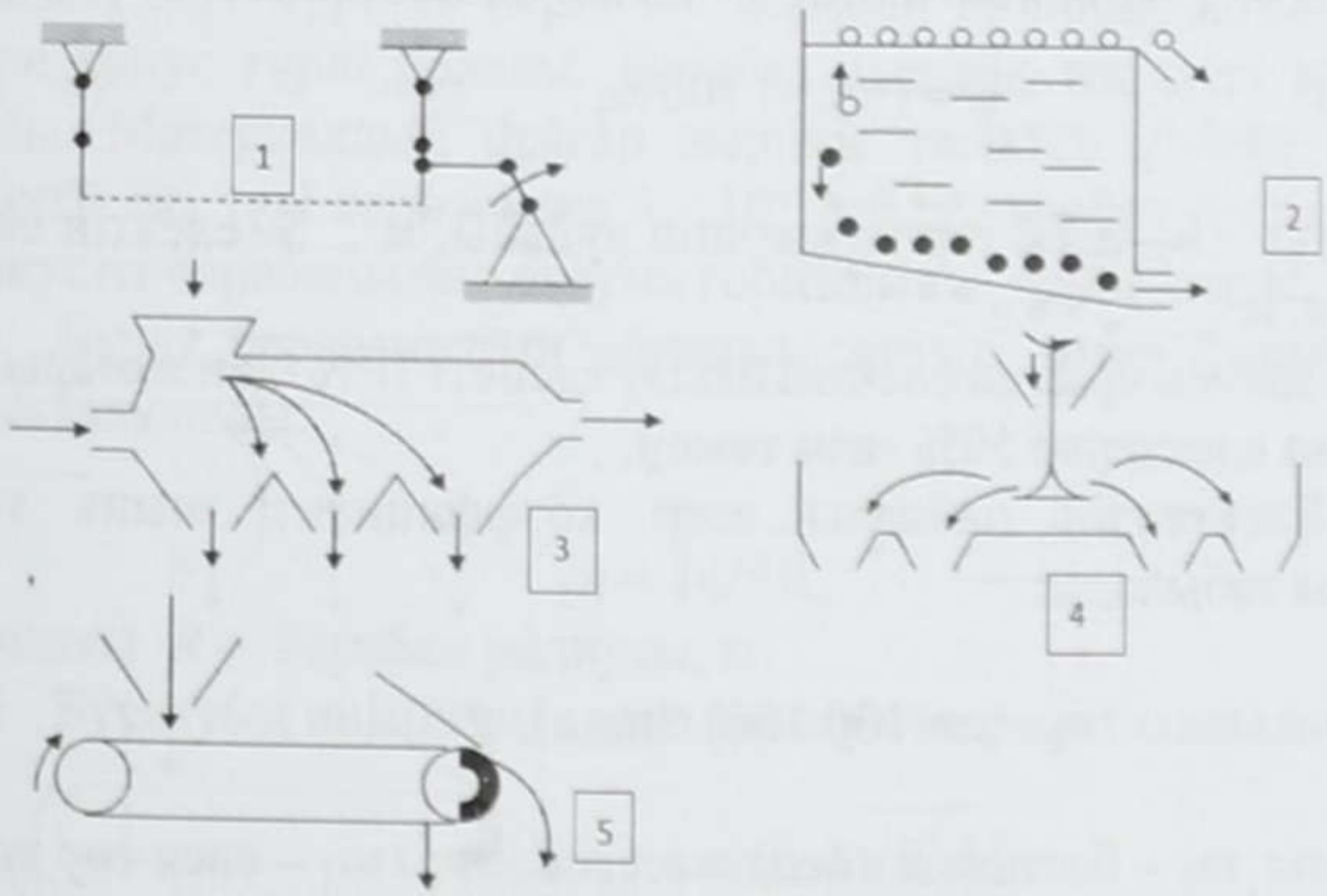
Механикалық жіктеу кезінде сусымалы шикізаттар електерден немесе торлардан өтеді. Фракциялардың ірілігі тор көзді електердің көздерінің өлшемдеріне байланысты. Сусымалы шикізаттар тор көзді електе бөлінгенде екі фракция алынады: тор

көздерден өткен түйіршіктерден, және елек үстінде қалған түйіршіктерден. Електердің тор көздерінің пішіндері әр түрлі болып келуі мүмкін.

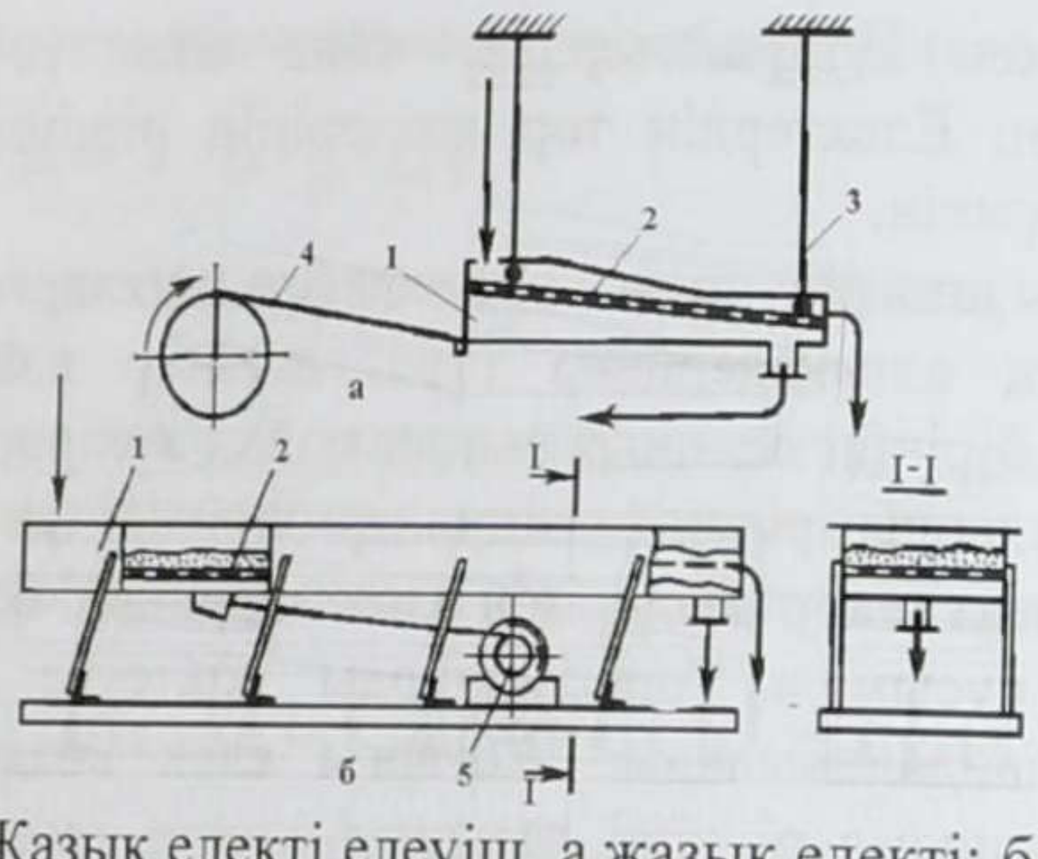
Сусымалы шикізаттарды көптеген фракцияларға жіктеу үшін тор көздерінің өлшемдері әр түрлі електер пайдаланылады. Құрылымның бірінші секцияларында майда түйіршіктер бөлінсе кейінгі секцияларды ірірек фракциялар бөлінеді.Ол үшін бірінші секциядағы електің тор көздерінің өлшемдері кіші болуы қажет.

Кейде сусымалы шикізаттарды жіктеуге жазық бетті електер де пайдаланылады. Жоғарғы елек көздерінен өткен түйіршіктер өлшемдері кіші астыңғы електе тағы да бөлінеді. Төмендегі 5.19-суретте сусымалы материалдарды жіктейтін машиналардың түрлері көрсетілген: 1-механикалық елеуіштер; 2-гидравликалық сепаратор; 3-ауалы сепаратор; 4-дискілі сепаратор; 5-электромагнитті сепаратор.

Төмендегі 5.20 –суретте кең тараған көлбеу торлы електі машина көрсетілген. Машина жұмысы қисық иінді-шатунды немесе эксцентрикті механизмдер көмегімен көлбеу жазық електің қозғалысының арқасында орындалады. Елек бетіндегі материалдың ілгері қозғалуы үшін машинаның жетекші білігі материалға әсер ететін инерция күші оның елек бетімен үйкеліс күшінен артық болатындай айналым жиілігімен қозғалуы қажет.



5.19-сурет. Елеуіштер схемалары: 1-механикалық елеуіштер; 2-гидравликалық сепаратор; 3-ауалы сепаратор; 4-дискілі сепаратор; 5-электромагнитті сепаратор



5.20 - сурет. Жазық електі елеуіш. а.жазық електі; б.шайқалмалы: 1- астау; 2-елек; 3-штанга; 4-қисық иінді-механизм; 5-эксцентрикті механизм.

Суреттегі жазық бетті елек 3-ілмелі штангаларға бекітішген. Шайқалмалы елеуіш $7...14^0$ көлбеу орнатылған 2-елегі бар1-астаудан тұрады. Астау 4- қисық иінді-шатунды және 5-экцентрикті механизмнің көмегімен шайқалады. Экцентрик білігінің айналымы 400 айн/мин. Електің бетімен жылжыған материал сорталынады.

Електердің өткізу қасиеті мына теңдеу арқылы анықталынады

$$\varphi = (S_0/ S)\ 100\%, \qquad (5.24)$$

мұндағы S_0 -елек тор көздерінің ауданы, $м^2$; S- електің барлық ауданы, $м^2$.

Сыммен өрілген електің өткізу қасиеті 70% -дан жоғары емес, ал басқа електерде 50% -дан төмен.

Електердің пайдалы әсер коэффициенті мына теңдеу арқылы табылады:

$$\eta= (m_1\ 100\ 100) /(m_0\ a), \qquad (5.25)$$

мұндағы m_0 – бастапқы қоспа массасы, кг; m_1 – елек тор көзінен өткен түйіршіктер массасы, кг; а – елек көзінің диаметрінен төмен түйіршіктер үлесі, %.

Біліктің айналым жиілігі мына теңдеу арқылы анықталынады:

$$n = 30/\sqrt{r\ tg\alpha}\ , \qquad (5.26)$$

мұндағы n- елеуіш жетегінің білігінің айналымы жиілігі, айн/мин;
r – эксцентритет, м; (r=0,01…0,02); α-елеуіштің көлбеулігі, (α=18 град);

Елек бетімен жылжыған материалдың жылдамдығы

$$w = 0{,}23\ n\ r\ f\ tg\alpha, \qquad (5.27)$$

w – материалдың елек бетімен жылжу жылдамдығы, м/с; f- материалдың елек бетімен үйкеліс коэффициенті ($f=0{,}35$).

Жазық бетті електің өнімділігі

$$G = F\ w\ \rho\ \varphi, \qquad (5.28)$$

мұндағы G –елеуіш өнімділігі, кг/с;
F- елек бетіндегі өнімнің қима ауданы, м^2;
φ- елек бетін материалмен толтыру коэффициенті (φ=0,6) ;
ρ-материалдың көлемдік тығыздығы, кг/м^3;

$$\rho = \rho_т\ (1 - \varepsilon), \qquad (5.29)$$

$\rho_т$ – қатты материал тығыздығы, кг/м^3 ;
ε-материал қуыстылығы (ε=0,38…0,42).

Айналмалы електі елеуіш (бурат) машинасының жалпы көрінісі төмендегі 5.21–суретте берілген. Барабан цилиндр, алты қырлы немесе конус түрлі болады. Барабан елегінің тесіктері әр түрлі болады. Материалдың шығар жерінде тесіктер үлкейе береді. Алдыңғы екі түрі горизонтқа 5…10° градус көлбеу орнатылады, ал конусты барабаны бар елеуіш горизонталь орнатылады.

Бурат барабанының айналым жиілігі мына формуламен анықталынады:

$$n = 14/\sqrt{R}\ , \qquad (5.30)$$

мұндағы R – барабан радиусы, м.

Бураттың өнімділігі мына теңдеумен анықталынады:

$$G = 0{,}2\ \varepsilon\ \rho\ n\ tg(2\alpha)\ \sqrt{R^3\ h^3}\ , \qquad (5.31)$$

мұндағы G – бурат өнімділігі, кг/с;
ε – материалды қопсыту коэффициенті; $\varepsilon = 0{,}6…0{,}8$.
ρ – материалдың көлемдік тығыздығыобъемная, кг/м^3;

h – елек бетіндегі материал қалыңдығы, м.

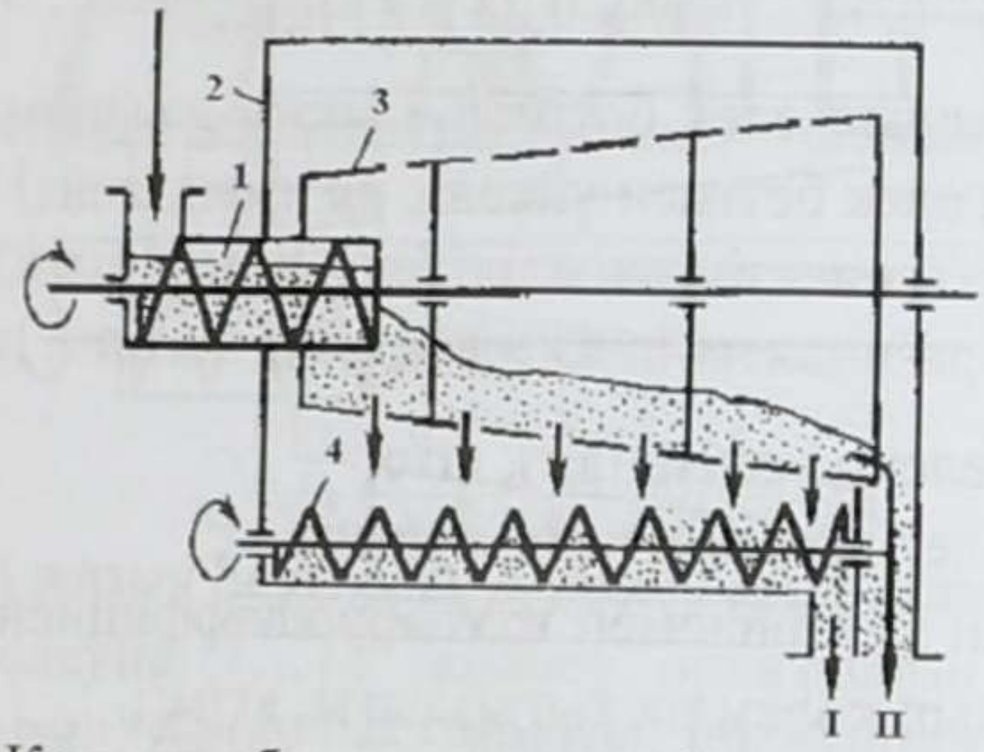
Буратқа қажетті қуат:

$$N = R\,n\,(G_б + 13\,G_м) / 29200, \qquad (5.32)$$

мұндағы N – буратқа қажетті қуат мөлшері, кВт;

$G_б$ – бурат барабанының массасы, кг;

$G_м$ – барабан ішіне салынған өнім массасы, кг.



5.21-сурет. Конусты бурат схемасы: 1-қоректендіру шнегі; 2-каптама; 3-конусты барабан; 4-өнім шығару шнегі.

Егер сусымалы материал барабанды елек бетімен қозғалып еленсе материал түйіршігіне ортадан тебу күші мен ауырлық күші әсер етеді.Ортадан тебі күшінің мөлшері барабанның айналу жылдамдығымен тығыз байланысты болады. Барабанның айналым жылдамдығы аз болса материал барабанның ішінде еленбей калады. Сондықтан ортадан тебу күші ауырлық күшінен көп болады.

$$m \cdot \omega^2 R > m \cdot g \cdot f_м \qquad (5.33)$$

мұндағы m - елек бетіндегі өнім түйіршігінің массасы,кг; ω - барабанның айналым жиілігі,1/с; R - елек радиусы,м; g – еркін түсу үдеуі,м/с^2; $f_м$ - түйіршік пен елек бетінің арасындағы үйкеліс коэффициенті.

Барабанның айналым жиілігі $\omega = 2\pi \cdot n$ ескере отырып жоғарыдағы тендеуді былай жазуға болады

$$m \cdot (2\pi \cdot n)^2 R > m \cdot g \cdot f_м \qquad (5.34)$$

Егер електі барабан көлбеу орнатылған болса, онда жоғарыдағы формула былайша жазылады:

$$n = 1{,}8 \cos\alpha\sqrt{g f_м} / \pi R \qquad (5.35)$$

Електің теориялық өнімділігін төмендегідей теңдеумен анықғауға болады

$$M_B = F \cdot \upsilon \cdot \rho \cdot \varphi, \ \text{кг/с} \qquad (5.36)$$

мұндағы F_0 - електің тор көздерінің ауданы; υ - өнімнің електен өту жылдамдығы;

φ - елек бетін пайдалану коэффициенті; ρ өнімнің көлемдік тыгаздығы.

Елек тесіктерінің ауданын мына формуламен анықтауға болады

$$F = k \cdot \pi D \cdot H \ м^2 \qquad (5.37)$$

мұндағы k - елек тор көздерінің тесіктерінің өлшемдеріне байланысты коэффициент k = 0,5 – 0,8.

Өнімнің елек көздерінен өту жылдамдығын мына формуламен анықгалынады

$$v_o = r_c \, n_c / (2\,\pi)\,(1- Kc)^2, \qquad (5.38)$$

мұндағы r_c - барабан радиусы; n_c - електің айналым жиілігі; (1-Кс) – өнімді беру коэффициенті;, Кс- өнімнің елек бетімен сырғанау коэффициенті, Кс=0, 7...0, 8.

Барабанды електі елеуіштің жететіндеті электркозғаушының қуаты мына формуламен анықталынады

$$N_o = (N_1 + N_2 + N_3)/(\eta_1 + N_4 / \eta_2, \qquad (5.39)$$

мұндағы N_1 - өнімнің елек бетімен сырғанауын жеңетін қуат, Вт; N_2 -өнімді елекпен тасымалдауға кететін қуат шығыны, Вт; N_3 - өнімді елекке түсіретін коректендіртіш шнекке кететін қуат мөлшері, Вт; N_4 -шанақтағы қанатшаны айналдыруға кететін қуат шағыны, Вт; (1-жетектің бірінші сатысындағы пайдалы қсер коэффициенті; (2-жетектің екінші сатысындағы пайдалы әсер коэффициенті.

Өнім мен елек арасындағы үйкелісті жеңетін қуатты мына формуламен анықтауға болады

$$N_1 = M_{үй} \, \omega_c , \qquad (5.40)$$

мұндағы $M_{үй}$- електеті момент, Н м; ω_c -електің айналым жиіліті, 1/с.

Електегі момент өнімнің және електің ауырлық күштеріне және өнім мен елек бетінің арасындағы үйкеліс күшіне байланысты табылады

$$M_{үй} = (m_ө + m_е) g r_c f_м, \quad (5.41)$$

мұндағың mө - елек бетіндеті өнімнің массасы, кт; $m_е$ -електің массасы, кт; fм = 1, 1...1, 4 - ұнның елек бетімен үйкеліс коэффициенті.

Өнімді елекпен жылжытуға кететін қуат

$$N_2 = m_ө g r_c \omega_c. \quad (5.42)$$

Қоректендіртіш шнекті айналдыруға кететін қуат мөлшері

$$N_3 = M_ш \omega_c , \quad (5.43)$$

мұндағы $M_ш$ -қоректендіртіш шнектеті момент

$$M_ш = (m_ш + m_ө) g r_ш, \quad (5.44)$$

мұндағы $m_ш$ -шнек массасы, $m_ө$ - қоректендіртіш шнектеті өнім массасы, $r_ш$ -шнек радиусы, м.

Шанақтағы қанатшаны айналдыруға кететін қуат мөлшері

$$N_4 = M_к \omega_к , \quad (5.45)$$

мұндағы $M_к$ - қанатшадағы момент; $\omega_к$ -қанатшаның айналым жиіліті, 1/с.

$$M_к = (m_к + m_ө) g r_к, \quad (5.46)$$

мұндағы $m_к$ - қанатша массасы; $m_ө$ - қанатшамен жылжытылған өнімнің массасы; $r_к$ - қанатша радиусы, м.

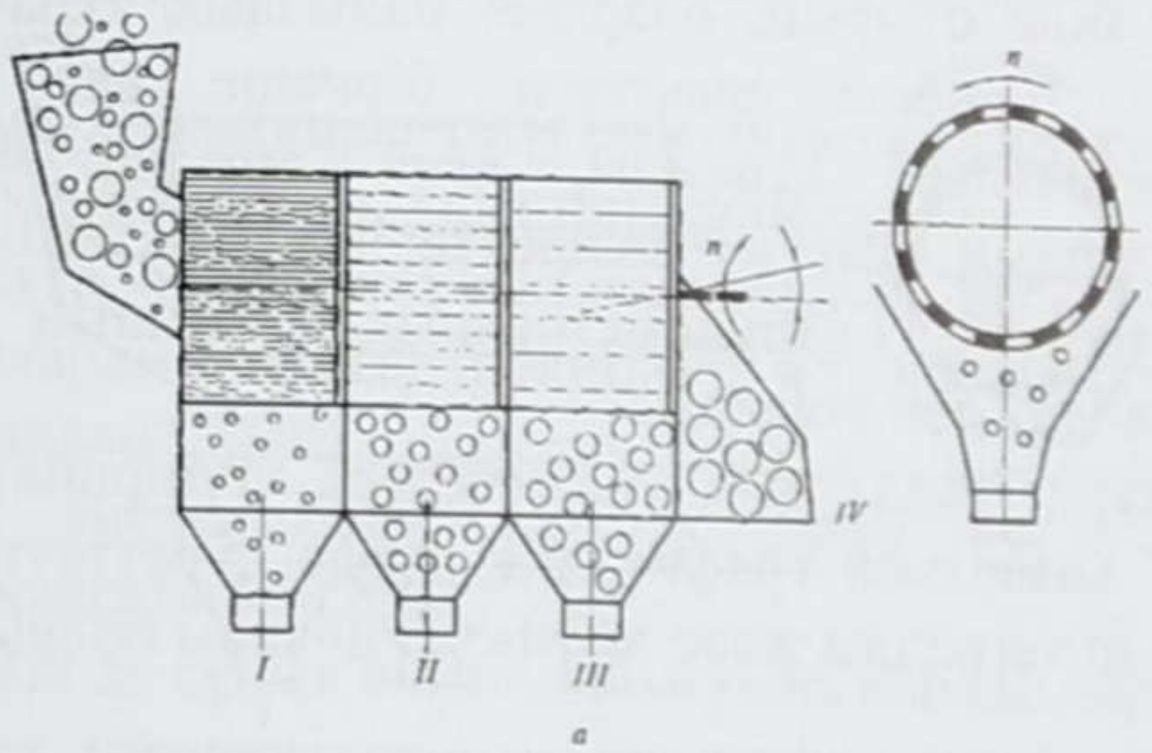
Тербелмелі електің білітіндеті моментті мына формула бойынша анықтауға болады

$$M = m g r, \quad (5.47)$$

мұндағы m - електегі дебаланстың массасы, кг; r - електің айналу білітінен дебаланстар ортасына дейінті аралық, м. Сонда елек жететіндеті қуат былай анықталынады

$$N = M \omega / \eta, \quad (5.48)$$

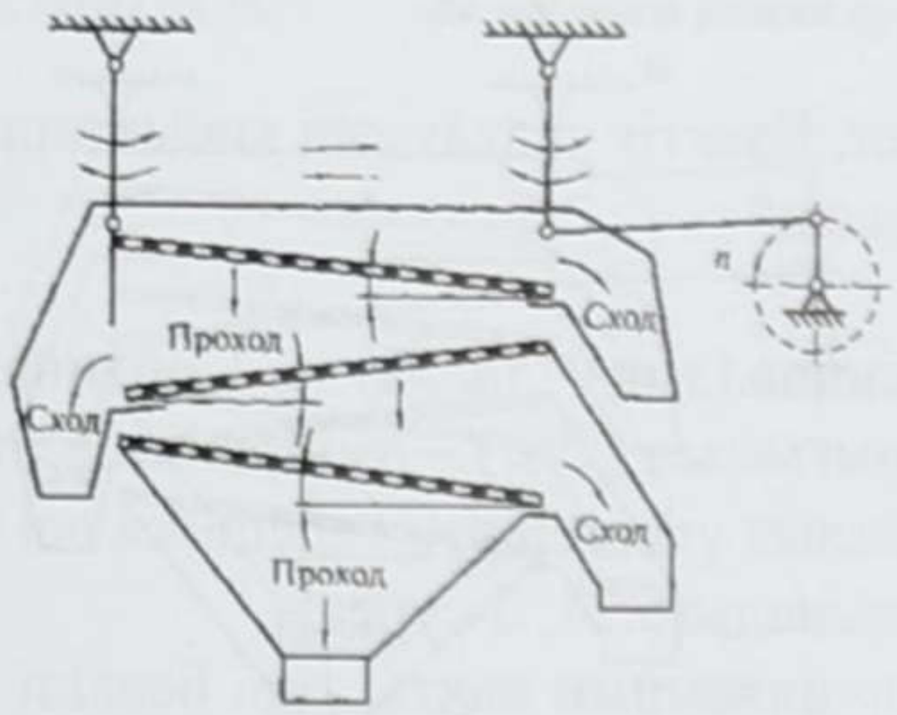
Мұндағы ω - дебаланстардың айналу жылдамдығы, 1/с; η -дебаланс механизмінің пайдалы әсер коэффициенті (η = 0, 8...0, 85).



5.22-сурет. Барабанды көп секциялы сұрыптау құрылымы.

Сусымалы шикізаттарды көптетен фракцияларға жіктеу үшін тор көздерінің өлшемдері әр түрлі барабанды електер пайдаланылады (5.23 -сурет). Құрылымның бірінші секцияларында майда түйіршіктер бөлінсе кейінгі секцияларды ірірек фракциялар бөлінеді. Ол үшін бірінші секциядағы електің тор көздерінің өлшемдері кіші болуы қажет.

Кейде сусымалы шикізаттарды жіктеуге жазық бетті електер де пайдаланылады (5.24-сурет). Жоғарғы елек көздерінен өткен түйіршіктер өлшемдері кіші астыңғы електе тағы да бөлінеді.

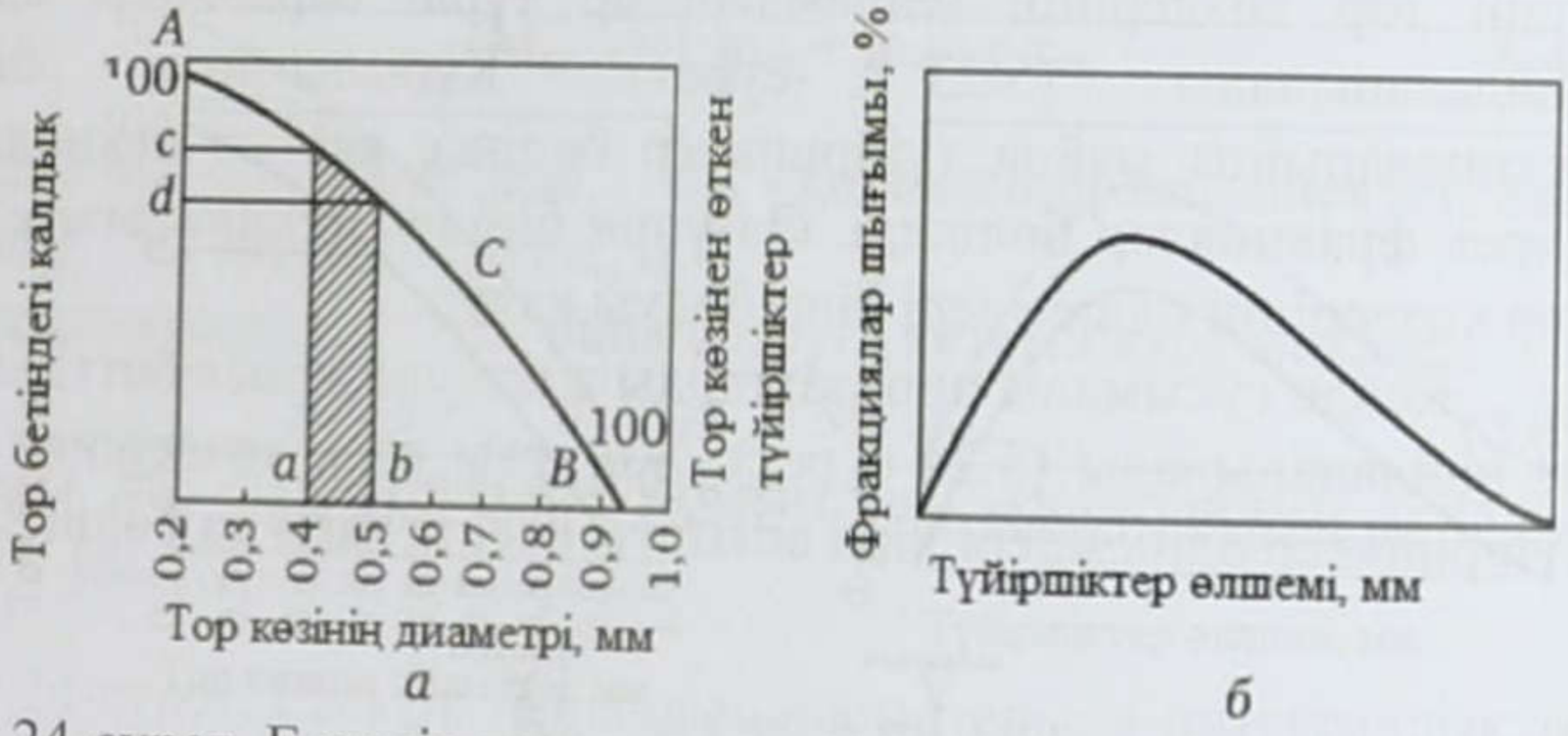


5.23-сурет.Көп қабатты, жазық електі елеу-сұрыптау құрылымы.

Електе бетінде өңдеу кезінде екі фракция түзіледі: електен өткен бөлшектер және електе қалған бөлшектер. Бастапқы материалдың массасын және еленген және еленбей қалған өнім массасын біле отырып, олардың пайыздық құрамын есептеуге болады. Бірнеше електерде бірнеше рет бөлу кезінде гранулометриялық құрамды, яғни әртүрлі фракциялардың (фракциялардың шығуы) бөлшектерінің массалық үлесін (%) есептеу мүмкін. Гранулометриялық құрамның мұндай есебі електік талдау деп аталады.

Електік талдаудың нәтижелері түйіршіктердің таралу үлестері көмегімен графикалық түрде суреттеуге болады. Бұл қисықтар интегралды және дифференциалды болуы мүмкін (5.24 - сурет).

Интегралды график құруда абцисса өсі бойымен електің тор көзді өлшемдерін, ал ордината өсіне еленген немесе еленбеген массалық үлестерін (%) салады (5.24, а-сурет).



а *б*

5.24-сурет. Електік талдаудың қисықтары: а-интегралдық; б-дифференциалдық

Дифференциалдық талдауда ордината өсі бойынша фракциялар шығымын (%) – түйіршіктердің белгілі өлшемдері бойынша массалық үлестерін, ал абсцисса өсі бойынша тор көздер өлшемдері салынады(5.24, б-сурет).

Бөлу функциясының нақты түрі белгілі бір заңға бағынады. Жеке фракциялардың пайыздық мазмұны сатылы графика (гистограмма) түрінде бейнеленген ыңғайлы.

Бақылау сұрақтары

1. Ұсақтау (ұсақтау) процесінің мақсаты мен мәнін сипаттаңыз. Ұсақтаудың сызықтық дәрежесі арқылы ұсақтауға сипаттама беріңіз.

2. Ұсақтауға арналған энергия шығындары қалай есептеледі? Ұсатқыштарға қандай жалпы талаптар қойылады?

3. Ұсақтауға арналған ұсақтағыштардың негізгі түрлерін сипаттаңыз. Олардың әрекет принципі, артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?

4. Тамақ өнеркәсібінде престеу, қалыптау және сығу процестерінің мақсаты қандай?

5. Сығу кезінде сұйық өнімнің шығуына қандай параметрлер әсер етеді? Бұл процесті іске асыру үшін қандай аппараттар қолданылады?

6. Қалыптастыру процесінің физикалық мәні неде?

7. Престеу коэффициенті, престеу жұмысы дегеніміз не? Тамақ өнеркәсібінде қолданылатын престердің негізгі конструкцияларын сипаттаңыз?

8. Қатты түйіршікті материалдарды бөлу тәсілдерін сипаттаңыз: сұрыптау, жіктеу (калибрлеу), елеу (елеу).

9. Електердің өткізу қабілеті мен пайдалы әсер коэффициенті қалай бағаланады?

10. Елек талдауының мәні неде? Фракциялар бойынша бөлшектердің дифференциалдық және интегралдық қисықтарын құру қалай жүзеге асырылады?

6. ЖЫЛУ ПРОЦЕСТЕРІ

6.1 Жалпы мәліметтер

Жылу мөлшері - жылу берілу кезінде дененің алатын немесе жоғалтатын энергиясы жылу мөлшері болып табылады. Жылу мөлшері Q әрпімен белгіленеді. Жылу мөлшері ішкі энергия өзгерісінің өлшемі және дененің температурасына байланысты болады. Жылу мөлшері – физикалық шама және ол температураның t_1-ден t_2-ге дейінгі өзгерісіне пропорционал. Ол дегеніміз, егер дененің температурасы жоғарыласа, онда ол дененің қандай да бір жылу мөлшерін алғанын, егер төмендесе, онда жылу шығарғанын көрсетеді.

Халықаралық жүйесіндегі бірлігі саны жылу, жұмыс және қуат, джоуль болып табылады: [Q] = [A] = [E] = 1 Дж. Іс жүзінде кейде жылу бірлігі – калория. 1 кал. = 4,2 Дж.

Жылу процестері деп жылуды беру немесе оны қабылдап алу арқылы жүретін технологиялық процестерді айтады. Жылу процестеріне қыздыру, салқындату, конденсациялау, булану жене т.б. процестер жатады.

Қыздыру - жылу беру арқылы өнделетін материалдардың температурасын көтеру болса, салқындату - өнделетін материалдардан жылуды бөліп алу арқылы оның температурасын төмендету.

Конденсация - заттан жылуды бөліп алу арқылы оның буын сұйылту. Булану - жылу беру арқылы сұйықтықты бу тәріздес күйге айналдыру. Буланудың жеке түрі тамақ технологиясында кең таралған буландыру процессі болып табылады. Буландыру - ерітінділердің қайнауы кезінде сұйық ұшқыш еріткішті бу түрінде бөлу арқылы қатты ұшқыш емес заттарды қойылту.

Жылу процестерінде температурасы әр түрлі ең кемінде екі орта өзара әрекеттеседі. Бұл процестер кезінде жылу бір заттан екінші затқа беріледі. Жылу беру процессіне қатысатын заттар жылу тасымалдағыштар деп аталады. Температурасы жоғары, жылу бөліп, оны температурасы темен заттарға беретін заттар ыстық жылу тасымалдағыштар деп, ал температурасы төмен, осы жылуды қабылдап алатын заттар салқын жылу тасымалдағыштар деп аталады. Жылу процестерін жылу тасымалдағыштарды жанастыру арқылы немесе оларды бөліп тұратын қабырға арқылы

жылуды өткізу жолдарымен жүргізуге болады. Бір денеден екінші денеге жылу өткізу немесе беру жылу өткізгіштік, конвекция, сәуле шығару арқылы орындалады.

Жылу процесінде **жылу өткізгіштік** деп заттың белгілі бір дене бөлшегіне жанастыру арқылы бір денеден екінші денеге жылу беру қабілетін осыған орай бір денеден екіншіге энергия беріледі, өйткені олар толқынды қозғалысқа келтіріледі.

Конвективті жылу алмасу ретінде қатты дене бетінен немесе онын бетіне бір мезгілде конвекция және жылу өткізгіштік арқылы сұйықтықта жылудың таралу процессін түсінеді. Мұндай жылу таралуды түйісу арқылы жылу берілу немесе тек жылу беру деп те шекаралас қабаттан сұйықтық массасына конвекция басымшылығында таралады.

Қатты денелерде жылудың таралу процестерін зерттеу нәтижесінде Фурье жылу өткізгіштіктің негізгі заңын анықтаған болатын.

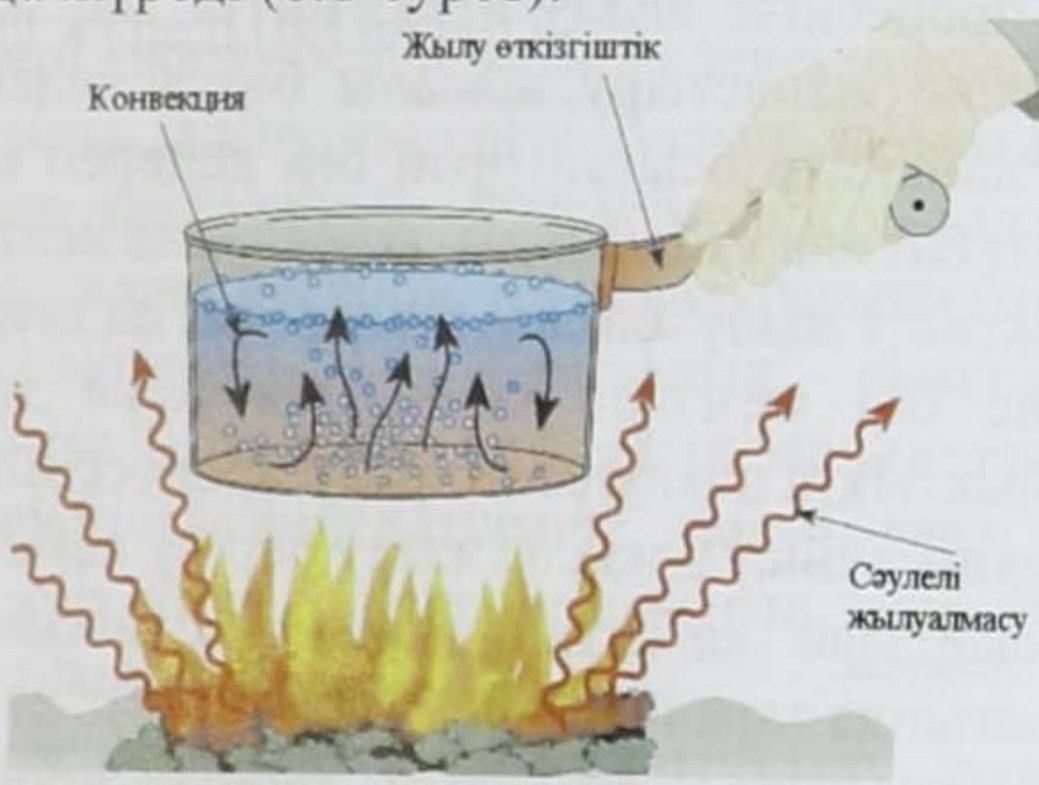
Егер жылу өткізгіштік жолымен қабырға арқылы (мысалы, металды қабырға) берілсе, онда Фурье заңы бойынша, берілетін жылу мөлшері Q алаң бетіне F, қабырғаның екі жағындағы температура айырмашылығына t_1, t_2, уақытқа τ тура пропорциональды және қабырға қалындығына δ кері пропорционалъды болады:

$$Q= \lambda F (t_1-t_2) \tau /\delta, \qquad (6.1)$$

мұндағы: Q – берілетін жылу мөлшері, Дж; δ қабырға қалындығы, м; F - жылу ағымы алаңының беті $м^2$; τ - жылу беру уақыты , с; λ-жылу өткізгіштік коэффициенті; t_1 - жылытылатын қабырға бетінің температурасы, C^o; t_2 - жылу беретін қабырға бетінің температурасы, C^o. Осы теңдеудегі пропорциональдың коэффициент λ жылу өткізгіштік коэффициенті деп аталады. Жылу өткізгіштік коэффициенті (немесе жай жылу өткізгіштік) уақыт бірлігі арасында алаң беті бірлігі арқылы 1°С температура айырмашылығында қабырға қалындығы бірлігіне өтетін жылу мөлшері.

Конвекция жолымен жылу берілу тек ғана сұйықтар мен газдарда, олардың бөлшектерінің орын ауыстыруы арқасында жүреді. Конвекция сұйықтар мен газдардың барлық көлемінің қозғалысында арқасында еріксіз болуы мүмкін. Конвекция еркін

болуы да мүмкін, онда ол сұйықтықтың әр нүктелеріндегі тығздықтардың арасынағы айырмашылықтың арқасында немесе сұйықтықпен газдың бойындағы температураның әртүрлі тарауы арқасында жүреді (6.1-сурет).



6.1-сурет. Жылу алмасу схемасы

Сұйықтықтың еркін қозғалысы сұйықтықтың қыздырылған және салқын бөлшектерінің тығыздықтары айырмашылығы нәтижесінде жүреді және сұйықтықтың физикалық қасиеттерімен, оның көлемі мен қызған және салқын бөлшектерінің температурасы айырмашылықтарымен анықталады.

Сұйықтықтардың күшпен қозғалуы (еріксіз конвекция) қандай да бір қоздырғыштың (сорғы, желдеткіш) әсерімен жүреді және сұйықтықтың физикалық қасиеттері, оның жылдамдығы қозғалыс жүретін каналдың формасы мен өлшемдерімен анықталады.

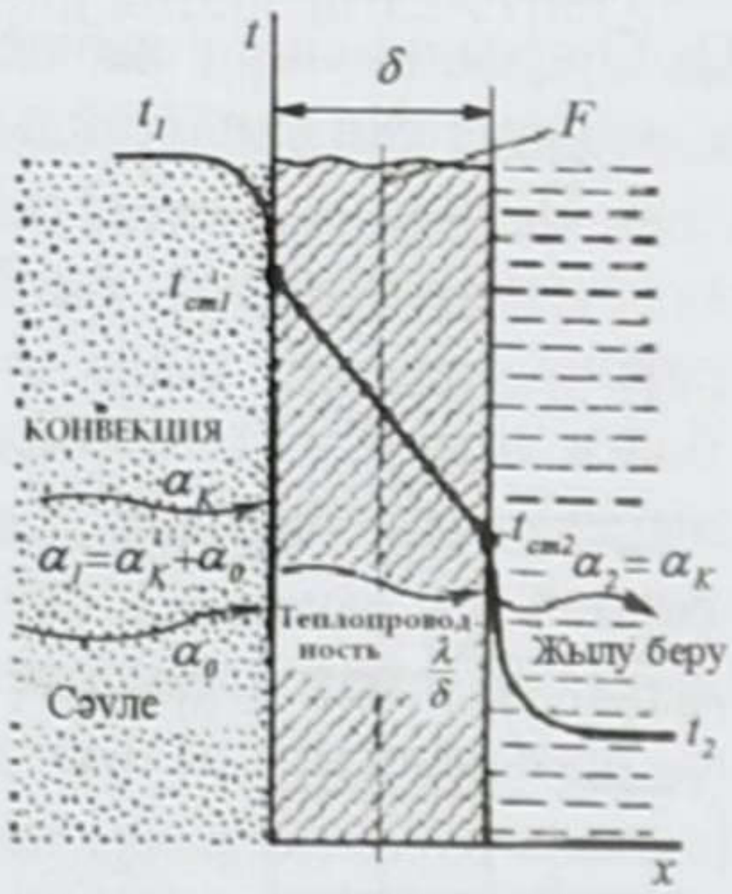
Жылу берудің негізгі заңы Ньютон заңы болып табылады. Осы заңға сәйкес жылу алмастырғыш беттен қоршаушы ортаға (сұйықтық, газ) немесе қоршаушы ортадан жылу алмастырғыш бетке берілетін жылу мөлшері жылу алмастыру бетіне F, осы беттік алаң мен қоршаушы ортаның температуралары айырмашылығына (tw-tf) және жылу алмасу жүрген уақытқа тура пропорционадьды;

$$Q = \lambda(tw - t_o)\, F\tau, \qquad (6.2)$$

мұндағы: Q - жылу мөлшері, Дж; F - жылу алмасу бетінің алаңы, м; tw - жылу алмасуының температурасы, C^O; t_o- қоршаған

ортаның температурасы, C^{O}; τ - жылу алмасу уақыты, с; λ - жылу беру коэффициенті, Вт/(м·К). Жылу беру коэффициентінің мәні жылу, тасымалдағыштың қозғалу сипаты (ламинарлы, турбулентті), оның жылдамдығына, физиккалық қасиеттеріне (тығыздығы, тұтқырлығы, жылу өткізгіштігі), жылу алмасу бетінің формасы мен өлшемдеріне байланысты.

Конвекция арқылы жылу берілуде жылу тасымалдағыш бойымен қозғалатын және ол арқылы жылу өтетін қабырға бетінде шекаралық ламинарлық қабат пайда болады.Сұйықтықтар мен газдардың жылу өткізгіштігі төмен, сондықтан жылудың шекаралық қабат арқылы өтуі қиын. Жылу берілуін жылдамдату үшін қабат қалыңдығын төмендетуге тырысады, яғни қозғаушы жылу тасымалдағыштары қолданады.Жылу ағымының турбуленттігін көтеру ламинарлық қабат қалындығын төмендетіп, берілетін жылу мөлшерін көтереді(6.2-сурет).



6.2- сурет. Жылу өткізу

Жылулық сәуле шығару. Егер дене бетіне Q мөлшерде сәулелік энергия түсетін болса, онда жалпы алғанда денеге жылулық энергияға айналып, оның тек Q_A бөлігі ғана сіңіріледі: сәулелік энергияның бір бөлігі Q_R дене бетінен шағылысады, ал Q_D бөлігі дене арқылы өтеді. Сонда:

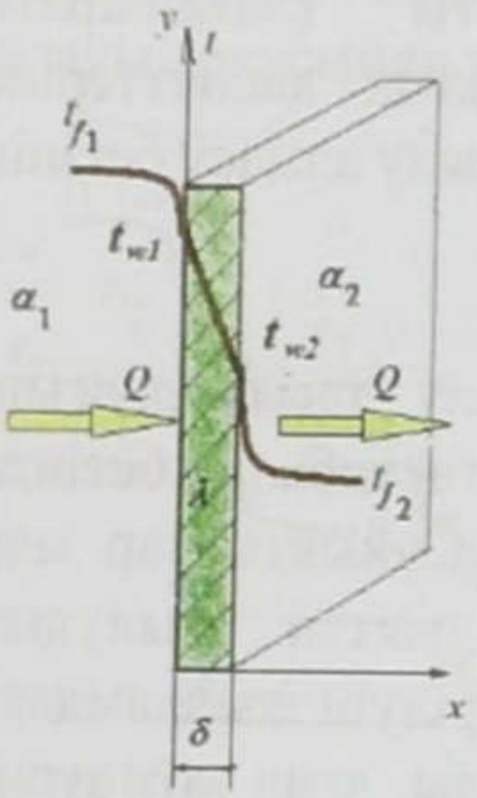
$$Q_A + Q_R + Q_D = Q\ ; \qquad (6.3)$$

$$Q_A/Q + Q_R/Q + Q_D/Q = 1. \qquad (6.4)$$

Жазық қабырға арқылы тұрақты жылу өткізу

Жылу ағынының тығыздығы

$$q = \frac{t_{f_1} - t_{f_2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \qquad q = \frac{t_{f_1} - t_{f_2}}{R_t \sum}$$



где $\frac{1}{\alpha_1}, \frac{1}{\alpha_2}, \frac{\delta}{\lambda}$ Термиялық кедергі

Толық термиялық кедергі

$$R_t \sum = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

6.3-сурет. Жазық қабырға арқылы жылу өткізу

Теңдеудегі Q_A/Q дененің сіңіру қабілетін, Q_R/Q - шағылысу, Q_D/Q - өткізгіштік қабілеттерін сипаттайды.

Егер $Q_A / Q = A$, $Q_R / Q = R$, $Q_D / Q = D$ деп белгілесек, онда $A + R + D = 1$ теңдеуі алынады. A, R, D арасында әртүрлі қатынас балуы мүмкін.

Егер A = 1, болса онда R = D = O болады да, денеге түсетін барлық сәулелік энергия оған сіңіріледі. Мұндай денені абсолютті қара дене деп атайды.

Егер R = 1 (A = D = O) болса, онда дене оған түсетін барлық сәулелік энергияны шағылыстырады. Бұл дене абсолютті ақ дене болып есептеледі.

Егер D = 1 (A = R = O), онда дене арқылы түсетін барлық сәулелік энергия өтіп кетеді. Мұндай дене мөлдір немесе диатермиялық дене деп аталады.

Табиғатта абсолютті ақ, қара және мөлдір денелер жоқ. A, R, D арасындағы қатынас дененің табиғатына, оның температурасына және оның бетінің сипатына тәуелді. Бірақ қатты заттар мен сұйықтықтар жылулы мөлдір емес, олар үшін D = O және A + R = 1.

Сәулелік жылу таралу Стефан - Больцман заңы бойынша анықталады. Егер уақыт бірлігі арасында дененің сәулелену арқылы бөлетін энергияны Q, ал дене бетін - F деп белгілесе, онда

дененің сеулелендіру қабілеті мына формуламен айқындалады (6.5):

$$E = Q\lambda / F\lambda. \qquad (6.5)$$

Сәулелену энергиясы толқын ұзындығы және температураға Т тәуелді. Дене беті бірлігінің уақыт бірлігінде сәулелендіретін жылу мөлшері дененің сәулелендіру қабілеті деп аталады. Стефан-Больцман заңы бойынша абсолютті қара дененің сәуле бөлу қабілеті (сәулелену) оның абсолютті температурасының төртінші дәрежесіне пропорциональды (6.6).

$$Eo = Co\,(T/100)^4 \qquad (6.6)$$

мұндағы: Со - 5,67 ВТ/ ($м^2$ $К^4$) - абсолютті қара дененің сеулелену коэффициенті.

Сәулелік жылу алмасу. Температурасы нольден жоғары (Кельвин шкаласы бойынша) барлық денелер сәулелік энергиямен алмаса алады. Осындай алмасу нәтижесінде температурасы төмен денелер температурасы жоғарғы денелердің энергиясы есебінен қосымша жылу алады. Сәулелік жылу алмасудың маңызды түрлері болып, параллельді орналасқан екі жайпақ дене арасындағы жылу алмасу; бір дене екінші денемен толық қамтылған екі дене арасындағы; кеңістікте еркін орналасқан екі дене арасындағы жылу алмасу табылады.

Газдардың (булардың) көпшілігі диатермиялық (мөлдір) дегенмен, олардың кейбіреулерінің (су буы, көміртегі диоксиді, аммиак және күкірт диоксиді) сәулелік энергияны бөлу және сіңіру қабілеті бар.

Қатты денелер мен сұйықтқтардан ерекше, газдар сәулелік энергияны толқын ұзындығының тек белгілі интервалдарында сұрыпты бөледі және сіңіреді.

Мысалы, көміртегі диоксиді 236-302 мкм, 4,01-4,8 мкм және 12,5-16,5 мкм толқын ұзындығы аралығында сәулелік энергия бөледі және сіңіреді. Толқын ұзындығының басқа диапазондарында CO_2 диатермиялық су буының да сәуле бөлетін және сіңіретін үш ұзындығы бар.

Сәуле шығару арқылы жүретін жылу беру энергияны электромагнитті толқындар түрінде тарату арқылы жүреді. Жылу берудің бұл түрлері жеке калпында сирек кездеседі, көбінесе олар бір-біріне, жалғасып жатады (қатар жүреді).

Жылудың негізгі көздері болып түтінді газдар және электр тоғы табылады. Осы жылу көздерінің көмегімен тікелей жылу тасымалдағыштар: ыстық су, су буы, минералды майлар және т.б. алынады.

Түтінді газдармен су буымен ыстық су алудың негізгі көздері болып табылатын бу қазандары қыздырылады. Тамақ өндірісте негізгі жылу тасымалдағыш су буы болып табылады. Жылу мөлшері (6.7).

$$Q=cm(t_2-t_1), \qquad (6.7)$$

мұндағы Q – жылу мөлшері, m – дене массасы, (t_2-t_1) – денелер арасындағы температуралық айырмашылық бастапқы және соңғы температура;

с – дененің меншікті жылу сыйымдылықтары.

Арастырылатын кеңістікте температурасы жоғары жақтан температурасы төмен жаққа қарай жылудың өздігінен тасымалдануын жылу алмасу деп атайды. Олай болса,температура айырымы жылу тасымалдау процесінің қоздырушы күші болып табылады, ал тасымалданатын жылу шамасы дененің кеңістігіндегі температураның үлестірілу сипатымен, яғни температуралық өріспен байланысты болады.

Температуралық өріс деп уақыттың белгілі кезеңіндегі дененің (кеңістіктің) барлық нүктелеріндегі температура мәндерінің жиынын айтады. Температура уақыт τ бойынша өзгеретін жағдайда температуралық өріс қалыптаспаған, өзгермейтін жағдайда қалыптасқан болады. Жалпы жағдайда (үш өлшемді, қалыптаспаған) температуралық өріс $t = ł(x,y,z, \tau)$ теңдеумен бейнеленеді.

Температуралары бірдей нүктелер изотермиялық бетті құрайды. Изотермиялық беттерді жазықтықпен қиып өтсе, қиылыста изотермиялық сызықтар пайда болады.

Мұндай заттар жылу оқшаулағыш материалдарға жатады. Сұйықтықтар ішінде жылуды ең жақсы өткізетіні су (λ =0,6). Газдар жылуды ең нашар өткізетін заттар болып табылады. Мысалы ауа үшін λ = 0,026 Вт /м К.

Сәулелі жылу алмасу. Сәулелі энергия электромагниттік толқындар арқылы тасымалданады. Электромагниттік сәулелер ішінде толқын ұзындықтары 0,8 ден 800 мкм дейін жылу сәулелердің ғана жылуға айналу дәрежесі жоғары болады.

Барлық денелердің жылу сәулелері бар. Сәулелі жылу алмасу энергияның екі рет түрлену нәтижесінде орындалады. Алдымен жылу энергия сәулелі энергияға айналады, содан соң қайта жылу энергияға өтеді, сәулелі жылу алмасудың негізгі заңдарының бірі- Стеран- Больцмен заңы- дененің бетінен шығарылатын сәулелі ағынның тығыздығы Е мен оның абсолютті температурасын былай байланыстырады:

$$E = \varepsilon \cdot Co\,(T / 100)^4 \qquad (6.8)$$

мұнда ε- дененің қаралық дәрежесі, C_0 =5,67 Вт /(м^2.К^4) -- абсолютті қара дененің (абсолютті қара дене деп бетіне түскен сәулелі энергияны толығымен сіңіріп алатын денені айтады.) сәулелену қажеті.

Әр түрлі "сұр" денелердің қаралық дәрежелері олардың табиғаты, беттің күйі және температурасымен анықталады. Екі денелер арасындағы сәулелі энергияның қорытынды ағыны Q_c , Вт Стеран-Больцман заңының негізінде табылады:

$$Q_c = \varepsilon_k \cdot C_0 \cdot [(T_1 / 100)^4 - (T_2 / 100)^4] \cdot F\,, \qquad (6.9)$$

мұнда Ғ- ның сәулелерді қабылдайтын бет, м^2, ε_k -келтірілген қаралық дәрежеде, сәулелену арқылы жылу алмасатын денелердің қаралық дәрежелеріне тәуелді болатын шама. Газ тәрізді орта мен қоршаған қабырғалар арасындағы жылу сәулелердің қорытынды ағыны (аудан бірлігі үшін):

$$q_c = \varepsilon_k \cdot C_0 \cdot [(T_г / 100)^4 - (T_к / 100)^4]\,, \qquad (6.10)$$

мұнда ε_k - сәулелі жылу алмасу орындалатын жүйенің келтірілген қаралық дәрежесі; $T_г$- газдың температурасы, К; $T_к$ - қабырғаның температурасы, К. Газ тәрізді ортамен қабырғалары арасындағы сәулелі жылу алмасудың қарқындылығы сәулелену жылу беріліс коэффициенті α_c (Вт /(м^2.К) сипатталынады. α_c мәнісі газбен қоршаған қабырғалардың қаралық дәрежелері және температураларына байланысты анықталады.

Конвективтік жылу алмасу.

Сұйықтың немесе газдың макрокөлемдерінің бір-біріне қатысты қозғалуын конвекция деп атайды. Егер конвекция температурасы әр текті ортада орындалатын болса, ортаның макрокөлемдерінің (бөлшектерінің) орын ауыстыру нәтижесінде жылу алмасу пайда болады.

Жылудың конвекциямен тасымалдануына жылу өткізгіштік әр қашан ере жүреді. Мұндай біріктірілген процесс конвективтік жылу алмасу деп аталады.

Техникада көбінесе сұйық (газ) ағыны және қоршаған қатты денелер беттерімен конвективтік жылу беріліс деп аталатын жылу алмасу процесі кездеседі.

Бұл процес сұйықтың (газдың) қозғалу сипатымен байланысты.

Пайда болу табиғаты бойынша сұйықтың (газдың) екі түрлі қозғалуын айырады- еркін және еріксіз. Еркін деп сұйықтың немесе газдың қыздырылған және суық бөлшектерінің тығыздықтары айырымы нәтижесіндегі пайда болатын қозғалысты айтады. Еріксіз қозғалыс (конвекция) сыртқы механикалық қоздырушылар (насостар, желдеткіштер ж.т.б) әрекетінен пайда болады.

Сұйықтың (газдың) ағыны ламинарлы немесе турбулентті тәртіппен қозғалады. Ламинарлы тәртібіне қозғалыс жайбарақат өтеді, сұйықтың қабаттары араласпай, бір-біріне параллельді қозғалады. Турбулентті тәртібінде сұйықтың қозғалысы бейберекет, құйынды болады. Дененің беті мен сұйық (газ) ағыны арасындағы конвективтік жылу берілік процестің қарқындылығын конвективтік жылу беру коэффициент $a_к$(Вт/(м^2.К)) сипаттайды.

Жалпы жағдайда $a_к$ коэффициенттің мәнісі дененің (каналдың) пішініне, оның геометриялық өлшемдеріне, сұйықтың (газдың) қозғалу жылдамдығына, ағыс тәртібіне, сұйықпен қабырғаның температураларына және ағынның физикалық қасиеттеріне тәуелді болады. Конвективтік жылу алмасу кезіндегі беттен сұйыққа берілетін жылу ағыны Ньютон-Рихман теңдеумен есептеледі.

$$Q_к = a_к F (t_б - t_{су}) \qquad (6.11)$$

мұнда F- жылу алмасатын беттің ауданы, м^2, $t_б$ - дене бетінің температурасы, ^{0}C, $t_{су}$ - сұйықтың (газдың) температурасы, , ^{0}C.

Күрделі жылу алмасу және жылуды беру. Нақты жағдайлардың көбінде жылу өткізгіштік, жылудың конвекциясы және сәулеленуі қатарөтеді, яғни күрделі жылу алмасу

орындалады. Мысалы, қазан қондырғының ошағындағы ыстық газ ағыны мен қабырға арасындағы жылу алмасу. Мұндай жағдайда жылу алмасудың қарқындылығын жылу беріліс коэффициеттердің қосындысымен бағалайды: $a = a_к + a_л$. Мұндағы $a_к$ - конвективтік жылу берілік коэффициенті, $a_с$ - сәулелі жылу беріліс коэффициенті.

Сонда қабырға бетінің 1 $м^2$ ауданына конвекция және сәулелену арқылы келіп түсетін жылу ағыны Ньютон-Рихман формуласы негізінде былай анықталады: $q = a (t_{сұ} - t_б)$.

Жылу техникалық құралдарда жылу ыстық ортадан (газдан, сұйықтан) суық ортаға бөліп тұратын қабырға арқылы тасымалданады. Мұндай процес жылуды алып беру деп аталады. Жылуды алып беру процесі ыстық ортадан берке қарай конвективтік жылу берілістен, қабырғаның жылу өткізгіштігінен және беттен суық ортаға қарай конвективтік жылу берілістен тұрады.

Жылу өткізуді есептейтін теңдеулердің түрі қабырғаның бетіне, материалына, температуралар айырымына және т.б. байланысты.

5.2 Жылу алмасу негіздері

Жылу алмасумен физикалық денелер (немесе жүйелер) арасындағы жылу энергиясының алмасуын осы денелер (немесе жүйелер) температураларының әртүрлі болуына байланысты деп атауға болады. Термодинамиканың екінші заңына сәйкес жылудың мұндай тасымалдануы әрдайым қыздырылған денелерден (немесе жүйелерден) қыздырылған денелерге белгілі бір бағытта болады. Жылу кез келген заттарға және тіпті вакуум арқылы таралуы мүмкін.

Нақты жағдайларда жылу алмасу күрделі процесс болып табылады. Бірақ зерттеудің қарапайымдылығы үшін жылу алмасудың қарапайым үш түрі бар: жылу өткізгіштік(кондукция), конвекция және жылу сәулеленуі.

Жылу өткізгіштігі кезінде жылудың тасымалдануы соққы есебінен жүргізіледі.заттардың барлық массасының макроскопиялық қозғалмауы кезінде олардың кристалды торлары — фонондарының серпімді тербелістерінің кванттары. Ең таза түрде жылу өткізгіштікті қатты денелерде және сұйық пен газдың

жұқа қозғалмайтын қабаттарында бақылауға болады. Жылу алмасу металдардағы және жартылай өткізгіштерде еркін электрондардың соғылуы және диффузиясы, сондай- ақ кристалдық тордың серпімді тербелістері есебінен жүзеге асырылады, яғни жылу өткізгіштік екі қосындылардан- электрондық және фотоннан тұрады.

Жылуөткізгіштіктің негізгі заңы-Фурье Заңы

$$q = -\lambda \text{grad } t \qquad (6.12)$$

мұндағы q-меншікті жылу ағыны, Вт/м^2; λ-заттың жылу өткізгіштік коэффициенті, Вт/(м×К); grad t-температура градиенті, К/м.

Жылу конвекциясы деп оны кеңістіктің бір бөлігінен басқа қозғалатын макроскопиялық көлемдермен сұйықтықтың немесе газдың берілу процесін түсінеді. Қозғалыс тудыратын себептерге байланысты конвекция сыртқы күштердің әрекеті есебінен болатын еркін (табиғи) немесе мәжбүрлі болуы мүмкін. Сұйықтықтың немесе газдың табиғи немесе еркін қозғалысы, демек, жылудың конвекциясы, біркелкі қызған ортаның үлес салмағының әртүрлілігімен туындайды; мәжбүрлі, қозғалыс айдамалағыштармен (сорғылармен, желдеткіштермен, компрессорлармен және т.б.) жүзеге асырылады.

Конвекцияны анықтаудан кейін конвекциямен берілетін жылу уақыты бірлігіне тікелей орта қозғалысының жылдамдығымен байланысты болады. Жылу негізінен сұйықтықтың немесе газдың (макроөңдеу) өтетін ағындарының нәтижесінде беріледі, бірақ жылу бөлшектер арасындағы энергия алмасу, яғни жылу өткізгіштік нәтижесінде де таралады. Осылайша, конвекция әрдайым бірге жүреді, жылу өткізгіштік (кондукция), демек, жылу өткізгіштік конвекцияның ажырамас бөлігі болып табылады. Жылу және жылу өткізгіштік конвекциясының бірлескен процесі конвективті жылу алмастырғыш деп аталады. Жылу тасымалдағыштың ағыны мен беті арасындағы конвективті жылу алмасу конвективті жылу беру немесе жылу беру жанасу деп аталады және Ньютон-Рихман формуласын сипаттайды

$$q_k = \alpha_k \Delta t, \qquad (6.13)$$

мұндағы $q_к$-жылудың үлестік ағыны, Вт/м^2; $a_к$ – конвективті жылу беру коэффициенті, Вт / (м×К); Δt-орташа жылыту ортасы мен қыздырылатын бет арасындағы температуралардың айырмасы (температуралық арын), К.

Жылу берілісінің кері коэффициентінің шамасы, 1/α термиялық кедергі деп аталады. Конвективті жылу беру коэффициенті көптеген факторларға байланысты: ағынның жылдамдығы мен қозғалыс сипатына, ағынның пішіні мен мөлшеріне, ортаның қасиеттері мен жағдайына және т. б.

Жылу алмасу кезінде дененің сәулеленуі (сәулелік және радиациялық жылу беру деп аталатын) бір-бірімен жанаспайды және олардың арасындағы жылудың тасымалдануы: $T_1 > T_2$ температураларының айырмасы электромагниттік энергия көмегімен жүзеге асырылады. Электр энергиясының екі рет түрленуі болады – Т1теплоттың температурасы бар денеде сәулеленуге айналады — электромагниттік энергияны тасымалдаушы, ал T_2 температурасы бар денеде сәулеленудің сіңуі нәтижесінде электромагниттік энергия қайтадан жылуға айналады.

Орташа абсолютті температурасы Тс тең болатын, Тсорта абсолюттік температурасымен сәуле шығарғыш ортадан алынған жылу ағыны Стефан—Больцман заңынан туындайтын формула бойынша анықталады:

$$q_л = \sigma_0 \varepsilon_{пр} (T_{окр}^4 - T_{окр}^4), \qquad (6.14)$$

мұндағы $q_л$ – жылу ағынының тығыздығы, Вт/м^2; σ_0 — сәулелену коэффициенті, Вт/(м^2×К^4); $e_{пр}$ — зерттейтін ортаның қасиеттеріне және бір бірлік үшін қабылданатын абсолюттік қара дененің қара картотының дәрежесінен үлесіндегі өрнектерде және үстіңгі қабатына байланысты көрсетілген қара түсті қара қабаттың дәрежесі.

Жылу алмасу теориясында кез келген жазықтықтан белгілі уақытта өтетін жылу ағыны Q, Вт әрпімен белгіленеді. Демек,

$$q = Q/F; Q = qF. \qquad (6.15)$$

Жылу алмасудың көрсетілген қарапайым үш түрінің кез келген үйлесімі болуы мүмкін. Мұндай күрделі жылу алмасу,

әрдайым нақты жағдайларда орын алады, шын мәнінде жылу беру деп аталады. Оның мысалы, оттықта және газ жолдарында орналасқан құбырлармен қозғалатын бу қазандығы мен су арасындағы жылу алмасу. Жылулықты жанып жатқан отынның алауынан Құбыр қабырғаларының сыртқы бетіне беру сәуле шығару арқылы жүзеге асырылады; ыстық газдардан осы беттерге - конвективті жылу беру арқылы, құбыр қабырғалары арқылы – жылу өткізгіштігімен, ал ішкі қабырғалардан суда – конвективті жылу бергішпен беріледі.

Жылу өткізгіштік. Жылу өткізгіштігі есебінен жылуды тасымалдау дене көлемі бойынша температураның бөлінуіне байланысты. Қазіргі уақытта дененің барлық нүктелерінде температура мәндерінің жиынтығы температура өрісі деп аталады. Температура өрісінің математикалық өрнегі t температурасын кез келген нүктенің кеңістіктік координаталарымен x, y, z қазіргі уақытта t байланыстырады: $t = f(x,y,z,\tau)$.

Егер температура тек кеңістіктік координаталардың (x, y, z) функциясы болса, онда мұндай өріс стационарлық немесе орнатылған деп аталады. Алайда, дененің әр нүктесінің температурасы t уақытына байланысты, яғни $t = f(x, y, z, t)$, сонда өріс стационарлық емес немесе орнатылмаған деп аталады. Мысалы, пеште қыздырылатын Болат дайындаманың стационарлық емес алаңы бар, ал ғимараттың қыздырылатын қабырғасында әр нүктенің температурасы уақыт бойынша өзгермейді және оның температуралық алаңы стационарлық болады.

Мұндай тұрақталынған жылу режімінде

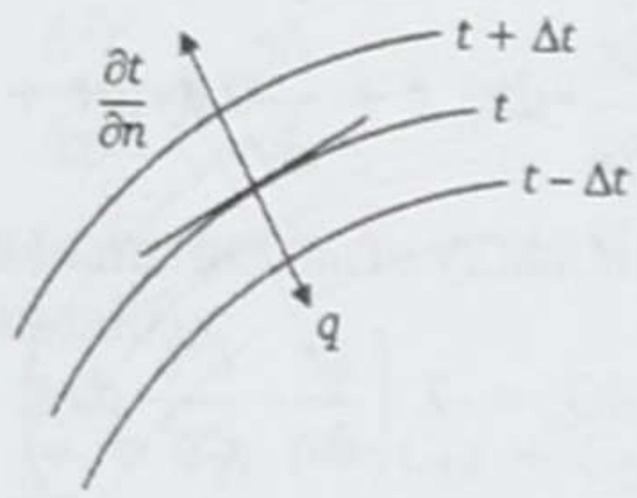
$$dt/d\tau = 0; \text{ және } t = f(x,y,z). \qquad (6.16)$$

Температураға тең нүктелерді біріктіретін бет изотермиялық деп аталады. Фурье Заңы бойынша

$$q = -\lambda / \text{grad } t = -\lambda\, dt/dn. \qquad (6.17)$$

Теңдеудегі минус белгісі q векторы grad t векторына қарама-қарсы бағытталғанын көрсетеді, яғни температураның ең үлкен азаю жағына қарай (6.4- сурет).

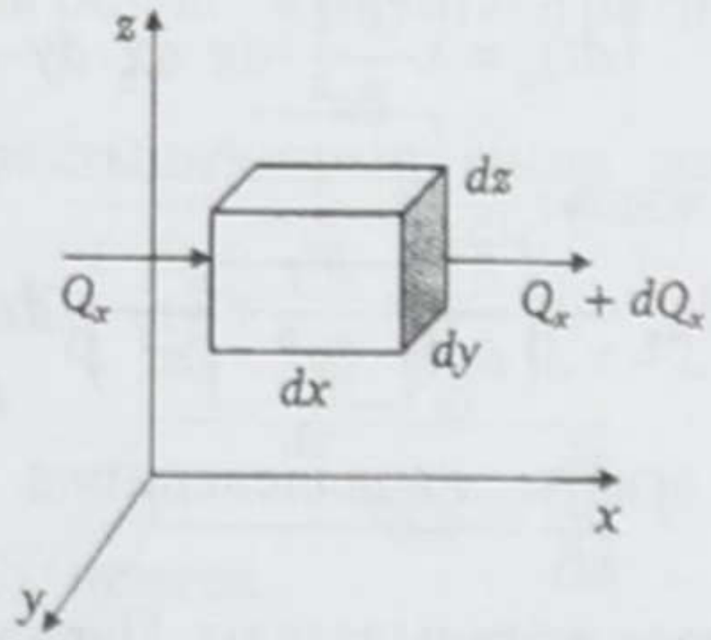
Сондықтан жылу өткізгіштік коэффициенті ұзындығы бірлігіне температураның бір градусқа түсуі кезінде материал бетінің бірлігі арқылы уақыт бірлігіне ауыстырылатын жылу мөлшері болып табылады. Тәжірибелік жолмен жылу өткізгіштік коэффициенті заттың қасиеттеріне (оның тығыздығына, құрылымына, ылғалдылығына және т.б.) және күй параметрлеріне (қысымына, температурасына) байланысты екендігі анықталды. n нормаль бойынша изотермиялық беткетемператураның өзгеруі температуралық градиент деп аталады.



6.4 -сурет. Фурье заңын түсіндіру

Жылуөткізгіштіктің дифференциалдық теңдеуі. Жылуөткізгіштік арқылы жылу тасымалдау есептерін шешу үшін температура мен уақыттың кеңістікте таралуын сипаттайтын теңдеу қажет.

Біртекті және изотропты дене ішінен қабырғалары dx,dy,dz болатын қарапайым параллелепипед бөліп аламыз. Мұның ішіндегі параметрлер р тыңыздық) ,C_p (жылусиымдылық), λ (жылуөткізгіштік коэффициенті) тұрақты деп қабылдаймыз (6.5-сурет).



6.5- сурет. Жылуөткізгіштік теңдеуін шығаруға арналған

Параллелепипед беттеріне кіретін жылу ағындарын координата бағыттары бойынша үшке бөлеміз:

$$\begin{cases} Q_x = -\lambda \cdot \dfrac{\partial t}{\partial x} \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau, \\ Q_y = -\lambda \cdot \dfrac{\partial t}{\partial y} \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau, \\ Q_z = -\lambda \cdot \dfrac{\partial t}{\partial z} \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau. \end{cases} \tag{6.18}$$

Қарама қарсы беттерден шығатын жылу ағындарының температуралары біршама жоғарылап мына түрде шығады

$$t + \frac{\partial t}{\partial x} \cdot dx;\ t + \frac{\partial t}{\partial y} \cdot dy;\ t + \frac{\partial t}{\partial z} \cdot dz. \tag{6.19}$$

Сонда шығатын жылу ағындарының шамасы:

$$\begin{cases} Q_x + dQ_x = -\lambda \cdot \left(\dfrac{\partial t}{\partial x} + \dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2} \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau, \\ Q_y + dQ_y = -\lambda \cdot \left(\dfrac{\partial t}{\partial y} + \dfrac{\partial^2 t}{\partial y^2} \cdot dy \right) \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau, \\ Q_z + dQ_z = -\lambda \cdot \left(\dfrac{\partial t}{\partial z} + \dfrac{\partial^2 t}{\partial z^2} \cdot dz \right) \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau. \end{cases} \tag{6.20}$$

Осыдан қосылған жылу мөлшерлері координата өстерінің бойымен мына түрге ие болады:

$$\begin{cases} dQ_x = \lambda \cdot \dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau, \\ dQ_y = \lambda \cdot \dfrac{\partial^2 t}{\partial y^2} \cdot dy \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau, \\ dQ_z = \lambda \cdot \dfrac{\partial^2 t}{\partial z^2} \cdot dz \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau. \end{cases} \tag{6.21}$$

Толық өскен жылу:

$$dQ = dQ_x + dQ_y + dQ_z = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau. \tag{6.22}$$

Осы жылу ағыны параллелепипед температурасын $d\tau$ уақытта $\frac{\partial t}{\partial \tau} d\tau$. шамаға жоғарылатады. Параллелепипед көлемінде температураны жоғарылататын жылу мынаны құрайды

$$dQ = \rho \cdot C_p \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} d\tau. \qquad (6.23)$$

Жоғарыдағы (6.22) және (6.23) теңдеулерін теңестіріп жылу өткізгіштіктің дифференциальдық теңдеуін аламыз:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho \cdot C_p}\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right) = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right), \qquad (6.24)$$

мұндағы а - температураөткізу коэффициенті, $м^2/с$.

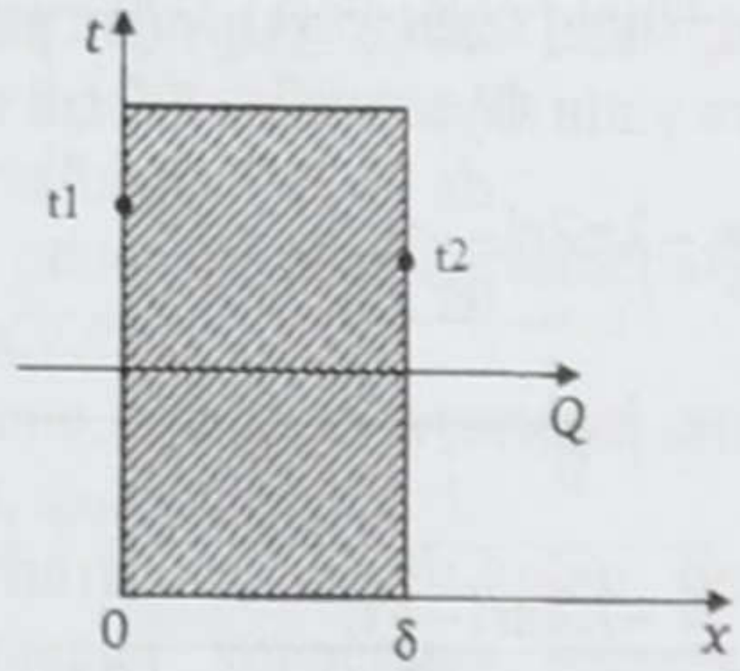
Бір өлшемді стационарлы температуралыө өрісте (6.24)-теңдеу мына түрге ие болады

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0. \qquad (6.25)$$

Осы теңдеуді жазық бетке (6.6- сурет) қолданып шешейік. (6.25)- теңдеуін интегралдайық:

$$\frac{\partial t}{\partial x} = C_1;\ t = C_1 x + C_2,$$

мұндағы C_1, C_2 – интегралдау тұрақтылықтары.



6.6- сурет. Жазық беттегі жылуөткізгіштік теңдеуін шешу.

Интегралдау тұрақтылықтарын мына жағдайлар арқылы табамыз:

$x = 0$ $t = t_1$, сонда $C_2 = t_1$;

$x = \delta$ $t = t_2$, сонда

$$t_2 = C_1 \delta + C_2 \text{ немесе } \qquad t_{ст2} = \frac{\partial t}{\partial x} \cdot \delta + t_{ст1}.$$

Бұдан:

$$-\frac{\partial t}{\partial x} = \frac{t_{ст1} - t_{ст2}}{\delta}. \qquad (6.26)$$

(6.26) теңдеуін төмендегі (6.27) теңдеуге қойып

$$dQ = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \cdot df \cdot d\tau, \qquad (6.27)$$

мына теңдеуді аламыз

$$dQ = \lambda \frac{t_{ст1} - t_{ст2}}{\delta} \cdot df \cdot d\tau \qquad (6.28)$$

немесе

$$Q = \lambda \frac{t_{ст1} - t_{ст2}}{\delta} \cdot f \cdot \tau. \qquad (6.29)$$

Көп қабатты жазық бет үшін (6.29) теңдеу мына түрде жазылады

$$Q = \frac{(t_{ст1} - t_{ст2}) \cdot f \cdot \tau}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \qquad (6.30)$$

мұндағы і -қабат нөмірі; n- қабат саны.

Ұзындығы l, ішкі және сыртқы радиустары $r_{ішк}$, $r_{сырт}$ цилиндрлі қабырға үшін Фурье заңы былай жазылады

$$Q = -\lambda \pi 2rl \frac{dt}{d\delta} \tau, \qquad (6.31)$$

мұндағы r ағымдағы радиус, $\delta = r_{сырт} - r_{ішк}$,

Сонда

$$Q = -\lambda 2\pi rl \frac{dt}{dr} \tau. \qquad (6.32)$$

Айнымалаларды бөліп интегралдаймыз

$$\int_{r_{вн}}^{r_н} \frac{dr}{r} = -\lambda \cdot \frac{2\pi l \tau}{Q} \cdot \int_{t_{ст1}}^{t_{ст2}} dt, \qquad (6.33)$$

Осыдан

$$\ln \frac{r_н}{r_{вн}} = -\frac{\lambda 2\pi l \tau}{Q} \cdot (t_{ст2} - t_{ст1}). \qquad (6.34)$$

Бұдан

$$Q = \frac{2\pi l\tau \cdot (t_{ст1} - t_{ст2})}{\frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_н}{r_{вн}}} \qquad (6.35)$$

немесе

$$Q = \frac{2\pi l\tau (t_{ст1} - t_{ст2})}{\frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{d_н}{d_{вн}}}. \qquad (6.36)$$

Әр түрлі пішіндегі денелерді сұйық немесе газ тәріздес ағындармен қыздырылса немесе суытылса стационарлық емес жылуөткзгіштік болады.

Инженерлік тәжірибеде бұл есеп дененің білгілі бәр температураға дейін қыздырылу уақытын, немесе белгілі бір уақыт ішінде жететін температурасын және жылу ағынын есептеуге қажет.

Стационарлық емес жылуөткзгіштікті сипаттау үшін (6.24) теңдеуді пайдаланады. Оны шешу үшін бастапқы және шектік жағдайлар белгілі болу керек:

- бастапқы жағдайлар бастапқы уақытта температураның таралуын сипаттайды $\tau = 0$, $t = f_1(x,y,z,0)$;
- шектік жағдайлар:
- бірінші – дене бетіндегі температураның таралуын сипаттайды, $t_{бет} = f_2(x,y,z,\tau)$;
- екінші – дене бетіндегі меншікті жылу ағындарының таралуын сипаттайды, $q_{бет} = f_3(x,y,z,\tau)$;
- жылуөткізгіштікпен дене ішіне берілетін меншікті жылу ағынының денеден конвекция арқылы сыртқы ортаға

$$\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha \cdot (t_{пов} - t_{\infty}).$$

тарайтын ағынның теңдігі,

Бұл теңдеулердің аналитикалық шешімдері өте күрделі болғандықтан инженерлік тәжірибеді айнымалыларды қысқарту үшін оларды өлшемсіз кешендерге біріктіру арқылы графо-аналитикалық әдістер пайдаланылады.

Дененің ішіндегі кез келген нүктесіндегі өлшемсіз температура ($\Theta = t/t_0$) мына критериялды теңдеу арқылы сипатталады

$$\Theta = \frac{t}{t_0} = f(Bi, Fo, \Gamma), \tag{6.37}$$

мұндағы t_0 – температура масштабы; Bi = αl/λ – Био критериі; Fo = а τ/ l^3 – Фурье критериі; Г = х/l – геометриялық симплекс; l – геометриялық өлшем; х- дене бетінен ішіндегі берілген нүктеге дейінгі өлшем.

Конвективті жылу алмасу кезінде қабырға мен сұйық арасындағы жылу беру өте күрделі процесс. Есепті жеңілдету үшін жылу берудің негізгі теңдеуі пайдаланылады (Ньютон заңы):

$$dQ = \alpha \cdot (t_{Ст} - t_{ж}) \cdot df \cdot d\tau, \tag{6.38}$$

мұндағы α – жылу беру коэффициенті, Вт/($м^2$К).

Бұл теңдеуді аппараттың барлық бетіне пайдаланса мына түрге ие болады

$$Q = \alpha \cdot (t_{Ст} - t_{ж}) \cdot f\tau. \tag{6.39}$$

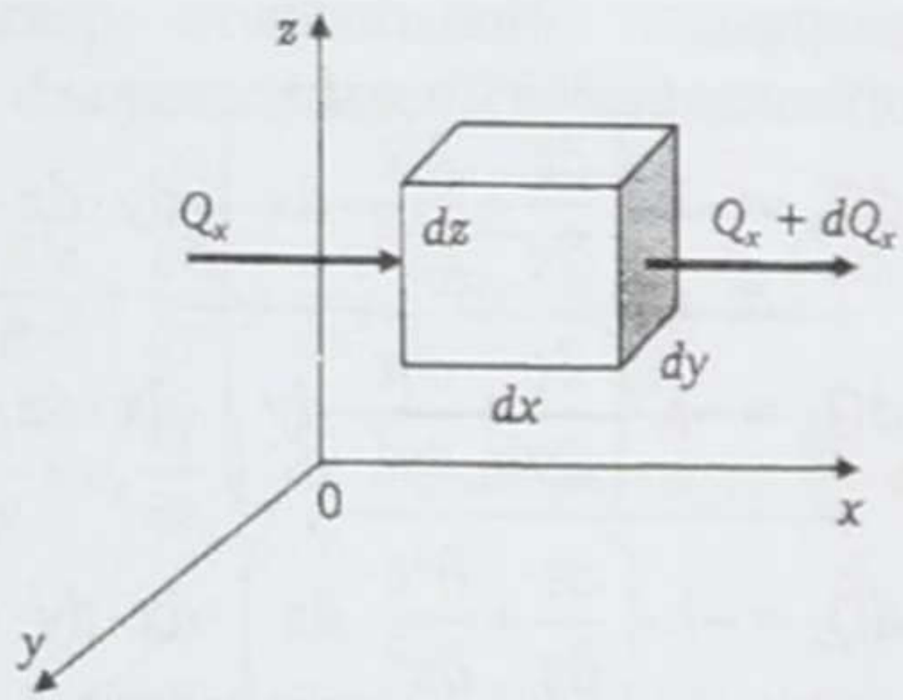
Жылу беру коэффициенті (α) қабырға мен сұйықтық арасындағы температура айырмашылығы кезінде уақыт бірлігінде бір бет бірлігі арқылы берілетін жылу мөлшерін сипаттайды.

Бұл коэффициент көптеген айнымалыларға байланысты күрделі функция. Сондықтан оны былай жазуға болады:

$$\alpha = f(v, \rho, \mu, c_p, \lambda, \beta, d, l, \ldots). \tag{6.40}$$

Бұдан көретініміз α коэффициенті ағын режіміне, жылуфизикалық және геометриялық параметрлерге тәуелді екені. Есепті жеңілдету үшін ұқсастық теориясына жүгінеміз.

Конвективті жылуалмасудың дифференциальдық теңдеуі. Біртекті және изотропты дене ішінен қабырғалары dx,dy,dz болатын қарапайым параллелепипед бөліп аламыз (6.7-сурет). Мұның ішіндегі параметрлер р тыңыздық) ,C_p (жылусиымдылық), λ (жылуөткізгіштік коэффициенті) тұрақты деп қабылдаймыз. Сұйық ішіндегі жылу конвекция және жылуөткізгіштік арқылы берілетін болғандықтан, әр қабырғаға кіретін жылу ағындары былай жазылады.



6.7- сурет. Конвективті жылу алмасудың дифференциалды теңдеуін анықтау

Жылуөткізгіштік арқылы берілетін жылу ағыны:

$$Q_x = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$Q_y = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial y} \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$Q_z = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial z} \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau. \qquad (6.41)$$

Конвекция арқылы берілетін жылу ағыны:

$$Q_x = t \cdot \upsilon_x \cdot \rho \cdot c_p \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$Q_y = t \cdot \upsilon_y \cdot \rho \cdot c_p \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$Q_z = t \cdot \upsilon_z \cdot \rho \cdot c_p \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau, \qquad (6.42)$$

мұндағы υ_x, υ_y, υ_z, - υ жылдамдығының x,y,z координата өстеріне жасайтын проекциялары.

Қарама қарсы беттерден шығатын жылу ағындарының температуралары біршама жоғарылап мына түрде шығады

$$t + \frac{\partial t}{\partial x} \cdot dx;\ t + \frac{\partial t}{\partial y} \cdot dy;\ t + \frac{\partial t}{\partial z} \cdot dz. \qquad (6.43)$$

Қабырғалардан шығатын жылу ағындары.

Жылуөткізгіштікпен шығатын жылу ағыны:

$$Q_x + dQ_x = -\lambda \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$Q_y + dQ_y = -\lambda \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial y} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \cdot dy \right) \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$Q_z + dQ_z = -\lambda \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial z} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \cdot dz \right) \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau.$$

(6.44)

Конвекция арқылы шығатын жылу ағындары:

$$Q_x + dQ_x = c_p \cdot \rho \cdot \left(v_x \cdot t + \frac{\partial (v_x \cdot t)}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$Q_y + dQ_y = c_p \cdot \rho \cdot \left(v_y \cdot t + \frac{\partial (v_y \cdot t)}{\partial y} \cdot dy \right) \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$Q_z + dQ_z = c_p \cdot \rho \cdot \left(v_z \cdot t + \frac{\partial (v_z \cdot t)}{\partial z} \cdot dz \right) \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau.$$

(6.45)

Параллелепипедке берілген жылу мөлшерін анықтау үшін барлық кіретін және шығатын жылу ағындарының қосындыларының айырымынан мынаны анықтаймыз:

$$dQ = \lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau -$$

$$- \rho \cdot c_p \cdot \left[\frac{\partial (v_x \cdot t)}{\partial x} + \frac{\partial (v_y \cdot t)}{\partial y} \cdot \frac{\partial (v_z \cdot t)}{\partial z} \right] \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau.$$

(6.46)

Квадрат жақшадағы өрнектерді түрлендірсек:

$$v_x \frac{\partial t}{\partial x} + v_y \frac{\partial t}{\partial y} + v_z \frac{\partial t}{\partial z} + t \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right).$$

(6.47)

Сығымдалмайтын сұйықтықтардың ағынының үздіксіздігі:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0.$$

(6.48)

(6.47), (6.48) ескере отырып (6.46) теңдеуін қайта жазып, параллелепипедте dτ уақытында жиналған dQ жылуларды теңестіреміз:

$$\lambda\cdot\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 t}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right)\cdot dx\cdot dy\cdot dz\cdot d\tau-$$

$$-\rho\cdot c_p\cdot\left(v_x\frac{\partial t}{\partial x}+v_y\frac{\partial t}{\partial y}+v_z\frac{\partial t}{\partial z}\right)\cdot dx\cdot dy\cdot dz\cdot d\tau=\rho\cdot c_p\cdot\frac{\partial t}{\partial\tau}\cdot dx\cdot dy\cdot dz\cdot d\tau. \qquad (6.49)$$

Бұл теңдеуді түрлендірген соң стационарлы емес жылуалмасу үшін конвективті жылу алмасудың дифференциалдық теңдеуін аламыз:

$$a\cdot\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 t}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right)=v_x\frac{\partial t}{\partial x}+v_y\frac{\partial t}{\partial y}+v_z\frac{\partial t}{\partial z}+\frac{\partial t}{\partial\tau}. \qquad (6.50)$$

Бұл теңдеу қатты денелер үшін тұрақталынған процестегі жылуөткізгіштік дифференциалдық теңдеуіне айналады.

(6.50)- теңдеуін шешу үшін бастапқы t = (x,y,z,0) және шектік жағдайларға байланысты жылдамдық өрісін (Навье- Стокс) сипаттайтың теңдеумен толықтыру қажет.

Үшінші шекті жағдайды қолдана отырып мына теңдеуді анықтайды:

$$-\lambda\cdot\frac{\partial t}{\partial\delta}=\alpha\cdot(t_{Ст}-t_{ж})=\alpha\cdot\Delta t, \qquad (6.51)$$

мұндағы δ – шектік қабат қалыңдығы.

Негізінен, бұл теңдеулер жылу ұқсастығының критерийлерін ашуға пайдаланылады.

Ұқсатсық критерийлерін алу үшін процессті анықтайтың теңдеуді өлшемсіз түрге келтіреміз. Ол үшйн мына масштабтарды кіргіземіз: ұзындық- l_0, температура -t_0, уақыт -τ_0 , жылдамдық - υ_0. Жоғарыдағы (6.50)- теңдеуіндегі айнымалыларды осы масштабтарға бөліп өлшемсіз шамаларды аламыз:

$$x_+=\frac{x}{l_0};\ y_+=\frac{y}{l_0};\ z_+=\frac{z}{l_0};\ \tau_+=\frac{\tau}{\tau_0};\ t_+=\frac{t}{t_0};\ v_+=\frac{v}{v_0}. \qquad (6.52)$$

Осы шамаларға байланысты (6.50) – теңдеу мына өлшемсіз түрге келтіріледі

$$\frac{a\cdot t_0}{l_0^2}\cdot\left(\frac{\partial^2 t_+}{\partial x_+^2}+\frac{\partial^2 t_+}{\partial y_+^2}+\frac{\partial^2 t_+}{\partial z_+^2}\right)=$$

$$=\frac{t_0}{\tau_0}\cdot\frac{\partial t_+}{\partial \tau_+}+\frac{v_0\cdot t_0}{l_0}\cdot\left(v_{x+}\frac{\partial t_+}{\partial x_+}+v_{y+}\frac{\partial t_+}{\partial y_+}+v_{z+}\frac{\partial t_+}{\partial z_+}\right). \quad (6.53)$$

Теңдеудегі өлшемсіз шамалардың коэффициенттері бірдей өлшем бірлігіне ие болады. Сонда:

$$\left[\frac{a\cdot t_0}{l_0^2}\right]=\left[\frac{t_0}{\tau_0}\right]=\left[\frac{v_0\cdot t_0}{l_0}\right]. \quad (6.54)$$

Алынған теңдеулерден мынандай өлшемсіз критерийлер алынады:

- Фурье критерий:

$$F_0=\frac{a\cdot\tau_0}{l_0^2}; \quad (6.55)$$

- Пекле критерийі:

$$Pe=\frac{v_0\cdot l_0}{a}=\frac{\nu}{a}\cdot\frac{v_0\cdot l_0}{\nu}=Pr\cdot \mathrm{Re}. \quad (6.56)$$

- Нуссельт критерий:

$$\mathrm{Nu}=\frac{\alpha\cdot l_0}{\lambda}. \quad (6.57)$$

- Грасгофт критериі:

$$Gr=\frac{gl^3\beta\Delta t}{\nu^2}, \quad (6.58)$$

мұндағы β- көлемдік кеңейу коэффициенті; Δt – жылу тасымалдағыш пен қабырға температурасының айырымы.

Осы критерийлерді пайдаланып (6.40) теңдеуін былай жазуға болады

$$\mathrm{Nu}=\varphi(\mathrm{Re}, Fr, Pr, Fo, \Gamma_1, \Gamma_2, \ldots, \Gamma_n). \quad (6.59)$$

Табиғи конвекция кезінде

$$\mathrm{Nu}=\varphi''(Pr, Gr, \Gamma). \quad (6.60)$$

6.3 Жылу алмастырғыш аппараттар

Жылу алмасатын сұйықтар мен газдарды жылу тасығыштар деп атайды.

Бір жылу тасығыштан екіншіге жылу тасымалдау орындалатын құрылғыны жылу алмастырғыш аппарат деп атайды.

Әрекет негізі бойынша аппараттарды рекуперативтік, регенеративтік, араластырулық және ішкі жылу қорымен қамтылған түрлеріне бөледі. Рекуперативтік аппаратта жылу ыстық жылу тасығыштан суық жылу тасығышқа оларды айырып тұратын қабырға қыздыру бет арқылы тасымалданады. Олар, мысалы, бу және су қыздыратын қазандар, конденсаторлар ж.т.б.).

Регенеративтік жылу алмастырғыш аппаратында ыстық және суық жылу тасығыштар қыздыру бет бойымен кезегімен өтіп шығады.Жылу алмасу бет бойымен ыстық жылу тасығыш ағып өткен кезде, қабырға жылуды қабылдап, қыздырылады, ал жылу тасығыш суып аппараттан шығарылады. Енді кезек суық жылу тасығышқа келеді. Ол ыстық бет бойымен өтіп шығу барысында қыздырылады. Мұндай аппараттарға қазан қондырғылардың және металлургия пештердің ауа қыздырғыштары жатады, сусымалы материалдарды қолданатын регенераторлар ж.т.б. жатады.

Араластырулық аппараттарда жылу алмасу ыстық және суық жылу тасығыштардың бір-бірімен араластыру нәтижесінде орындалады. Мұндай аппараттарға градирня, скруббер ж.т.б. жатады.

Ішкі жылу қорымен қамтылған жылу алмастырғыштарда әдеттегідей екі емес, бір жылу тасығыш қолданылады. Ол аппараттың өзінде бөлінетін жылуды қабылдайды. Мысалы, ядролық реактор, электркыздырғыштар ж.т.б.

Жылу алмастырғыш аппараттар әр түрлі болғанымен жылуға есептелудің негізгі ережелері барлығы үшін бірдей болады. Аппараттардың жылуға есептелуі жұмысының қалыптасқан тәртібі үшін жүргізіледі және екі негізгі теңдеулердің шешуіне негізделеді. Олар жылу баланс теңдеуі және жылуды алып беру теңдеуі.

Жылу алмасу үдерісі тамақ өнімдерін, шикізаттарын және жартылай фабрикаттарын қыздыру, қайнату, қоюландыру немесе температурасын тұрақтандыру аппараттарында өтеді. Тамақ өнеркәсібінде жылуалмасу процестерін жүргізу барысында қолданылатын аппараттар жылуалмастырғыштар деп аталады. Жылуалмасу аппараттарының құрылысы алуан түрлі болып келеді. Жылуалмастырғыштар әр түрлі конструкциялы болып ерекшелінеді, олар аппараттың тағайындаумен және процестерді өткізу шарттарымен түсіндіріледі.

Жылу алмастырғыш дегеніміз - бір денеден екінші денеге жылу беретін құрылғы. Жылу алмастырғыш аппаратында әр түрлі жылу процестері өтеді: температура өзгеруі, булану, қайнау, еру, қоюлану және т.б. Мұндай аппараттар тамақ өнеркәсібінің көптеген салаларында қолданылады. Жұмыс атқару реті бойынша жылу алмастырғыш беттік немесе араластырушы болып бөлінеді. Беттік аппараттарда жылу тасымалдағыштар қатты жылу өткізгіш қабаттармен (жылыту беттерімен) бөлінген. Араластырғыш жылуалмастырғыштарда жылу және масса алмасу процестері сұйық немесе газ тәріздес жылутасымалдағыштардың араласуы арқылы өтеді. Жылу тасымалдау және өткізу орталарына су буы, ыстық су, май, арнайы тұздар ерітіндісі, кейбір органикалық сұйықтар, отын газдары жатады.

Қызметіне қарай жылуалмастырғыштар рекуперативті, регенеративті және аралас болып бөлінеді (градирнялар, скрубберлар, конденсаторлар және т.б.). Рекуперативті жылуалмастырғыштарда жылутасымалдағыштар қабырғамен бөлінген және жылу бір жылутасымалдағыштан екіншісіне оларды бөліп тұрған қабырға арқылы беріледі.

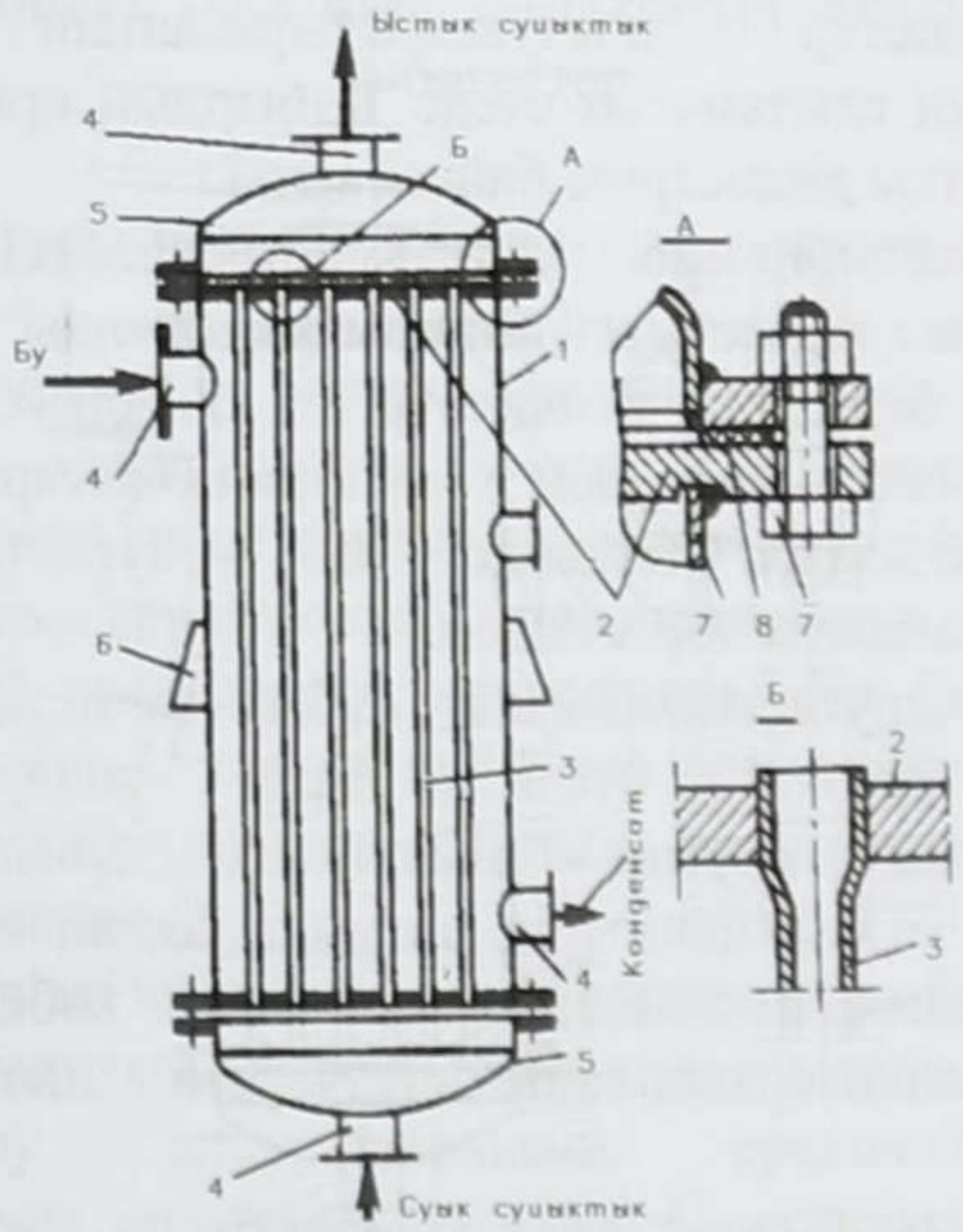
Регенеративті жылуалмастырғыш аппараттардың жылуалмасу бет кезегімен ыстық және суық жылутасымалдағыштармен жуылып отырады. Егер ыстық жылу тасымалдағышыпен жуылса аппарат ысиды, ал егер суық тасымалдағышыпен жуылса аппарат суыйды. Осылайша жылу алмасу беті ыстық жылутасымалдағышты қабылдағаннан кейін өз жылуын суық жылутасымалдағышқа береді.

Әрекет негізі бойынша беттік және түйіспе (араластырулық) аппараттарды айырады. Беттік аппараттарда жылу жоғары температуралы ортадан қатты қабырғаға (қоймаға) беріледі, одан – төмен температуралы ортаға өтеді. Түйіспе (араластырулық)

аппараттарда жылу алмасу жылу тасушылардың тікелей түйісіп, араластырылу нәтижесінде орындалады, және, әдетте, бұл процеспен қатар масса алмасу да жүреді. Екі жылу тасушыларды айырып тұратын қатты қабырғаның беті жылу алмасу беті немесе қыздыру беті деп аталады, ал егер масса да тасымалданатын болса –жылу-масса алмасу бетідеп аталады.

Аралас аппараттарда жылудың берілуі жылутасымалдағыштардың тікелей жанасуы арқасында болады. Рекуперативті жылуалмастырғыш аппараттар құбыр тәрізді, спираль тәрізді, жылан тәрізді, пластинкалы, оросительді және жейделі аппараттар болып бөлінеді. Құбыр тәрізділер ерекше бір топ құрайды.

Сырты құбырмен қапталған жылуалмастырғыш аппараттар тамақ өнеркәсібінде көп конструкциялы болып бөлінеді. Жылуалмастырғыш аппараттар қозғалмайтын құбыр тәрізді бағаналардан, екі жағынан жылытқыш тор құбырлары бар пісірілген цилиндр тәрізді корпустан тұрады (6.8-сурет).



6.8 - сурет Тік бір жолды қаптама құбырлы жылуалмастырғыш: а-құбырлы торды бекіту тәсілі; б- құбырды құбырлы торға бекіту

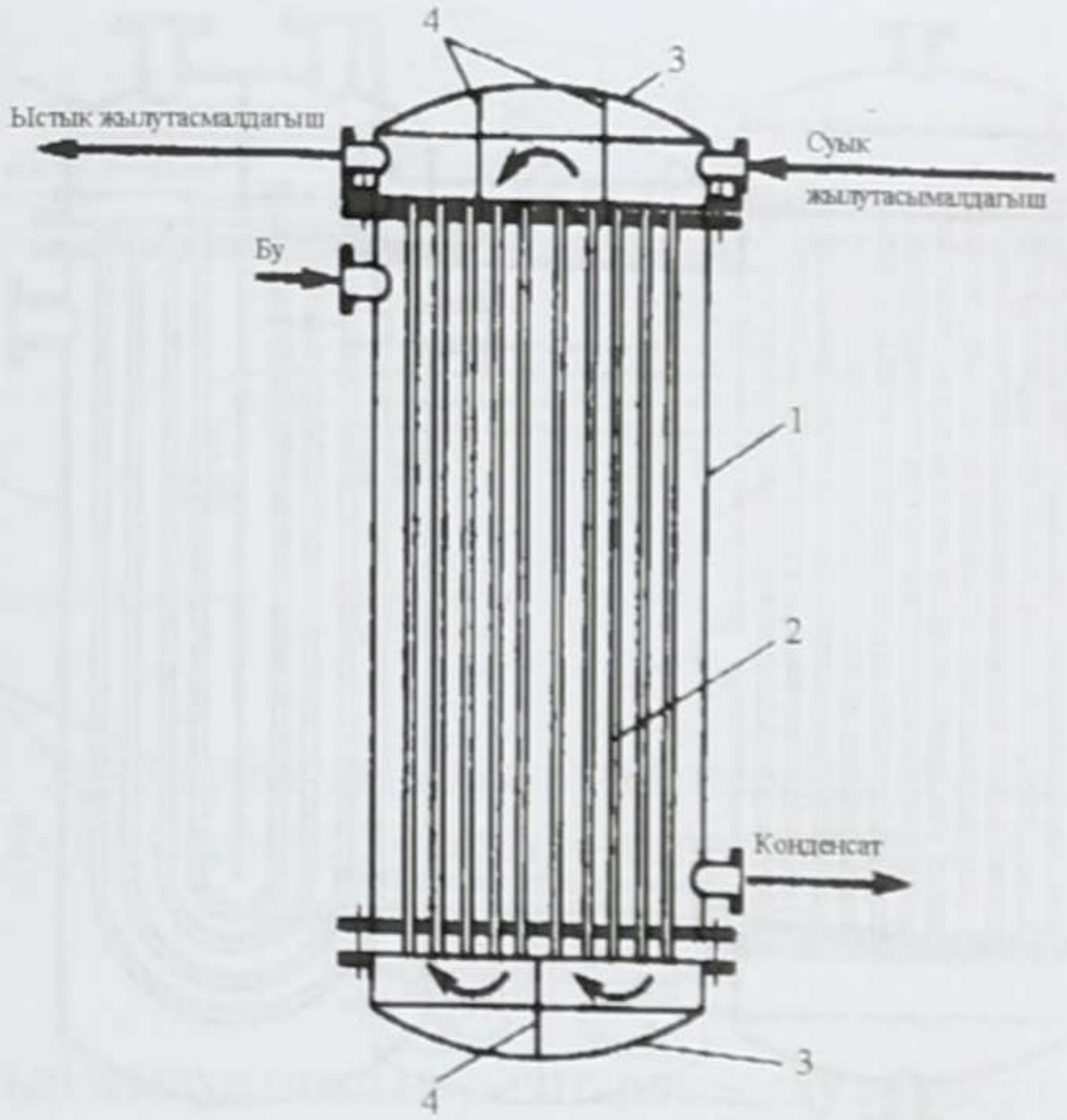
Құбырлы кеңістіктегі жылуалмастырғыштың барлық корпусын құбыр шоғыры бөліп тұрады. Корпусқа екі қақпақ болт арқылы бекітіледі. Жылутасымалдағышты кіргізіп шығару үшін қақпақтарында патрубкалар бар. Жылутасымалдағыштың бір ағыны (мысалы, сұйық) құбырлы кеңістікке бағытталған, жылуалмастырғыштын құбырлары арқылы өтіп жоғары қақпақтағы патрубка арқылы шығады. Жылутасымалдағыштың келесі ағыны (мысалы: бу) құбыр аралық кеңістігіне беріледі, жылытатын құбырлардың сыртқы бетін қыздырады және жылуалмастырғыштың корпусынан патрубка арқылы шығады конденсат түрінде. Жылутасымалдағыштардың жылу алмасуы құбырлардың қабырғалары арқылы іске асырылады.

Жылытатын құбырлар құбырлы торларға пісіру арқылы немесе жаншып қақтау тәсілдерімен бекітіледі (6.8 а - сурет). Жылытатын құбырлар болаттан, латуннан және мыстан жасалады. Жылытатын құбырлар құбырлы торларда әртүрлі тәсілдермен орналасады: дұрыс алты бұрыштың жақтары, квадраттың жақтары бойынша және концентрлі шеңберлер бойынша (6.8 б - сурет). Мұндай әдістер жылуалмастырғыштың компактілі конструкциясың қамтамасыз етеді. Құбырдың орналасу қадамы құбырдың сыртқы диаметріне байланысты.

Жылуалмастырғышта жылуалмасу процесің қарқындату мақсатымен жылуалмастырғыштарды көп жолды жасайды, яғни құбырларды бірнеше секцияларға бөледі. Көп жолды жылуалмастырғышты алу үшін төменгі және жоғарғы қақпақтарға бөгеттер орнатылады. Төмендегі 6.9 - суретте көп жолды жылуалмасу аппараты көрсетілген.

Мұнда жылутасымалдағыш құбыр кеңістігінде 4 түрлі жолдармен жүріп өтеді. Бұл жылутасымалдағыш жылдамдығының артуына көмектесіп, құбыр кеңістіктегі жылудың өту коэффициентінің артуына ықпал етеді. Сонымен бірге жылутасымалдағыштың жылдамдығын көбейеді. Құбырлы кеңістіктегі секциялардың саны бөгеттердің санына байланысты. (6.10-сурет).

Жоғарыдағы суреттерде көрсетілген құбыр тәрізді жылуалмасу аппараттары корпус пен құбыр аралығындағы 25÷30°С әртүрлі температурада сенімді жұмыс атқаруға болады. Өте жоғары температурада аппарат істен шығып қалуы мүмкін.



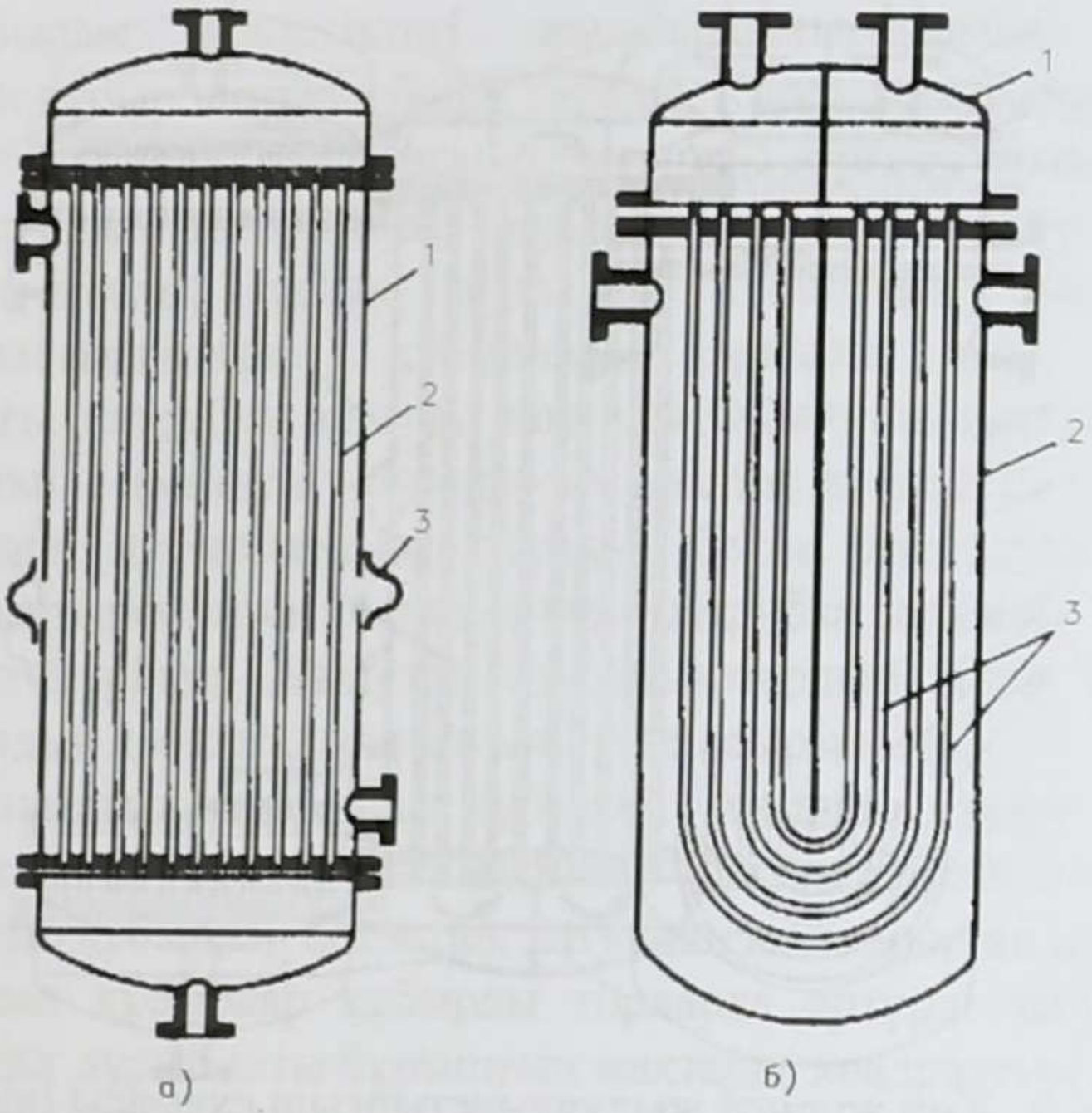
Сурет 6.9. Көп жүрісті жылуалмастырғыш схемасы (құбырлы кеністік бойынша): 1-каптама; 2-ысытатын құбыр; 3-қақпақтар; 4-бөгеттер

Сондықтан жоғары температурада қолданылатын аппараттар іске қосылады.

Температураларды реттеу мақсатында линзалы компенсатор (6.10-сурет) қолданылады, осы жылуалмастырғыштың корпусында орнатылады және температуралық деформация осьтік қысыммен немесе кеңейтумен компенсацияланады.

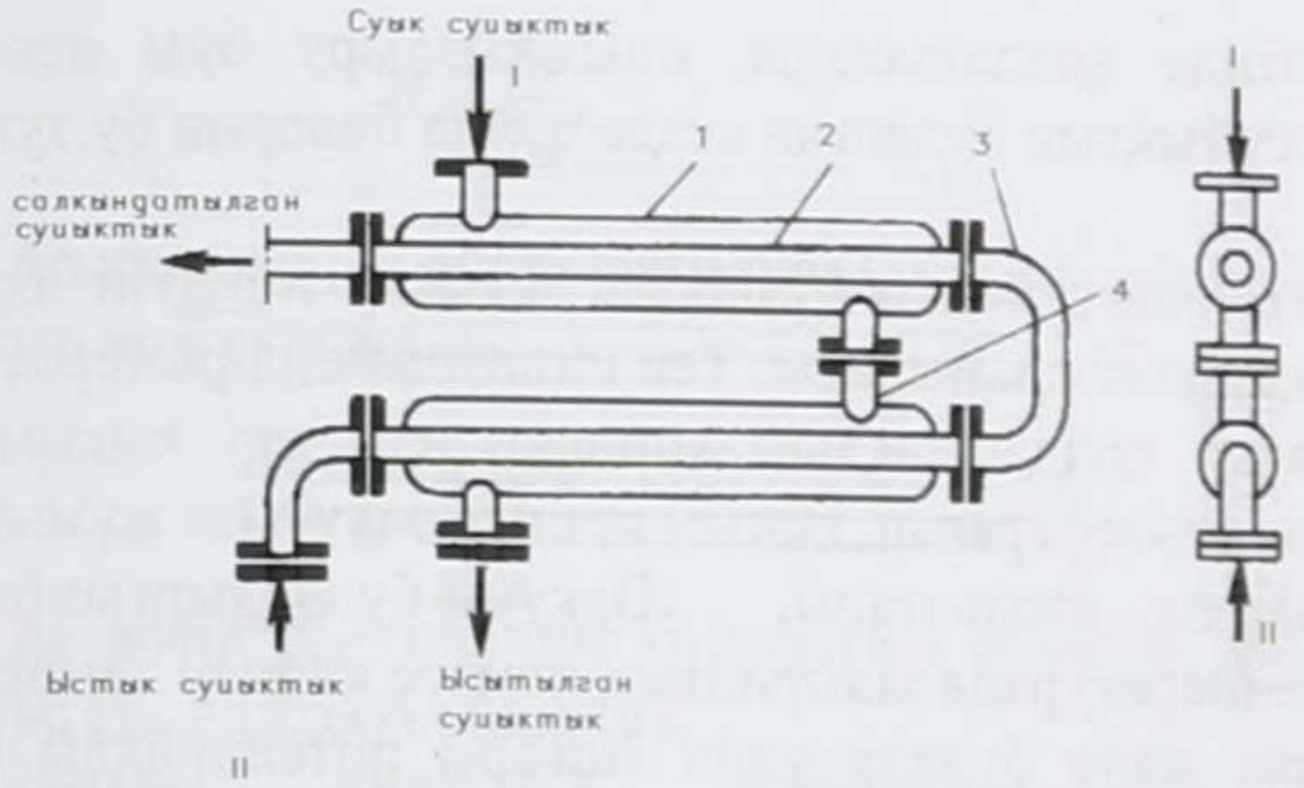
U- тәрізді жылуалмасу аппараттары бір бағаналы болып келеді. Бұл бағана U-тәрізді құбырлар орналасқан. Әрбір құбыр қыздырғанда мүмкіндігінше ұзарады, сонымен температуралық қысым компенсацияланады.

Құбыр тәрізді жылуалмастыру аппараттары бумен сұйықтық арасындағы жылудың алмасуы үшін қолданылады. Құбыр тәрізді жылуалмастыру аппараттарының ерекшелігі олардың металдардың аз шығындалуында, U- тәрізді жылуалмасу аппараттарын есептемегенде құбырлардың ішінің оңай тазалануында.



6.10-сурет. Температуралық кернеулерді қалаыптастыратын жылуалмастырғыштар: а-линзалы қалыптастырғышы бар (1-корпус; 2-қыздырғыш құбыр; 3-линзалы қалыптастырғыш); б- U-тәрізді қыздырғыш құбыры бар (1-қақпақ; 2-корпус; 3- U-тәрізді қыздырғыш құбыр)

Кемшілігі: жылутасымалдағыштың үлкен жылдамдыққа жетуі қиынға түседі, көп жүрісті жылутасымалдағыштарды есептемегенде құбыр аралас кеңістіктерді тазалау қиындығы, пісіруге келмейді. Түтікқұбырлы аппараттар диаметрлері үлкен сыртқы құбырлар және диаметрлері кіші ішкі құбырлардан тұрады (6.11 –сурет). Сыттқы және ішкі құбыр элементтері бір-біріне біріккен. Жылу тасымалдағыштардың біреуі ішкі құбырмен жылжиды, екіншісі сақиналы каналмен сыртқы және ішкі құбырлар арасымен жылжиды.



6.11-сурет. Түтікқұбырлы жылуалмастырғыш: 1-сыртқы құбыр; 2-ішкі құбыр; 3-калач, 4-келте құбыр. I, II - жылутасымалдағыштар

Спиральді жылуалмастырғыштарда жылу алмасу беті екі жұқа металл беттерін (қалыңдығы 2 ÷ 8 мм, ені 0,1÷1,8 м) спираль бойынша айналдырып бекіткен құрылым. Сонымен ені 5÷25 мм шамасында екі канал пайда болады. Әр-бір канал аппараттың ортасында жарты цилиндрлі бөлігінен және сыртында қораппен аяқталатын спираль тәрізді бөлігінен тұрады. Әр-бір орталық жарты цилиндр және әр-бір қорап жылу тасушы кіретін немесе шығатын штуцерлармен жабдықталған. Беттік спиральдар аппараттың қақпақтары болып табылатын дисклері арасында орнатылады және болттармен қысып буылады. Саңлаусыздығын және жылу тасушылардың ағып шығып араласпауын қамтамасыз ету үшін, қақпақтары мен спиральді беттер арасына жылуалмастырғыштың бүкіл қимасы бойынша резинадан, паронитттен, асбестен немесе жұмсақ металдан жасалған жазық астар салынады. Спиральді жылуалмастырғыштар көлденең және тік типті болады.

Буландыру аппараттары. Булану - дисперсиялық ортаны қайнату арқылы ішінара алып тастау арқылы сұйық жүйеде ұшпайтын компоненттерді шоғырландыру процесі. Біртекті (қант ерітінділері) және гетерогенді жүйелер (сүт) буландыруға ұшырайды. Тамақ өнімдерін буландырудың мақсаты-олардың тағамдық және тауарлық құндылығын және микроорганизмдердің тіршілік әрекетінен туындаған өзгерістерге қарсы сақтау тұрақтылығын арттыру. Көп жағдайда су буы жылу

агенті ретінде қолданылады, оны қыздыру буы деп атайды. Қайнаған сұйықтық буланған кезде пайда болатын бу туынды деп аталады.

Әдетте өнеркәсіпте үздіксіз жұмыс істейтін буландыру қондырғылары қолданылады. Тек кішігірім өндірістерде мерзімді қондырғылар қолданылады. Аппарат ішіндегі қысым жоғары қысым мен атмосфералық қысым кезінде вакуумда жұмыс істейтін құрылғыларды ажыратады. Вакуум-буландырғыштар жүйе жоғары температурада ыдырайтын немесе қайнау температурасы өте жоғары және булану үшін жоғары потенциалды бу қажет болған жағдайда қолданылады. Жоғары қысымда булану, егер пайда болған туынды бу басқа технологиялық мақсаттарда қолданылуы керек болса, қолданған жөн. Бұл буланудың ең тиімді нұсқасы. Атмосфералық қысыммен булану қарапайым, бірақ ол үнемді емес, өйткені туынды бу пайдаланылмайды.

Айналмалы және үлдірлі түріндегі буландырғыштар бар. Айналмалы буландыру аппараттары өз кезегінде табиғи және мәжбүрлі айналымы бар аппараттарға бөлінеді. Құрылғыларда құбырлы немесе пластиналық қыздыру беті болуы мүмкін.

Табиғи айналымы бар вакуум-булау аппараты буландырғыш калоризатор мен сепаратордан тұрады. Құрылғыдағы калоризатор түтікқорапты жылу алмастырғышқа ұқсайды айырмашылығы-түтіктердің диаметрі әртүрлі. Қайнау құбырлары деп аталатын негізгі бөліктің диаметрі 20 х 2 мм, сонымен қатар үлкен диаметрлі бір немесе екі айналым құбырлары бар.

Өнім калоризатордың құбыр кеңістігіне еніп, оны түтіктердің биіктігінің 1/2-2/3 бөлігіне толтырады. Осыдан кейін жылу буы калоризатордың құбыраралық кеңістігіне беріледі. Қайнаған түтіктерде олардың диаметрі аз болғандықтан, сұйықтық айналым құбырына қарағанда ертерек қайнай бастайды. Бұл жағдайда көпіршіктер пайда болады, олар үнемі өсіп, көтеріліп, жарылып, олардан бу шығады. Көпіршіктердің көтеру күшінің әсерінен сұйықтық қайнаған түтіктерде жоғары қарай жылжиды, содан кейін айналым түтігі арқылы түтік торының астына түседі, сол жерден тығыздықтың айырмашылығына байланысты ол қайтадан айналым құбырына ауысады. Осылайша цикл аяқталады, содан кейін айналым жабық цикл бойымен бірнеше рет қайталанады. Қайнау түтіктеріндегі сұйықтық бағанынан пайда болатын Н қысымы

$$H = \frac{\Delta p}{\rho g},$$

(6.61)

мұндағы Δр-қысымның айырмашылығы, табиғи айналым жүзеге асырылатын қозғаушы күш:

$$\Delta p = H_{тр} g(\rho_м - \rho_{см})\frac{\Delta p}{\rho g},$$

(6.62)

мұндағы $\rho_м$ және $\rho_{см}$-тиісінше буланатын өнімнің және қоспа тығыздығы; $H_{тр}$ - түтіктің биіктігі.

Айналмалы контурда гидравликалық кедергімен теңестірілетін қысым Н:

$$H = \sum \xi_{эмс} \frac{v^2}{2g},$$

(6.63)

мұндағы $\xi_{см}$ - жергілікті кедергілер коэффициенттерінің қосындысы; v -сұйықтықтың қозғалу жылдамдығы. Осы жерден (6.61) және (6.63) және (6.62) теңдеулерін ескере отырып мынаны аламыз

$$\frac{(\rho_м - \rho_{см})gH_{тр}}{\rho_м g} = \sum \xi_{эмс} \frac{v^2}{2g}.$$

(6.64)

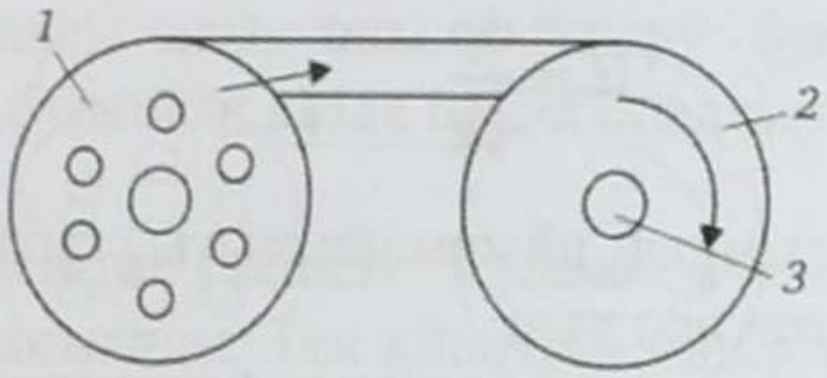
Бұл теңдіктен (6.64) айналым жылдамдығын аламыз:

$$v = \sqrt{\frac{2g \cdot H_{тр}}{\sum \xi_{эмс}} \left(1 - \frac{\rho_{см}}{\rho_м}\right)}.$$

(6.65)

Сұйықтықтың жылдамдығы бәсеңдеген кезде (v < 0,4 м/с) көпіршік пайда болады, оның диаметрі түтіктің диаметрімен сәйкес келеді, мұндай көпіршік баяу қозғалады және осылайша сұйықтықтың қозғалысын тежейді, бұл өнімнің айналымының баяулауына және термиялық ыдырауына әкелуі мүмкін.

Өнімді қайнату кезінде пайда болған көпіршіктер1-калоризатордан туынды бумен бірге кетеді (6.12-сурет). Буды бөлу және тазарту үшін 2 -сепаратор (бу бөлгіш) қолданылады. Сепаратор - бұл тік цилиндр, оның ішінде 3- шағылыстырғыш шатыр орнатылған. Бу мен сұйықтық қоспасын сепараторға тангенциалды жеткізудің арқасында кіретін қоспа айналмалы қозғалысқа ие болады.

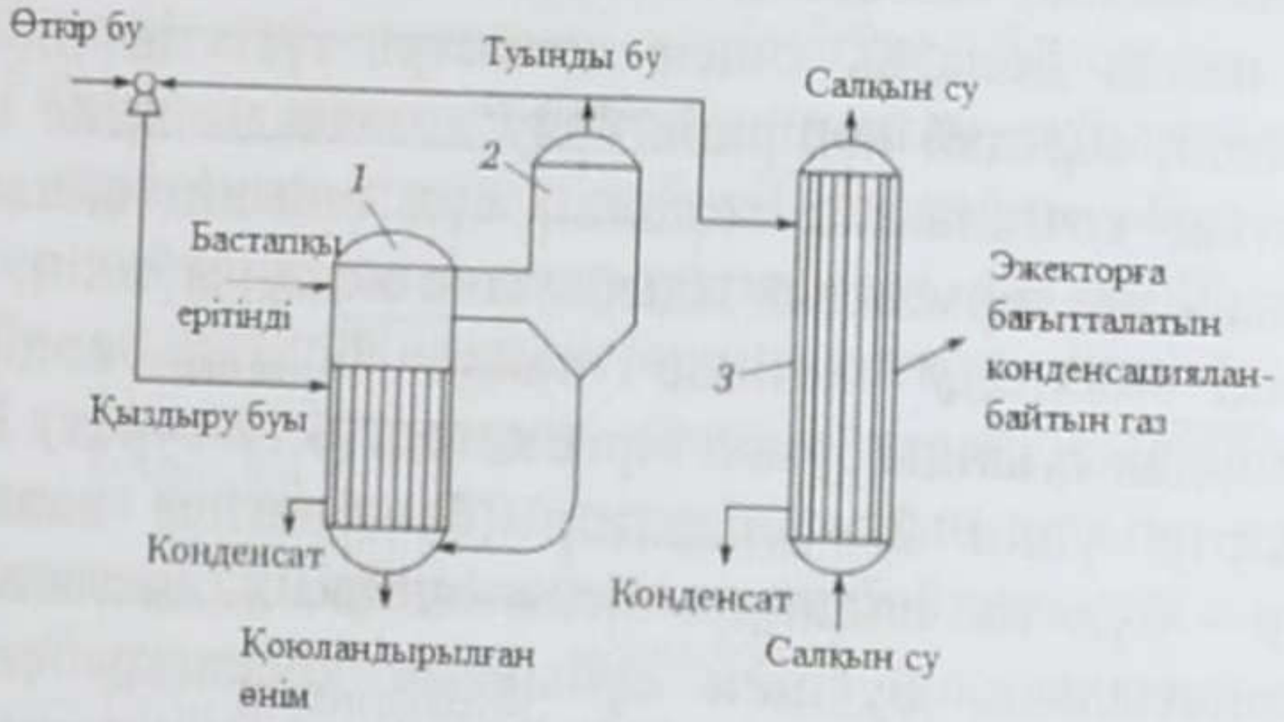


6.12- сурет. Сепаратор мен катализатордың жалғасу схемасы

Ортадан тепкіш күштер өнім тамшыларын қабырғаларға соғылып төмен жылжиды. Бу сепараторындағы бу-сұйық қоспаның қарқынды айналмалы қозғалысымен оның орталық бөлігіндегі қысым едәуір төмендейді және айналмалы сұйықтық түбінен көтеріледі, бірақ шағылыстырғыш шатырға тиіп, қайтадан түсіп, калоризаторға оралады. Туынды бу шағылысатын шатырды айналып өтеді және ішінара конденсаторға беріледі.

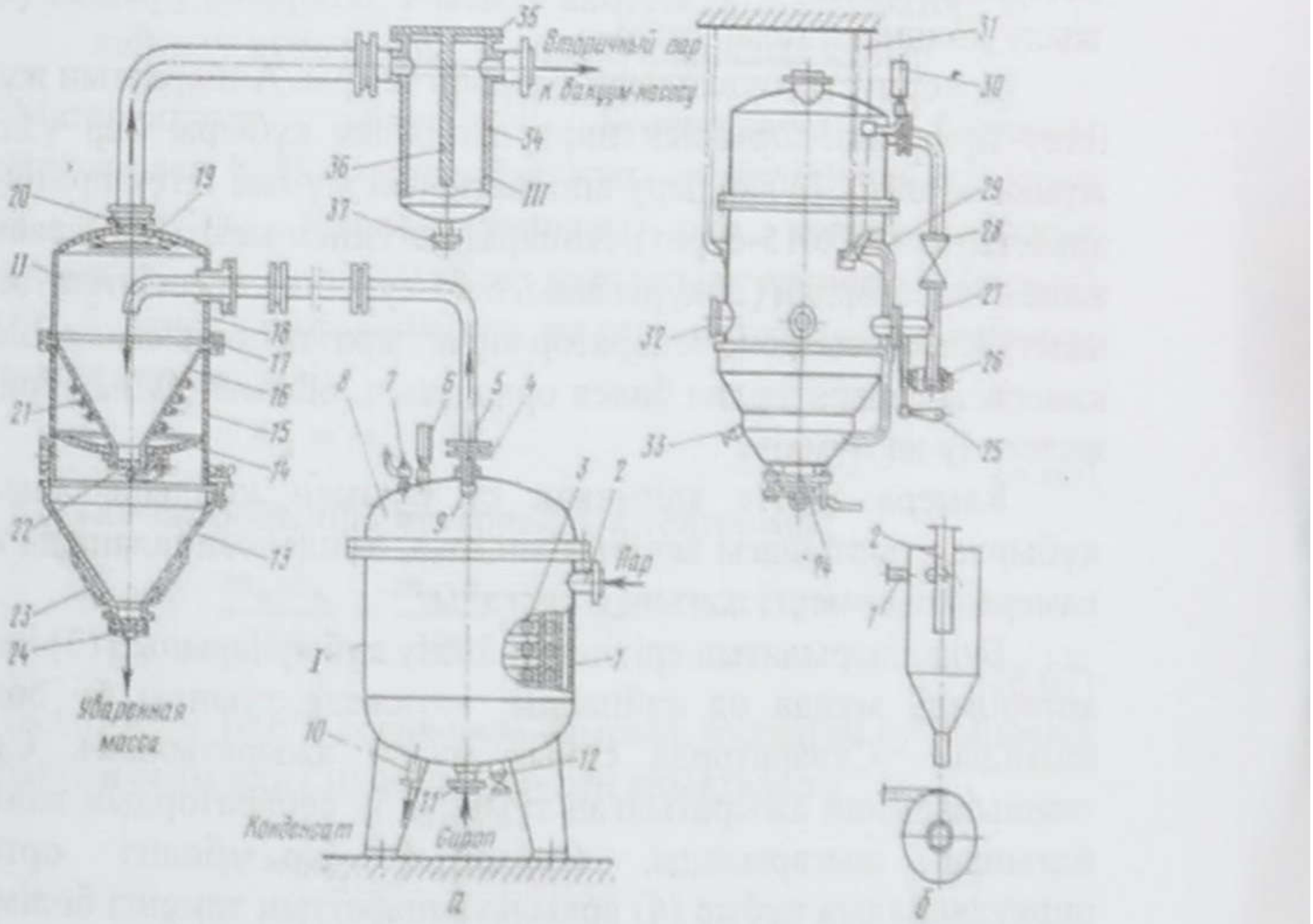
Бу бөлгішінен кейінгі туынды будың бір бөлігі инжекторға түседі, онда ол өткір бумен араласады. Нәтижесінде, бу сорғысынан калоризаторға кіретін қыздыру буы шығады.

Туынды будың тағы бір бөлігі конденсатордың құбыраралық кеңістігіне түседі, онда ол конденсацияланады. Беттік конденсаторлар қораптүтікті жылу алмастырғыштар принципі бойынша жұмыс істейді. Конденсацияны қамтамасыз ету үшін салқындатқыш су конденсатордың құбыр кеңістігіне жіберіледі. Ауа және басқа да конденсацияланбайтын газдар аппараттан вакуум-сорғылармен (эжекторлармен) шығарылады. Табиғи айналымы бар вакуум-булану аппаратының схемасы 6.13-суретте суретте көрсетілген Калоризатор түтіктерінің биіктігі әдетте 2 м-ді құрайды.



6.13- сурет. Табиғи айналымы бар вакуум-булану аппаратының схемасы: 1- сепаратор; 2- катализатор; 3- конденсатор

Вакуум камерасы бөлек орналастырылған вакуум аппарат (6.14-сурет). Аппарат көлемді 8- қақпағы бар 1- цилиндрлі қазандықтан тұрады. Жоғарғы бөлігіндегі жанынан 2- штуцер арқылы 0,7-0,8 МПа қысыммен қыздырылатын бу беріледі. Штуцер (10) арқылы конденсат шығады, ал 12- краннан өнім шығады. Бу кеңістігінде қыздырылатын бу мыстан жасалған 3-орам түтікті бойлайды. Орам түтіктің төменгі бөлігі 11- фланец арқылы шәрбат кіретін насоспен бекітілген, ал жоғарғы бөлігі 4-фланец көмегімен 5- байланыстырушы құбырмен бекітілген. Құбырдың 5 - екінші бөлігі18- вакуум-камерамен байланысқан. Аппаратқа шәрбат немесе рецептуралық қоспа ішкі спиральдармен жоғары қарай, одан соң байланыстырушы құбыр арқылы сыртқы спиральдармен жылжиды. Әбден пісірілген жартылай фабрикат 5- құбырмен көтеріліп, оның жоғарғы бөлігінен өңделген масса 18- вакуум-камераға ағады. Масса астында 22-клапаны бар мысты конусқа жиналады. Масса суып қалмас үшін конус 21- орам түтікпен келетін бумен қыздырылады. Құбырдан карамель массасымен бірге вакуум-камераға келетін бу мен ауа 20-құбырмен конденсатор арқылы шығарылады.



6.14-сурет. Вакуум камералы аппарат.

Тамақ өнеркәсібінде бірнеше аппараттан, немесе корпустан құрылған көпкорпусты буландыру қондырғылары жиі кездеседі. Бұл қондырғыларда ысытатын бумен тек бірінші корпус қана ысытылады, ал кейінгі корпустарды ысыту үшін алдындағы аппараттардан (сонғысынан басқа) шыққан туынды бу жылуы пайдаланылады. Демек, көпкорпусты буландыру қондырғыларындағы ысытатын будың мөлшері дәл сондай өнімді біркорпусты қондырғыға қарағанда едәуір аз болады.

Ысытатын буды жылу насосы бар біркорпусты буландыру қондырғыларында да үнемдеуге болады. Мұндай қондырғыларда аппараттан шыққан екіншілік бу, жылу насостың (мысалы, жылукомпрессордың) жәрдемімем ысытатың буды температурасына сәйкес қысымға дейін сығылып, сосын аппаратқа қайтадан ысытатьн бу орнына беріледі.

Тамақ өнеркәсібінде негізінен үздіксіз әрекетті буландыру қондырғылары қолданылады. Мерзімді әрекетті аппараттар аз өнімді өндірісте және ертінділерді жоғары концентрацияға дейін буландыруда қолданылады.

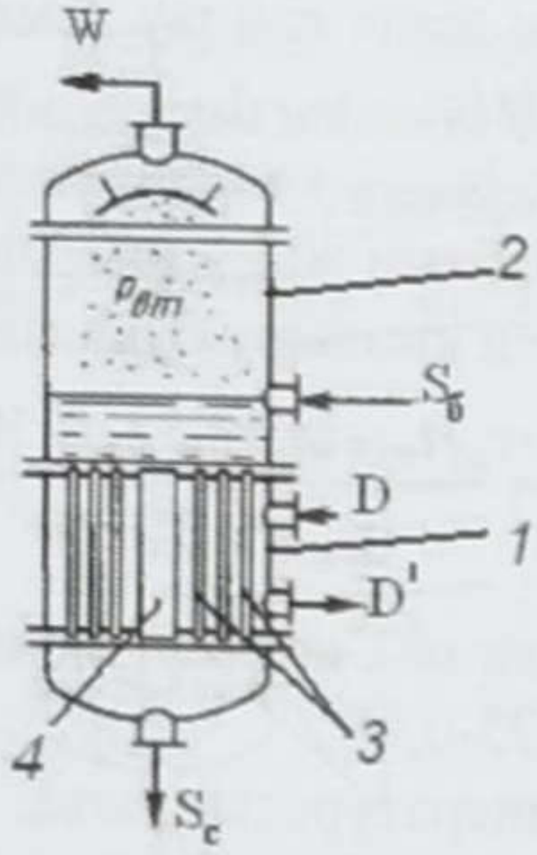
Қазіргі заманғы буландыру аппаратарының жылу алмасу беттері үлкен (әр корпустың беті 2000 м^2 дейін), сондықтан, көп жылу мөлшерін талап етеді.

Біркорпусты буландыру қондырғылары. Аппараттың жұмыс істеу принципі. Орталық циркуляциялық құбыры бар үздіксіз жұмыс істейтін буландыру аппаратының жұмыс істеу принципін қарастырамыз (6.15-сурет). Аппарат негізінен ысыту камерасы (1) және сепаратордан (2) құрылады. 6.15-суретте көрсетілген тәсілде ысыту камерасы және сепаратор бір аппаратта орналасқан. Ысыту камерасы сепаратордан бөлек орналасып, онымен құбыр арқылы жалғасыу да мүмкін.

Камера әдетте қанықкан су буымен қыздырылады. Бу құбырлар сыртыдағы кеністікпен өтіп, конденсацияланады және камераның төменгі жағынан шығады.

Буландырылатын ерітінді қайнату құбырларының (3) ішімен көтеріледі, мұнда ол қайнайды, нәтижеде туынды бу бөлініп шығады. Сепараторда сұйық будан ажыратылады. Сұйық тамшыларынан ажыратылған туынды бу сепаратордың жоғарғы жағынан шығарылады. Сұйықтын бір бөлігі орталық циркуляциялық құбыр (4) арқылы аппараттын төменгі бөліміне - құбырлар торының астына - ағып түседі. Орталық циркуляциялық

құбырдағы (4) сұйық ерітінді және қайнату құбырларындағы бумен-сұйық қоспалар арасындағы тығыздықтар айырмасының әсерінен сұйық үздіксіз циркуляция жасап тұрады. Қоюланған ерітінді аппарат түбіндегі штуцер арқылы алынады. Егер буландыру вакуумда өткізілсе онда екіншілік бу вакуум-насоспен сорылып конденсаторга беріледі.



6.15 - сурет. Орталық циркуляциялық құбыры бар буландыру аппараты: 1-ысыту камерасы; 2- сепаратор; 3-қайнату құбырлары; 4 - циркуляциялық құбыр

Материалдық баланс. Буландыруға бастапқы концентрациясы $b_н$ % болатын бастапқы ерітіндінің $m_н$ кг/с келіп түседі және $b_к$ %концентрациясы бар қоюландырылған ерітіндінің $m_к$ кг/с бөлінеді. Егер құрылғыда еріткіштің (судың) W кг/с буланса, онда өнімнің жалпы материалдық балансы теңдеумен көрсетіледі:

$$m_н = m_к + W. \tag{6.66}$$

Құрғақ зат бойынша материалдық теңгерім:

$$\frac{m_н \cdot b_н}{100} = \frac{m_к \cdot b_к}{100}. \tag{6.67}$$

(6.66) және (6.67) есепке ала отырып, буланған су бойынша аппараттың өнімділігі мына теңдеуден анықталады

$$W = m_н \cdot \left(1 - \frac{b_н}{b_к}\right). \tag{6.68}$$

Сонда жылу балансы:

$$m_{н} \cdot c_{н} \cdot t_{н} + D \cdot i_{гп} = m_{к} \cdot c_{к} \cdot t_{к} + W \cdot i_{вт.п} + D \cdot i_{конд} + Q_{пот}, \quad (6.69)$$

мұндағы $c_{н}$, $t_{н}$ - бастапқы ерітіндінің меншікті жылу сыйымдылығы және температурасы, тиісінше Дж / (кг К), °С; $c_{к}$, $t_{к}$ - тиісінше Дж/(кг-К), °с қоюландырылған ерітіндінің меншікті жылу сыйымдылығы және қайнау температурасы; D - жылыту буының шығымы, кг/с; $i_{гп}$, $t_{вт.п}$ - жылыту және туынды бу энтальпиясы, Дж/кг; $1_{конд}$ - конденсат энтальпиясы, Дж/кг; $Q_{пот}$ - қоршаған ортаға тарайтын жылу шығыны, Вт.

(6.69) теңдеуінен қыздыру буының шығыны анықталады:

$$D = \frac{m_{к} \cdot c_{к} \cdot t_{к} - m_{н} \cdot c_{н} \cdot t_{н} + W \cdot i_{вт.п}}{(i_{гп} - i_{конд}) \cdot \chi}, \quad (6.70)$$

мұндағы χ -қоршаған ортаға жылу шығынын ескеретін коэффициент, χ = 0,95-0,98.

Қайнау температурасындағы бастапқы ерітіндіні қоюландырылған ерітінді мен буланған ылғалдың қоспасы ретінде қарастыра отырып, жылу балансының теңдеуін жазуға болады:

$$m_{н} \cdot c_{н} \cdot t_{к} = m_{к} \cdot c_{к} \cdot t_{к} + W \cdot C_{W} \cdot t_{к}, \quad (6.71)$$

мұндағы C_{w}-судың жылу сыйымдылығы, Дж / (кг К).

(6.71) теңдеуінен:

$$m_{к} \cdot c_{к} \cdot t_{к} = m_{н} \cdot c_{н} \cdot t_{к} - W \cdot C_{W} \cdot t_{к}. \quad (6.72)$$

Біз (6.72) теңдеуді (6.69) алмастырамыз және түрлендіруден мынаны аламыз:

$$D \cdot (i_{гп} - i_{конд}) = m_{н} \cdot c_{н} \cdot (t_{к} - t_{н}) + W \cdot (i_{вт.п} - C_{W} \cdot t_{к}) + Q_{пот}. \quad (6.73)$$

Теңдеудің сол жағы (6.73) қыздыру буымен берілетін жылу мөлшерін немесе булану аппаратының Q жылу жүктемесін білдіреді:

$$Q = D \cdot (i_{гп} - i_{конд}) = D \cdot r_{гп}, \quad (6.74)$$

мұндағы $r_{гп}$ -бу түзілу жылуы, Дж / кг.

Теңдеудің оң жағындағы бірінші термин (6.73) бастапқы ерітіндіні қайнау температурасына дейін қыздыру үшін жылу шығынын білдіреді. Оң жақтың екінші мүшесі-материалдан ылғалдың буланууына жылу шығыны. Оң жақ бөліктің үшінші мүшесі қоршаған ортаға жылу шығынын білдіреді, олар әдетте Q жылудың 2-5% құрайды.

Бастапқы ерітінді қайнау температурасына дейін қызады және жылу шығыны берілген жылудың аз бөлігін құрайтындықтан, теңдеудің оң жағындағы бірінші және үшінші мүшелерді елемеуге болады (6.73). Сонда былай жазуға болады:

$$D \cdot (i_{\text{гп}} - i_{\text{конд}}) \approx W \cdot (i_{\text{вт.п}} - C_W \cdot t_{\text{к}}), \tag{6.75}$$

немесе

$$D \cdot r_{\text{гп}} \approx W r_{\text{вт}}, \tag{6.76}$$

немесе

$$D \approx W. \tag{6.77}$$

Бұл 1 кг жылыту буы шамамен 1 кг ылғалды буландырады дегенді білдіреді. Алайда, $r_{\text{гп}} < r_{\text{вт}}$ болғандықтан, 1 кг ылғалды буландыру үшін 1,1-1,2 кг жылыту буы қажет.

Жылу беті. Үздіксіз әрекетті буландыру аппараттарының жылу беті жылу өту тендеуінен анықталады:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{пай}}, \tag{6.78}$$

мұнда Q - аппараттағы жылу ағыны; k - жалпы формуламен есептелетін жылу өту коэффициенті; $\Delta t_{\text{пай}}$ - процестің қозғаушы күші (температуралардын пайдалы айырмасы).

Жылу өту коэффициенті ерітінді концентрациясы жоғарылаған сайын және қайнау температурасы төмендеген сайын азаяды. Температуралардың пайдалы айырмасы ысытатын будын конденсациялану температурасы ($t_{\text{бу}}$,°С) мен буландырылатың ерітіндінің қайнау температурасы ($t_{\text{к}}$,°С) арасындағы айырмаға тең.

$$\Delta t_{пай} = t_{бу} - t_{к} \tag{6.79}$$

Температура шығындары және ерітінділердің қайнау температурасы. Буландыру аппараттарында температура

шығындары Δ болады. Олар температуралық депрессия Δ′, гидростатикалық депрессия Δ″ және гидравликалық депрессия Δ‴-лардың қосындысына тең:

$$\sum \Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta''' \qquad (6.80)$$

Температуралық Δ′, гидростатикалық Δ″ және гидродинамикалық Δ‴ депрессияларды есепке алғанда ерітіндінің қайнау температурасы мынаған тең болады:

$$t_k = t_{ek} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = t_{ek} + \sum \Delta \qquad (6.81)$$

t_{ek}- туынды будын температурасы.

Көп корпусты буландыру аппараттары. Жоғарыда 1 кг суды буландыру үшін бір корпустық аппаратта шамамен 1 кг жылыту буы қажет екендігі дәлелденді. Алайда, егер қоюлану көп корпусты буландырғыштарда жүргізілсе, бу шығынын едәуір азайтуға болады. Бұл жағдайда бірінші корпусқа кіретін қыздыру буының жылуын әр келесі корпусты алдыңғы туынды бумен жылыту арқылы қайта пайдалану принципі жүзеге асырылады. Қыздыратын бу мен буланатын ерітінді қозғалысының өзара бағыты бойынша көп корпусты буландыру қондырғылары тікелей ағынды, қарсы және корпустарды бастапқы ерітінді бойынша параллель қоректендіре отырып бөлінеді.

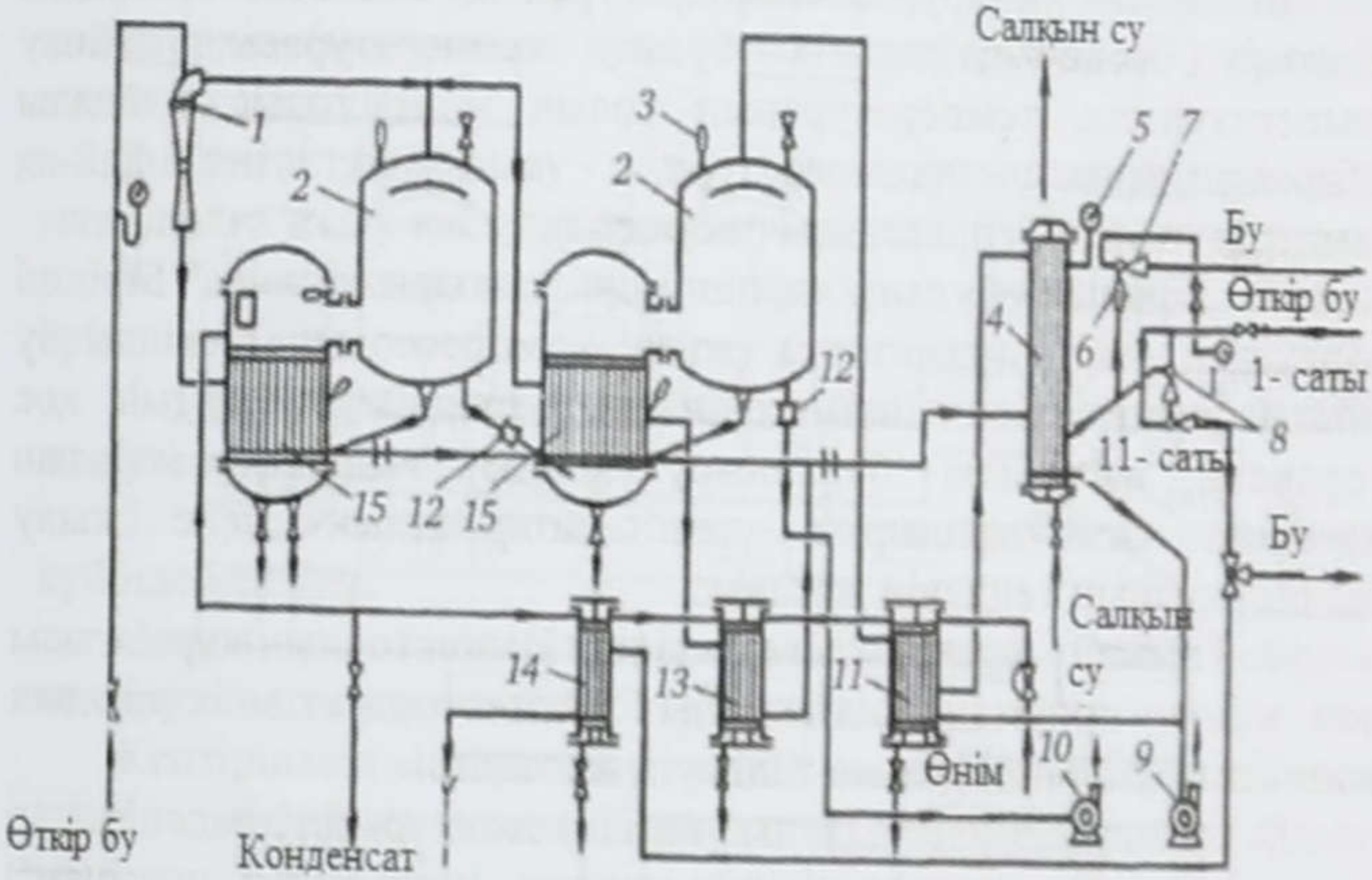
Соңғы схема ерітіндіні корпустан корпусқа ауыстыру қиын болған кезде немесе ерітіндіні айтарлықтай шоғырландыру қажет болмаған кезде қолданылады.

Қарама-қарсы схема булану кезінде ерітінділердің тұтқырлығы күрт жоғарылаған кезде айтарлықтай концентрацияға дейін жүзеге асырылады. Бұл құрылғылар корпустар арасында аралық айналым сорғыларын қосымша орнатуды қажет етеді, бұл пайдалану шығындарының өсуіне әкеледі. Бұл булану схемасының артықшылығы-корпустардағы жылу беру коэффициенттерінің практикалық теңдігі.

Ең көп тарағандары-тікелей ағынды буландыру қондырғылары, онда бірінші корпустан соңғысына дейін ерітіндінің концентрациясы артып, температура мен қысым төмендейді (6.16- сурет). Пайда болған қысым айырмасы ерітіндінің корпустан корпусқа өз бетімен жылжуын қамтамасыз

етеді. Буланған ерітінді келесі корпуска түсіп, осы корпустағы қайнау температурасына дейін салқындатылады. Шығарылған жылу есебінен қосымша туынды будың белгілі бір мөлшері пайда болады. Мұндай құбылыс ерітіндінің өзінен-өзі булану атауына ие.

Соңғы корпустың екінші буы конденсаторға түседі. Әр корпуста жылу берудің қажетті шарты-бұл корпустағы қыздыру буы мен қайнаған ерітіндінің температуралық айырмасы ретінде анықталған температураның толық пайдалы айырмасы. Буланудың тиімділігін арттыру үшін бірінші корпустан кейін екінші будың термокомпрессиясы қолданылады.



6.16- сурет. Қос корпусты вакуум-булау қондырғысының схемасы: 1 - инжектор (термокомпрессор); 2 - сепаратор; 3 - термометр; 4 - беттік конденсатор; 5 - мановакуумметр; 6 - шибер; 7 - іске қосу эжекторы; 8 - екі сатылы эжектор; 9 - конденсатты соруға арналған вакуум-сорғы; 10 - қоюландырылған өнімді соруға арналған сорғы; 11 - бірінші сатыдағы жылытқыш; 12 - қоюландырылған сүтке арналған дроссель клапаны; 13 - екінші сатыдағы жылытқыш; 14 - үшінші сатыдағы жылытқыш; 15 – калоризаторлар.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар мен тапсырмалар

1. Булану процесінің мақсаты қандай?

2. Буланудың әртүрлі әдістеріне салыстырмалы баға беріңіз: атмосфералық, артық қысым.

3. Булану сиретілген ортада қалай жүреді? Вакуум қалай жасалады?

4. Мақсаты қандай: калоризатор, сепаратор және конденсатор?

5. Бір корпусты буландыру аппараты үшін жылу балансының теңдеуін жасаңыз. 1 кг жылыту буы шамамен 1 кг суды буландыратынын дәлелдеңіз.

6. Бумен пісірудің температуралық кестесін жасаңыз: қыздыру және қайталама будың температурасы, қайнау температурасы, температураның толық және толық пайдалы айырмашылығы (температура қысымы), сондай-ақ температураның депрессиясы (жоғалуы).

7. Бірнеше булану принципін тұжырымдаңыз. Бірінші корпустан кейін инжекторға (жылу компрессорына) екінші бу алатын және екіншісінен кейін экстрапарды таңдайтын қос корпусты вакуумды буландыру қондырғысының сызбасын жасаңыз. Осы қондырғы үшін материалдық және жылу баланстарының теңдеуін жасаңыз.

8. Термокомпрессия дегеніміз не? Инжектордың құрылғысы мен жұмыс принципін сипаттаңыз. Инжектордың материалдық және жылу баланстарының теңдеуін жасаңыз.

9. Булану кезінде жылуды үнемдеу жолдарын тізімдеңіз.

6.4 Кептіру. Кептіру қондырғылары

Материалдардан ылғалды буландыру тәсілімен шығару үрдісі кептіру деп аталады. Кептіруде материалдарға жылу беріледі және оның нәтижесінде ылғал буланады. Кептіру үрдісі металлургия өндірісінде сапасын арттыруда (мысалы, минералды заттардың нығыздалуын, ылғалдануын азайту үшін, балқыту үрдісіне дайындау үшін) тасымалдарын арзандатуда, өнімді сақтайтын аппараттардың коррозиясын азайтуда және т.б. жағдайларда кеңінен қолданылады.

Кептірілетін материалдар қатты (кесекті, түйіршікті), шлам, кек тәрізді және сұйық (ерітінділер, суспензиялар) күйде болуы мүмкін. Кептіру үрдісі күрделі диффузиялық үрдіс, оның жылдамдығы ылғалдың кептірілетін материал ішінен қоршаған ортаға өтетін диффузия жылдамдығымен анықталады.

Кептіруде ылғал және жылу материалдың ішінен сыртқы бетіне, сосын оның бетінен қоршаған ортаға алмасады. Сондықтан, кептіру үрдісі бір-бірімен тығыз байланысты жылу және масса алмасу үрдістерін қамтиды.

Кептірілетін материалға жылудың беру тәсіліне байланысты кептірудің түрлері болады:

1. Конвективті кептіру- кептірілетін материалмен кептіргіш агенттердің (ысытылған ауа, оттық газдар және т.б.) тікелей жанасуы арқылы.

2. Контактты кептіру - жылу тасымалдағыштан кептірілетін материалға жылу қабырға арқылы беріледі.

3. Радиациялық кептіру - инфрақызыл сәулелердің жылуы арқылы.

4. Диэлектрикті кептіру – жоғары жиілікті электр тоғының жылуы арқылы.

5. Сублимациялық кептіру - терең вакуумда тоңазыту күйінде кептіру.

Соңғы үш тәсіл өндірісте аз кездеседі және оларды кептірудің арнаулы тәсілдері деп атайды.

Кептірілетін материал әр тәсілде де ылғал газбен /көбінесе ауамен тікелей жанасады. Конвективті кептіруде ылғал газдың мәні зор. Сондықтан, кептіру үрдісін есептеуде ылғал газдың қасиеттерін білу керек.

Ылғалды газдың негізгі қасиеттеріКонвективті кептіруде кептіргіш агент материалға жылу береді және өзімен бірге буланған ылғалды алып кетеді, яғни ол жылу-және ылғал тасымалдағыш ролін атқарады. Кептірудің басты тәсілдерінде ылғал газ (әдетте ауа) ылғал тасымалдағыш ролін атқарады. Ылғал газ құрғақ газбен су буы қоспасынан құралады. Оттық газдар және ылғал ауаның физикалық қасиеттерінің айырмашылығы тек мөлшері /саны/ бойынша болады. Сондықтан, бұдан былай ылғал газ орнына ылғал ауаны қабылдап, оның физикалық қасиеттерін қабылдыаймыз. Ылғал төмендегі негізгі қасиеттермен сипатталады:

1) Абсолюттік ылғалдылық 1 $м^3$ ылғал ауадағы су буының мөлшерімен (кг) анықталады. Техникалық есептеулерде ылғал ауа идеалды газдардың заңына бағынады деп есептеуге болады. Онда парциалдық қысым Рбу болған су буы газды қоспаның құрастырушысы болғандықтан газды қоспа көлемін (1м3) иеленеді. Сондықтан, абсолютті ылғалдылық $1м^3$ будың массасына немесе су буының тығыздығына Рбу ($кг/м^3$) тең болады.

2) Салыстырмалы ылғалдылық немесе ауаның қанығу дәрежесі (φ) берілген заттарға (t,p) $1м^3$ ылғалды ауадағы су буының массасының Рбу осы көлемде мүмкіндігінше көп болатын массасына Рблн Рбу (қаныққан бу тығыздығына) қатынасына тең:

$$\varphi = Рбу / Рқан; \qquad (6.71)$$

Кептіру үрдісінің механизімі ылғалдың материалмен байланысымен анықталады: егер бұл байланыс қаншалықты берік болса, кептіру үрдісі соншалықты қиындау өтеді. Кептіруде ылғалдың материалмен байланысы бұзылады. П.А. Ребиндер ылғалдың материалмен төмендегі байланыс түрлерін ұсынған: химиялық, физикалық-химиялық, және физикалық-механикалық..

Химиялық баланстағы ылғал материалмен белгілі (стехиометриялық) қатынаста берік байланысқан. Ылғалдың мұндай түрін материалды жоғары температураға дейін ысыту немесе химиялық реакция арқылы шығару мүмкін емес.

Кептіру кезінде әдетте физикалық-химиялық және физикалық-механикалық байланыстағы ылғал шығарылады. Механикалық байланыстағы ылғал кептіру кезінде жеңілдеу шығарылады. Мұндай ылғал макрокапиллярлық (капиллярлардың орташа радиусы 10^{-5} см. үлкен және кіші) болып бөлінеді. Макрокапиллярлардағы ылғалды кептіру немесе механикалық тәсілмен оңай шығаруға болады.

Физика-химиялық байланыстағы ылғал адсорбциялық және осмотикалық болады. Адсорбциялық ылғал материал кеуектерінде және оның бетінде берік байланысқан болады. Осмотикалық ылғал (ісіну ылғалы деп те аталады) материал клеткаларының ішінде осмотикалық күштермен байланысқан болады. Адсорбциялық ылғалды шығару үшін осмотикалыққа

қарағанда көп энергия қажет. Ылғалдың бұл түрлерін кептіру үрдісінде шығару қиындау болады.

Кептіру үрдісіндегі материалдың ылғалын еркін және байланысқан ылғал деп бөледі. Материалдан ылғалдың булану жылдамдығы еркін беттен судың булану жылдамдығына тең ылғалды еркін деп атайды. Демек еркін ылғал үшін Рм = Ркан болады.

Байланысқан ылғалдың буланууы жылдамдығы су бетінен булану жылдамдығынан аз, яғни Рм < Ркан болады.

Ылғалды заттарды құрғату процессінде көп жағдайда қыздырылған ауа қолданылады.

Ылғалды затты кептіруге қажетті ауаның мөлшерін ол ауаны қыздыруға кеткен жылу мөлшерін id- диаграммасы арқылы анықтауға болады. Егер ылғалды ауаның температурасы t мен салыстырмалы ылғалдығы φ берілсе диаграммадан бұл ауаның энтальпиясын және 1 кг құрғақ ауаның құрамында қанша ылғал бар екенін анықтауға болады.

Бұдан басқа id- диаграммасы арқылы берілген жағдайдағы ауаның шық түсу температурасын анықтауға болады.

Ылғалды ауа - құрғақ ауамен су буының қоспасын айтады. Дальтон заңы бойынша:

$$p_{кос} = p_1 + p_2 + p_3 + ... + p_n. \quad (6.72)$$

Ылғалды ауаның қысымы:

$$p_{ылғ.\ ауа} = p_{су\ буы} + p_{құрғақ\ ауа} \quad (6.73)$$

Абсолюттік және салыстырмалы ылғалдық. Абсолюттік ылғалдылық деп берілген температурада 1 кг ауадағы ылғалдың максимальдық мөлшері. Салыстырмалы ылғалдық деп берілген температурада максимальдық температураға қатынасын айтады. $d_1 - d_2$ – айырмашылығы құрғату процессінде 1 кг ауа өзімен қанша грамм ылғалы ала алатынын көрсетеді. Егер ылғалды дененің массасы m=100 кг, ал ылғалдылығы 15% (6.14-сурет).

Мұндағы Q – қажет жылудың мөлшері

$$Q = (i_2 - i_1) * V, \quad (6.74)$$

V – қажетті ауаның мөлшері, $м^3$.

Суретте М-С – кептіру процессі, О – нүкте диаграммадағы шық түсу температурасы деп аталады. М-О-S –ауаның суыту процессін көрсетеді.

Ауаның суыту процессі О-S сызығы φ=100% бойынша жүреді. Бұл кезде ауаның температурасы шық түсу температурасы төмендеген сайын ауаның ылғал шық тамшысы ретінде ауада түзіліп отырады.

Жоғарыда қарыстырылған процесс М-С теориялық процесс деп айтады, ал іс жүзінде берілген жылудың қандай да бір мөлшері құрғатылатын затты қыздыруға, бір мөлшерлі құбырда қыздыруға, кептіргіш қондырғының тағы басқа бөлшектерін қыздыруға кетеді. Энтальпиялар: $i_м > i_с$. Бұл процесс диаграммада М-С' сызығымен көрсетіледі.

Ылғалды ауаның тығыздығы құрғақ ауамен су буының қосындысына тең немесе $\rho=\rho_{суб}+\rho_{к\,а}$

Құрғақ ауаның тығыздығы мына формуламен анықтауға болады

$$\rho=P/RT, \qquad (6.75)$$

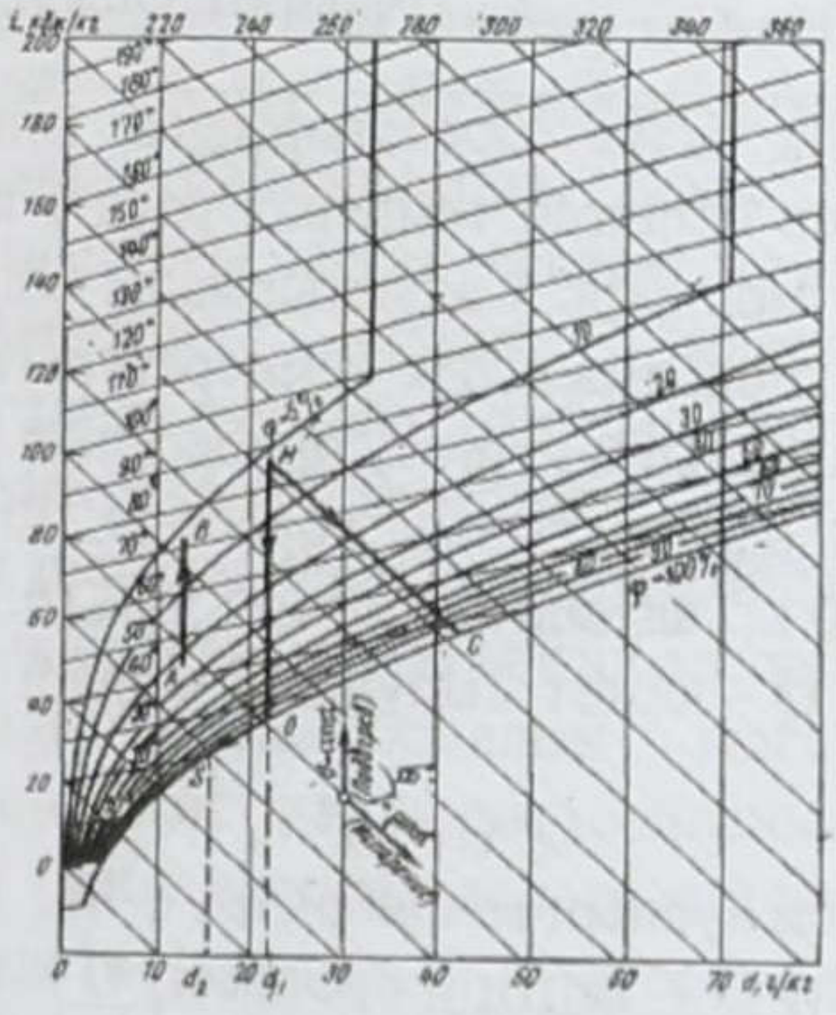
мұндағы $R=8314/\mu_{кос}=8314/(\mu_{су\ буы}\,\tau_{су\ буы}+\mu_{к\ ауа}\tau_{к\ ауа})$.

Ылғалды ауаның энтальпиясы су буы энтальпиясымен құрғақ ауаның энтальпиясының қосындысына тең. $i=i_{к\ ауа}+i_{су\ буы}$.

Қысым мөлшері аз боған жағдайда ылғалды ауаның энтальпиясын былай анықтауға болады

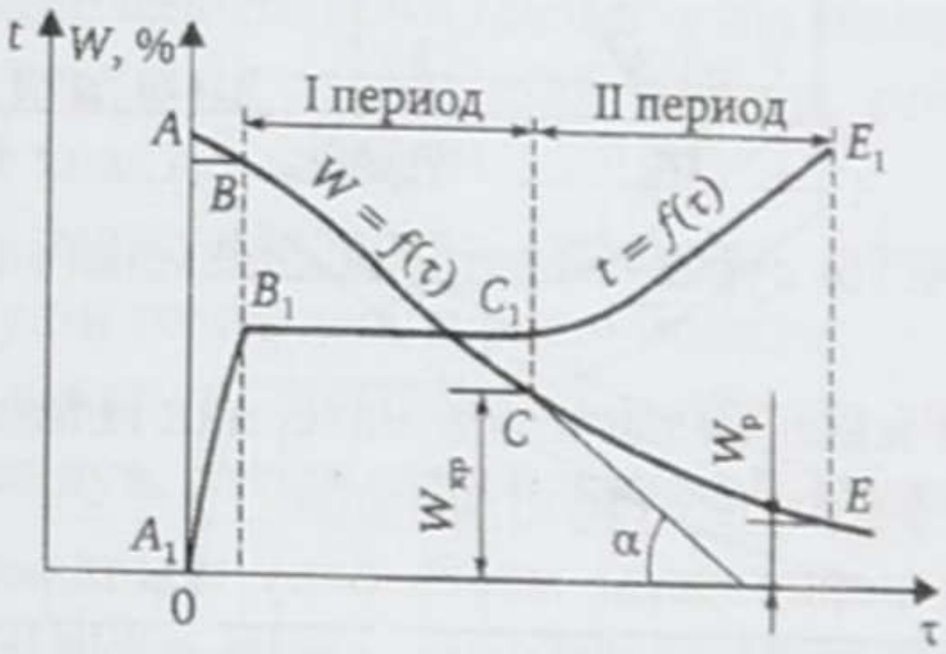
$$i= t+(2490+1,97\ t_{булану})\ *d, \qquad (6.76)$$

мұндағы t – берілген температура.



6.14- сурет- Ылғалды ауаның i-d диаграммасы

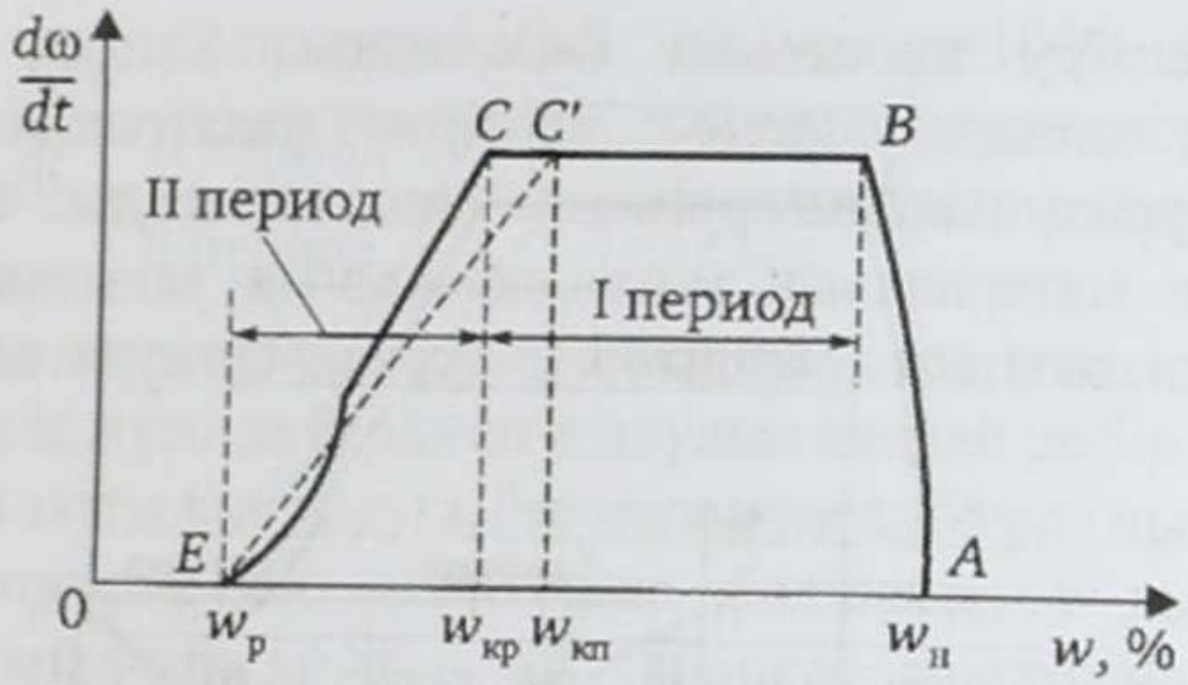
Кептіру процесінің кинетикасы. Кептіру кинетикасы кептіру қисығы және кептіру уақытындағы дененің температурасының өзгеруімен сипатталынады. Құрғақ затқа шағылған материалдың ылғалдылығының уақытқа тәуелділігін кептіру қисығы деп аталады (6.15-сурет). Ол суретте А-Е сызығы.



6.15- сурет- Кептіру сызығы мен жылдамдығы:
АЕ- кепетіру; A_1E_1 – температураның өзгеруі.

Кептіру сызығы кептіру периодтарына байланысты бірнеше периодтан тұрады. Кептіру процесі кептірілетін дененің қыздыру периодынан басталады. Бұл кезде оның ылғалдылығы шамалы ғана өзгереді (АВ), ал температурасы ылғалды термометр температурасына дейін өзгереді – $t_{ылғ.тем.}$ (A_1 B_1). Ары қарай кептірудің тұрақты жылдамдығы басталады (1-период). Бұл кезде материал температурасы (B_1 C_1-участок). Материалдың ылғалдылығы сызықтық функция бойынша қарқынды төмендей бастайды. Бұл біпінші периодта материалдағы бос ылғал булана бастайды. Бұл процес сыни ылғалдылыққа жеткенше жүреді (С-нүктесі). Ары қарай материалдың құрамындағы ылғалдың төмендеуі қисық сызықты функция түрінде төмендейді (СЕ). Себебі бұл кезде материалдан байланысқан ылғал шыға бастайды. Материал температурасы жоғарылай бастайды (C_1 E_1) да процес соңында кептіру агентінің температурасына тең болады (Е-нүктесі).

Кептіру сызығы бойынша графикалық дифференциялау арқылы кептіру жылдамдығының сызығы құрастырылады (6.16-сурет).



6.16- сурет- Кептіру жылдамдығының сызығы

Кептіру жылдамдығы деп материал ылғалдылығының уақыт бірлігіндегі (dω/dτ) өзгеруін айтады.

Бірінші периодтағы масса беру жылдамдығы мына теңдеу арқылы анықталынады

$$-\frac{d\omega}{d\tau} = \beta_г \cdot f \cdot (p_н - p_п), \tag{6.77}$$

мұндағы $\beta_г$ -газды ортадағы масса беру коэффициенті; f - фазалар бөлінген орта бетінің ауданы.

Құрғату кезінде ылғал орталықтан перифериряға қарай жылжиды. Мұндай жылжу диффузиялық процесс, оның қозғаушы күші ылғал концентрациясының әртүрлілігі болып табылады. Оның концентрациясының әртүрлілігі әсерінен қоныс аударатын ылғалдың мөлшерін теңдеу бойынша есептеуге болады

$$W_в = -K_в (\mathrm{d}C/\mathrm{d}n)\, S\, \tau, \tag{6.78}$$

мұндағы Кв-ылғал өткізгіштік коэффициенті, $м^2/с$; dC/dn — өнімдегі ылғал концентрациясының градиенті, $кг/м^4$; S — өнімнің жылу көзімен жанасу беті, $м^2$; τ — процестің ұзақтығы, с.

Өнімнің ішіндегі ылғалдың қозғалысы температуралық градиенттің әсерінен де орын алады. Осы фактордың әсерінен орын ауыстыратын ылғалдың мөлшерін анықтауға болатын теңдеу келесі түрге ие:

$$W_t = -K_t (\mathrm{d}t/\mathrm{d}n)\, S\, \tau, \tag{6.79}$$

мұнда К, - термоылғалөткізгіштік коэффициенті, кг /(м К); dt/dn — температура градиенті, К/м. Бұл өнімнің ылғал бетінен қызған кезде температура градиентінің әсерінен периферіядан ортаға

жылжиды. Осылайша, оның концентрациясы мен температуралық градиенттің айырмасы болған кезде орны ауыстырылатын ылғалдың жиынтық салмағы

$$W_{об} = W_{в} - W_{т} \tag{6.80}$$

мұнда $W_{об}$-диффундирленетін ылғалдың жалпы мөлшері.

Термоылғалөткізгіштік әсерін азайту үшін, кептіру кезінде өнім мүмкіндігінше ұсақтау қажет.

Кептірілетін материалдарға жылуды беру тәсіліне байланысты кептірудің төмендегі түрлері болады:

Конвективті кептіру- кептірілген материал мен кептіргіш агенттің (ысытылған ауа, оттық газдар және т.б.) тікелей жанасуы арқылы;

Контактілі кептіру- жылу тасымалдағыштан кептірілетін материалға жылу қабырға арқылы беріледі;

Радиациялық кептіру – инфрақызыл сәулелердің жылуы арқылы;

Диэлектрикті кептіру – жоғары жиілікті электр тоғының жылуы арқылы;

Сублимациялық кептіру – терең вакуумда тоңазыту күйінде кептіру.

Конвективті кептіруде кептіргіш агент материалға жылу береді және өзімен бірге буланған ылғалды алып кетеді, яғни ол жылу және ылғал тасымалдағыш ролін атқарады. Ылғал газ құрғақ газ және су буы қоспасынан тұрады. Ылғал газ орнына ылған ауаны қабылдап, оның физикалық қасиеттерін қабылдаймыз. Ылғал төмендегі негізгі қасиеттермен сипатталады:

1. Абсолютті ылғалдылық 1 м^3 ылғал ауадағы су буының мөлшерімен анықталады. Техникалық есептеулерде ылғал ауа идеал газ заңына бағынады деп есептеуге болады.

2. *Салыстырмалы ылғалдылық* немесе ауаның қанығу дәрежесі берілген шарттағы 1 м^3 ылғал ауадағы су буыныңмассасының осы көлемде мүмкіндігінше көп бола алатын су буының массасына (қаныққан бу тығыздығына) тең:

$$\varphi = \frac{\rho_{бу}}{\rho_{кан}} \tag{6.81}$$

3. Ылғал мөлшері 1 кг құрғақ ауаға сәйкес келетін су буының мөлшерін көрсетеді

$$x = \frac{m_{бу}}{m_{к.ауа}} = \frac{\rho_{бу}}{\rho_{к.ауа}} \qquad (6.82)$$

Кептірілетін материалдың мөлшері бойынша материалдық баланс кептірудің конвективті, контактілі және басқа түрлеріне бірдей болады.

Кептіруге берілетін материалдың жалпы мөлшері бойынша материалдық баланс:

$$G_1 = G_2 + W \qquad (6.83)$$

Абсолютті құрғақ материалдың мөлшері бойынша материалдық баланс:

$$G_1 \cdot \frac{100 - w_1}{100} = G_2 \cdot \frac{100 - w_2}{100} \qquad (6.84)$$

Кептіргіштерді есептегенде кептіру жылдамдығын анықтау керек. Материал бетінің бірлігінене буланған ылғал мөлшері кептірудің жылдамдығы деп аталады, яғни

$$u = \frac{W}{F \cdot \tau} \qquad (6.85)$$

Кептіру жылдамдығы масса алмасу процесінің жылдамдығы сияқты масса өтудің негізгі теңдеуінен анықталады:

$$u = \frac{W}{F \cdot \tau} = k \cdot \Delta P_{op} \qquad (6.86)$$

Кептіру процесін жылу процесі деп қарастырып, қозғаушы күшті ауаның температурасы мен ылғал термометр температурасы арасындағы айырманы өрнектеуге болады:

$$\chi = t - t_{ы.т} \qquad (6.87)$$

χ- шаманы кептірудің потенциалы деп атайды. Орташа қозғаушы күшті былай анықтауға болады:

$$\chi_{op} = \frac{\chi_1 - \chi_2}{2.3 lg \frac{\chi_1}{\chi_2}} \qquad (6.88)$$

Кептіру процесін масса алмасу процесі деп қарастырып қозғаушы күшті ауаның қанықкан ылғал мөлшері және оның ылғал мөлшері арасындағы айырмамен: $\Delta x_1 = (x_{ka} - x_1)$ - (кептіргішке кірердегі) және $\Delta x_2 = (x_{ka} - x_2)$ - (кептіргіштен шыққандағы) өрнектеуге болады.

Онда орташа қозғаушы күш:

$$\Delta X_{op} = \frac{\Delta x_1 - \Delta x_2}{2{,}3 lg \frac{\Delta x_1}{\Delta x_2}} \qquad (6.89)$$

Кептіргіш аппараттардың түрлері және жұмыс істеу принциптері. Кептірілетін материалдардың қасиеттеріне және оларды кептіру шарттарын сәйкес өндірісте кептіргіштердің көптеген түрлері кездеседі.

Жұмыс істеу принциптеріне байланысты кептіргіштер:

- мерзімді
- үздіксіз әрекетті болады;

Жылу тасымалдағыш немесе кептіргіш агентке байланысты:

- ауалы;
- газды;
- булы.

Кептіргіштегі қысым шамасына байланысты:

- атмосфералық
- вакуумды;

Кептіргіш агент және материал ағындарының өзара байланысына байланысты:

- бір бағытты ағынды;
- қарама-қарсы ағынды;
- айқасқан ағынды;

Материалдық күйіне байланысты:

- қозғалмайтын;
- қозғалатын;
- жалған сұйылу қабаты.

Жылу беру тәсілдері бойынша кептіргіштер үш түрге бөлінеді:

- контактілі;

- конвективті;
- ауалы және газды;
- арнаулы кептіргіштер.

Кептіру жағдайларының әр түрлі болуына байланысты кептіргіштердің көп конструкциясы бар. Кептіруші агентке байланыссыз кептіргіштер 2 түрлі белгісі арқылы топталады.

1) кептіру жүретін қысым бойынша;

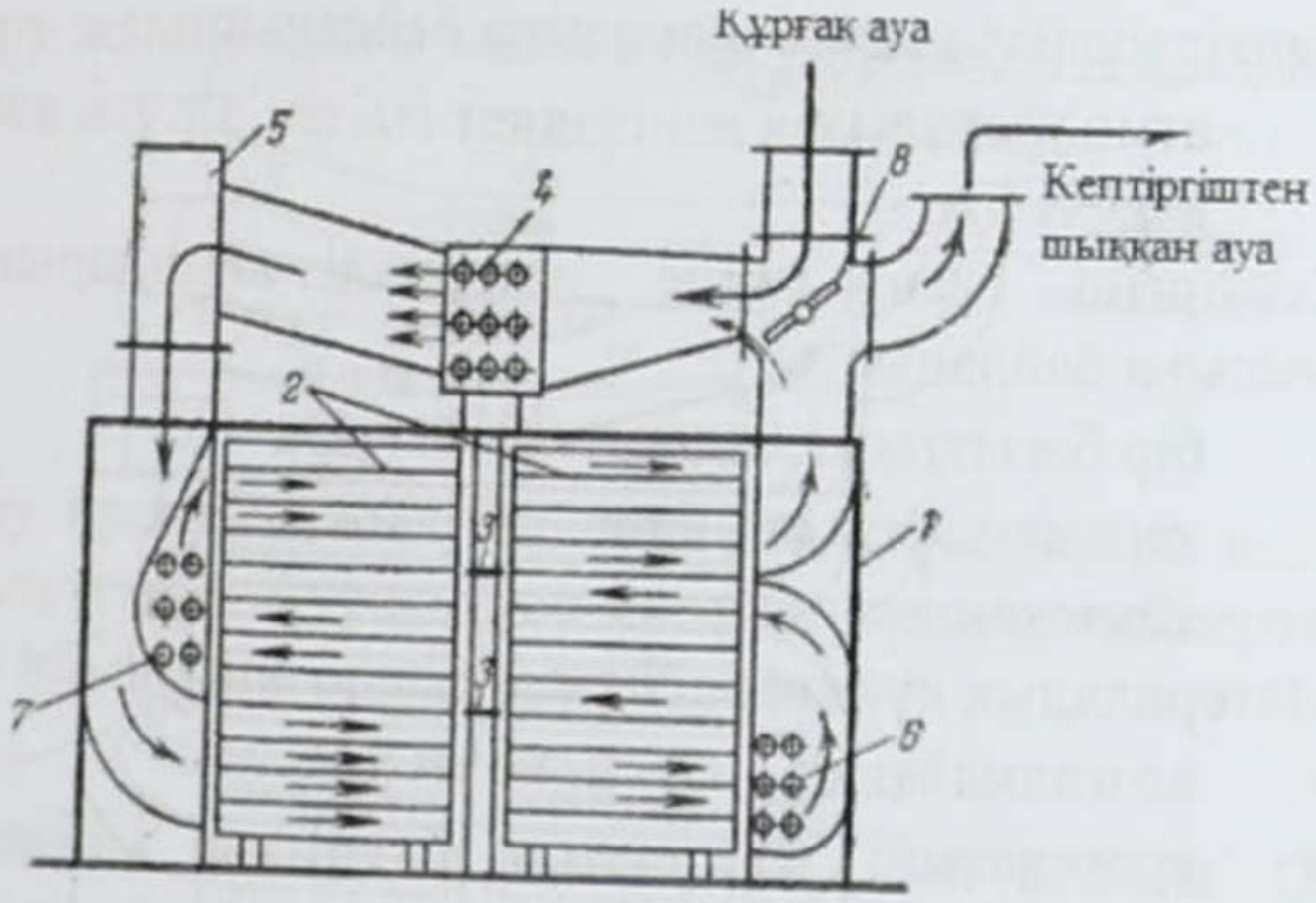
2) процесті ұйымдастыру әдісі бойынша.

Осы белгілерге байланысты: 1) атмосфералық немесе ауалық;

кептіргіштер; 2) вакуумды кептіргіштер болып бөлінеді.

Сәңғы кездерде арнаулы кептіргіштер пайда болды - сублимациялық, радиациялық, жоғарғы толқынды, ультрадыбысты.

Конвективтік немесе ауалық кептіргіштер. Камералық кептіргіштер. Ауалық кептіргіштердің ең қарапайым түрі кептіргіш шкаф больш табылады (6.17-сурет). Бірақ оларда кептіру бірқалыпты жүрмейді. Төменгі сөредегі материал кепкен кезде, жоғарғы сөредегі материал әлі ылғал болады. Жоғарғы сөредегі материалды кептіреміз деп жүргенде, төменгі сөредегісі қатты кеуіп кетеді. Сондықтан сөрелерді материалдармен қоса мезгіл-мезгілмен орын ауыстырьш тұру керек болады.

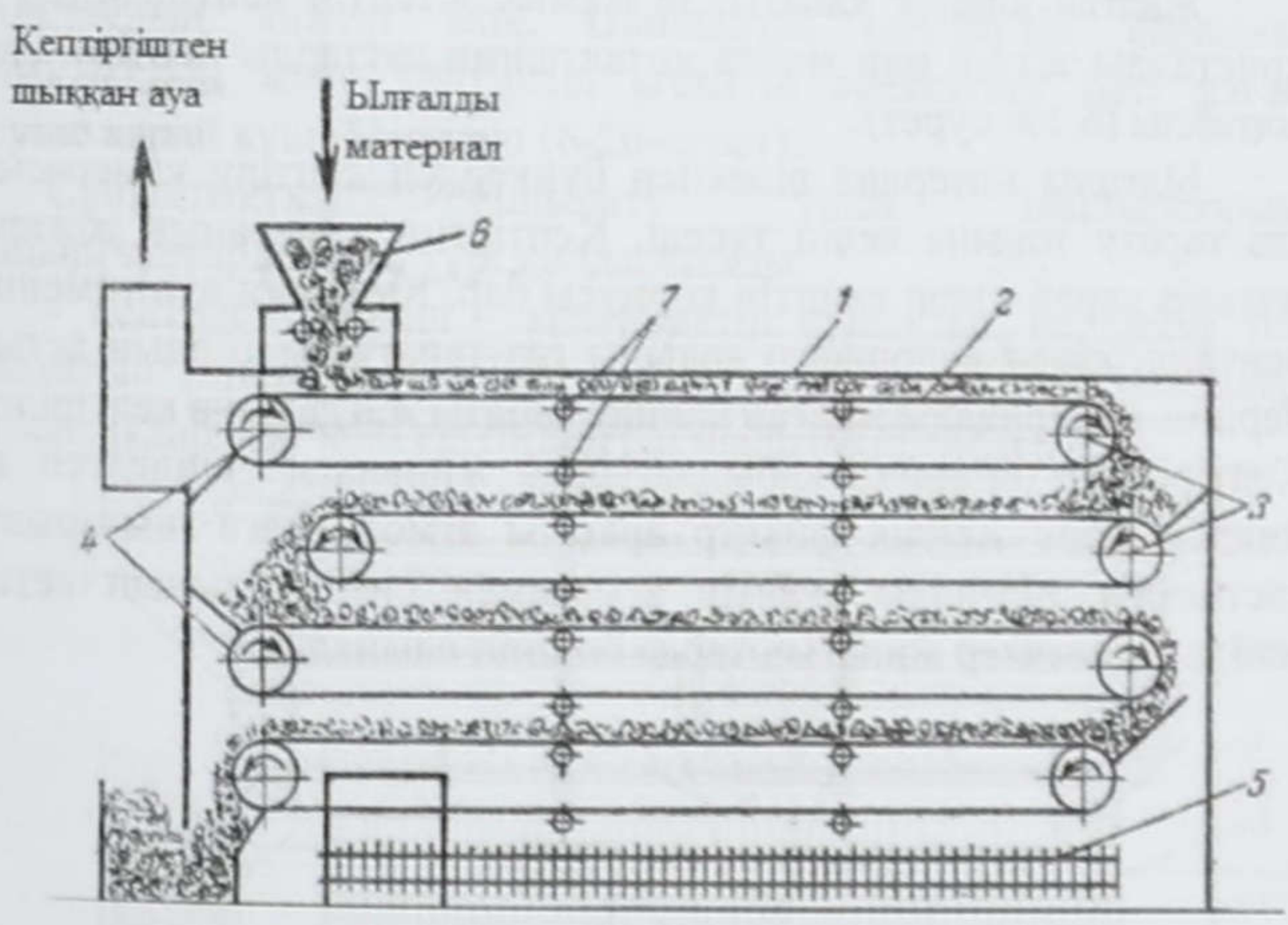


6.17- сурет- Камералы кептіргіш: 1- кептіру камерасы;
2- вагонеткалар; 3- қалқалар; 4,6,7- калориферлер;
5- желдеткіш; 8- шибер.

Неғұрлым тиімді больш жылу тасымалдағышты - ауаны күшпен айналдыратын кептіргіштер табылады, мысалы, көп камералы кептіртіш шкаф.

Шкафтың ішінде жылжымалы сөрелері бар екі тіреу болады. Шкафтың - ішіндегі бүйір қабырғаларында калориферлер орнатылған. Кептіргішке ауа вентилятордың көмегімен айдаланады. Калорифер арқылы өтіп, ауа жоғарғы сөрелердің қатарын жағалай жүріп өтеді, қарама - қарсы қабырғаға жеткен соң, ауа ондауы екінші калорифермен жылытылып, қайтадан кері қайтады. Жылжыған ауа төменгі сөрелерге жеткенге дейін осылай қозғалып отырады. Су буларымен қаныққан ауа шахта арқылы сыртқа шығрылады.

Таспалы кептіргіштер. Кептірілетін материалдың кептіргіште үздіксіз араласып тұруы үшін жиі ленталық транспортерлар қолданылады. Ленталық кептіргіштер бір қабатты (ярусты) және көп қабатты болып бөлінеді (6.18- сурет) . Бір қабатты кептіргіштерде материал калындығы бойымен бір қалыпты кеппейді.



6.18- Таспалы кептіргіш: 1-кептіру камерасы; 2- таспа; 3-жетекші барабан; 4- жетектегі барабандар; 5- калорифер; 6-коректендіргіш; 7- тірек роликтері.

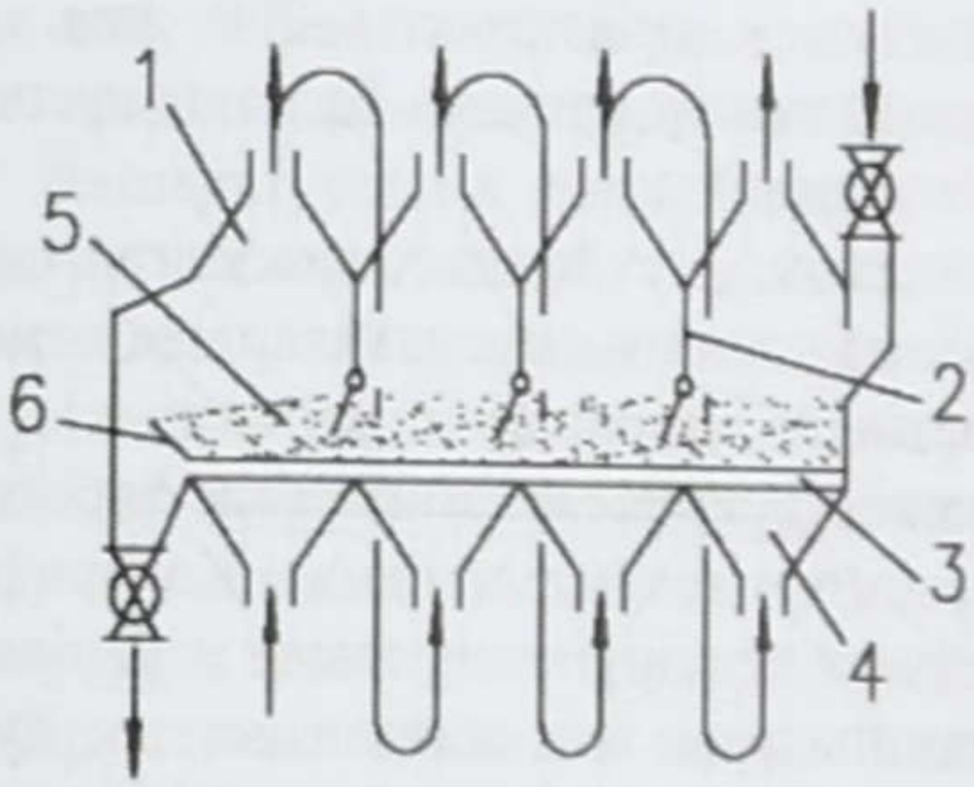
Көп қабатты кептіргіштерде материал бір лентадан екінші лентаға аударылып салынып тұрады және жақсы араласады. Көп қабатты ярусты кептіргіш тік бурышты камерадан, барабанға керілген бірнеше торлы ленталық транспортерлардан тұрады. Ауа кептіргіш камераға желдеткіш көмегімен жіберіледі және калорифер арқылы жылытылады. Шикізат тиеуші бункерден жоғарғы транспортерге келіп түседі. Арнаулы бағытауыстырғыш көмегімен материал бір таспадан екіншісіне аударылып салынады. Ауа төменнен жоғарыға қарай барлық зоналардан өтеді.

Өнделген ауа кептіргіш камераның жоғарғы – жағында орналасқан штуцер арқылы шығарылады. Төменгі ярустың транспортерінен кептірілген материал шанаққа түседі.

Қатты заттарды қайнау қабатында кептірудің әдісін қолданған кезде қатты бөлшектердің және кептіруші агенттің температуралары тез тұрақталынып, қатты және газды фазалар арасында күшті жылу және масса алмасу жүреді, кептіру тез аяқталады (15-20 минут). Қайнау қабатында кептіру кезіде кептіруші агенттер ретінде жағар газдар мен ауа қолданылады.

Жалған қайнау қабатында жұмыс істейтін кептіргіштер ірі кристалды заттар мен майда ұнтақталған заттарды кептіру үшін ыңғайлы (6.19- сурет).

Ылғалы материал шнекпен бункерден кептіру камерасына газ тарату торына келіп түседі. Кептіргіш камераның жоғарғы жағына қарай аздап кенитін корпусы бар. Камераға ауа төменнен вентилятормен калорифер арқылы газ таратушы тордың астына беріліп, материалды жалған қайнау қабаты жағдайына келтіріледі. Кептірілген материал қабылдағышқа жиналады. Өнделген ауа циклон және жеңдік фильтр арқылы атмосфераға шығарылып тасталады. Ылғалды ауаның ағымымен ілесіп алынып кеткен майда бөлшектер жинағыштарда бөлініп алынады.



6.19- сурет- Қайнату қабатында кептіру: 1-камера; 2-бөгеттер; 3- тор; 4- газды коллекторлар; 5- қабат; 6- қалқа.

Шашыратпалы кептіргіштер. Сұйық материалдарды кептіру үшін материалды шашырату принципі бойынша жұмыс істейтін кептіргіштер қолданылады. Шашыратпалы кептіргіштерде кептірудің соншалықты тез жүретіндігі, материал керекті мөлшерден жоғары температураға дейін қызып кетуге үлгермейді. Кептірілген материал ұнтақ түрінде болады және оны әрі қарай ұнтақтаудың қажеті жоқ. Шашырата кептірудің қарқыны сұйықтықтың және кептіргіш агенттің әрекеттесу беті ұлғая түсуіне қарай күшейе түседі (6-20-сурет).

Сұйықтықты шашырату үшін шашыраткыш қондырғыштардың үш түрі қолданылады:

- центрден тепкіш - кептірілетін сұйықтық берілетін тез айналатын дискінің (табақшаның) көмегімен: Бұл дискілер суспензиялар мен қою ерітінділерді шашырата алады.

6-20-сурет. Аэрофонтанды кептіргіш.

-механикалық - сұйықтықты 200 атм. дейінгі қысымда форсункаларғаайдамалау арқылы. Бұл әдіс суспензиялар мен қою ерітінділерге жарамайды.

пневматикалық - сұйықтық қысылған ауамен 1,5-5 атм. қысыммен айдамаланатын форсункалардың көмегімен.

Кептірілетін материал (сұйықтық) жинақтағыштан айналмалы дискінің немесе механикалық форсунканың көмегімен кептіру камерасында шашыратылады. Калорифер арқылы өткен ауа вентилятормен кептіру камерасына жіберіледі. Сұйықтықтың өте майда тамшылары жан-жақтан ыстық ауамен (l50-200^{0}C) үрленіп бірнеше секунд арасында ылғалын жоғалтады және камераның түбіне жұқа ұнтақ тәріздес бөлшектер түрінде шөгеді. құрғақ ұнтақ кептіру камерасынан қалақшылар мен щеткалар көмегімен шығарылып, шнекке жіберіледі, одан әрі қарай дайын өнім жинағышқа түседі. Өнделген ауа, майда ілеспе кепкен материал бөлшектермен бірге, жеңдік фильтрде жиналып, тазартылып, атмосфераға тасталады. Ал ілеспе ұнтақты жеңдік фильтрді қағып, камераға қайтарады. Шашырата кептіру фармацевтік өндірісте кең қолданылады (мысалы, құрғақ экстракт, гранулят аду, микрокапсулалау және т.б. өндірістерде).

Контактілі кептіргіштер. Вакуумды кептіргіштер. Егер материалды өте жоғары температурада кептіруге болмайтын болса немесе ол тотығуға бейімді болса, онда оны вакуум кептіргіштерде сұйылту арқылы кептіреді.

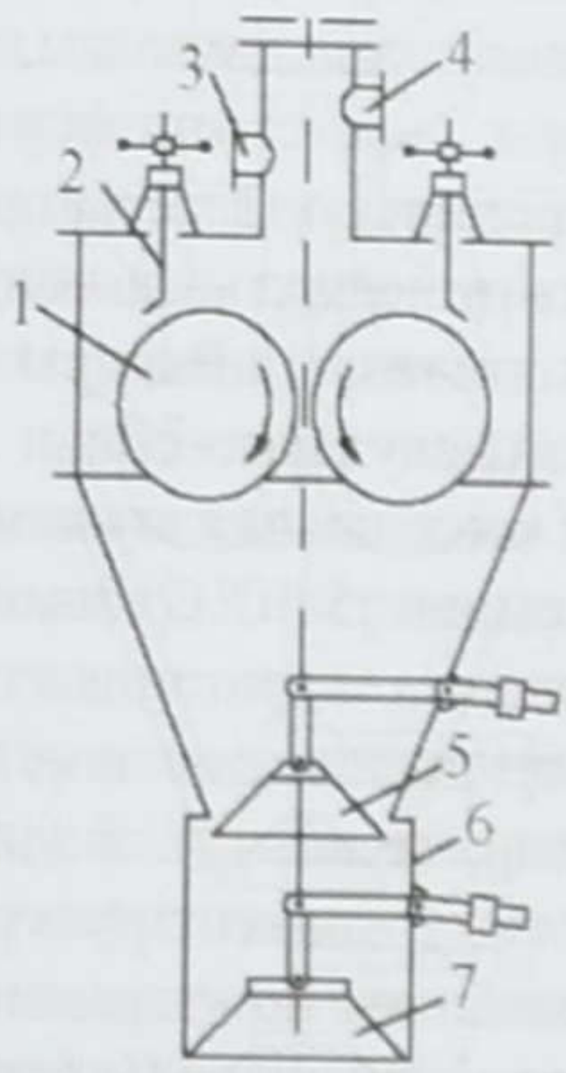
Бұл кептіргіштерді құрамында құнды экстрагенттері болатын сығындыларды, көбінесе қою заттарды, қопарылғыш материалдар, және шаң тудыратын заттарды кептіру үшін қолданады. Вакуум - кептіргіштерде төменгі температуралы пайдаланылған бу немесе конденсат қолданыла алады.

Вакуумды кептіргіштердің келесі түрлері бар: үздікті жұмыс істейтін вакуум-кептіргіш шкафтар және үздіксіз жұмыс істейтін білікті вакуум-кептіргіштер.

Вакуум-кептіргіш шкафтар горизонтальды цилиндрлі шойын корпус болып табылады. Оған қыздырушы қуыс плиталар бекітілген. Жоғарғы жағынан плиталарға қыздырушы бу жіберілді, төменгі жағынан конденсат шығарылады. Алдын-ала қыздырылған плиталарға қалыңдығы 20-60 мм етіп салынған кептірілетін материал бар қалыптар немесе қойытылған сығындыны құйған жайпақ табақшалар қойылады. Шкафты

қақпақпен жабады, вакуум насосты іске қосады. Пайда болған су булары патрубок арқылы конденсаторға жіберіледі. Кептіру ұзақтығы 50-60^{0}С температурада 4 сағат. Кептіру біткен соң бу жіберуді тоқтатады, салқындатады, қысымды теңестіреді. Кептірілген материалды табақтардан түсіріп алады және ұнтақтайды. Вакуум-кептіргіш шкафтарды көбінесе аз тоннажды өндірістерде қолданады. Вакуум-білікті кептіргіштер. Олар ішінен қыздырылатын баяу айналатын металл біліктер болып табылады.

Біліктің айналу саны және оның температурасы кептірілетін сұйықтық білік бір толық айналым жасап болғанша кеуіп үлгеретіндей болып реттеледі.Кептірілген материалды біліктен қырып алады. Вакуум-білікті кептірігіштердің әртүрлі болады (6.21-сурет).



6.21- сурет. Білікті вакуум кептіргіш: 1- біліктер; 2- қырғыш; 3- ылғалды материал кіретін жең; 4- газ шығаратын жең; 5, 7- қалпақтар; 6- құрғақ материал жинау камерасы.

1) бір білікті батырылатын жанышқышты кептіргіш. Сұйытылған ерітінділер мен сығындыларды кептіруге жарамды.
2) бір білікті батырылмаған жанышқышты кептіргіш. Бұл кептіргіш біріншіге қарағанда тиімді. Білік пен сұйықтық арасында жабдықтағыш жұмыр білік болады, оның көмегімен сұйықтықтық қалындық қабаты реттеледі. 3) екі білікті кептіргіш.

Біліктер қарама-қарсы бағытта айналады. Кептірілетін сұйықтық біліктер арасындағы саңылауға жіберіледі.

2) Кептірудің арнайы тәсілдері. Сублимациялық кептіру. Өз сапасын толық сақтаған және сақтау мерзімі ұзақ болатын материалдар алуға мүмкіндік береді.Сублимациялық кептіру қыздыруға шыдамсыз препараттар, антибиотиктер, қан препараттары, жануарлар органдарынан дайындалатын препараттар, гармондар, витаминдер және т.б. үшін пайдаланылады.

Сублимациялық кептіру тоңазытылған материалдан, яғни, қатты фазадан булы фазаға, сұйықтық күйін айналып өтіп, жүргізіледі. Сублимациялық кептіру кезінде үш кезең орын алады:

1) дайындық кезеңі - кептірілетін материалды бөлшектеген күйде (флакондарда, ампулаларда) тоңазыту. Мұнда процестің температурасы, жылдамдығы, тоңазыған қабаттың көлемі мен қалындығы, ыдыстың формасы мен көлемдері бақылауға алып 2) терең вакуум астында сублимация (негізгі кептіру) кезінде кептіру ұзақтығы өнімнің температурасы эксперименталь анықталады. Вакуум астында тоңазыған материалдан су буы молекуласы, сонан кейін ұшқыш заттар аластатылады. Су буын конденсациялау камерасында температура тоңазыту температурасынан 5-10° С төмен болуы керек және қысым кептіру камерасына қарағанда төмен болуы тиіс. 3) материалдан барлық мұз аласталған соң вакуум астында, О° С температурадан жоғары жағдайда байланысқан суды аластату үшін 6-7 сағат бойына жылулық кептіру жүргізіледі.

2) Жоғарғы толқынды тоқтармен кептіру. Бұл кептіру пластикалық массаларды, шайырларды (смолаларды), ағаштарды кептіру үшін қолданылады. Кептіргіштің камерасы конденсатормен қосылған, оған вакуум-насос және насосы бар тоңазытқыш қондырғы бекітілген. Конденсатордан, онда пайда болатын мұзды шығарып тастап отыру үшін әдетте кезектесіп жұмыс істейтін 2 конденсатор қосылады.

3) Бұл тәсіл химия-фармацевтік өндірісте түйіршіктерді (гранулаларды) кептіру үшін қолданады. Кептіру материалдың бүкіл қалындығы бойымен тез, біркелкі және бірдей уақытта жүреді.

Бұл әдістің принципі электр өрісінің әсерімен диэлектрик молекулаларының поляризациялануы қасиетінде.

4) Молекулалардың поляризациясы олардың арасындағы үйкеліспен қабаттаса жүреді, оған жылуға айналатын электр энергиясы өрісінің біраз белігі жұмсалады. Кептіру жылдамдығы ылғалдың төмен қабатынан жоғарғы бетіне қарай ұмтылуы есебінен жоғарылайды, себебі, материалдың жоғарғы бетіндегі температура оның ішкі қабатына қарағанда төмен.

5) Инфрақызыл сәулелермен (радиациалық) кептіру кезінде ылғалды буландыруға қажетті жылу жылулық сәуле шығару әсерімен беіледі. Инфрақызыл сәулелер шығаратын энергия көзге көрінер сәулелер шығаратын энергиядан әлдеқайда жоғары, сондықтан бұл кептіру тәсілі тиімді. Инфрақызыл сәуле таратушы ретінде шағылыстырушы рефлекторлары бар электр лампалары немесе газбен қыздырылатын экрандар не панельдер қолданылады.

Транспортермен тасымалданатын кептірілетін материал үстіне шығылыстырғыштары бар жарық беріп лампалар орналастырады. Осы лампалар материал бетіне қарқынды сәуле шоғын жібереді. Инфрақызыл сәуленің жылулық әсері ылғалды тез кептіреді. Тәсілдің артықшылығы - жылу шығыны төмен; материалдың жұқа қабатын ылғалды тез кетіреді; қондырғылардың құрылысы қарапайым. Кемшілігі -кептірілуші материалдың біркелкі қызбауы; энергия шығыны жоғары.

Кептіргіштердің жылу және материалдық баланстары. Кептіру процесін есептеу кезінде кептіргіштің ылғалды материал бойынша өнімділігі (m_1), ал құрғақ материал бойынша (m_2) және материалдың бастапқы және соңғы ылғалдылықтары (ω_1), (ω_2) белгілі болса материалдық баланс есебі кептіру кезіндегі алынатын ылғал мөлшерін W анықтау болады.

Материалды баланс теңдеуі:

-материал бойынша

$$m_1 = m_2 + W; \tag{6.90}$$

-құрғақ заттар бойынша:

$$m_1 \cdot \frac{100 - \omega_1}{100} = m_2 \cdot \frac{100 - \omega_2}{100}. \tag{6.91}$$

Жоғарыдағы (6.90) және (6.91) теңдеулерін бірге шеше отырып төсендегіні аламыз:

$$W = m_1 \cdot \left(1 - \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2}\right) = m_1 \cdot \left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2}\right), \quad (6.92)$$

немесе

$$W = m_2 \cdot \left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_1}\right). \quad (6.93)$$

Конвективтік кептіргішті есептеу кезінде ылғал бойынша материалдық баланс жасалынады.

Егер кептіргішке ылғал құрамы x_1, кг/кг ылғалды ауа түссе және оның шығыны L, кг/с. Кептіргіштен осындай мөлшерде ауа ығады бірақ ылғалқұрамы x_2. Материалдан ауаға W кг/с ылғал беріледі. Сонда ылғал бойынша материалдық баланс мына түрде болады

$$L \cdot x_1 + W = L \cdot x_2. \quad (6.94)$$

Бұдан ауа шығыны

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1}. \quad (6.95)$$

Бір кг ылғалды буландыруға қажет ауа шығыны

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1}{x_2 - x_1}. \quad (6.96)$$

Калориферде қыздырылған ауаның құрамындағы ылғал өзгермейтін болғандықтан

$$x_1 = x_0. \quad (6.97)$$

Бақылау сұрақтары:

1.Кептіру процесі дегеніміз не?

2.Кептіру процесінің сипаттамасы қандай?

3. Қандай процесс тобына жатады?

4. Кептіру процесі қалай жүреді, кептіру процесіне қандай кептіру агенті қолданылады, олардың артықшылықтары мен кемшіліктер қандай?

5. Тамақ өндірісіндегі кептірудің мәні?

6. Материалдарды кептіру процесі және олардың өтуі

1. Кептіру процесінің қозғаушы күш болып не табылады?

2. Кептіру жылдамдығы дегеніміз не және ол нені сипаттайды?

3. Кептіру процесінде материалдық баланс қалай құрылады және шыққан судың мөлшері қалай анықталады?

4. Кептіру процесінің I-d диаграммасын қалай тұрғызады және I-d диаграммасы бойынша ауа мен жылудың есебін қалай анықтайды?

5. Аналитикалық жолмен кептіру процесін қалай жүргізуге болады?

6. Кептіру қондырғысының ПӘК қалай анықталады?

7. Кептіргіштердің жіктелуі қалай жүреді?

7.МАССААЛМАСУ ПРОЦЕСТЕРІ

7.1 Массаалмасу процесінің теориялық негіздері

Масса алмасу заттың бір фазадан екінші фазаға ауысу заңдылықтарын зерттейді.

Тамақ өнеркәсібінде негізінен мына масса алмасу процестері жүреді:

-қатты және сұйық фазалар арасында (кристалдану, еру);

-газ және сұйық фазалар арасында (абсорбция);

-екі сұйық фаза арасында (экстракция);

-газ және қатты фазалар арасында (адсорбция) және т. б.

Жаппай тарату-бұл күрделі процесс, ол заттың (массаның) бір фаза шегінде тасымалдануын, содан кейін фазалардың бөліну беті арқылы тасымалдануын және массаның басқа фаза шегінде тасымалдануын қамтиды. Масса беру жылдамдығы фазалардағы заттардың берілу механизміне байланысты.

Фазадағы заттың ауысуы молекулалық диффузия (қатты заттарда) немесе бір уақытта (сұйықтықта) молекулалық және конвективті диффузия арқылы жүзеге асырылады.

Молекулалық диффузия. Бұл механизм молекулалардың кездейсоқ қозғалуына байланысты. Фиктің бірінші заңына сәйкес d_M затының массасы dx кезінде диффузия бағытына қарай қалыпты df беті арқылы шығарылады

$$dM = -D \cdot df \cdot d\tau \cdot \frac{\partial c}{\partial n}, \qquad (7.1)$$

мұндағы D-молекулалық диффузия коэффициенті, $м^2/с$; с - заттың концентрациясы, $кг/м^3$; d_c / d_n — қалыпты п бойындағы концентрация градиенті.

D мәні эмпирикалық жолмен анықталады және заттың табиғатына, температура мен қысымға байланысты. Әдетте d температураның жоғарылауымен және қысымның төмендеуімен жоғарылайды (газдар үшін).

Конвективті диффузия. Конвективті диффузия механизмі макробөлшектердің (конвективті ағындардың) қозғалысына байланысты. Ағынның турбуленттілігі кезінде жылдамдықтың пульсациясы артады және мұндай конвективті беріліс көбінесе турбулентті диффузия деп аталады. Турбулентті диффузияға байланысты диффузиялық заттың мөлшері

$$dM_T = -D_T \cdot df \cdot d\tau \cdot \frac{\partial c}{\partial n}, \qquad (7.2)$$

мұндағы D_T-турбулентті диффузия коэффициенті, м^2 / с.

D_T мәні физикалық тұрақты емес, бірақ гидродинамикалық жағдайларға байланысты.

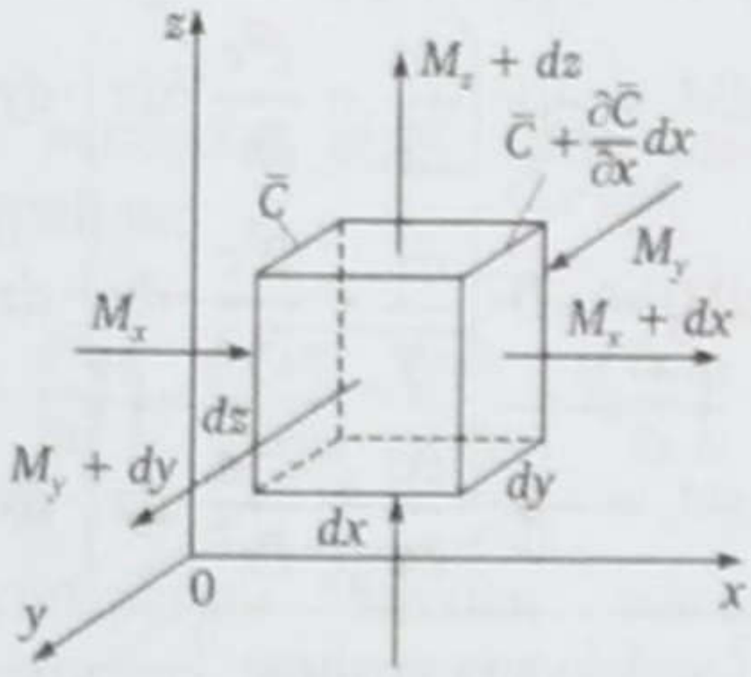
Фазалық шекараның жанындағы турбулентті ағымда, әдетте, молекулалық диффузия басым болады. Ағынның ядросында молекулалық диффузиямен қатар конвективті диффузия жүреді. Осыны ескере отырып, берілген заттың мөлшері

$$dM_{общ} = dM + dM_T. \qquad (7.3)$$

Қозғалатын ортадағы заттардың жалпы тасымалдануы конвективті масса алмасу деп аталады.

Қозғалыстағы ортадағы масса алмасудың дифференциалдық теңдеуі. Берілген ағын ішінде қабырғалары dx, dy, dz элементарлы паралелипипедті бөліп алайық. V ағын жылдамдығының координата өстеріне түскен проекцияларды vx, vy, vz деп белгілеймыз. Егер процесс изотермиялық болса, p = const, D = const қабылдауға болады.

Молекулалық және конвективті диффузией арқылы масса алмасыру жүргізілсе таралатын массаның паралелипипедтің әр материалдық балансын Қарастырайық материалдық баланс бойынша распределяемому зат үшін әр қырынан параллелепипед ескере отырып, сонымен қатар, ауыстыру массасын жүзеге асырылады. Содан кейін әрбір ось бойымен кіріс масса ағындары құрайды:



7.1- сурет. Молекулярлы диффузияның дифференциальдық теңдеуі

-молекулярлық диффузия кезінде

$$M_x = -D \cdot \frac{\partial c}{\partial x} \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$M_y = -D \cdot \frac{\partial c}{\partial y} \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$M_z = -D \cdot \frac{\partial c}{\partial z} \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau; \qquad (7.4)$$

-конвективті диффузия кезінде

$$M_x = v_x \cdot C \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau;$$
$$M_y = v_y \cdot C \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau;$$
$$M_z = v_z \cdot C \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau. \qquad (7.5)$$

Паралелипипедтің қарсы жағындағы қырында С концентрциясы ох өсі бойымен өзгереді:

$$C + \frac{\partial c}{\partial x} \cdot dx, \qquad (7.6)$$

ал жылдамдық — $$v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} \cdot dx.$$

Бұл жағдайларда әр бір қыр бойымен масса ағыны:
-молекулярлық диффузия кезінде

$$M_x + dM_x = -D \cdot \left(\frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$M_y + dM_y = -D \cdot \left(\frac{\partial c}{\partial y} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \cdot dy \right) \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$M_z + dM_z = -D \cdot \left(\frac{\partial c}{\partial z} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \cdot dz \right) \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau; \qquad (7.7)$$

-конвективті диффузия кезінде:

$$M_x + dM_x = \left(v_x \cdot C + \frac{\partial(v_x \cdot C)}{\partial x} \cdot dx\right) \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$M_y + dM_y = \left(v_y \cdot C + \frac{\partial(v_y \cdot C)}{\partial y} \cdot dy\right) \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$M_z + dM_z = \left(v_z \cdot C + \frac{\partial(v_z \cdot C)}{\partial z} \cdot dz\right) \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau. \quad (7.8)$$

Кіретін және шығатын заттар ағындар қосындысынан олардың айырымын табамыз. Сонда:

$$D \cdot \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}\right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau -$$

$$-\left(\frac{\partial(v_x \cdot C)}{\partial x} + \frac{\partial(v_y \cdot C)}{\partial y} + \frac{\partial(v_z \cdot C)}{\partial z}\right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau. \quad (7.9)$$

Осыны түрлендергенде:

$$\frac{\partial(v_x \cdot C)}{\partial x} + \frac{\partial(v_y \cdot C)}{\partial y} + \frac{\partial(v_z \cdot C)}{\partial z} =$$

$$= \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z}\right) \cdot C + v_x \frac{\partial c}{\partial x} + v_y \frac{\partial c}{\partial y} + v_z \frac{\partial c}{\partial z}. \quad (7.10)$$

Сығылмайтын сұйықтық үшін:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0. \quad (7.11)$$

Жоғарыдағыны ескерсек кіру және шығу арындарының айырымы мынаны құрайды:

$$\left[D \cdot \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}\right) - \left(v_x \frac{\partial c}{\partial x} + v_y \frac{\partial c}{\partial y} + v_z \frac{\partial c}{\partial z}\right)\right] \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau. \quad (7.12)$$

Диффузияға ұшырағын заттың массасының өзгерісі паралелипипед көлеміндегі концентрацияның dx уақыттағы өзгерісіне алып келеді

$$dM = \frac{\partial c}{\partial \tau} \cdot d\tau \cdot dx \cdot dy \cdot dz, \quad (7.13)$$

мұндағы - $\frac{\partial c}{\partial \tau} \cdot d\tau$ - паралелтпипед көлеміндегі заттың концентрациясының dτ мерзіміндегі өзгеруі.

7.12 және 7.13- теңдеулерін теңестіріп, конвективі массаалмасудың дифференциалды теңдеуін аламыз:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial c}{\partial x} + v_y \frac{\partial c}{\partial y} + v_z \frac{\partial c}{\partial z} = D \cdot \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right). \quad (7.14)$$

Стационарлық режімде теңдеудің сол жағы нөлге тең болады. При массообмене в неподвижной среде при v_x — v_y - v_z — 0 уравнение (7.5) преобразуется в дифференциальное уравнение молекулярной диффузии (второй закон Фика):

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \cdot \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right). \quad (7.15)$$

Сұйықтық қозғалысының диффузиялық есебі жылдамдық өрісін сипаттайтын теңдеу белгілі болған жағдайда ғана шешілуі мүмкін. Демек, (7.5) теңдеуді Навье — Стокс теңдеулерімен және ағынның ажырамаушылық теңдеулерімен толықтыру керек.

Δp тығыздығының градиенті негізделген массалық күш x осінің бойымен бағытталғанын қабылдап, Навье — Стокс теңдеуін жазамыз:

$$v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} = \frac{g \cdot \Delta \rho}{\rho} - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right);$$

$$v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right);$$

$$v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right). \quad (7.16)$$

(7.25) теңдеу жүйесін ағынның ажырамау теңдеуімен толықтырамыз. Сығылмайтын сұйықтық үшін ағынның ажырамас теңдеуі

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_x}{\partial z} = 0. \quad (7.17)$$

Бұл дифференциалдық теңдеулер жүйесі бірқатар жорамалдарды енгізгеннен кейін кейбір қарапайым масса алмасу жағдайлары үшін ғана шешілуі мүмкін. Сондықтан, жылу процестері сияқты ұқсастық теориясы әдісімен зат массасын тасымалдауды сипаттайтын айнымалы арасындағы байланыс табылуы мүмкін. Бұл үшін теңдеулердің бұл жүйесі өлшемсіз түрге алып келуі керек және осылайша ұқсастық критерийлері алынуы мүмкін.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар мен тапсырмалар

1. Масса тасымалдау механизмдері қандай? Масса алмасу процестерінің қозғаушы күші не болып табылады?

2. Массаалмасу процестеріне мысал келтіріңіз. Молекулалық диффузия заңдарын жазып алыңыз (Физиканың 1-ші және 2-ші заңдары).

3. Молекулалық диффузия коэффициенті нені сипаттайды?

4. Қозғалыстағы ортада Затты тасымалдау механизмі қандай? Ағындағы масса алмасудың дифференциалдық теңдеуін жазыңыз.

5. Фаза түсінігін ашыңыз. Затты бір Фазадан екіншісіне тасымалдау схемасын жасаңыз. Бір Фазадан екіншісіне массаалмасу нені қамтиды?

6. Масса беру теңдеуін жазыңыз. Масса беру коэффициентін сипаттаңыз.

7. Масса беру коэффициенттерін есептеу үшін қандай критерийлер қажет?

8. Массаалмасу процестері үшін критериалды теңдеулерді келтіріңіз: абсорбция, кептіру және кристалдану.

9. Массаждың негізгі теңдеуін келтіріңіз. Масса беру коэффициенті қалай есептеледі (нақты мысалда көрсетіңіз)?

10. Массаалмасу процестерінің қозғаушы күші қалай есептеледі?

8.АБСОРБЦИЯ

Газдар немесе булар мен газдар қоспаларынан бір немесе бірнеше құрастырушылардың сіңіргіш сұйықтармен сіңірілуі абсорбция деп аталады. Сіңірілетін газды абсорбтив, ал сіңіргіш сұйықты абсорбент деп атайды. Физикалық абсорбцияда абсорбтив абсорбентпен химиялық әрекеттеспейді. Егер абсорбтив абсорбентпен химиялық әрекеттессе, ондай үрдісті хемосорбция деп атайды.

Физикалық абсорбция көбінесе қайтымды үрдіс, яғни сіңірілген газды ерітіндіден ажырату мүмкін. Мұндай абсорбция кері үрдіс – десорбция деп аталады. Абсорбция үрдісін десорбция үрдісімен жалғастырып өткізгенде сіңіргіш сұйық көп рет қайталанып қолданылады және сіңірілген газ таза күйінде бөлініп алынады. Көптеген жағдайларда абсорбент пен абсорбтив арзан және қажет емес өнім болғанда (мәселен, газдарды тазалауда), десорбция үрдісін өткізу қажет болады.

Абсорбциялық аппараттардың (абсорберлердің) түрлері. Абсорбциялық үрдістерді жүзеге асыратын аппараттарды абсорберлер деп атайды.

Абсорбция үрдісі фазалардың жанасу бетінде өтетін болғандықтан, абсорберлердегі сұйықпен газдың арасындағы жанасу беті үлкен болуы керек. Осы беттің түзілу тәсілдеріне байланысты абсорберлерді шартты түрде төмендегі түрлерге бөлуге болады: бетті және қабықшалы; саптамалы; барботажды (табақшалы); шашыратпалы.

Газдар немесе булар мен газдар қоспаларынан бір немесе бірнеше құрастырушылардың сіңіргіш сұйықтармен сіңірілуі абсорбция деп аталады.

Сіңірілетін газды абсорбтив, ал сіңіргіш сұйықты абсорбент деп атайды.

Физикалық абсорбцияда абсорбтив абсорбентпен химиялық әрекеттеспейді. Егер абсорбтив абсорбентпен химиялық әрекеттессе, ондай процесті хемосорбция деп атайды.

Физикалық абсорбция көбінесе қайтымды процесс, яғни сіңірілген газды ерітіндіден ажырату мүмкін. Мұндай абсорбцияға кері процесс десорбция деп аталады.

Абсорбция процесін десорбция процесімен жалғастырып өткізгенде сіңіргіш сұйық көп рет қайталап қолданылады және

сіңірілген таза күйінде бөліп алынады. Көптеген жағдайларда абсорбент пен абсорбтив арзан және қажет емес өнім болғанда (мәселен, газдарды тазалауда) , десорбция процесін өткізу қажет болмайды.

Тамақ өндірісінде абсорбция төмендегі мақсаттарда қолданылады: газ қоспаларынан қымбат бағалы құрастырушыларды ажыратылып алуда; ауаға шығарылатын қалдық газдарды зиянды құрастырушылардан тазалауда; ауаны құрғатуда.

Абсорбция процесінде ерітіндідегі газдың құрамы сұйықпен газдың қасиеттеріне, қысымға, температураға және газды фазаның құрамына байланыста болады. Абсорбциялы -десорбциялы процестер үшін газдар және олардың сұйықтағы ерітінділері арасындағы тепе-теңдік Генри заңымен өрнектеледі: сұйықта ерітілген газдың парциал қысымы оның ерітіндідегі мольдік үлесіне пропорционал.

Абсорбцияның физикалық негіздері. Абсорбция кезінде бөлінетін зат, мысалы, көмірқышқыл газы екі фазаның арасында бөлінеді. Осылайша, екі фазаның (Ф = 2) және үш компоненттің (К = 3) өзара әрекеттесуі орын алады.

Фаза ережесіне сәйкес, мұндай жүйе үш дәрежелі бостандыққа ие:

$$C = К + 2 - Ф = 3 + 2 - 2 = 3. \quad (8.1)$$

Абсорбция кезіндегі фазалық тепе-теңдікті анықтайтын негізгі параметрлер р қысым, t температура және концентрация болып табылады. Абсорбция кезінде орын алатын тұрақты қысым мен температура кезінде бөлінетін заттың бір фазадағы әрбір концентрациясы басқа фазадағы белгілі бір концентрацияға сәйкес келеді.

Тұрақты температурада және жалпы қысымда тепе-теңдік жағдайында фазадағы тепе-теңдік концентрациялары арасындағы тәуелділік Генри Заңын білдіреді:

$$p_A^* = E \cdot x_A, \quad (8.2)$$

мұндағы р' – тепе тең сұйық фазадағы А затының парциалды қысымы; хА - сұйық фазадағы А затының мольдік үлесі (концентрациясы); Е - Генри тұрақтысы.

немесе

$$x_A = \frac{p_A}{F}. \tag{8.3}$$

Генри тұрақтысы адсорбив пен адсорбент табиғатына, сондай-ақ температураға байланысты:

$$\ln E = -\frac{q}{RT} + C, \tag{8.4}$$

мұндағы q-газдың еру жылуы; R-әмбебап газды тұрақтысы; С - газ бен сұйықтықтың табиғатына тәуелді тұрақты.

Осылайша, газдардың ерігіштігі температураның жоғарылауы кезінде сұйықтықтарда төмендейді.

Газ фазасындағы А затының парциалды қысымы Дальтон заңына сәйкес оның концентрациясымен ауыстырылуы мүмкін:

$$p_A = P \cdot y_A, \tag{8.5}$$

немесе

$$y_A = \frac{P}{p_A}, \tag{8.6}$$

мұндағы Р-жүйедегі жалпы қысым. Жоғарыдағы теңдеулерді теңестіріп мынаны аламыз:

$$y_A^* = \frac{E}{P} \cdot x_A = m \cdot x_A, \tag{8.7}$$

мұнда Е/Р- тарату коэффициенті немесе физикалық тепе-теңдік константасы.

Газдық (У) және сұйық (х) фазалардағы тепе-теңдік концентрациялары арасындағы тәуелділік (8.7) теңдеуден кейін координаттардың басы арқылы өтетін тура сызықты білдіреді, оның көлбеу бұрышының тангенсі үйкеліс коэффициентіне тең.

Генри Заңына идеалды ерітінділерге жақын сұйылтылған ерітінділер бағынады. Концентрацияланған ерітінділер үшін тепе-теңдік тәуелділіктер тік сызықтықтан ауытқиды және тәжрибе арқылы анықталынады.

Процестің материалдық балансы. Аппарат бойы бойынша фаза шығыны тұрақты деп аламыз: G – және L -газдың (абсорбтив) және сұйықтың шығындары; $y_н$, $y_к$ –абсорбтивтің

бастапқы және соңғы концентрациясы; $x_н$, $x_к$ - абсорбенттің бастапқы және соңғы концентрациясы (8.1 - сурет).

Сонда материалдық баланс теңдеуі мынандай түрге ие болады

$$G \cdot (y_н - y_к) = L \cdot (x_к - x_н). \qquad (8.8)$$

Осы теңдеуден G немесе L шығындарын анықтауға болады.

Mn қимасы үшін (8.2 -сурет) материалдық баланс теңдеуі мынандай түрге ие

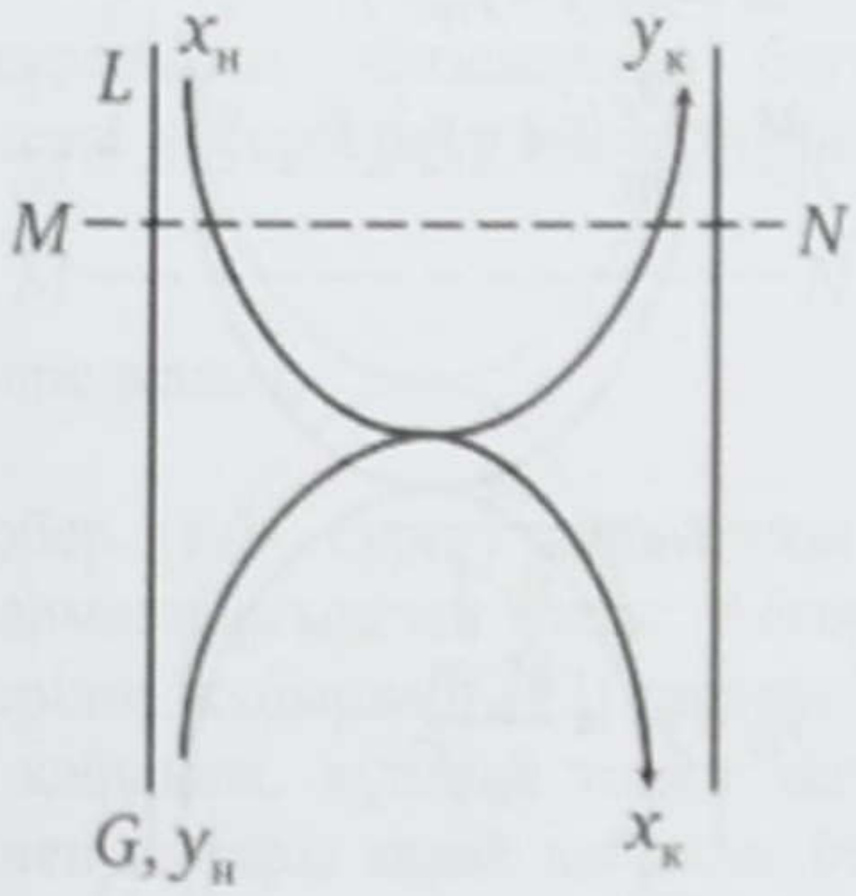
$$G \cdot (y - y_к) = L \cdot (x - x_н) \qquad (8.9)$$

немесе

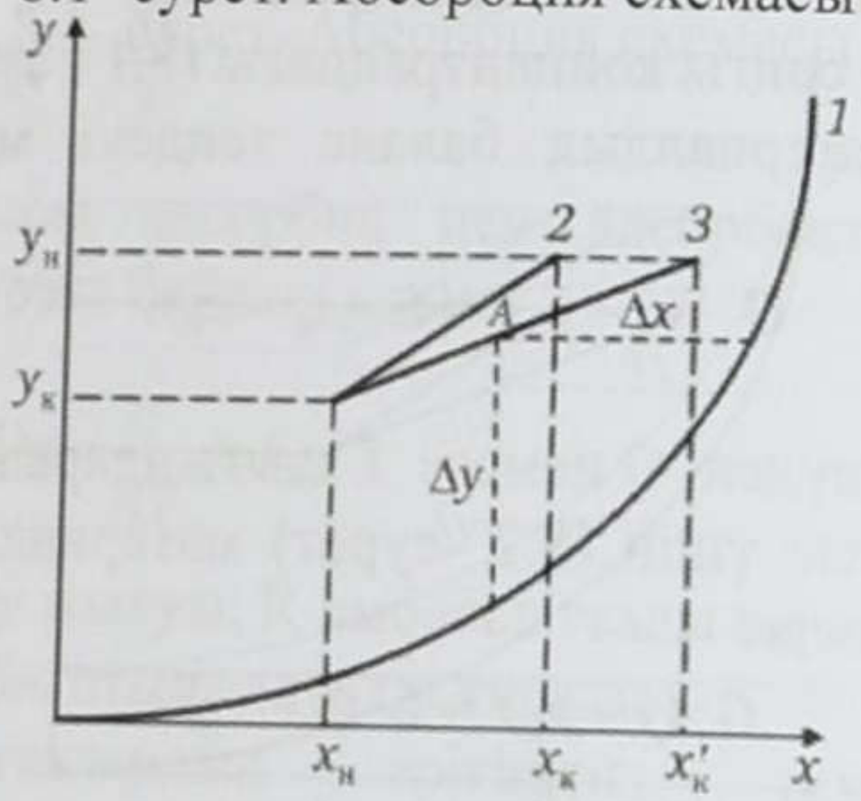
$$y = y_к + \frac{L}{G} \cdot (x - x_н). \qquad (8.10)$$

Мұндағы (8.10) теңдеу процестің жұмыс сызығы деп аталатын түзу болып табылады (8.1 - сурет., 2 және 3 сызықтар). 2 сызық тепе-теңдік концентрацияға сәйкес келеді. 8.2-суретте берілген 2 және 3 сызықтары. А нүктесі үшін ДХ және Ду процестің қозғаушы күші (концентрациялардың айырмасы) $X_К$ және X* сұйық фазадағы заттардың әртүрлі түпкілікті концентрациясына жауап береді. 8.2 -сурет.

Барлық аппарат үшін орташа мәндер анықталады:$ДУ_{ср}$ және $Дх_{ср}$. 3 жұмыс сызығы үшін $x_к$ тепе-теңдік концентрациясына барынша жақындау тән, демек, бұл жағдайда абсорбенттің ең аз шығыны орын алады.



8.1- сурет. Абсорбция схемасы



8.2 - сурет. Абсорбент шығынын анықтау

Массаберудің теңдеуі. М затының массасы газ фазасынан Фу (0 сұйық Фх(Х) өтеді. Тепе-теңдік сызығы (8.10) теңдеумен және фаза (хгр, у,) бөлімінің шекарасындағы заттың концентрациясымен сипатталған жағдайды қарастырайық.р) бір-біріне тепе-тең. Осыны ескере отырып,

$$x_{гр} = \frac{y_{гр}}{m} \text{ и } x = \frac{y_p}{m}, \qquad (8.11)$$

мұндағы y_p - концентрация вещества в фазе $Ф_y$ фазасындағы заттың концентрциясы. $x_ф$ және х шамаларын масса беру теңдеуіне қоямыз Осы теңдеулерді $x_ф$ және х еске алып қайта жазамыз:

$$M = \beta_y (y - y_{гр}) \cdot f;$$
$$M = \frac{\beta_x}{m} (y_{гр} - y_p) \cdot f, \qquad (8.12)$$

бұдан

$$y - y_{гр} = \frac{M}{\beta_y \cdot f};$$
$$y_{гр} - y_p = \frac{M \cdot m}{\beta_x \cdot f}. \qquad (8.13)$$

Түрлендіру арқылы мынаны аламыз:

$$y - y_p = \frac{M}{f}\left(\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}\right). \tag{8.14}$$

Осыдан масса беру теңдеуі мына түрге ие болады

$$M = \left(\frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}}\right) \cdot (y - y_p) \cdot f, \tag{8.15}$$

мұндағы $[1/(1/ß_y + m / ß_x)] = к'$ - масса беру коэффициенті.

Десорбция үшін осындай коэффициент:

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{m \cdot \beta_y}} \tag{8.16}$$

және масса беру коэффициенті:

$$M = k'(x_p - x) \cdot f. \tag{8.17}$$

Фазадағы заттардың концентрациясы қыздыру бетінің бойымен өзгеретіндіктен, (8.16) және (8.17) теңдеулерде орташа қозғаушы күштің шамасын енгізеді. Сонда:

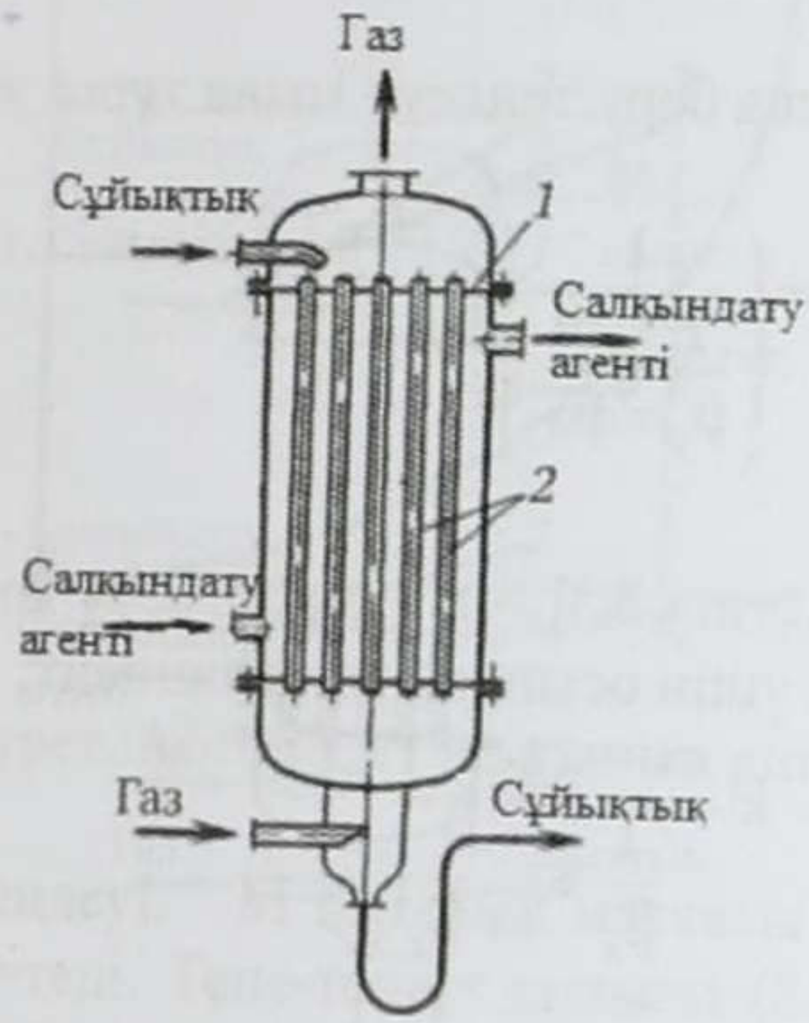
$$M = k'_y \cdot f \cdot \Delta y_{ср};$$
$$M = k'_x \cdot f \cdot \Delta x_{ср}. \tag{8.18}$$

Абсорберлер құрылымы. Фазалардың беттерінің түйісу тәсілдеріне байланысты абсорберлер былай бөлінеді:

- үлдірлі;
- саптамасы;
- барботажды (тарелкалы);
- шашыратпалы.

Құбырлы абсорбер (8.3- сурет) құрылғысы бойынша тік қораптүтікті жылу алмастырғышпен ұқсас. Абсорбент жоғарғы құбыр торына (1) беріліп, құбырларға (2) таралады да, солардың ішкі бетімен жұқа қабықша, күйінде төмен қарай ағады. Газ құбырлармен төменнен жоғары қарай қабықша бағытына қарсы

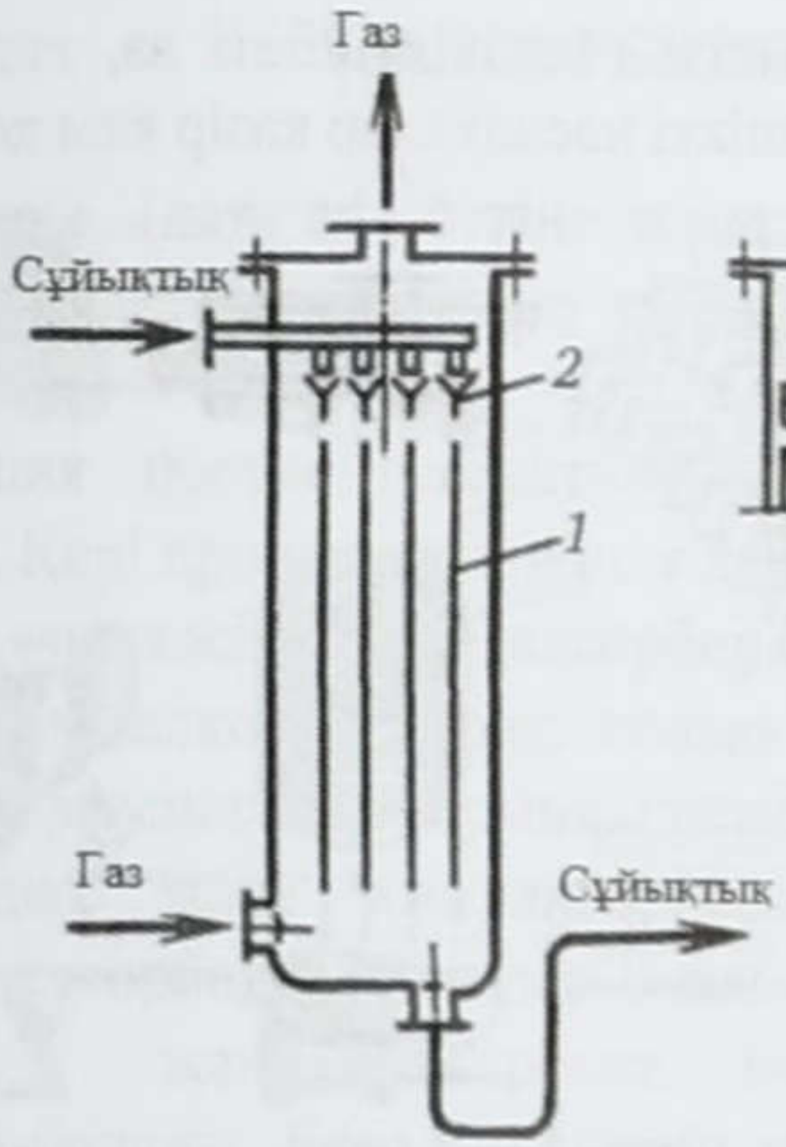
өтеді. Құбырлар арсындағы кеңістік бойынша суытатын су немесе басқа сұйық өтеді.



8.3 - сурет. Құбырлы абсорбер: 1-құбыр торы; 2-құбырлар

Жазық параллель саптамалы абсорберлер әртүрлі материалдардан (металл, пластмасса және т.б.) жасалған тік беттерден (1) немесе қатты керілген маталардан құралады. Абсорбердің жоғары жағына беттік саптаманың екі жағын біркелкі сұйық үлдір қабатпен қамтамасыз ететін таратушы құрылғы (2) орналастырылған (8.4- сурет).

Әртүрлі пішінді қатты денелермен – саптамалармен толтырылған тік колонналы абсорберлердің құрылымы қарапайым болғандықтан өндірісте кеңінен қолданылады. Саптамалы бағандарда насадкалар (2) газ және сұйық өтетін таяныш торларға (4) орнатылады. Колоннаның жоғары жағынан арнаулы таратушы (3) арқылы сұйық шашыратылып беріледі де, саптамалар денелердің бетін сұйықтандырып, төмен қарай ағады. Дегенмен, саптаманың барлық биіктігі бойынша колонна қимасындағы сұйық бірдей таралмайды (колонна орталығынан қабырғаға қарай ағады). Осының нәтижесінен саптамалар беті жақсы сұйықтанбайды. Диаметрі үлкен колонналардағы саптамалардың жақсы сұйықтануы үшін оларды биіктігі 2–3м қабаттармен (секциялармен) орналастырылады.



8.4- сурет. Жазық параллель саптамалы абсорбер: 1- беттік саптама; 2- тарату құрылымы

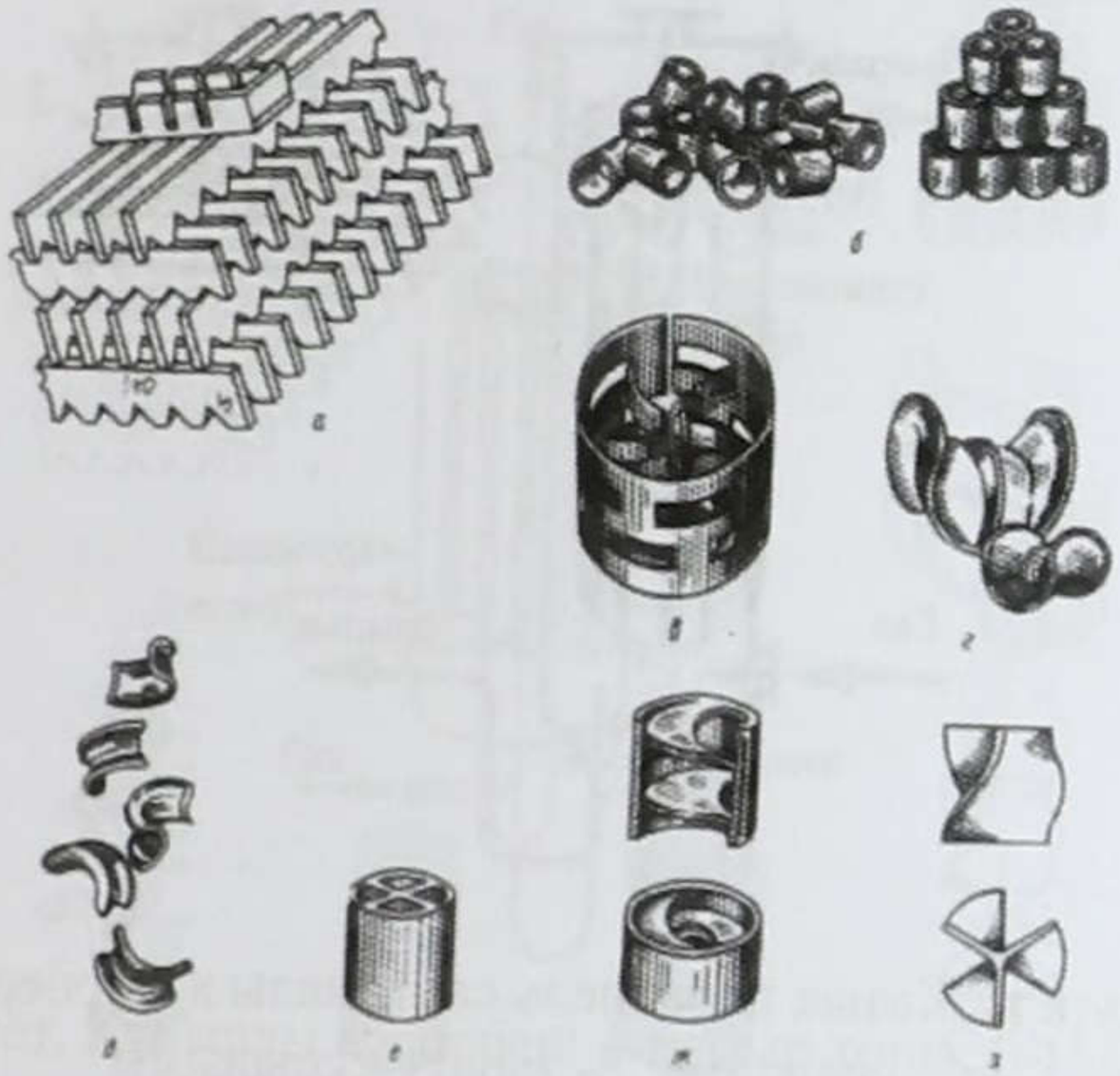
Саптама құрылғылары әртүрлі болады. Саптамалар тиімді жұмыс істеуі үшін олар төмендегі талаптарды қанағаттандырулары тиіс:

1) көлем бірлігіндегі беті жоғары;
2) сұйықпен жақсы сұйықтануы (дымқылдануы);
3) газ ағынына гидравликалвқ кедергісі аз;
4) сұйықты біркелкі таратуы;
5) сұйықтың және газдың химиялық әрекетіне берік;
6) меншікті массасы аз;
7) механикалық беріктігі жоғары;
8) арзан.

Бұл көрсетілген талаптарды толық қанағаттандыратын саптамалар жоқ. Мысалы, меншікті беті көбейту аппараттың гидравликалық кедергісін арттырады. өндірісте пішіндері мен өлшемдері әртүрлі насадкалар қолданылады. Саптамалар әртүрлі материалдардан (керамика, фарфор, шыны, болат, графит және т.б.) жасалынады (8.5- сурет).

Саптама ретінде колоннаға ретсіз салынған немесе кварцтың түйіршіктері де пайдаланылады. Дегенмен, кейбір

кемшіліктеріне байланысты (меншікті беті аз, гидравликалық кедергісі жоғары) түйіршікті насадкалар қазір кем қолданылады.



8.5- сурет. Саптама түрлері: а- ағаштан; б- Рашиг сақиналары; в- Палл сақиналары; г- Берль ершіктері; д- «инталокс» ершігі; е- бөгетті сақиналары; ж- ішкі спиралды сақина; з- пропеллерлі.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар мен тапсырмалар

1. Сіңіру процесінің физикалық негіздері қандай?
2Абсорбцияныщ тепе -теңдік теңдеуі.
3. Материалдық тепе-теңдік теңдеуін жасаңыз.
4. Процестің жұмыс сызығының теңдеуін жазыңыз.
5. Процестің қозғаушы күші қалай есептеледі?
6. Масса беру коэффициентін есептеу қалай жүргізіледі.
7. Абсорбция үшін масса теңдеуін беріңіз.
8. Абсорбцияға арналған құрылғылардың жіктелуін беріңіз. Абсорберлерге салыстырмалы баға беріңіз.
9. Үлдірлі абсорберлердің жұмысын сипаттаңыз және саптамалардың жұмысымен салыстырыңыз.
10. Барботажды абсорберлердің жұмысын сипаттаңыз және барботаждық аппараттардың жұмысымен салыстырыңыз.

9. АДСОРБЦИЯ

Адсорбция (лат. ad- бетіне және serbeo сіңіремін) қатты немесе сұйық заттардың бетіне газ, бу және еріген заттарды сіңіруі.

Адсорбция процесі селективтілік пен қайтымдылықпен сипатталады. Кері процесс десорбция деп аталады.

Тамақ өнеркәсібіндегі адсорбция жеміс шырындарын, сыраны тазарту, алкоголь, арақ, коньяк тазарту, қызылша қант өндірісінде диффузиялық шырынды тазарту үшін қолданылады.

Физикалық және химиялық адсорбция деп бөлінеді. Физикалық адсорбция Ван-дер-Ваальс күштерінің әсерінен адсорбтивтің және адсорбент молекулаларының өзара тартылуынан болады. Егер сіңірілетін зат пен сіңіргіштің өзара әрекеттесуі кезінде химиялық реакция болса, онда процесс хемосорбция деп аталады.

Адсорбенттер заттың масса бірлігіне жататын үлкен меншікті беттерімен сипатталады. Адсорбенттердің қуыс диаметрі әртүрлі болып келеді: макрокуыстар, d > 2 * 10-4 мм; өтпелі қуыстар, d = 6 * 10-6 - 2 * 10-4 мм; микрокуыстар, d = (2 ...6) 10-6 мм.

Қуыс тесігінің мөлшері көбінесе адсорбцияның сипатын анықтайды.

Адсорбенттертер сіңіргіштік қабілетімен сипатталады. Берілген жағдайларда мүмкін болатын максималды сіңіру қабілеті тепе-теңдік белсенділігі деп аталады.

Адсорбенттер ретінде белсенді көмір, минералды сіңіргіштер (селикогельдер, цеолиттер және т.б.), сондай-ақ синтетикалық ион алмастырғыш шайырлар жиі қолданылады.

Белсенді көмірлер шымтезекті, ағашты, сүйектерді және т.б. құрғақ айдау арқылы алынады. Мұндай көмірдің меншікті беті a = 600 - 1750 м2/г сәйкес келеді, көлемдік тығыздығы p = 250-450 кг/м3, микрокуыстардың көлемі - 0,23-0,60 см3/г. Белсенді көмірдің кемшілігіне олардың жанғыштығы. Силикогельдер - бұл кремний қышқылы гельінің дегидратациясы. Оларды натрий силикатының ерітіндісін минералды қышқылдармен өңдеу

арқылы алады. Силикогельдердің меншікті беттік ауданы 400-800 м2/ г құрайды, көлемдіу тығыздығы р = 100-800 кг/м3. Бұл сіңіргіштердің артықшылықтары жанбайтын және жоғары беріктігі болып табылады. Цеолиттер - табиғи сулы алюмосиликаттар. Қазіргі уақытта цеолиттер сорылатын молекулалардың мөлшеріне сәйкес келетін қуыстар мөлшерімен алынады. Мұндай цеолиттер молекулалық електер деп аталады және көмірсутектерді бөлу үшін қолданылады. Цеолоиттер өте жоғары сіңіру қабілетімен сипатталады және газдарды кептіру үшін қолданылады. Иониттер табиғи және синтетикалық органикалық заттар болып табылады. Электролит ерітіндісімен жылжымалы аниондармен алмасатын қышқыл белсенді топтары бар иониттер аниониттер деп аталады. Тиісінше, негізгі белсенді топтары бар иониттер катиониттер деп аталады.

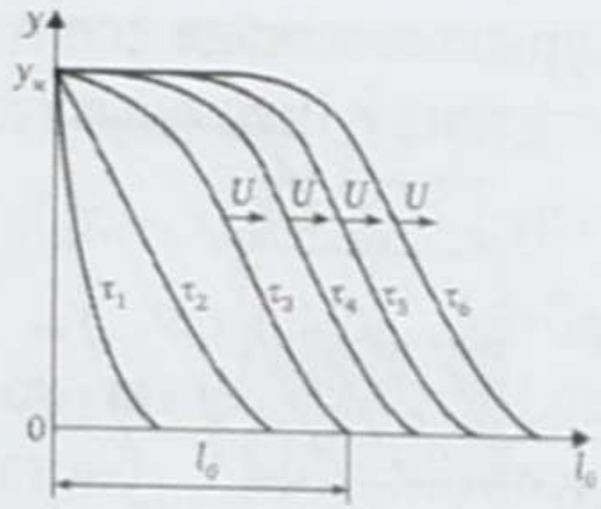
Адсорбция кезіндегі тепе-теңдік және масса алмасу. Мұнда x арқылы адсорбенттегі адсорбтивтің концентрациясын, ал абсорбтивтің сіңірілетін газдағы (сқйықтағы) концентрациясын у арқылы белгілесек, фазалардағы конценьоациялық тепе-теңдігі жалпы үрде мына түрде болады

$$x_p = f(y), \qquad (9.1)$$

мұндағы x_p - сіңірілетін газ (сұйық) фазасындағы адсорбтивтің абсорбенттегі концентрациясының сіңірілетін газ (сұйық) фазаның абсортивтің тепе-теңдік концентрациясы.

Функцияның нақты түрі адсорбент пен адсорбенттің қасиеттеріне, сондай-ақ температура мен қысымға байланысты.

Мерзімді және үздіксіз адсорбция болады. Бастапқыда адсорбтивті емес адсорбент қабатына адсорбенттің (сіңірілетін заттың) бастапқы құрамы бар газ (сұйықтық) ағыны идеалды ығысумен кіретін және қозғалатын мерзімді процесті қарастырайық. Белгілі бір уақыт өткеннен кейін, адсорбент қабатының фронтальды бөлігінде, қозғаушы күштің күрт төмендеуіне байланысты адсорбцияның сіңуі іс жүзінде тоқтайды және ағын концентрацияны өзгертпестен осы аймақ арқылы өтеді. Уақыт өте адсорбция фронтының өзгеруі суретте көрсетілген (9.1-сурет).



9.1- сурет. Жылжымайтын қабаттағы адсорбция фронтының уақыт бойынша өзгеруі

Алдыңғы бөліктің қанығуына дейінгі қабаттың жұмыс уақыты адсорбция фронтының қалыптасу кезеңі деп аталады. Бірінші τ кезеңінің соңында адсорбция фронтының қалыптасуы белгілі бір U жылдамдықпен адсорбцияның стационарлық фронтының параллель берілуінің τ_2 екінші кезеңі басталады.

Ағындағы адсорбция концентрациясының бастапқы деңгейден нөлге дейін төмендеуі болатын ұзындығы 2_0 адсорбент қабатының бөлімі жұмыс қабаты немесе масса беру аймағы деп аталады. Тиісті уақыт кезеңі қорғаныс әрекеті уақыты деп аталады

$$\tau = \frac{l}{U} - \tau_0, \qquad (9.2)$$

мұндағы U-адсорбция фронтының қозғалу жылдамдығы; τ_0 - қорғаныс әрекетінің уақыт кезеңі.

Масса беру аймағында сіңірілетін М заттың мөлшерін масса беру теңдеуінен есептеу мүмкін емес, өйткені фазалардың байланыс беттері іс жүзінде анықталмайды. Сондықтан V_0 көлемімен көрсетілген масса теңдеулерін қолданады:

$$M = K'_{yV} \cdot V_0 \cdot \Delta y_{ср} \cdot \tau, \qquad (9.3)$$

мұндағы K^1_{yV} - масса берудің көлемдік коэффициенті; τ - масса беру аймағы бойынша адсорбция фронтының өту уақыты; $\Delta y_{ср}$ - процестің қозғаушы күші.

Массаның көлемдік коэффициенті мына теңдеуден анықталады

$$K'_{yV} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{yV}} + \frac{m}{\beta_{xV}}}, \qquad (9.4)$$

мұндағы β_{yV}-сәйкесінше газ (сұйық) және қатты фазадағы масса берудің көлемдік коэффициенттері.

Адсорберлер құрылымы және есептеу. Абсорбент шығыны L материалдық баланс теңдеуінен анықталады

$$G(y_н - y_к) = L(x_к - x_н), \qquad (9.5)$$

мұндағы G – адсорбтив шығыны; $y_н$, $y_к$ - сіңірілетін газдағы адсорбтивтің бастапқы және соңғы концентрациясы; $x_н$, $x_к$ - адсорбенттегі адсорбтивтің бастапқы және соңғы концентрациясы. Егер, $x_н = 0$, ал $x_к = x_р$ деп алсақ, адсорбенттің ең аз шығынын аламыз

$$L_{min} = \frac{G(y_н - y_к)}{x_p}. \qquad (9.6)$$

Адсорбер диаметрі шығын теңдеуінен анықталады

$$D = \sqrt{\frac{4G}{\rho \cdot \pi \cdot v_0}}, \qquad (9.7)$$

мұндағы р -газдың тығыздығы; υ_0 -аппараттағы газдың «жалған» жылдамдығы.

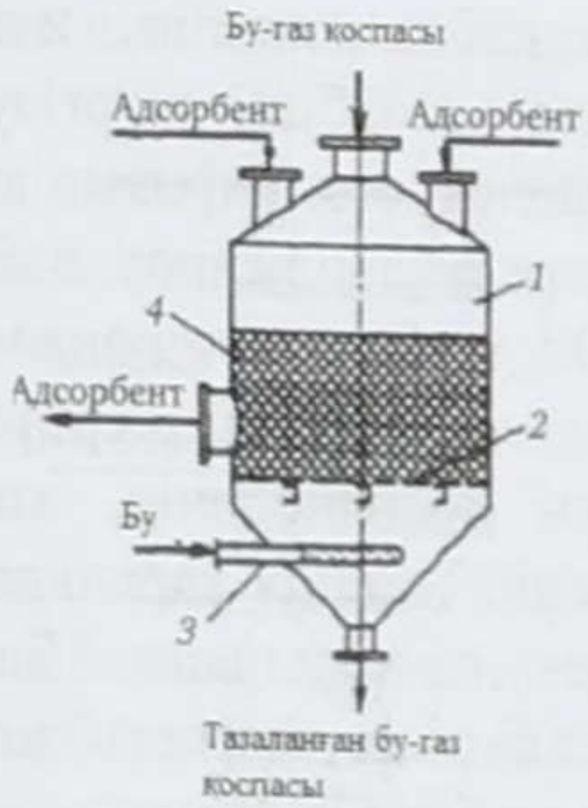
Аппараттың биіктігі негізгі масса беру теңдеуінен анықталады (9.3):

$$H = \frac{V_0}{S \cdot \rho_T}; \qquad (9.8)$$

$$V_0 = \frac{M}{K_v \cdot \Delta y_{ср} \cdot \tau}, \qquad (9.9)$$

мұндағы $S = \pi D^2 / 4$— аппараттың қима ауданы; $р_т$ -адсорбенттің тығыздығы.

Тік цилиндрлік адсорбер (9.2- сурет) - мерзімді әрекетті адсорберлердің ең көп таралған түрі. Түйіршікті 4- адсорбент қабаты 1- корпусының жоғарғы люктері арқылы 2- торлы бетке тиеледі. Адсорбентті түсіру төменгі люктер арқылы жүргізіледі. Мұндай адсорберлер бу-газ қоспалары мен сұйық ерітінділерді адсорбциялық тазарту үшін қолданылады. Аппаратқа өткір бу 3-штуцер арқылы беріледі. Бастапқы сұйық қоспа, әдетте, сақиналы құбыр арқылы төменнен жоғары қарай беріледі.

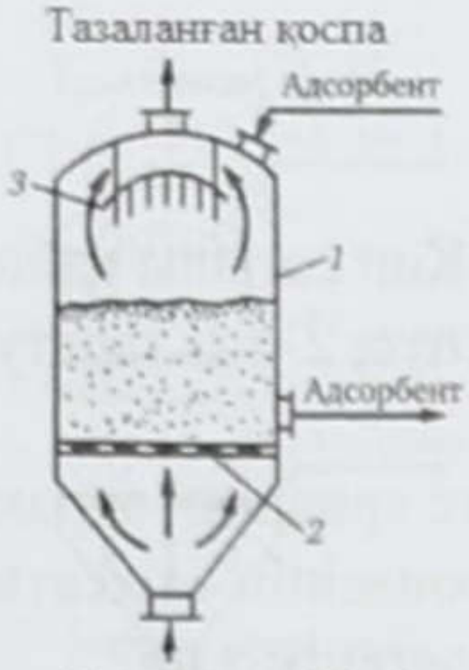


9.2- сурет. Тік цилиндрлік адсорбер: 1-корпус; 2- торлы бет; 3- бу беру штуцері; 4- адсорбент забаты.

Бу-газ қоспасы жоғарыдан төменге түсуі мүмкін. Бұл жағдайда десорбция кезінде өткір бу сақиналы құбыр арқылы беріледі.

Ұсынылған адсорбердегі процесс төрт сатыда жүреді: адсорбция, десорбция, кептіру, адсорбентті салқындату. Адсорбентті өңдегеннен кейін сіңіргіш қабатын қалпына келтіру мәселесі туындайды. Адсорбенттен адсорбцияланған заттың десорбциясы екі мәселені шешетін технологиялық процестің қажетті кезеңі болып табылады: затты алу және адсорбентті қалпына келтіру.

Жалған қайнау қабаты бар адсорбер (9.3- сурет) ұсақ түйіршікті адсорбентпен толтырылған. Бастапқы қоспа төменнен реттеу торының астына беріледі, ал ол кезде қайнау қабаты басталады.

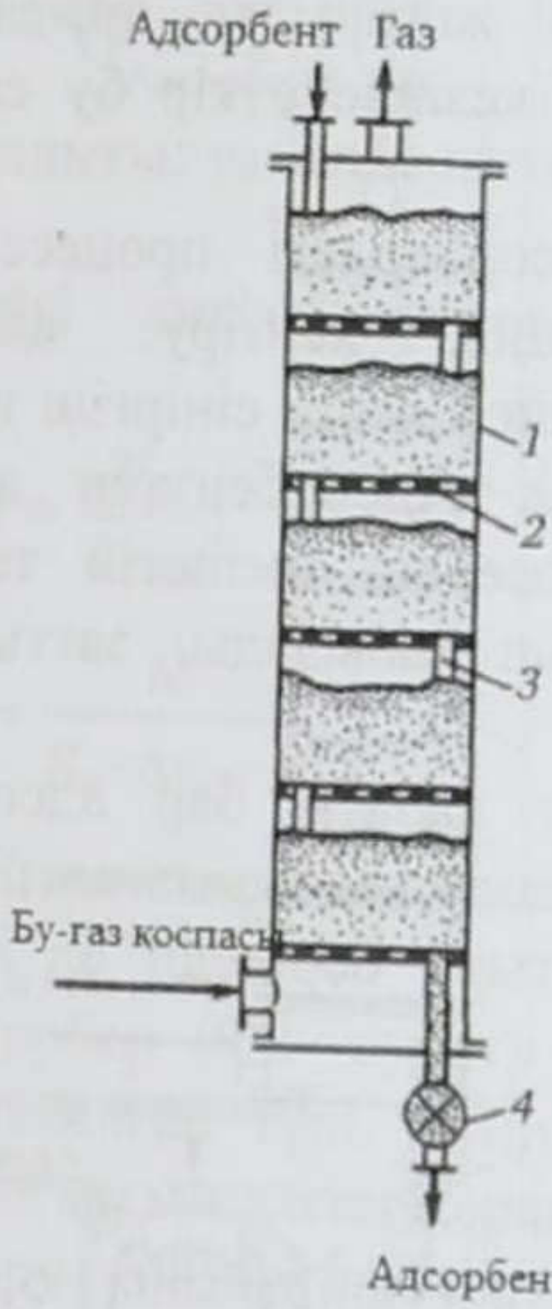


9.3- сурет. Жалған қайнау қабатты адсорбер:1-корпус; 2- реттеу торы; 3- жылдамдық сепаратор.

Бұл жағдайда қабат кеңейіп, жылжымалы күйге өтеді. Сұйылтылған қабатта адсорбция жүргізу масса алмасу процесін едәуір күшейтеді және оның ұзақтығын қысқартады.

Көп сатылы тарелкалы қайнау қабаты бар адсорбер 9.4 - суретте берілген. Ол 1- бағаннан, онда 2 - газ тарату торлары орналасқан және ағызу жеңдерінен тұрады. Адсорбент адсорбердің жоғарғы бөлігіне еніп, жоғарғы табақтан төменгі тарелкаға ағып кетеді. Төменгі тарелкадан адсорбент жапқышы арқылы адсорберден шығарылады. Бастапқы бу-газ қоспасы төменнен адсорберге беріліп, жоғарғы жең арқылы шығарылады.

Көп сатылы адсорбер бір сатылы адсорберден ерекшеленеді, ол идеалды ығысу құрылғыларына жақын схема бойынша жұмыс істейді, бұл қарсы ағымда адсорбция процесін жүргізуге мүмкіндік береді.



9.4- сурет. Көп сатылы қайнау қабатты тарелкалы адсорбер:1- корпус; 2- газ тарату торы; 3- ағызу жеңі.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар мен тапсырмалар

1. Адсорбция процесінің мақсаты қандай? Физикалық және химиялық адсорбция дегеніміз не?
2. Адсорбенттердің салыстырмалы сипаттамасын жасаңыз.
3. Адсорбция кезіндегі тепе-теңдікті сипаттаңыз.

4. Адсорбция кезінде негізгі масса теңдеуін жазыңыз. Оның ерекшелігі?

5. Массаның көлемдік коэффициенті қалай есептеледі?

6. Материалдық тепе-теңдік теңдеуін жасаңыз.

7. Адсорбент шығыны қалай есептеледі?

8. Адсорбция аппараттарының жіктелуін беріңіз. Оларды есептеу дегеніміз не?

9. Адсорберлерге тұрақты қабаты бар және сұйылтылған қабаты бар салыстырмалы бағалау жүргізіңіз.

10. Көп сатылы адсорберлердің артықшылығы неде?

10.ЭКСТРАКЦИЯ

Экстракция - сұйық еріткіш - экстрагент көмегімен ерітінділерден немесе қатты денелерден бір немесе бірнеше еритін компоненттерді іріктеп алу процесі.

Егер заттар сұйық жүйелерден алынса, процесс сұйық экстракция деп аталады. Микробиологиялық өндірістерде экстрагенттің көмегімен ферментативті ерітінділерден сүт қышқылы мен антибиотиктер алынады. Бұл жағдайда алынатын компоненттері бар экстрагент пен сұйықтық әртүрлі тығыздыққа ие болуы керек және ерімеуі керек. Осы қасиеттерге байланысты қалыптасқан гетерогенді жүйе оңай бөлінеді.

Азық-түлік өндірісінде өсімдік тектес шикізаттар экстракцияға процесіне жиі пайдаланылады, мысалы, майлы дақылдар, қант қызылшасы, жемістер және т.б. Физикалық қасиеттері бойынша бұл шикізаттар қатты заттарға жатады.

Экстракциядан бұрын өсімдік шикізаттары ұсақталады немесе шағын кесектерге бөлінеді. Бұл жағдайда жаңадан пайда болған беттегі жасушалардың бір бөлігі зақымданады және жасуша ішіндегі зат бірден экстрагентке өтеді. Қалған жасушалардың басым бөлігі өзгеріссіз қалады, ал алынған зат жасуша мембраналары арқылы экстрагентке таралады. Өсімдік шикізатынан алынған зат диффузия арқылы экстрагентке өтеді деп санауға болады.

Экстракцияның қарапайым процесі - құрылғыны дайындалған шикізатпен және сұйық экстрагентпен толтыру арқылы жүзеге асыруға болады. Бұл процесте шикізаттағы заттың концентрациясы үнемі төмендейді, ал экстрагенттікі жоғарылайды. Процесс тұрақталмаған және концентрация тең болған кезде аяқталады. Араластыру кезінде процестің жылдамдығы едәуір артады.

Процестің тағы бір түрі экстрагентті шикізаттың қабаты арқылы сүзу арқылы жүзеге асырылады. Бұл процесс де анықталмаған және белгілі бір уақыт аралығында шикізаттан заттың толық алынуымен аяқталуы мүмкін. Келесі типтегі процестерде шикізат пен экстрагент қарсы ағынмен үздіксіз қозғалады. Бұл ретте аппараттың әрбір қимасында тұрақты шоғырлану айырмасы белгіленеді, бұл стационарлық режимге сәйкес келеді. Осылайша, үздіксіз аппараттарда үшінші типтегі

процестер жүзеге асырылады. Жалпы алғанда, өсімдік шикізатын алу процесін төрт кезеңге бөлуге болады: экстрагенттің өсімдік шикізатының қуыстарына енуі; экстрагенттің алынатын затты еріту; алынатын затты шикізат бөлшегінің немесе бөлшегінің бетіне диффузиялық күштермен тасымалдау; алынатын затты шикізат бетінен сұйық фазаға ауыстыру экстрагент болып табылады.

Масса беру заңдарына сәйкес экстракция кезінде фазалық байланыс бетерді ұлғайту керек. Ол үшін фазалардың бірі басқа үздіксіз фазада майда тамшылар түрінде таралады. Бөлінетін зат үздіксіз ортадан тамшылардың бетіне, содан кейін тамшылардың ішіне немесе, керісінше, тамшыдан үздіксіз фазаға таралады. Тамшылардың ішіндегі масса алмасу молекулалық және конвективті диффузия арқылы жүзеге асырылады. Тамшы ішіндегі конвекция сұйықтық айналымына байланысты жүзеге асырылады. Жалпы жағдайда масса беру коэффициенттері мына теңдеулерден анықталады

$$K'_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_g} + \frac{\varphi}{\beta_c}}; \qquad (10.1)$$

$$K'_x = \frac{1}{\frac{1}{\beta_g \cdot \varphi} + \frac{1}{\beta_c}}, \qquad (10.2)$$

мұндағы β_g, β_c дисперсті және біртекті фазалардағы масса беру коэффициенттері.

Диффузиялық кедергі біртекті фазада шоғырланған жағдайда (9.1) және (9.2) формулалардан $K_x \approx \beta_c$ болған жағдайды негізгі масса беру теңдеуі мына түрде болады

$$M = \beta_c \cdot \Delta x_{ср} \cdot f. \qquad (10.3)$$

Егер диффузиялық кедергі дисперсті ортада шоғырланған болса, $K_y \approx \beta_g$ болған жағдайды негізгі масса беру теңдеуі мына түрде болады:

$$M = \beta_g \cdot \Delta y_{ср} \cdot f. \qquad (10.4)$$

Материалдық тепе-теңдік теңдеуі. Экстракторға түскен F бастапқы заттың еріткіштегі мөлшері L, ал концентрациясы $x_н$ және экстрагент E. Қарқынды араластыру мен экстракция

аяқталғаннан кейін қоспа экстракт пен рафинатқа бөлінеді. Бөлу үшін тұндырғыштар, сепараторлар қолданылады. Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, алынған заттың материалдық балансының теңдеуі келесі форманы білдіреді

$$Lx_н = Lx + Ey, \tag{10.5}$$

мұндағы х және у-алынатын заттың рафинаттағы және экстрактыдағы концентрациясы.

Экстрактыдағы ажыратылатын құрастырушының тепе-теңдік концентрациясының (Е) осы құрастырушының рафинаттағы тепе-теңдік концентрациясына (L) қатынасы таралу коэффициенті деп аталады:

$$m = E/L\ , \tag{10.6}$$

m-нің мәні бойынша еріткіштің экстракциялық қабілетін анықтайды:

m-қаншалықты көп болса, еріткіштің ажыратылатын құрастырушыны айыру қабілеті соншалықты көп болады. Экстракцияланатын жүйедегі m-нің мәні 1-ден 10000 дейін болады.

Экстракция модулін $m = E/L$ ескере отырып мынаны аламыз:

$$x = \frac{x_н}{1 + m\varphi}; \tag{10.7}$$

$$y = \frac{\varphi x_н}{1 + m\varphi}. \tag{10.8}$$

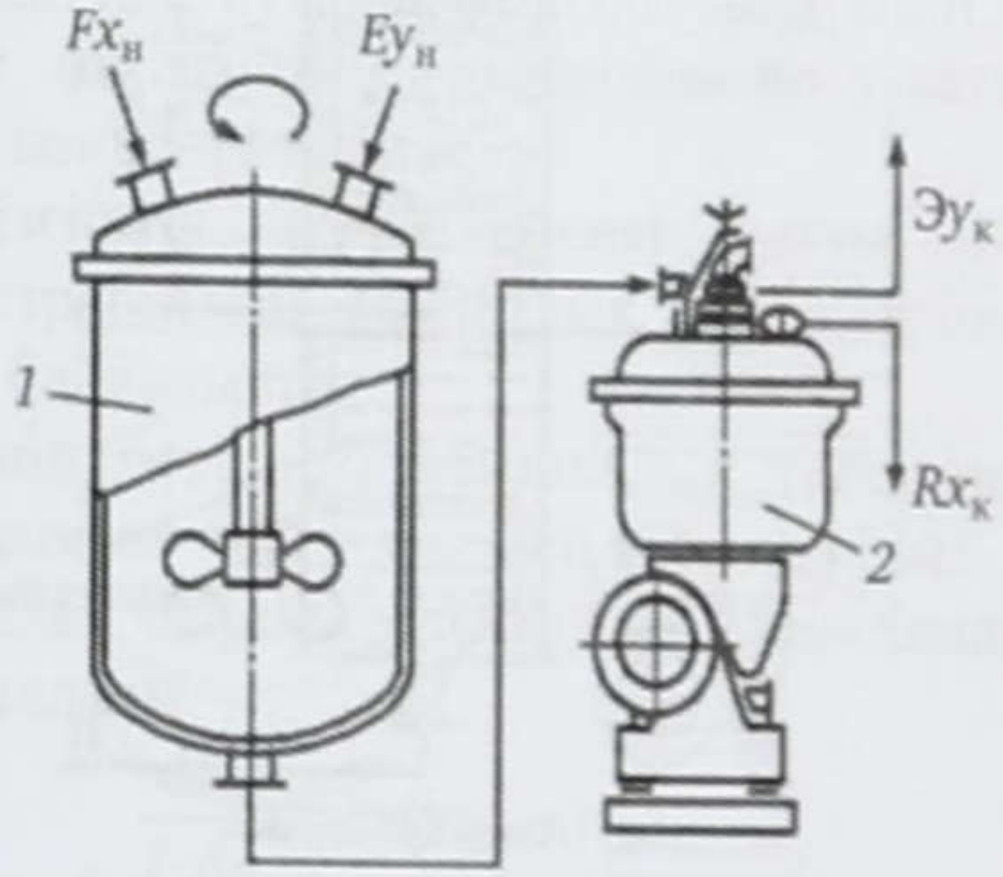
Шығару дәрежесі

$$\Psi = \frac{Ey}{Lx_н} = \frac{m\varphi}{1 + m\varphi} = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon}, \tag{10.9}$$

мұндағы ε-экстракциялық фактор.

Экстракцияны жүзеге асыруға арналған аппараттар. Араластыру-тұндыру экстракторлары. Араластырғыш-тұндырғыш экстракторлар бірнеше сатыдан тұрады, олардың әрқайсысына араластырғыш пен бөлгіш кіреді (9.1- сурет). 1-миксерде сыртқы энергияның берілуіне байланысты сұйық

фазалардың бірі дисперсия фазасын қалыптастыру үшін дисперсияланады, ол екінші фазада — үздіксіз фазада бөлінеді. Дисперсті фаза жеңіл де, ауыр да фаза болуы мүмкін.



10.1- сурет. Араластырғыш-тұндырғыш экстракциялық қондырғы: 1-экстрактор; 2-сепаратор.

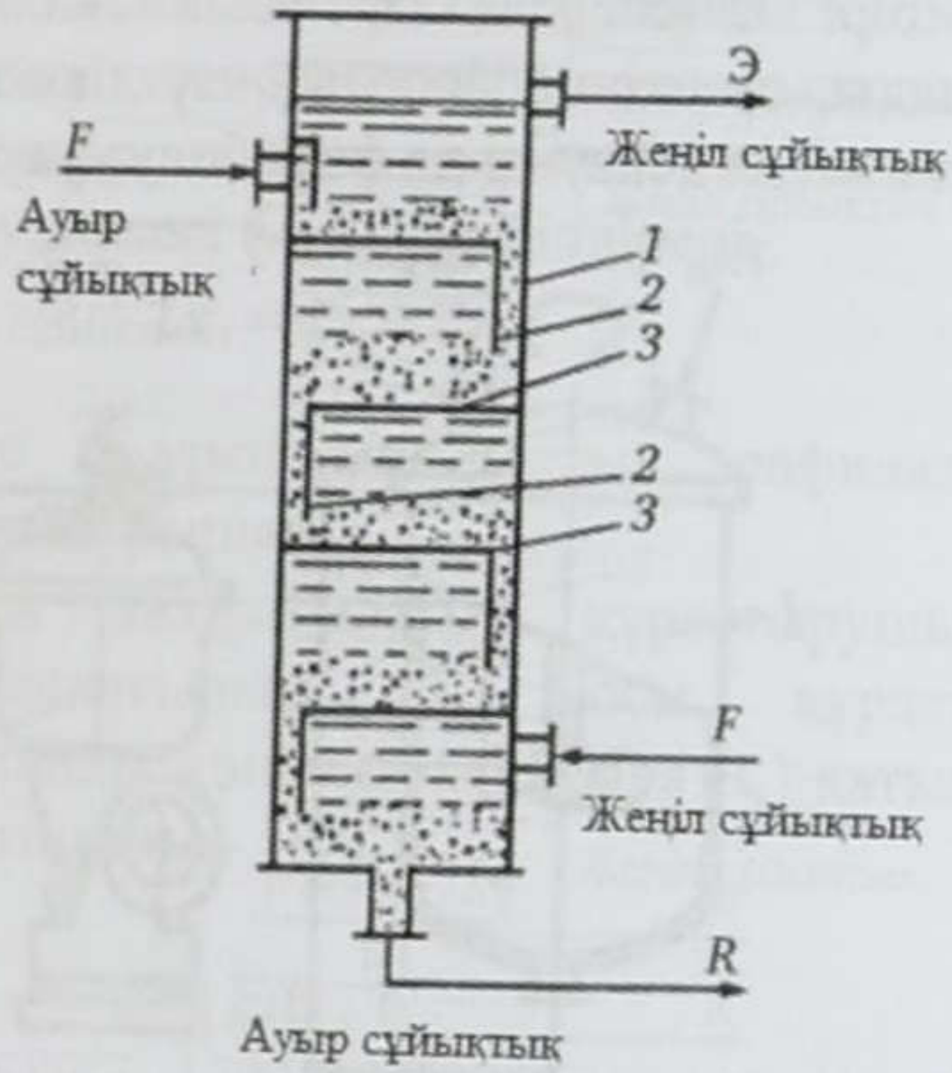
Сепараторда (2 бөлгіште) эмульсия рафинат пен экстрактыға бөлінеді. Бірнеше араластырғыш-тұндырғыш секцияларды қосу арқылы схемалар бойынша әртүрлі экстракциялық қондырғылар жасалады.

Жоғарыда келтірілген схема өзіне тән бірқатар кемшіліктерге байланысты (көлемді, едәуір өндірістік аймақ, жоғары металл және энергия сыйымдылығы) басқа жетілдірілген құрылымдар бар.

Тарелкалы экстракторлары (10.2- сурет) - әр түрлі конструкциялы тор көзді тарелкалары бар бағаналы құрылғылар. Фазалардың өзара әрекеттесуі әр ыдыста айқас ағында жүреді.

Дисперсті фаза (жеңіл немесе ауыр) тареғлкалар тор көздерінен өтіп, тамшыларға ұсақталады, ал біртекті фаза тарелкалар бойымен жылжиды. Тарелка тор көздеріндегі дисперсті фазаның ағынды режимді құру жағдайынан анықталады. Тамшылау режимінен ағынды режимге ауысуға сәйкес келетін критикалық жылдамдық d_0 тор көздердің диаметріне байланысты:

$$v_{кр} = 44/d_0. \qquad (10.10)$$



10.2- сурет. Тарелкалы экстрактор: 1-корпус;
2- ағызу құрылымы; 3- тор көзді тарелкалар.

Экстрактордың тұрақты ағынды режимде жұмыс істеуі үшін жылдамдық сыни мәніне қарағанда шамамен 20% жоғарылату қажет.

"Қатты дене-сұйықтық" жүйесіндегі экстракция (шаймалау). Шаймалау-қатты заттан керекті затты еріткішпен диффузиялық тәсілмен алу процесі. Тамақ өнеркәсібінде бұл процесс қызылшадан қант алу үшін қызылша қант өндірісінде; спирт өндірісінде - тұнбалар алу үшін; май экстракциялық өндірісте - майлы шикізаттан (тұқымнан) өсімдік майын алу үшін қолданылады.

Шаймалау процесі-сұйықтық қатты дененің қуыстарын еніп, қажетті компонентті ерітеді. Содан кейін ерітіндіге өткен компонент қатты дененің бетіне таралады және соңында сұйықтық көлеміне өтеді.

Процестің аталған кезеңдерінің ішінде соңғы екеуі шектеулі, яғни капиллярлы-кеуекті дененің ішіндегі диффузия және оның бетінен экстрагент ағынының ядросына диффузия.

Ішкі диффузия жылдамдығы массалық теңдеумен сипатталады

$$\frac{dM}{f \cdot d\tau} = -k\frac{\partial y}{\partial n},$$

(10.11)

мұндағы k-масса өткізгіштік коэффициенті; у-қатты денедегі алынатын заттың концентрациясы.

Масса өткізгіштік коэффициенті қатты заттың ішкі құрылымына, экстрагенттің физикалық қасиеттеріне, процестің температурасына байланысты.

Қатты дененің бетінде динамикалық тепе-теңдік өте тез орнатылады, сондықтан $y_{пов} = y_{нас}$ деп қабылдайды.

Бұл жағдайда сыртқы диффузия жылдамдығы масса теңдеуімен сипатталады

$$\frac{dM}{f \cdot d\tau} = \beta_y(y_{пов} - y_{ср}),$$

(10.12)

мұндағы p_y-сұйық фазадағы масса беру коэффициенті; упов, $y_{пов}$, $y_{ср}$-экстрагенттелетін заттың дене бетіндегі концентрациясы және экстрагент массасындағы орташа концентрациясы.

Шекаралық қабаттағы молекулалық диффузияның жылдамдығы Фик теңдеуімен анықталады:

$$\frac{dM}{f \cdot d\tau} = D \cdot \frac{y_{пов} - y_{ср}}{\delta},$$

(10.13)

мұндағы D-молекулалық диффузия коэффициенті, $м^2/с$; δ - шекаралық қабаттың қалыңдығы.

(10.12) және (10.13) теңдеулерінен $p_y = D/8$.

Осылайша, жоғарыда айтылғандардан келесі практикалық тұжырымдар жасауға болады:

- p_y-ты ұлғайту үшін δ-ны азайту керек;
- δ-ны азайту үшін экстрагенттің қатты бөлшектерге қатысты жылдамдығын арттыру керек;
- масса беру бетін ұлғайту үшін материалды ұсақтау керек.

Материалдық баланстың теңдеуі:

-өнімдер бойынша

$$L + E = R + Э,$$

(10.14)

- алынатын зат бойынша

$$Lx_н + Ey_н = Rx_к + Эy_к,$$

(10.15)

мұндағы L-экстрагацияланатын $x_н$ компонентінің концентрациясы бар қатты заттың бастапқы қоспасының массасы; Е - $у_н$ концентрациясы бар экстрагенттің массасы; R - $лг_к$ концентрациясы бар рафинаттың массасы; Э-$у_к$ концентрациясы бар экстракт массасы.

Теңдеулер баланстарынан экстрагент массасы анықталуы мүмкін.

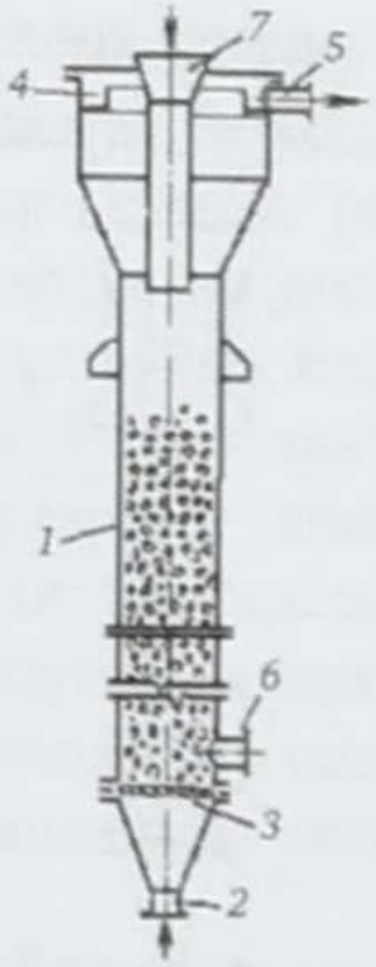
Қатты материалдың қозғалмайтын қабаты бар аппараттарда сұйықтық қабаты арқылы сүзілген кезде оның жылдамдығы ағу жылдамдығымен шамасы мен бағытына сәйкес келеді. Бұл типтегі қарапайым құрылғы - ашық нутч сүзгісіне ұқсас торы бар ашық резервуар. Торға қатты материалдың қабаты салынады, ол арқылы еріткіш жоғарыдан төменге қарай ағып кетеді. Қозғалыстың осы бағытында сұйықтық аппараттың көлденең қимасын біркелкі толтырады және көп концентрацияланған ерітінді төмен концентрация ерітіндісімен араластырылмайды, бұл қозғаушы күштің төмендеуіне әкеледі. Сілтіленген қатты қалдықты түсіру мезгіл - мезгіл, көбінесе гидравликалық әдіспен жүзеге асырылады-қатты материалды аппараттан сумен жуу.

Сұйықтық салыстырмалы түрде кішкентай биіктіктегі қабат арқылы қозғалса, жеткілікті жоғары концентрациядағы ерітінді алу мүмкін емес. Ерітіндіні нығайту үшін сұйықтық айналымын қолдану әртүрлі концентрациядағы ерітінділерді араластырудың жоғарыда көрсетілген теріс әсеріне байланысты мүмкін емес. Сондықтан, экстракция дәрежесін жоғарылату және өнімділікті арттыру үшін диффузорлар деп аталатын жабық қоректік сүзгілерге ұқсас герметикалық жабық құрылғылар қолданылады. Сондай аппараттың бірі 10.3- суретте көрсетілген сұйылтылған (қайнаған) қабаты бар бағаналы құрылғы. Цилиндрлі аппараттың астыңғы 2- штуцер арқылы үздіксіз сұйықтық (еріткіш) түседі. Тарату торының тор көздері арқылы белгілі бір жылдамдықпен қозғалатын ұсақ бөлшектелген қатты бөлшектердің қабатын сұйылтылған күйге келтіреді.

Қайнаған қабаттың биіктігі бірнеше метрге тең болған кезде, одан шығуда жеткілікті жоғары концентрациядағы ерітінді алуға болады, ол колоннаның жоғарғы, кеңейтілген бөлігіне енеді, 4 - сақиналы ойыққа құйылады және 5 -фитинг арқылы шығарылады. Қатты қалдық 6 -торынан сәл жоғары орналасқан 3 -штуцер

арқылы үздіксіз шығарылады. Бастапқы қатты материал 7 -жүктеу құбыры арқылы жоғарыдан қайнаған қабатқа тікелей жеткізіледі.

Бұл типтегі құрылғылар қарапайым және массасы аз. Олар процестің едәуір жылдамдығына және бастапқы қатты материалдың мақсатты компоненттерін алудың жоғары деңгейіне қол жеткізеді.



10.3- сурет. Қайнаған қабатты бағаналы эстрактор: 1-бағаң; 2- еріткіш берілетін штуцер; 3- тарату торы; 4- сақиналы астауша; 5- ерітінді шығаратын штуцер; 6- қатты қалдықтар шығарылатын штуцер; 7- тиеу құбыры.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар мен тапсырмалар

1. Экстракция процесінің мақсаты қандай? Экстрагент, экстракт, рафинат ұғымдарын түсіндіріңіз.

2. "Сұйық-сұйықтық" жүйесіндегі экстракция процесінің мәні неде? Бұл процеске қандай компоненттер қатысады?

3. Экстракция кезінде тепе-теңдік шарттары қандай? Бұл процеске қандай факторлар әсер етеді?

4. Экстракция процесін қандай диаграммалар көрсетеді?

5. Материалдық тепе-теңдік теңдеуінің мақсаты қандай?

6. "Сұйық-сұйықтық" жүйесінде экстракцияға арналған аппараттар қалай ұйымдастырылған? Олардың әрекет ету принципі қандай?

7. Экстракция кезінде масса алмасуды қандай заң сипаттайды?

8. Масса беру коэффициенттері қалай есептеледі?

9. "Қатты-сұйық" жүйесіндегі экстракция процесінің мақсаты қандай? "Қатты-сұйық" экстракция процесіне қандай компоненттер қатысады (шаймалау)?

10. Экстракция кезінде (шаймалау) масса алмасу қалай жүреді?

11. Шаймалау кезінде тамақ өнеркәсібінде экстракторлардың қандай негізгі конструкциялары қолданылады?

11. РЕКТИФИКАЦИЯ

Дистилляция (айдау) - бұл бірдей температурада компоненттердің әртүрлі ұшқыштығына негізделген сұйық біртекті қоспаларды бөлу процесі. Айдау процесінде пайда болған бу жеңіл ұшпа (төмен температурада қайнайтын) компоненттермен байытылады. Жоғары температурада қайнайтын компоненттер буланбаған сұйықтыққа өтеді. Бұл сұйықтық «текше» қалдығы деп аталады, ал бу конденсациясы нәтижесінде алынған сұйықтық дистиллят немесе ректификат деп аталады. Қарапайым дистилляция мен ректификацияны ажырату қажет. Қарапайым дистилляция - бұл сұйық қоспаның ішінара буланууы және будың конденсациясы. Ректификация - бұл сұйықтықтың ішінара буланууы және булардың конденсация процесі, бұл қоспалардың толық бөлінуін қамтамасыз етеді. Ректификация негізінен алкоголь мен мұнай өнеркәсібінде қолданылады, дегенмен қазіргі уақытта полимерлер өндірісінде және химиялық технологияның басқа салаларында да маңызды рөл атқарады.

Қарапайым жағдайда айдау кезінде қоспа екі компоненттен және екі фазадан тұрады. Сонда еркіндік дәрежелерінің саны

$$C = К + 2 - Ф = 2 + 2 - 2 = 2. \qquad (11.1)$$

Белгілі болғандай, жүйенің күйі үш тәуелсіз параметрмен анықталады: қысым p, температура t және концентрация x(y). Екі параметрді таңдағанда, үшінші мән анықталады. Сондықтан тепе - теңдік тәуелділіктері айнымалылармен ұсынылуы мүмкін:

$$p\text{-}x;\ t\text{-}x;\ p\text{-}t;\ x\text{-}y. \qquad (11.2)$$

Компоненттердің өзара ерігіштігіне байланысты компоненттердің шексіз ерігіштігі, өзара ерімейтін компоненттері және компоненттердің ішінара ерігіштігі бар қоспалар деп бөлінеді. Компоненттердің шексіз ерігіштігі бар қоспалар идеалды және нақты болып бөлінеді. Идеалды қоспалар - бұл жылу эффектісіз және қоспаның көлемін өзгертпестен араласатын қоспалар. Екі компоненттен тұратын қарапайым идеалды қоспаны қарастырайық: жеңіл ұшатын А және қиын ұшатын В.

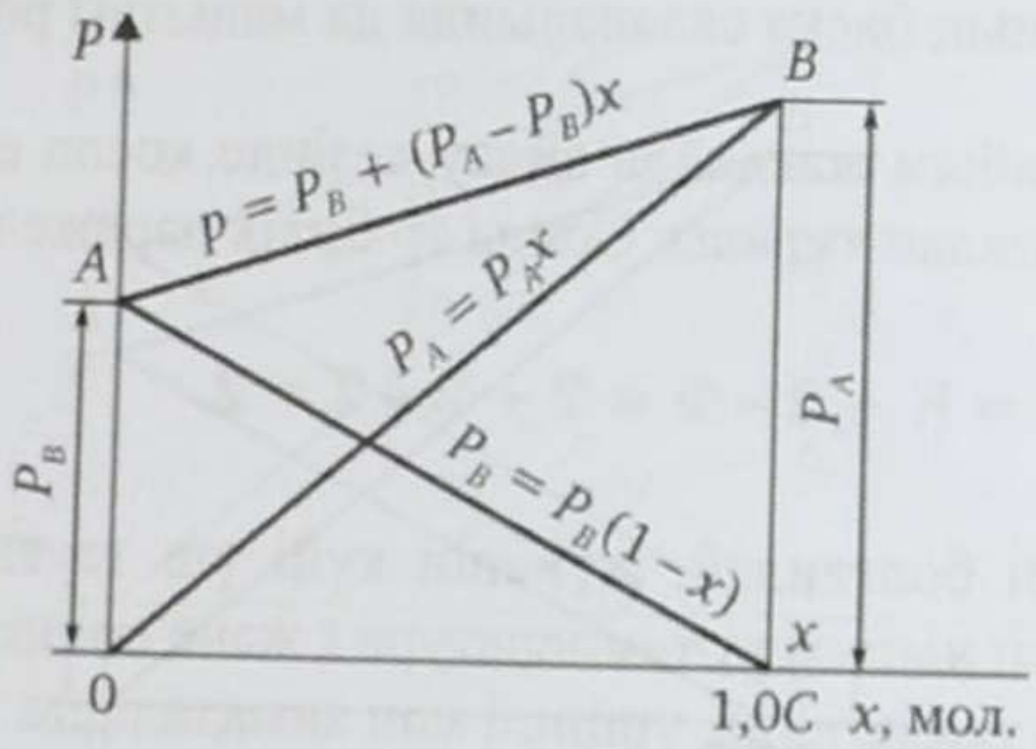
Идеал қоспалар Рауль заңына бағынады, оған сәйкес бу құрамындағы компоненттің парциалды қысымы оның сұйықтықтағы массалық үлесіне пропорционал:

$$p_A = P_A \cdot x;\ p_B = P_B \cdot (1 - x), \tag{11.3}$$

мұндағы x, (1-x) - сұйықтықтағы А және В компоненттерінің мольдік үлестері; P_A, $P_в$ - таза компоненттерге қанықкан булардың қысымы; $p_а$, $p_в$ - тиісінше А және В компоненттерінің парциалдық қысымы. Далтон Заңына сәйкес ерітіндінің үстіндегі Р жалпы қысымы ішінара қысымның қосындысына тең:

$$P = P_A \cdot x + P_B \cdot (1 - x) = P_B + (P_A - P_B) \cdot x. \tag{11.4}$$

t-const кезінде Р, P_A және $P_в$-ның х-қа графикалық түрде тікелей тәуелділігі 11.1-суретте көрсетілген.



11.1- сурет. Парциалды қысым изотермасы.

Дальтон Заңына сәйкес будағы компоненттердің парциалды қысымы оның будағы моль үлесіне пропорционал:

$$p_A = P \cdot y;\ p_B = P \cdot (1 - y), \tag{11.5}$$

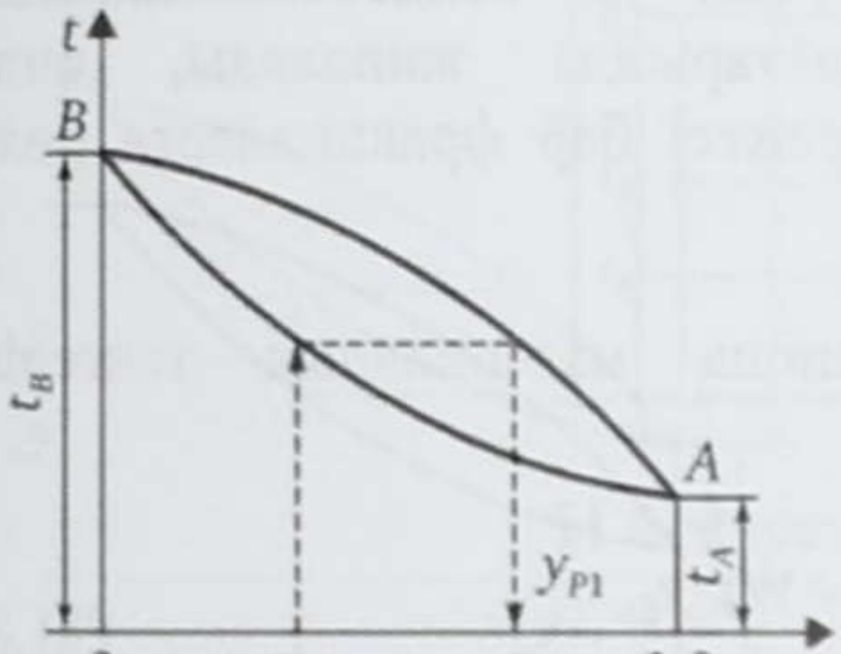
мұндағы у, (1-у) — А және В компоненттерінің будағы мольдік үлестері. Тепе-теңдік жағдайында:

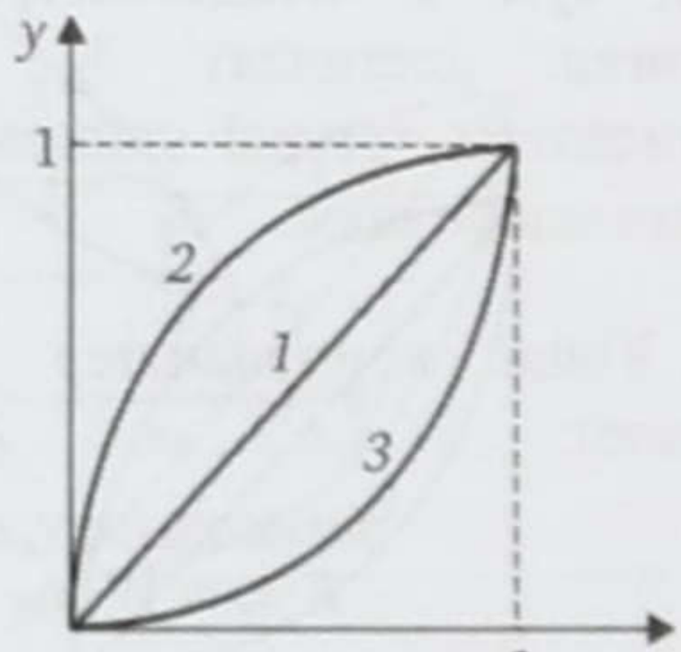
$$P_A \cdot x = P \cdot y;\ P_B \cdot (1-x) = P \cdot (1-y), \tag{11.6}$$

осыдан

$$y = \frac{P_A}{P} \cdot x \ \text{ или } \ 1-y = \frac{P_B}{P} \cdot (1-x). \tag{11.7}$$

Әдетте дистилляция және ректификация процестері P = const кезінде жүреді. Бұл жағдайда тепе—теңдік тәуелділіктерін мына t—x, yy-x координаталарда көрсетуге болады: (11.2- және 11.3-сурет).





11.2-сурет. Диаграмма t—x, y

11.3- сурет. Диаграмма y—x

Диаграммадағы төменгі сызық (11.2-сурет) сұйық қоспаның қайнау температурасын, жоғарғы — бу қоспасының конденсация температурасын анықтайды. Ординат осьтері бойынша кейінге қалдырылған кесінділер X = 0 олардың X = 1, A және B таза компоненттерінің қайнау температурасын анықтайды. Сұйық фазаның белгілі құрамы бойынша будың құрамын анықтау үшін X абсцисса осіндегі нүктеден қайнау сызығымен қиылысқанға дейін тігінен жүргізеді. Әрі қарай, конденсация сызығымен қиылысқанға дейін көлденең сызыңыз. Абсцисса қиылысу нүктесітепе теңдік бу құрамын анықтайды УРн.

11.2- суретте бір қайнау температурасында буда жеңіл ұшпа компоненттің құрамы онымен тепе-тең сұйықтыққа қарағанда көп екенін көруге болады. Жүйенің бұл қасиеті Коноваловтың бірінші

заңына бағынады: бу сұйықтыққа қосылуы сол сұйықтықтың үстіндегі қысымды арттыратын немесе оның қайнау температурасын төмендететін компонентпен байытылған.

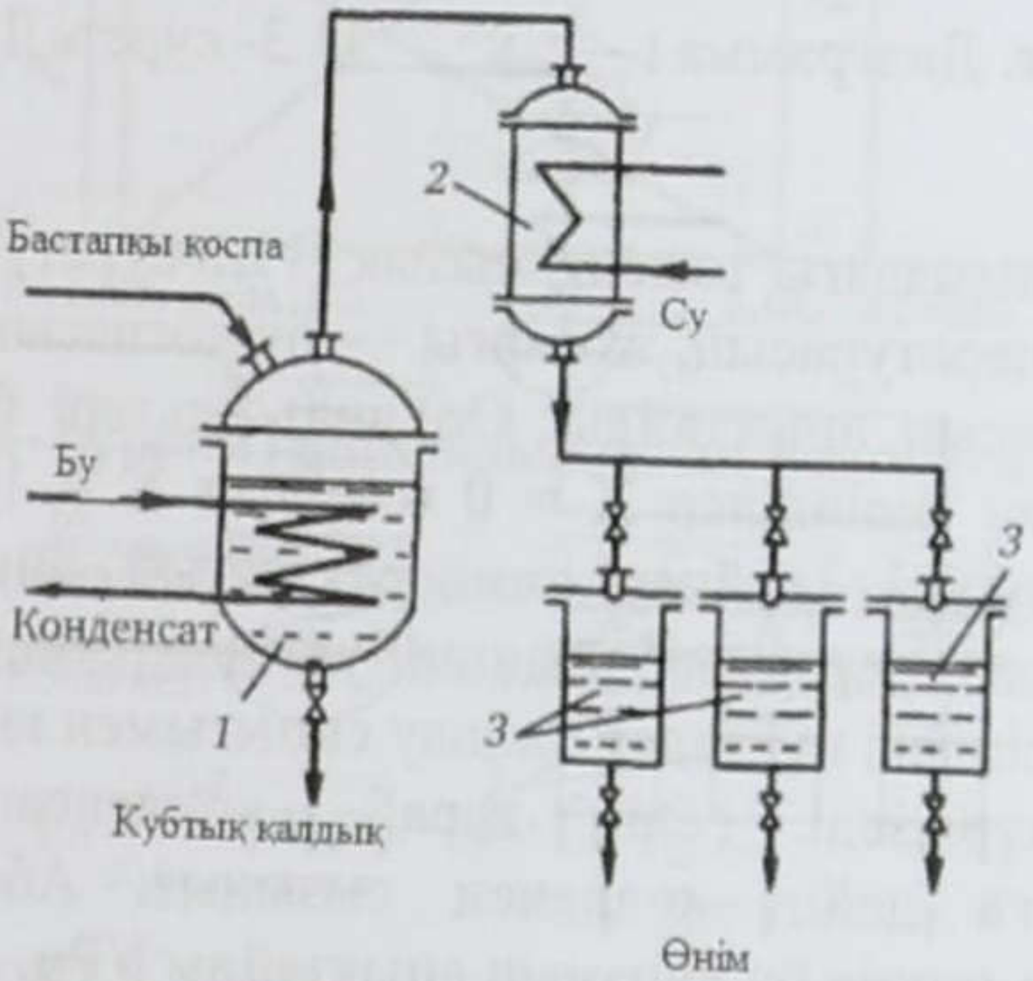
11.3-суретте көрсетілген 1-тәуелділік идеалды сұйықтықтар үшін (11.5) теңдеуге сәйкес келеді. Рауль заңынан ауытқу оң болуы мүмкін (11.3, 2- қисық) және теріс (10.3, 3- қисық).

Қарапайым айдау. Қарапайым айдау фракцияларды іріктеумен, су буымен немесе вакууммен дефлегмациямен жүзеге асырылады. 11.4-суретте фракциялық айдау көрсетілген.

Бастапқы қоспа жылу беру кезінде 1 кубта қайнатылады және оның буы 2- конденсаторға түседі де конденсацияланады. Алынған дистиллят 3- жинақтарында жиналады, онда дистиллятты әртүрлі ұшпалы дәрежесі бар фракцияларға бөлу жүзеге асырылады.

Ұшпа компоненттер бойынша материалдық теңгерім (баланс):

$$F \cdot x_f = W \cdot x_W + (F - W) \cdot x_D, \qquad (11.8)$$

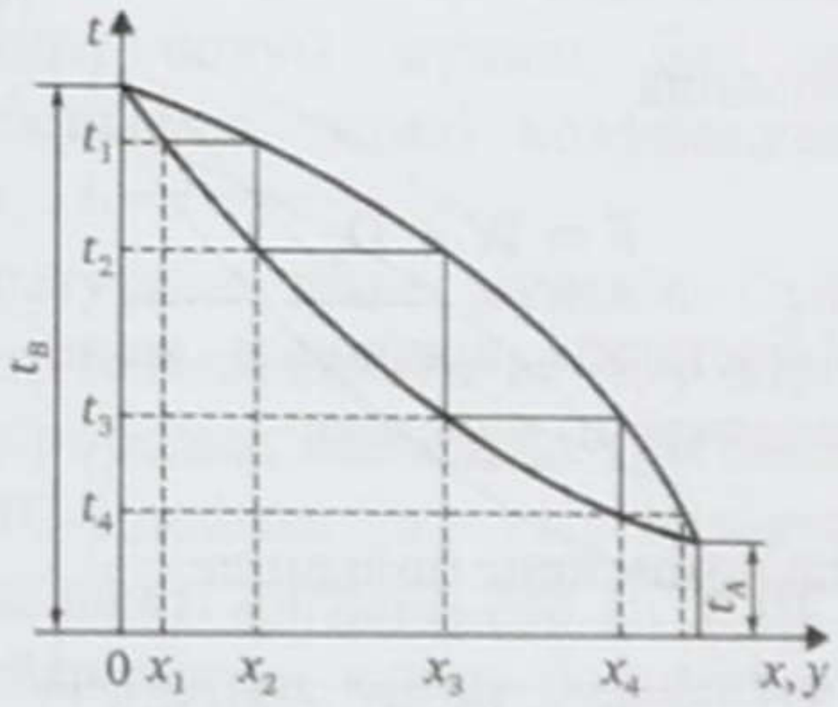


11.4- сурет. Қарапайым айдау қондырғысы: 1- куб; 2- конденсатор; 3- дистиллят жинау сиымдылықтары

Осы теңдеуден x_D анықталынады.

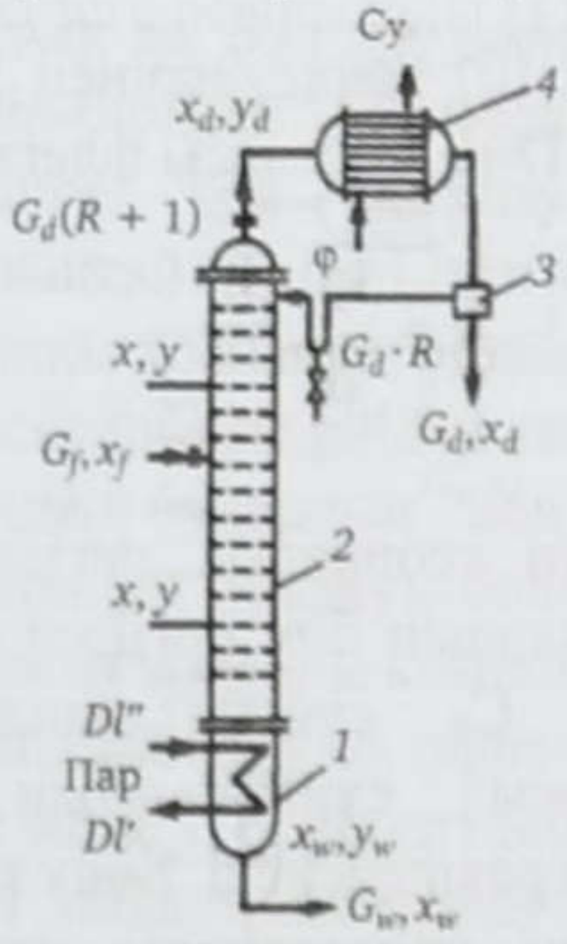
Бастапқы қоспаның бөліну дәрежесін арттыру үшін дистилляция дефлегмациямен жүзеге асырылады. Бұл жағдайда дистилляциялық кубтан шыққан булар дефлегматорға түседі (11.5-сурет). Онда олар жартылай конденсацияланады, нәтижесінде пайда болған флегма ұшпайтын компонентпен байытылып, қайтадан кубқа түседі. Жеңіл ұшпа компоненттермен байытылған бу конденсаторға түседі.

Ректификация - бұл сұйықтықтың ішінара қайталанатын буланuы және будың конденсациясы нәтижесінде қоспаны бөлу процесі (11.6 - сурет).



11.6- сурет. t – x,y диаграмма

Ректификация процесі тарелкалармен жабдықталған бағаналы аппараттарда жүзеге асырылады (11.7 - сурет).



11.7- сурет. Ректификациялық бағаналық схемасы: 1- куб; 2- бағана; 3- бөлу стаканы; 4- дефлегматор.

Бастапқы қоспасы 1 кубқа беріледі, онда қоспа қайнауға дейін қыздырылады және оның буы 2 - дистилляциялық бағанның төменгі тарелкасына астына түседі. Бағанға көтеріліп, жұптар төмен қайнаған компонентпен байытылады, ол 4 дефлегматорынан төмен ағып жатқан флегмаға түседі. Бағаннан шыққан булар 4 - дефлегматорға жіберіледі, онда олар толығымен немесе ішінара конденсацияланады және сұйықтық 3- бөлгіш арқылы флегма мен дистиллятқа бөлінеді.

Материалдық теңгерім:

- өнімдер бойынша

$$F = W + D, \tag{11.9}$$

мұндағы F, W-бастапқы қоспаның және кубтық қалдықтың массасы; D-дистилляттың массасы;

-жеңіл ұшпа компонент бойынша:

$$F \cdot x_f = W \cdot x_W + D \cdot x_D. \tag{11.10}$$

мұндағы Xf, x_w, x_D - бастапқы қоспадағы, текше қалдықтағы және дистилляттағы ұшпа компоненттің концентрациясы.

(11.9) және (11.10) теңдеулерінен D және W анықталады. Флегма массасының D-ге қатынасы флегма саны деп аталады:

$$R = \frac{\Phi}{D}. \tag{11.11}$$

Дистилляцияның теориялық негіздері. Екі ингредиенттен тұратын қоспада (олардың бірі ерітінді негізі ретінде сұйықтық болып табылады), C_1 сұйықтығындағы ерітілген заттың концентрациясы осы сұйықтықтың буында оның C_2 концентрациясынан ерекшеленеді. Бөлу коэффициенті (бөлу): $B = C_2 / C_1$ процестің сипаттамасы болып табылады. Кейбір жағдайларда кері шамамен жұмыс істеу ыңғайлы: $A = 1 / B$. Бұл параметр дистилляция жүргізу шарттарына және қоспаны құрайтын заттардың табиғатына байланысты.

Шарттарға байланысты В коэффициенті болуы мүмкін:

Оған қоспаның ингредиенттерінің парциалды қысымдары ғана әсер етеді (парциалды деп бірнеше газдардың қоспасына кіретін жеке алынған газдың қысымы деп аталады; яғни, ол газ қоспасын алатын барлық көлемді алса, бір газдың қысымы).

Тепе-теңдік. Бұл жағдайда сұйықтықтан ұшып кететін газдың Н молекулаларының саны оның H_1 молекулаларының санына тең, олар сұйықтыққа сол уақытта қайтарылады.

Дистилляцияны жүргізу практикасында ерітіндінің араласуы және онда қоспалардың болуы әсер етеді. Соңғылардың болуы соншалықты маңызды болуы мүмкін, бұл негізгі зат пен қоспаларды бөлу бойынша тиімді коэффициент өте тамаша ерекшеленуі мүмкін.

Булану температурасы және жүйенің Сұйықтық пен бу арасындағы фазалық тепе-теңдіктен ауытқу дәрежесі процестің маңызды параметрлері болып табылады. Дистилляция кезінде: Н = Н1 + НС, мұнда НС-конденсатқа өтетін молекулалар саны. Бұл жағдайда жүйенің екі шекті жағдайы бар. Егер НС = 0 болса, онда уақыт бірлігінде сұйықтықтан қанша бөлшектер кеткен, сонша оған қайтып оралған тепе-теңдік орын алады. Егер НС = Н болса, онда бұл молекулалық дистилляция, яғни сұйықтықтан буланған барлық бөлшектер конденсатқа ауысты. Әдетте бұл процесс вакуумда жүргізілсе, будың қысымы аз, ал су бетінен конденсация нүктесіне дейінгі қашықтық аз. Бұл жағдайда бу бөлшектері ауа молекулаларымен де, бір-бірімен де кездеседі.Компоненттерді неғұрлым толық бөлуге қол жеткізу үшін айдау – ректификацияның айтарлықтай күрделі түрі қолданылады.

Ректификация бастапқы қоспаның бірнеше рет буланuы және түзілетін булардың конденсациясы, айдау кезінде пайда болатын булардың қарсы әсерінде, булардың конденсациясы кезінде алынатын сұйықтықпен көп рет буланuы болып табылады.

Ректификация жолымен қоспаны компоненттерге бөлу тәсілі спирт және ликер-арақ өндірістерінде, эфир майларын өндіруде, мұнай өнімдерін өңдеуде және т. б. негізгі болып табылады.

Спирт өндірісіндегі айдау көмегімен ашыту өнімдерінен алдымен этил спиртінен басқа эфирлер, альдегидтер, сивушные майлары және т. б. бар сулы спиртті сұйықтықты алады. Коньяк өндірісінде шараптан айдау арқылы ашыту кезінде пайда болған ұшпа қоспалары бар коньяк спиртін алады.

Мерзімді әрекетті қондырғылар. Бастапқы қоспа кубқа құйылады. Кубтың ішіне ирек құбыр орнатады. Ирек құбыр арқылы ысытатын бу беріліп, қоспа қайнау температурасына дейін ысытылады. Кубта пайда болған бу колоннаның төменгі жағына беріледі. Колонна ішіне табақшалар немесе насадкалар орнатылады. Колоннаның жоғарғы жағына флегма беріледі. Сонымен колоннада бу және сұйық фазалар арасында масса алмасу процесі өтеді. Будағы жоғарғы температурада қайнайтын құрастырушы (ЖҚ) конденсацияланады, бұл кездегі бөлінген жылу флегмадағы төменгі температурада қайнайтын құрастырушының (ТҚ) буланууына жұмсалады. Бу колонна бойынша жоғары көтерілген бұл процесс көп рет қайталанылады. Осының нәтижесінде көтерілген бу ТҚ-мен байытылып, дефлегматорда конденсацияланады.

Дефлегматордан шыққан сұйық екіге бөлінеді: бір бөлігі флегма деп аталып колоннаға қайта беріледі, ал екінші бөлігі дистиллят суытқыш арқылы жінағышқа беріледі. Флегма төмен қарай ағып сифон арқылы кубқа беріледі. Сонымен, ректификация нәтижесінде қоспа құрастырушыларға толық ажыратылады: ТҚ дистиллят (өнім) түрінде жинағышқа жиналады, ЖҚ кубтың қалдық түрінде кубта қалады.

Кубтық қалдықтың қажетті концентрациясында процесс тоқтатылады да, қалдық кубтан шығарылады. Қалдықтың қажетті концентрациясын оның қайнау температурасымен анықтайды. Мерзімді әрекетті ректификацияда концентрация уақыт бойынша өзгереді. Сондықтан, алынатын өнімнің концентрациясы тұрақты болу үшін процесті флегма санын өзгерту арқылы (бастапқы аз, ал соңында ең көп) өткізеді. Егер флегма саны тұрақты болса, онда өнімнің концентрациясы біртіндеп азаяды. Мұның бәрі мерзімді процесті басқарудың және есептеудің қиындығына әкеліп соғады.

Үздіксіз әрекетті қондырғы. Бастапқы қоспа әдетте ысытқышта қайнау температурасына дейін ысытылып, колоннаның қоректенуші табақшасына беріледі. Қоректенуші табақша колоннаны екі бөлікке бөледі:

1) жоғарғы бөлігі - қоректенуші табақшадан жоғарғы табақшаға дейін. Бұл бөлікте дефлегматорға баратын будың құрамы ТҚ мен барынша нығайтылуы керек. Сондықтан колоннаның бұл бөлігін нығайтылу немесе жоғарғы бөлігі деп атайды.

2) төменгі бөлігі - қоректенуші табақшадан ең төменгі табақшаға дейін. Бұл бөлікте барынша сұйықтағы ТҚ-ны тауысу керек, сөйтіп оны ЖҚ мен жетілдіру керек, яғни кубқа құрамы жағынан ЖҚ-ға жақын сұйық берілу керек. Сондықтан колоннаның бұл бөлігін тауысу немесе төменгі бөлігі деп атайды.

Колоннада төменнен жоғары қарай қайнатқыш-кубтан (4) шыққан бу көтеріледі. Қайнатқыш-куб колонадан тыс немесе оның төменгі жағында орналасуы мүмкін. Әр табақшада будан ЖҚ конденсацияланып, сұйықтан ТҚ буланады. Сонымен, қайнатқыш-кубтан көтерілетін негізінен ЖҚ-дан құралған бу колоннадан шыққанша ТҚ-мен байытылады.

Дефлегматорда (3) суық сумен бу конденсацияланады. Бұл конденсат бөлгіште (8) екі бөлікке-дистиллят (жоғарғы өнім) және флегмаға бөлінеді. Флегма колоннаға қайтарылып беріледі және онда буымен жанасып, ЖҚ мен байытылады. Қайнатқыш-кубтан кубтық қалдық (төменгі өнім) жинағышқа (6) беріледі. Дистиллят суытқыш (5) арқылы жинағышқа (7) беріледі.

Колоннаның төменгі жағынан шығатын қалдық екіге бөлінеді:

Бір бөлігі қайнатқыш-кубқа беріледі де, ал қалған бөлігі суытқышта суытылып жинағышқа (6) беріледі.

Үздіксіз әрекетті ректификациялық қондырғылар өлшегіш-бақылағыш және басқару құралдарымен (приборларымен) жабдықталады. Бұл құралдар жәрдемімен құрылғының жұмыс істеуін автоматты түрде басқару және процесті тиімді режимде өткізу мүмкінді туады.

Ректификация колоннаның материалдық балансы. Бинарлы қоспалар құрастырушыларының мольдік булану жылуларының шамалары олардың меншікті булану жылуларының (1 кг құрастырушыға) шамаларына қарағанда, бір-біріне жақындау болады. Сондықтан ректификация процесін есептеуде және талдауда фазалардың мөлшерін киломольде, ал құрамдарын ТҚ-ның мольдік үлесінде өрнектейді.

Нақты ректификация процесінің өтуіне әсерін аз тигізетін, бірақ есептеуді жетілдіретін төменгі шарттарды қабылдаймыз:

1. Колоннаның кез-келген көлденең қимасынан көтерілетін будың мөлшері (киломольде) тұрақты, яғни $G_{бу}$=const.

2. Колоннадан шығарылып, дефлегматорға берілетін будың құрамы дистилляттың құрамына X_p-ға тең, яғни $У_p = X_p$ (мұнда $У_p$ - бу фазадағы ТҚ-ның концентрациясы).

3. Қайнатқыш-кубтан көтерілетін будың құрамы $У_w$, кубтың төменгі жағына ағып түсетін сұйықтың құрамына X_w-ға тең, яғни $У_w = X_w$.

4. Бастапқы қоспа колоннаға қайнау температурасына дейін ысытып беріледі.

5. Қайнатқыш-кубқа жылу тұйық бумен беріледі.

Төмендегі белгілерді қабылдаймыз:

G_f - ректификациялық колоннаға берілетін бастапқы қоспаның мөлшері, кмоль/с.

G_p - колоннадан алынатын дистиллят мөлшері, кмоль/с.

G_w - колоннадан алынатын кубтық қалдық мөлшері, кмоль/с.

$G_ф$ – колоннаға қайта берілетін флегма мөлшері, кмоль/с.

X_f, X_p, X_w – бастапқы қоспадағы, дистилляттағы және қалдықтағы төменгі температурада қайнайтын құрастырушының (ТҚ) құрамы, мольдік үлес.

Ректификациялық колоннаның материалдық балансының теңдеуі:

А) барлық қоспа мөлшері бойынша: $G_f = G_p + G_w$

Ә) ТҚ-ның мөлшері бойынша: $G_f X_f = G_p X_p + G_w X_w$.

Бұл екі теңдеуден әдетте G_p және G_w анықталады, ал қалған шамалар берілген болады.

Бастапқы қоспа және кубтық қалдық мөлшерлерінің дистиллят мөлшеріне қатынастарын төмендегідей белгілейміз: $G_f / G_p = F$; $G_w / G_p = W$.

Онда 1 кмоль/с дистиллят алу үшін материалдық баланс төмендегіше жазылады:

$$\begin{cases} F = 1 + W \\ F \cdot X_f = X_p + W \cdot X_w = X_p + (F-1) \cdot X_w \end{cases} \qquad (11.12)$$

Флегма мөлшерінің дистиллят мөлшеріне қатынасы флегма саны деп аталады.

$$R = \frac{G_ф}{G_p} \qquad (11.13)$$

Егер $G_р$ = 1кмоль болса, онда R = $G_ф$ болады, яғни флегма саны 1кмоль дистиллят алу үшін колоннаға қайта берілетін флегманың қажетті мөлшерін көрсетеді.

Жоғарыдағы 1-шарт бойынша колоннадан көтерілетін будын мөлшері тұрақты болады және ол конденсацияланғанда флегма мен дистиллятқа бөлінеді, яғни

$$G_{бу} = G_ф + G_р \qquad (11.14)$$

$G_ф = R \cdot G_р$ онда көтерілетін будың жалпы мөлшері:

$$G_{бу} = R \cdot G_р + G_р = G_р \cdot (R+1) \qquad (11.15)$$

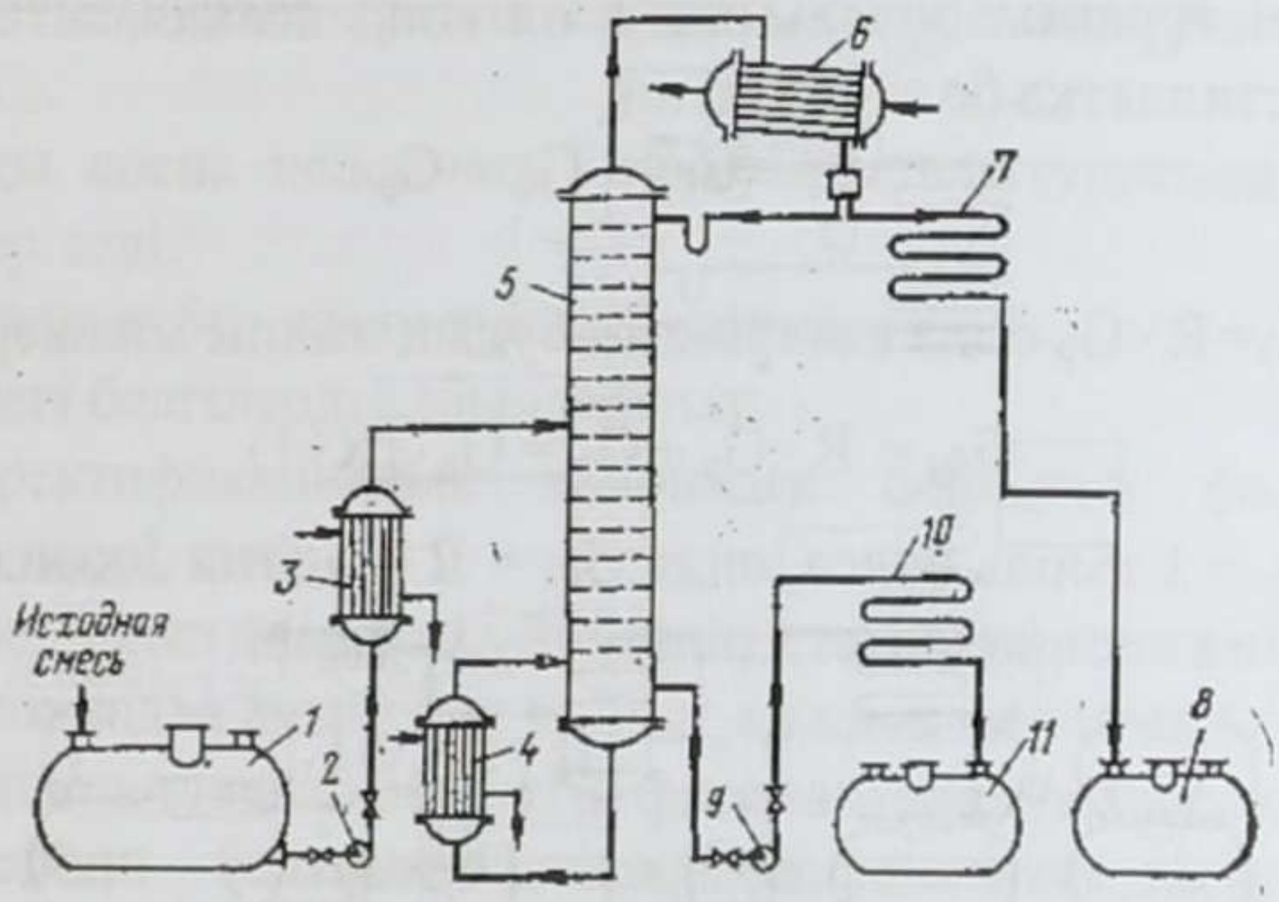
$G_р$ = 1 кмоль болса, онда $G_{бу}$ = R + 1 яғни 1 кмоль дистиллят алу үшін колоннадан көтерілетін бу мөлшері:

$$D = R + 1 \qquad (11.16)$$

Сұйық қоспаларды ректификациялау процесі бірнеше аппараттан тұратын ректификациялық қондырғыларда жүзеге асырылады. Екі компонентті қоспаны ректификациялаумен бөлу принципін осындай қондырғының жұмыс мысалында қарастырайық (11.8- сурет.). Бөлуге жататын қоспа колонна корпусының ортасынан бірнеше төмен орналасқан енгізу арқылы Ректификациялық колоннаға үздіксіз беріледі. Енгізілген сұйық қоспа контактілі құрылғылар (тәрелкелер) бойынша бағананың төменгі бөлігіне текшемен деп аталатын түсіріледі. Сұйықтықтың ағынына қарай колонна кубында сұйықтықтың қайнауы нәтижесінде пайда болатын бу көтеріледі. Түзілетін жұптар негізінен НКК және кейбір ДКК бар. Будың сұйықтықпен әрекеттесуі кезінде ДКК колоннасының тарелкаларында конденсацияланады және колонналардың төменге сұйықтық ағынымен шығарылады. Осының арқасында көтерілетін жұптарда НКК саны артады. Осылайша, буды көтеру кезінде олар НКК байытылады, ал төмен ағатын сұйықтық ДКК байытылады.

2 орталықтан тепкіш сорғымен 1 аралық сыйымдылықтағы бастапқы қоспа 3 жылу алмастырғышқа беріледі, онда қайнау температурасына дейін қыздырылады. Қыздырылған қоспа 5 Ректификациялық колоннаға қоректену тәрелкесіне бөлінеді, онда сұйықтық құрамы бастапқы қоспаның құрамына тең. Колонна бойынша төмен қарай әйнек, сұйықтық қайнатқышта текше сұйықтықты қайнату кезінде пайда болатын жоғары көтерілетін

бумен өзара әрекеттеседі 4. Будың бастапқы құрамы текше қалдығының құрамына тең, яғни оңай компонент. Бу сұйықтығымен масса алмасу нәтижесінде жеңіл ұшатын компонент байытылады.



11.8-сурет. Ректификациялық қондырғының принциптік схемасы: 1 - бастапқы қоспаға арналған сыйымдылық; 2, 9 - сорғылар; 3 - жылу алмастырғыш – бастапқы шикізатты жылытқыш; 4 – қайнатқыш; 5 – ректификациялық баған; 6 – дефлегматор; 7 – дистиллят Тоңазытқыш; 8 – дистиллят жинауға арналған сыйымдылық; 10 – текше сұйықтықты тоңазытқыш; 11-текше сұйықтыққа арналған сыйымдылық.

Толық байыту үшін колоннаның жоғарғы бөлігі берілген флегмалық сұйықтыққа (флегмаға) сәйкес суарылады, ол 6 дефлегматорда колоннадан шығатын Буды конденсациялау жолымен алынады. Конденсаттың бір бөлігі дайын өнім түрінде дефлегматордан шығарылады — 7 жылу алмастырғышта салқындатылатын дистиллят және 8 аралық сыйымдылыққа жіберіледі. 9-ші колоннаның кубтық бөлігінен үздіксіз кубтық сұйықтық шығарылады-10 жылу алмастырғышта салқындатылатын және 11-ші сыйымдылыққа жіберілетін ауыр ұшатын компонентпен байытылған өнім.

Осылайша, ректификациялық колоннада бастапқы бинарлық қоспаны құрамында жеңіл ұшатын компонент және ауыр ұшатын компонент байытылған текше қалдығы бар дистиллятқа бөлудің үздіксіз тепе-тең емес процесі жүзеге асырылады.

Көп компонентті қоспаларды ректификациялау, ал олар практикада екі компонентті қоспадан жиі кездеседі, жоғарыда қарастырылған сұлба бойынша өтеді, бірақ бұл ретте қолданылатын аппаратураның саны артады.

Ректификациялық қондырғыларда негізінен екі типті аппараттар қолданылады: фазалардың сатылы түйісуі (тарелкалы) және үздіксіз түйісуі (пленкалы және қондырмалы) бар бағаналар.

Көп компонентті қоспаларды ректификациялауды әр түрлі ретпен, көптеген қарапайым бағаналарды (бастапқы қоспаның компоненттерінің санынан бір аз) пайдалана отырып және бір күрделі бағананы пайдалана отырып жүргізуге болады.

Ректификациялау процесі үшін негізінен тарелкалы колонналар қолданылады. Оларда Сұйықтық пен бу арасындағы жақсы қарым-қатынасты қамтамасыз ететін құрылғылары бар көлденең тәрелкелер орнатылады.

Әр түрлі өлшемдегі ректификациялық колонналар қолданылады: диаметрі 300 - 400 мм шағын колонналардан жоғары өнімді қондырғыларға дейін, диаметрі 6, 8, 10, 12 м және одан жоғары колонналармен.

Бағананың биіктігі тәрелкелер санына және олардың арасындағы қашықтықтарға байланысты. Тәрелкелер арасындағы қашықтық аз болса, колонна соғұрлым төмен. Алайда, тәрелкелер арасындағы қашықтықты азайту кезінде шашыраудың шығуы артады және сұйықтықты төменгі тәрелкелкеден жоғарғы тәрелкеге лақтыру қаупі туындайды, бұл к. п. қондырғыны айтарлықтай азайтады. Тәрелкелер арасындағы қашықтық әдетте колоннаның диаметріне байланысты колоннаның жөндеу және тазалау мүмкіндігін ескере отырып қабылданады. Ректификациялық колонналардың тәрелкелері арасындағы ұсынылатын қашықтық олардың диаметріне байланысты төменде келтірілген:

Ректификациялық бағананың тәрелкелерінің саны немесе саптаманың биіктігі технологиялық есеппен анықталады; ол бөлінетін компоненттердің физикалық-химиялық қасиеттеріне, бөлу тазалығына және т.б. байланысты. Әдетте ректификациялық колонналарда 10-30 тәрелке бар, бірақ жақын қайнау температурасымен қоспаларды бөлуге арналған колонналар жүздеген тәрелке бар және 30-90 м биіктігіне сәйкес келеді.

Ректификациялық колонналар әдетте атмосфералық немесе аз артық қысыммен жұмыс істейді. Шектеулі қолдану жоғары қысым кезінде жұмыс істейтін вакуумдық колонналар мен колонналар табады. Вакуум астындағы ректификацияны колоннадағы температураны төмендеткісі келген жағдайда қолданады, бұл жоғары температурада қайнау температурасы бар компоненттерді немесе төзімсіз заттарды бөлу кезінде қажет болады. Жоғары қысымдағы ректификацияны сұйылтылған газдар мен тез ұшатын сұйықтықтарды бөлу үшін пайдаланады.

Бақылау сұрақтары:

1. Дистилляция және ректификация процестерінің мақсаты қандай? Дистилляция сұйық қоспалардың қандай қасиеттеріне негізделген?

2. Компоненттердің ішінара және шексіз ерігіштігі бар қоспалар дегеніміз не? Мінсіз және нақты қоспалар дегеніміз не?

3. Сұйықтықтардың идеалды және нақты қоспалары қандай заңдарға бағынады?

4. Мінсіз қоспалар үшін ішінара қысым изотермаларын жасау.

5. Қарапайым Дистилляция мен ректификацияның материалдық балансының теңдеулерін жасау.

6. Қарапайым Дистилляция және ректификация сызбаларын беріңіз. Процестерді диаграммаларда көрсету.

7. Тамақ өнеркәсібінде қарапайым белдеудің қандай түрлері қолданылады?

8. Дефлегмациямен айдау дегеніміз не?

9. Қарапайым дистилляция мен ректификацияның айырмашылығы неде?

10. Тамақ өнеркәсібінде ректификациялық бағандардың қандай конструкциялары қолданылады?

12-КРИСТАЛЛАР

Ертінділердегі кристалдану процесі қатты заттың шектеулі ерігіштігіне негізделген. Аса қаныққан ерітінділерден еріген заттың артықша мөлшері кристалданып бөлінгенде ерітінді қаныққан болады. Бұл ертіндіні қалдық ертінді (маточный раствор) деп атайды. Қалдық ерітіндіні кристалдан центрифугалау және т.б. тәсілдермен ажыратады.

Қаныққан ерітіндінің концентрациясы температура көбейген сайын артады және еріген зат пен еріткіштің қасиеттеріне байланысты болады.

Көптеген қатты заттардың ерігіштігі температура жоғарылаған сайын артады, ал кейбір заттардың ерігіштігі төсендейді.

Кристалдану процесі екі сатыдан құралады: кристалдану орталықтарынаң пайда болуы және кристалдардың өсуі. Кристалдану центрлері аса қаныққан ерітінділерде өздігінен пайда болуы мүмкін. Бұл кезде екі процесте (центрдің пайда болуы және кристалдың өсу) бірдей өтеді.

Егер центрлердің пайда болуы жылдамдағы оның өсу жыладамдығынан көп болса, онда көптеген майда кристалдар пайда болады. Егер өсу жылдамдығы центрлер пайда болу жылдамдығынан көп болса, ірі кристалдар пайда болады. Кристалдану процесінің жылдамдығы ерітіндінің аса қанығу дәрежесіне, араластыру қарқындылығына және т.б. байланысты болады.

Кристалдардың қасиетіне төмеңдегі факторлар әсер етеді: кристалдар пішіні, оның өлшемі мен фракциялық құрамы және алынатын кристалдың тазалығы. Кристалдар пішіні кристалданатын заттың табиғатымен анықталады және ерітіндідегі қоспаларға байланысты болады. Температура және ерітінді концентрациясының шегін азайтқанда майда кристалдар азаяды да, кристалдардың фракциялық құрамын өзгертеді. Майда кристалдардың сыртқы беті үлкен болғаңдықтан, оларда қалдық ерітінді көп қалып қояды, яғни кристалдардың тазалығы азаяды. Өте таза кристалдар алу үшін оларды қайтадан кристалдандырады. Оларадағы қалған ерітінді жуу және кептіру арқылы шығарады.

Кристалдану процесін кері еріту процесі ретінде қарастыруға болады. Алайда олардың арасында айтарлықтай айырмашылықтар бар:

- еріген кезде еритін бөлшектердің саны өзгермейді немесе азаяды, ал кристалдану кезінде зат ыдырайтын эмбриондардың саны үздіксіз артады;

- еріген кезде кристалдық тордың бұзылуы процестің жалпы жылдамдығын шектемейді, ал кристалдану кезінде кристалдық торға микробөлшектерді енгізу (кристаллохимиялық реакция) процестің жалпы жылдамдығына әсер етеді.

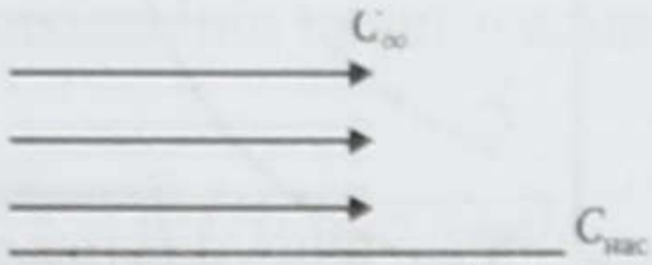
Қатты заттардың еруін келесі кезеңдерден тұратын процесс ретінде қарастыруға болады:

- еріткіш молекулаларының көлемнен бетіне ауысуы;
- қатты молекулалардың сұйықтыққа ауысуы;
- ерітілген молекулаларды еріткіш көлеміне беру.

Соңғы кезең көбінесе шектеулі. Бұл еріту кезінде масса тасымалына ең үлкен қарсылық қатты дененің бетіндегі диффузиялық шекара қабаты болып табылады. Бұл жағдайда қатты дененің шекарасында ерітінді қаныққан деп болжауға болады. Содан кейін процестің кинетикасын мына теңдеумен сипаттауға болады

$$-\frac{dm}{d\tau} = \beta \cdot f \cdot (C_{нас} - C_{\infty}), \qquad (12.1)$$

мұндағы m - еріген заттың массасы; τ -уақыт; f - қатты дененің беті; β -масса беру коэффициенті; $C_{нас}$, $C_{КО}$- қаныққан ерітіндідегі және сұйықтық көлеміндегі ерітіндінің концентрациясы (12.1-сурет).



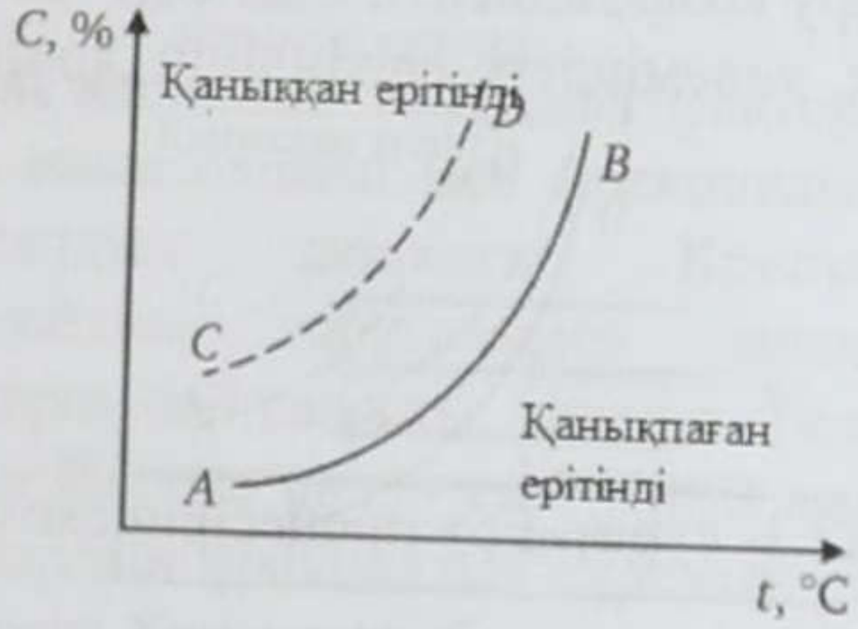
12.1- сурет. Еру процесінің схемасы.

"Сұйық-қатты" шекарасында диффузиялық шекара қабаты пайда болады (концентрациясы $C_{пов} = C_{нас}$-нан $C_{оо}$-ға дейін өзгеретін аймақ). Re саны неғұрлым үлкен болса, диффузиялық қабаттың қалыңдығы соғұрлым аз болады, dc/dn концентрациясының градиенті соғұрлым жоғары болады, сондықтан β жоғары болады. β мәнін мына теңдеу арқылы анықтауға болады

$$Nu' = \beta\, l/D, \quad Nu' = f\,(Re', Pr'). \qquad (12.2)$$

"Қатты - сұйық" фазаларының тепе-теңдігін қарастырайық. Қатты фазамен тепе-теңдікте болатын ерітінді қаныққан деп аталады. Кристалдар мен ерітінді арасында жылжымалы тепе-теңдік пайда болады. Кейбір жағдайларда ерітіндінің концентрациясы оның ерігіштігінен асып кетуі мүмкін. Мұндай ерітінділер қаныққан деп аталады. Олар тұрақты емес және қатты фазаның бөлінуімен қаныққан күйге ауыса алады. Кристалдану тек қаныққан ерітінділерден пайда болады.

Суретте АВ ерігіштік қисығын суреттейік (12.2- сурет). АВ сызығынан төмен қанықпаған ерітінді аймағы орналасқан. Жоғарыда- қаныққан аймақ (шартты түрде метақаныққан аймақ (АВ және CD сызықтары арасында) және лабильді аймаққа (CD сызығынан жоғары) бөлінеді. Метастабильді аймақтың шекаралары ерітіндінің температурасына, салқындату жылдамдығына, араластыруға, қоспалардың болуына және т.б. байланысты. Метастабильді аймақта кристалдану орталықтарының өздігінен пайда болуы болмайды және қалыпты жағдайда кристалдану мүмкін емес. Іс жүзінде, бұл жағдайда кристалл түзілуін бастау үшін қаныққан ерітіндіге тұқым қосылады. Тұқым-белгілі бір мөлшердегі ең кішкентай кристалдар.



12.2-сурет. Күй диаграммасы

Метастабильді аймақта кристалдану орталықтарының қалыптасуындағы қиындық шамадан тыс қанықтылықтың төмен деңгейіне байланысты. Өте қаныққан шама мен тұқымның сыни радиусы өзара Томсон - Гиббс теңдеуімен байланысты:

$$\ln \frac{C_{\text{пер}}}{C_{\text{нас}}} = \frac{2\sigma}{r_0} \cdot \frac{v}{RT}, \tag{12.3}$$

мұндағы $C_{\text{пер}}$-қаныққан ерітіндінің концентрациясы; σ - беттік керілу; υ-моль көлемі; R-әмбебап газ тұрақтысы; Т- температура.

Теңдеуден (12.2) артық қанықтыру дәрежесі неғұрлым төмен болса, соғұрлым r_0 төмен болады. Осыдан кішігірім қанықтылықпен сипатталатын метастабильді аймақ жағдайында тұрақты эмбрионның пайда болуы үшін оның мөлшері пайда болған кезде жеткілікті үлкен болуы керек. Метастабильді аймақ мұндай жағдайларды жасамайды. Сондықтан тұқым жасау керек.

Кристалдану процесі екі кезеңнен тұрады: тұқым түзілу; кристалдардың өсуі. Үздіксіз кристалдану кезінде екі кезең де бір уақытта жүреді.

Егер тұқымдардың пайда болу жылдамдығы төмен болса, онда үлкен кристалдардың өсуіне жағдай жасалады. Тұқым түзілу жылдамдығы жоғары болса ұсақ кристалдар пайда болады. Осылайша, жылдамдықтың өзгеруіне байланысты кристалдардың мөлшерін реттеуге болады. Үлкен кристалдарды өсіру үшін төмен қанықтылықты жасау керек.

Қолданыстағы (сұйық) жаңа (қатты) фазаның пайда болуы оны қанықтыру кезінде ғана мүмкін болады, өйткені процесс фазалардың беткі қабатын қалыптастыру үшін энергия шығынын қажет етеді. Сондықтан кристалдардың өсу процесінің қозғаушы күші қаныққан $C_{\text{пер}}$ мен қаныққан ерітінділердің концентрациясының айырмашылығы болып табылады. Кристалдардың өсу процесінің кинетикасын мына теңдеу арқылы сипаттауға болады

$$\frac{dm}{d\tau} = \beta \cdot f \cdot (C_{\text{пер}} - C_{\text{нас}}). \tag{12.4}$$

Алайда, кристалдардың өсу қарқыны еріту жылдамдығына тең емес екенін атап өткен жөн, өйткені кристалдану таза диффузиялық процесс емес. Бұл процесс кристалл торына молекулаларды енгізу жылдамдығымен шектеледі, яғни диффузиялық сатымен қатар кристалдардың бетінде кристалл-химиялық реакция жүреді. Потенциалды кедергіні жеңу нәтижесінде концентрация, $C_{\text{нас}}$ дейін емес белгілі бір аралық

мәнге дейін төмендейді. Осылайша концентрацияның өзгеруі орын алады:

- диффузиялық аймақ үшін $C_{пер}$ $C_{пов}$ көлемінде қаныққан ерітінді концентрациясына;
- кристаллохимиялық реакция үшін $C_{пов}$ $C_{пер}$ қанықтыру концентрациясына дейін.

Сондықтан кристалдардың өсу процесінің жылдамдығы мына теңдеулермен сипатталады:

- диффузиялық кезең үшін:

$$\frac{dm}{d\tau} = \beta \cdot f \cdot (C_{пер} - C_{пов}); \quad (12.5)$$

- кристаллохимиялық реакция үшін

$$\frac{dm}{d\tau} = K_c \cdot f \cdot (C_{пов} - C_{нас})^z, \quad (12.6)$$

мұндағы K_c кристаллохимиялық реакция жылдамдығының константасы; z-дәреже көрсеткіші. z=l қабылдап, (13.3) және (13.4)теңдеулерін түрлендіреміз:

$$C_{пер} - C_{нас} = \frac{dm}{d\tau \cdot f} \cdot \left(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{K_c}\right). \quad (12.7)$$

$$C_{пов} - C_{нас} = \frac{dm}{d\tau} \cdot \frac{1}{K_c \cdot f}. \quad (12.8)$$

Теңдеулердің оң және сол жақ бөліктерін (12.6) және (12.7) қосу арқылы мынаны аламыз:

$$C_{пер} - C_{нас} = \frac{dm}{d\tau \cdot f} \cdot \left(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{K_c}\right). \quad (12.8)$$

Бұдан кристаллдарың өсу жылдамдығы

$$\frac{dm}{d\tau} = \frac{(C_{пер} - C_{нас}) \cdot f}{\frac{1}{\beta} + \frac{1}{K_c}}, \quad (12.9)$$

мұндағы $K = 1/[(1/\beta + (1/K_c)]$ -масса беру коэффициенті.

β-нің едәуір жоғарылауы кезінде диффузиялық қарсылықты елемеуге болады, сонда:

$$\frac{dm}{d\tau} = K_c \cdot f \cdot (C_{пер} - C_{нас}). \qquad (12.10)$$

Бұл жағдайда процесс кристаллохимиялық реакциямен анықталады, мысалы. Теңдеудің екі бөлігін (11.7) pf -ке бөлеміз. Нәтижесінде сызықтық өсу жылдамдығының теңдеуін аламыз:

$$\frac{dl}{d\tau} = \frac{K}{\rho} \cdot (C_{пер} - C_{нас}). \qquad (12.11)$$

Әр беттің өзіндік сызықтық өсу қарқыны бар, әйтпесе барлық кристалдар сфералық пішінге ұмтылатын еді. Әр беттің өзіндік K_c мәні бар.

Материалдық және жылу балансының теңдеуін анықтау үшін мына мәндерді анықтаймыз: $m_{пер}$ – бастапқы қаныққан ерітінді массасы; $m_{кр}$ – кристалдар массасы; $m_м$ - кристалдар арасындағы ерітінді массасы, кг (кг/с); $в_{пер}$- қаныққан ерітіндідегі құрғақ заттардың массалық үлесі, % ; $в_м$- кристалл аралық ерітіндідегі құрғақ заттардың массалық үлесі, % ; W- шығарылатын ылғал массасы, кг (кг/с).

Сонда өнімдер бойынша материалдық баланс (суды булау кезінде):

$$m_{пер} = m_{кр} + m_м + W. \qquad (12.12)$$

Құрғақ заттар бойынша баланс

$$\frac{m_{пер} \cdot в_{пер}}{100} = \frac{m_{кр} \cdot в_{кр}}{100} + \frac{m_м \cdot в_м}{100}. \qquad (12.13)$$

Жоғарыдағы теңдеулерді бірге шешу арқылы

$$m_{кр} = m_{пер} - m_м - W = m_{пер} - \frac{m_{пер} \cdot в_{пер}}{в_м} + \frac{m_{кр} \cdot в_{кр}}{в_м} - W \qquad (12.14)$$

немесе

$$m_{кр}\left(1 - \frac{в_{кр}}{в_м}\right) = m_{пер}\left(1 - \frac{в_{пер}}{в_м}\right) - W. \qquad (12.15)$$

Бұдан:

$$m_{кр} = \frac{m_{пер}\left(1 - \frac{В_{пер}}{В_м}\right) - W}{\left(1 - \frac{В_{кр}}{В_м}\right)}.$$

(12.16)

Суды шығармаған кезде W = 0. Сусыз кристалданатын болса (сахароза) $в_{кр}$ = 100%.

Үздіксіз кристалдану кезіндегі жылу балансы. Қаныққан ерітіндімен түсетін жылу:

$$Q_1 = m_{пер} \cdot C_{пер} \cdot t_{пер};$$

(12.17)

-жылутасымалдағышпен бірге (қаныққан бу):

$$Q_2 = D \cdot (i_п - i_{конд});$$

(12.18)

Кристаллизация жылуы:

$$Q_3 = m_{кр} \cdot r.$$

(12.19)

Жылу шығыны:

-кристалдармен:

$$Q_4 = m_{кр} \cdot C_{кр} \cdot t_{кр};$$

(12.20)

- кристаларалық ерітіндімен

$$Q_5 = m_м \cdot C_м \cdot t_м;$$

(12.21)

- буланған ерітіндімен

$$Q_6 = W \cdot i;$$

(12.22)

-салқындату агентімен

$$Q_7 = m_0(t_н - t_к);$$

(12.23)

$Q_п$ - сырткы қоршаған ортаға тарайтын жылу шығыны, сонда

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_п.$$

(12.24)

Салқындатылған кристалдану кезінде: $Q_2 = 0$ және $Q_6 = 0$ (изогидратациялық кристалдану). Буланумен вакуум-кристалдану кезінде: $Q_7 = 0$ (изогидратациялық кристалдану).

Жылу балансының теңдеуінен мыналарды анықауға болады:

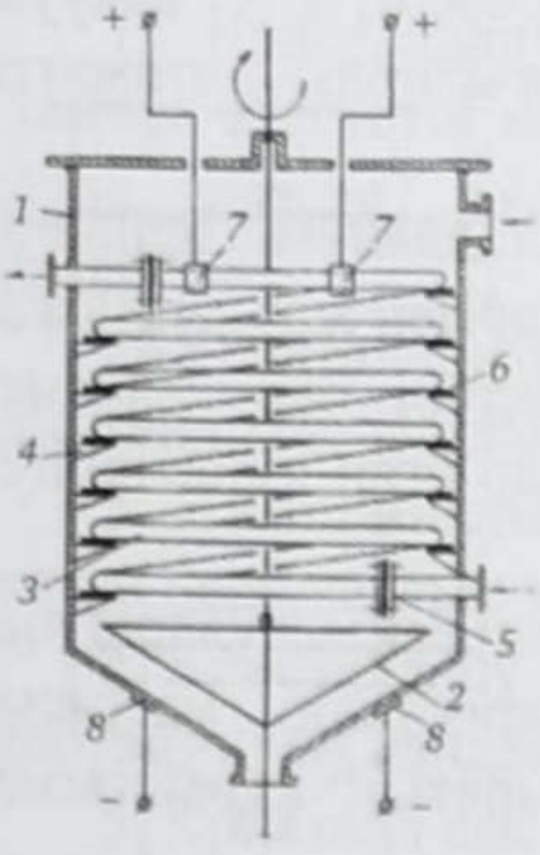
- изотермиялық кристалдану кезінде булануға қажетті бу шығыны;

- изогидратациялық кристалдану кезінде салқындатқыш судың шығыны.

Кристаллизаторды есептеу жылу берудің негізгі теңдеуінен жылу беру бетін анықтауға болады.

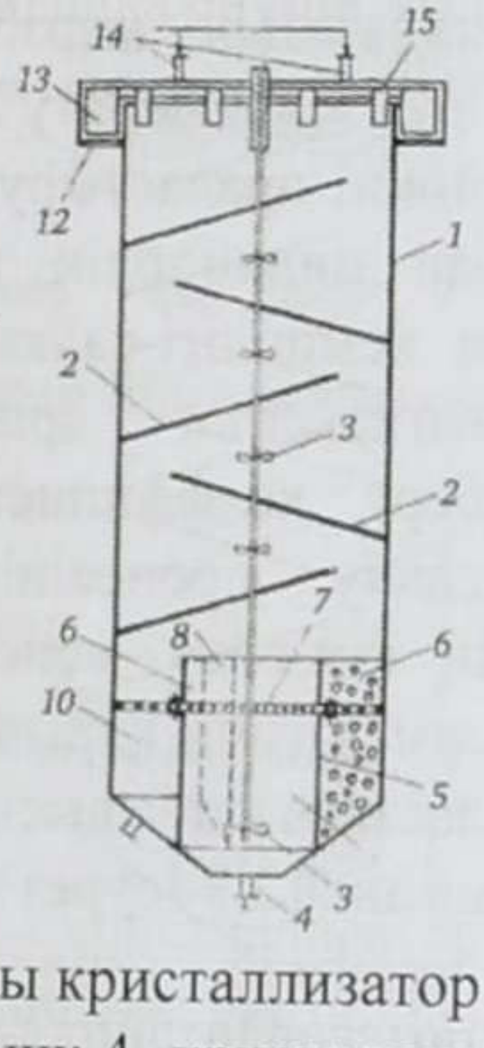
Ерітіндіні салқындататын мерзімді әрекетті қарапайым кристаллизаторлар - бұл салқындату орам түтіктері (немесе жейделері) және ерітіндіні араластыруға арналған механикалық араластырғыштары бар цилиндрлік тік құрылғылар. Мұндай кристаллизаторлардың кемшілігі-салқындату элементінің жылу алмасу бетінің шығарылған кристалдармен қапталуына байланысты жылу беру коэффициентінің төмен мөлшеріне байланысты кристалдану процесінің төмен жылдамдығы. Кристалдану процесін күшейту және салқындату элементінің бетін қаптауды болдырмау үшін құрылғы салқындату элементіне бір полюсте және араластырғыш ыдыспен — екіншісіне қосылған ток көзімен жабдықталған (12.3- сурет).

Кристалдану процесін күшейту үшін мынандай кристаллизатор жасалды, оның ішінде әр бөлімде араластырғыш құрылғысы бар көлбеу бөлімдермен биіктігі бойынша секциялық корпус, төменгі бөлікте араластырғыш құрылғының үстіне орналастырылған көлденең перфорацияланған тақтайшамен бөлінген екі осьтік цилиндрлік бөлімдер орнатылғандығымен сипатталады, ал бөлімдер мен корпус арасында тік перфорацияланған тақталар орнатылған (сурет. 12.4).



12.3 - сурет. Кристалдау құрылғысы: 1- цилиндрлік сиымдылық; 2- араластырғыш; 3- түтікшелі орамтүтіктер; 4- кронштейн; 5- жалғасы жері; 6- тұмшалау төсемдері; 7,8 - ток қоскыштар.

Осы дизайнның арқасында кристалданған өнімнің монолитті құрылымдарының пайда болуы алынып тасталады және кристалдардың салқындатқышқа енуіне жол берілмейді.



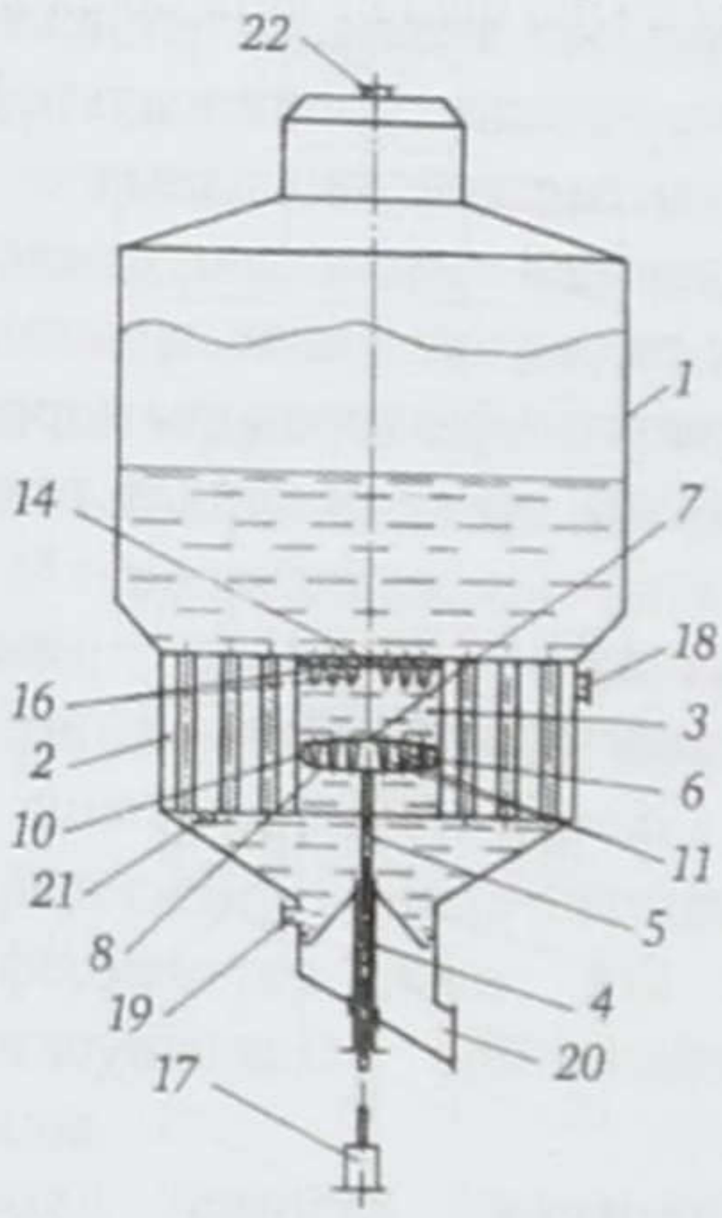
12.4 - сурет. Секциялы кристаллизатор: 1- корпус; 2- көлбеу бөгеттер; 3- араластырғыш; 4- кристаллизат беру жеңі; 5, 6 – цилиндрлі бөгеттер; 7- тесікті тарелка; 8- тесікті пластина; 9- эмульсионды камера; 10- тұндыру камерасы; 11- салқындату агенті шығару жеңі; 12- айналма астауша; 13- қырғыштар; 14- форсунка; 15- араластырғыш.

Қазіргі уақытта вакуум-кристаллизаторлар кеңінен қолданылады. Қазіргі заманғы өнеркәсіптік вакуум-кристаллизаторлар конденсациялық қондырғыларды автоматты реттеу жүйелерімен жабдықталады.

Құрамында қант бар ерітіндіні кристалдануға арналған вакуум-аппарат технологиялық келте құбырлармен жабдықталған тік цилиндрлік корпус, кіре берісте шүмектері бар қалқамен жабылған орталық циркуляциялық арнасы бар оған кіріктірілген жылыту камерасы (12.5 - сурет).

Аппарат штоктан және оған бекітілген саңылаулары бар тесілген дискілі итергіштен тұратын кристалл массасын циркуляциялауға арналған дірілді араластыратын құрылғымен жабдықталған.

Мәжбүрлі айналымдағы вакуум-кристаллизаторларды қолдану үлкен және біркелкі кристалдар алуға мүмкіндік береді.



12.5- сурет. Қантқа арналған вакуум-кристаллизатордың схемасы: 1- корпус; 2 – қ-ыздыру камерасы; 3 - айналым каналы; 4 - дірілді араластырғыш құрылғы; 5 -штук; 6 - қуысты итергіш; 7,8 - бүйір беттері; 9- тесік; 10 - итергіштің бүйір беті; 11 - конустық саптама; 12, 13 - саптаманың негіздері; 14 - бөгет; 15 - тесіктер; 16 - конустық саптамалар (сопло); 17 - діріл жетегі; 18 - бу беру жеңі; 79 - ерітінді беру жеңі; 20,21 -конденсат шығаратын жең; 22- туынды бу жеңі.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар

1. Кристалдану процесінің мақсаты мен мәні қандай? Схемада елестетіп көріңіз. Кристалдану негізгі процестердің қай түріне жатады? Бұл процестің тетіктері мен қозғаушы күші қандай?

2. Кристаллдың кристалдануы мен еруі кезінде фазалардың тепе-теңдігіне қандай жағдайларда қол жеткізіледі?

3. Изотермиялық және изогидтік кристалданудың мәні неде (жауап беру кезінде күй диаграммасын қолданыңыз)?

4. Кристалдану алдында ерітінділердің қанықтылығы немесе гипотермиясы қандай мақсатта жасалады?

5. Кристалл сфералық болуы мүмкін бе?

6. Кристалды тұқымның критикалық мөлшері қандай параметрлерге байланысты?

7. Кристалл өсуінің диффузиялық және кристаллохимиялық кезеңдері үшін масса теңдеулерін жасаңыз. Екі сатының өсу ретін бірлікке тең етіп, масса теңдеуін алыңыз.

8. Масса теңдеуінен кристалдану жылдамдығы туралы өрнек алыңыз және оны талдау негізінде кристалдардың жылдамдығы мен сапасына әсер ететін факторларды көрсетіңіз.

9. Кристалдардың массасы қандай теңдеулерден және қалай анықталады?

10. Кристаллизаторлардың сызбаларын беріңіз. Кристаллизаторларды есептеу дегеніміз не?

13.БИОХИМИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР

Биохимиялық процестер микроорганизмдердің бағытталған белсенділігі процестері деп аталады, олардың жылдамдығы биомассаның немесе олардың метаболизм өнімдерінің өсуімен анықталады. Биохимиялық процестер тамақ технологиясында маңызды орын алады. Биохимиялық процестер қоршаған ортадан (субстраттан) қоректік заттарды: сахароза, глюкоза және басқа көмірсутектерді тұтынатын тірі микроорганизмдердің көмегімен жүзеге асырылады. Микроорганизмдер тыныс алады, өседі, көбейеді, метаболизмнің газ тәрізді және сұйық өнімдерін шығарады, нәтижесінде биомасса немесе метаболизм өнімдері жиналады, сол үшін ашыту процесі жүреді. Ашытқы, ақуыз-витамин концентраттарын өндіру кезінде мақсатты өнім биомасса, ал антибиотиктер, ферменттер және т.б. өндіру кезінде-микроорганизмдер жасушалары синтездейтін метаболизм өнімдері болып табылады.

Микробиологиялық синтез химиялық технология әдістерімен өндірісі мүмкін емес немесе экономикалық тұрғыдан мүмкін емес (ферменттер, бактериялық препараттар, ақуыз, антибиотиктер, кейбір дәрумендер) көптеген құнды өнімдерді алу үшін қолданылады.

Тамақ өнеркәсібінде микроорганизмдер нан жабу өндірісінде қамырды ашыту кезінде, ашыту өндірісінде (шарап жасау, сыра қайнату, тамақ спирті, лимон, сүт және сірке қышқылдары, ашытқы өндірісі), консервілеу кезінде, сондай-ақ ауылшаруашылық шикізатын өңдеу кезінде қолданылады.

Биохимиялық процестер бөлімін зерттей отырып, сіз осы процестер мүмкін болатын негізгі жағдайлармен, биохимиялық процестердің жалпы технологиясымен, биохимиялық процестердің кинетикасымен, ашыту процестеріндегі масса алмасумен, ашыту процестерін жүргізуге арналған жабдықтармен танысуыңыз керек.

Ферменттеу аппараттарының алуан түрлілігін ескере отырып, қазіргі уақытта биохимиялық өндірісте қолданылатын аппараттарды қарастыра отырып мынандай қорытынды жасауға болады - барлық реакторларда белгілі физикалық процестер (гидродинамикалық, жылулық және массаалмасу) жүреді, соның арқасында заттардың биохимиялық өзгерістерінің оңтайлы

жағдайлары жасалады. Осы физикалық процестерді жүзеге асыру үшін биохимиялық реактор типтік конструкциялық элемен жабдықталады (араластырғыштар, түйіспелі құрылғылар, жылу алмастырғыштар, диспергаторлар және т.б.). Сондықтан барлық ферментерлер күрделі құрылғылар болып табылады, белгілі құрылымдық элементтерден тұратын технологиялық процестерді жүргізу үшін де пайдаланылады.

Кез-келген жағдайда ферментер өсіру процесінің негізгі талаптарын қанағаттандыру қажет:

-әр бір жаушаға қажетті мөлшерде қоректік заттарды жеткізу;

-әр жасушадан метаболизм өнімдерін шығару;

-әр бір нүктедегі микробтық суспензия температурасын тұрақтандыру;

- кез келген нүктедегі оңтайлы жұмыс параметрлерін тұрақтандырып ұстау;

- аэрация, араластыру деңгейін қажетті мөлшерде ұстау;

-автоматтандыру дәрежесін жоғары деңгейде ұстау.

Осы талаптарды орындау үшін әр ферментер келесідей жүйелермен жабдықталуы керек:

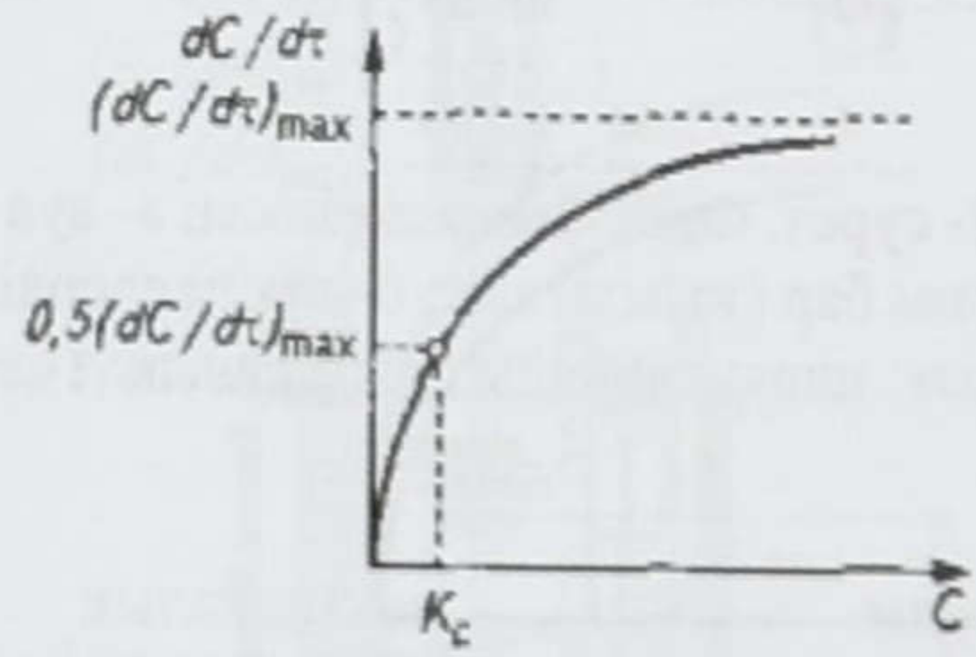
- аппаратқа сұйықтық (немесе сусымалы) ағындарды беру;
- газ ағындарын енгізу және шығару;
- ферментациялық ортаны аэрациялау;
- ферменттеу ортасын араластыру;
- ферментациялық ортаның көбіктенуі;
- ферментациялық көлемді термостаттау;
- ферментерді және ферментациялық ортаны зарарсыздандыру;
- аппараттан сұйық (немесе сусымалы) ағындарды шығару;
- берілген параметрлерді бақылау және реттеу.

Ферменттік реакцияны микробиалды (мұнда ферменттерді микроорганизмдер жасайды) және микробиалды емес болып бөлінеді. Ферментативтік реакцияны схема түрінде былай көрсетуге болады (13.1-сурет).

13.1- сурет. Ферментативтік реакция схемасы

Ферментативтік реакция екі стадияда өтеді. Бірінші стадияда субстрат пен фермент қайтымды әсер, ал екіншісінде аралық кешеннен соңғы өнім түзіледі. Биохимиялық реакция жай химиялық реакция сияқты.

Процестің массалық жылдамдығы $dC/d\tau$ субстрат концентрациясына тәуелді (С- соңғы өнімнің концентрациясы, τ - уақыт). Субстрат концентрациясы өзгерген кезде реакция жылдамдығы максималды шамаға жақындайды (13.2- сурет).



13.2- сурет. Ферментативті реакцияның жылдамдығының субстрат концентрациясына тәуелділігі.

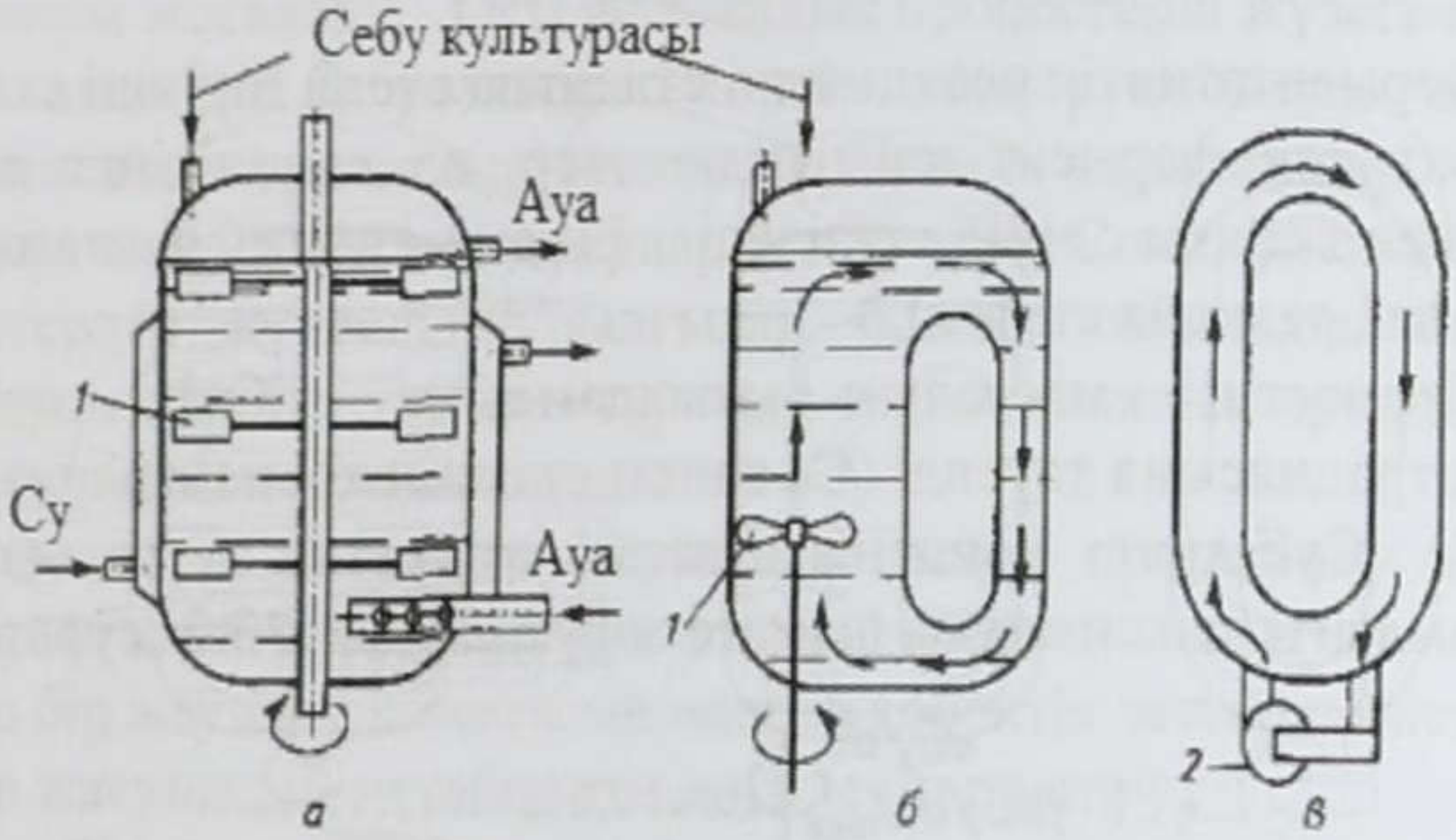
K_c – коэффициентінің орнына температураға байланысты $K_п$ тракты сын пайдалануға болады.

$$K_п = K \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \qquad (13.1)$$

мұндағы К – тұрақты шама; Е- реакцияны белсендіру энергиясы, Дж/моль; R – ортаның әмбебап газдық тұрақтылығы, Дж/(кмоль К). $E = 3\ 10^7 \ldots 12\ 10^7$ Дж/к моль- орташа және үлкен жылдамдықта.

Ферментацияға арналған жабдықтарға – ферментатор, араластырғышы бар сиымдылық, барботажды бағандар және ферменторлар.

Ферментор жұмысы субстрант пен ферменттің тығыз түйісуі үшін араластырғыштар пайдаланылады және ферменторлар қолданылады. Аэробты ферментация кезінде молекулаларға ауа аэрациондық құрылғыдан түседі (13.3- сурет).

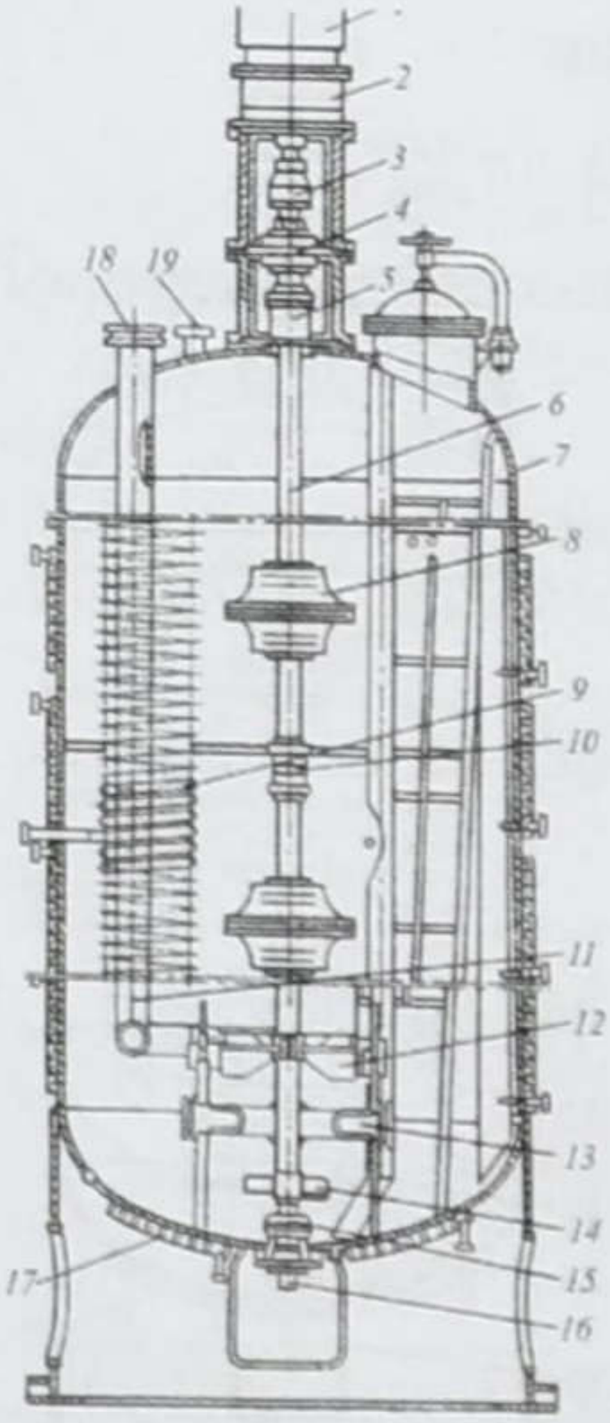


13.3- сурет. Ферментор схемасы: а- ауа барботажды праластырғышы бар сиымдылық; б- пропеллерлі араластырығшы бар сиымдылық; циркуляциялы сиымдылық: 1- араластырғыш; 2- сорғы.

Барботажды типті механикалық араластыратын ферментаторлар биологиялық белсенді заттардың продуцент – микроорганизмдерін өсірудің стерильді процестері үшін кеңінен қолданылады. Ферментатор (13.4-сурет) цилиндрлік пішінді тік аппарат болып табылады. Аппараттың қақпағында 1 электр қозғалтқыш, 2 редуктор, 3 муфта, 4 мойынтіректен және 5 сальниктен тұратын араластырғыш құрылғының жетегі орналасқан. Қақпақта 18- қоректік ортаны және 19- егу материалын тиеуге, ауаны беруге және шығаруға арналған штуцерлер, бақылау терезелері, люктер, сақтандырғыш клапан орнатылған.

Аппарат түбіне түсіру үшін түсіру 16-штуцер, ал 7 - корпустың ішінде 8 - жабық турбиналардан тұратын, оған бекітілген 6-араластыру құрылғылары бар білік өтеді. 13-барботер ауаны шығару үшін 11 - құбырмен жалғасқан. Оның жоғарғы бөлігінде шахмат тәртібінде орналасқан 2000...3000 тесіктер бар. 8, 12, 14 - араластырғыштар және 10, 15- муфталары бар 6- білік 2- мотор-редуктор көмегімен айналады. Ферментатор 6...8- қабаттан тұратын 17- сыртқы қабатпен жабдықталған. Әрбір секция бұрыштық профильден жасалған 8 - бұрыштық түйісу арналарынан тұрады. Сыртқы суыту бетінің ауданы 60 м^2, оның ішкі беті диаметрі 600 мм және жалпы биіктігі 2,4 м орамтүтіктен

тұрады. Ферментатор 0,25 МПа артық қысыммен жұмыс істеу және 130...140 °С кезінде стерилдеу үшін есептелген. Микроорганизмдерді өсіру процесінде ферментатор ішіндегі қысым 50 кПа. Зарарсыздандырылған ауаның шығыны 1 $м^3$/мин. Процестің стерильділігін қамтамасыз ету үшін араластыру құрылғысының бу қорғанышы бар білігінің шеткі тығыздағыштары қарастырылған.



13.4 - сурет. Барботажды ферментатор

Ауа тарату жүйесін есептеу мынадай алғышарттардан бастайды: ауа өткізгіштегі ауа қозғалысының жылдамдығы w = 20-дан 25 м/с, ауа тарату түтіктерінің шығу тесіктерінің ауданы тіреуіш қимасының ауданынан 25% - ға аспауы тиіс. Бұл ретте ауа араласатын көлемге арнайы барботерлер құрылғылары арқылы беріледі.

Айдау құбырының диаметрі:

$$d = [(4Q)/(\pi w)]^{1/2}, \qquad (13.2)$$

Ауа өткізгіш тесіктердің ауданы тұрақ (коллектор) алаңынан 25% - ға артық болған жағдайда, ауа тарату түтіктеріндегі саңылаулардың жиынтық ауданы:

$$F_к = 1{,}25\ \pi\ d^2_к/4, \qquad (13.3)$$

мұнда- $d_к$ коллектордың диаметрі, м.

Барботердің ауа таратқыш түтіктеріндегі тесіктердің диаметрі d= 0,4…1,0 мм болады . Сонда ауаны шығару үшін қажетті тесіктер саны:

$$n = 4F_т/(\pi\ d^2_т). \qquad (13.4)$$

Бір м түтік бойындағы тесіктер саны

$$n_l = z\ m, \qquad (13.5)$$

мұндағы- z - түтіктің көлденең қимасындағы тесіктер қатарының саны; m - құбырлардың 1 м ұзындығындағы тесіктер қатарының саны.

Барботер түтігінің жалпы ұзындығы:

$$L_{жалпы} = n/n_l. \qquad (13.6)$$

Барботердің түріне байланысты оның геометриялық өлшемдері анықталады.

Аэрациялық жүйенің диаметрі:

$$D_{аэр} = D_{ап} - 2h - d_к, \qquad (13.7)$$

мұндағы- $D_{ап}$ - аппараттың диаметрі, м;

h - барботердің сыртқы диаметрі мен аппараттың сыртқы қабатының арасындағы қашықтық, м.

Ашыту. Ашыту-бірқатар тағамдық технологияларда: нан дайындау кезінде, сыра, квас, спирт, шарап және басқа да өнімдер өндірісінде қолданылатын көмірсулар қатысатын процесс. Спиртті ашыту бірқатар микроорганизмдердің өмір сүруінің арқасында жүзеге асырылады. Спиртті ашытудың ең типтік ағзалары Saccharomyces тектес ашытқылар болып табылады. Спирттік ашыту келесі теңдеумен көрсетілуі мүмкін: $C_6H_{12}\ O_6 = 2CO_2 + 2C_2H_5OH$

Бұл жиынтық теңдеу, әдетте ашытудың басты өнімдері – этил спирті мен көмірқышқыл газынан басқа, әрқашан аз мөлшерде кейбір басқа заттар, мысалы, янтар, лимон қышқылы, сондай-ақ

амил, изоамил, бутил және басқа да спирттердің қоспасы, сірке қышқылы, дикетондар, сірке альдегид, глицерин және басқа да бірқатар қосылыстар пайда болады, олардың шамалы мәндері шарап, сыра және басқа ішімдіктердің ерекше хош иісін береді. Әр түрлі қанттар түрлі жылдамдықпен ашытқы арқылы жойылады. Глюкоза мен фруктоза, баяу – манноза, баяу – галактоза; пентоза ашытқылармен ашытылмайды. Дисахаридтерден спиртті ашытудың жақсы субстраты сахароза және мальтоза болып табылады. Алайда, екі қант алдын ала гидролизден кейін ғана оларды құрайтын моносахаридтерге ферменттермен α-гликозидазамен жән β-фруктофуранозидазамен ашытқымен ашытылады.Оттегінің қатысуымен спиртті ашыту тоқтатылады және ашытқы олардың дамуы мен тіршілік етуі үшін қажетті энергияны алады, оттегімен тыныс алу арқылы. Бұл ретте ашытқы қантты анаэробты жағдайларға қарағанда әлдеқайда үнемді жұмсайды. Оттегінің әсерінен ашытуды тоқтату "Пастер әсері"деп аталды. Ашытудың басқа түрі, тағам технологиялары үшін маңызды, бұл сүт қышқылды ашыту, гексозаның бір молекуласынан сүт қышқылының екі молекуласы пайда болады:

$C_6H_{12}O_6 = 2CH_3\text{-}CHOH\text{-}COOH$

Сүт қышқылды ашыту сүт қышқылды өнімдерді (простокваши, ацидофилин, айран, қымыз) өндіру кезінде, квас, нан ұйытқысын және нан пісіруге арналған "сұйық ашытқыларды" дайындау кезінде, қырыққабат, қияр ашыту кезінде, жемді сүрлеу кезінде өте үлкен рөл атқарады.

Ашытқы өндіру аппараттары төмендегі 18.5 - суретте көрсетілген. Олар жабық цилиндрліконусты аппарат. Олардың ішінде 1- екі орам түтіктер бар. Оның бірі зарарсыздандыруға , ал екіншісі ортаны салқындатуға және тұрақты температурада ұстауға арналған. Аппарат ішінде 2- араластырғыштың жетегі жоғары немесе бүйірінде орналасқан. Ашытқы массасы барботер арқылы сығымдалған ауамен араласады. Аппараттың қалыңдығы 5...6 мм.

Маркасы ВДА- 100 аппараты салқындату қабаты бар, суспензияны қанықтыруға арналған пластиналы аэрациялы, цилиндрлі 1-резервуар. Резервуар 14- балкаларға және 15-тіректерге орнатылған және 20- он секциялы салқындату қабаты бар. Аппарат корпусына 18 және 21- люктер (жөндеу жұмыстарын

жүргізуүшін), 2- бақылау терезесі, 3- жарықтандыру терезесі, 11- гидрожапқышы, 17- ауа құбыры, 13- аэрациялық жүйенің қораптарынан, 16- соплодан (қораптарды жууға арналған), 19- суды салқындату қабатына беретін коллектордан және қабаттан суды шығаратын 12- коллектордан тұрады.

Аппарат қақпағына 10- қақпақпен жабылатын 7- құбыр орнатылған. Қақпақ 4- муфта, 9- тергіш шток, 8- цилиндр, төрт бағытты 5- кран бар. Бұларды қозғалысқа келтіру үшін гидравликалық жетек бар. Аппаратқа 6- шланг арқылы жуатын су беріледі.

Ауа берілісін 22- жылжымалы қақпақ арқылы 23- коллектор күшімен реттейді. Орта 24- құбыр арқылы шығарылады. Аппараттағы сұйықтың деңгейін 25- өлшем шынысы арқылы бақылайды.

Энергия шығынын есептеу. Ашытқы массасын t_1= 50 - t_2= 85 ^{0}C дейін 30 минуттай зарарсыздайды. Зарарсыздандыру үшін қажетті жылу Q (кДж)

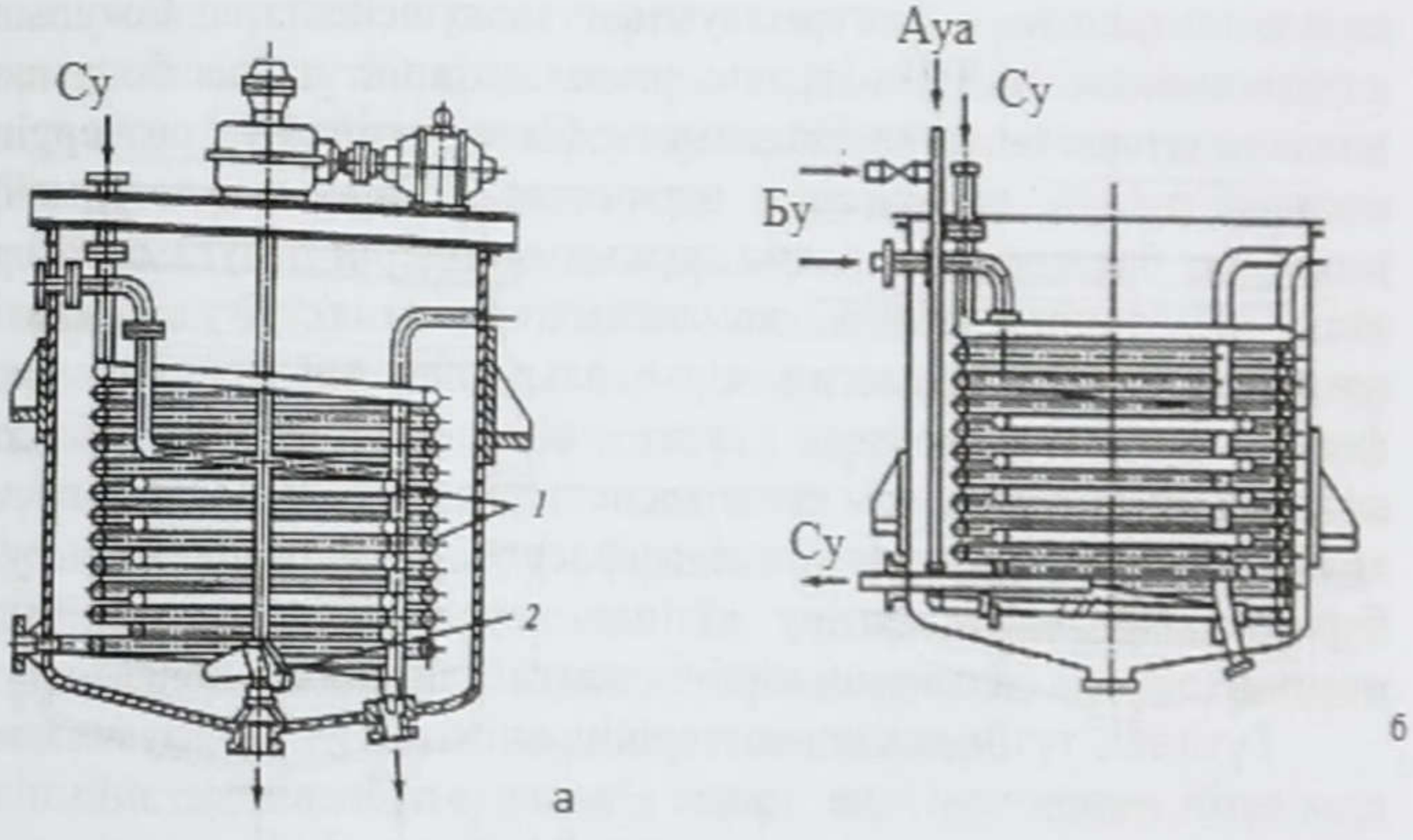
$$Q = 1{,}05\ V_3\ \rho\ c\ (t_2 - t_1), \qquad (13.8)$$

мұндағы: V_3 – аппараттағы ашытқы массасының көлемі, м^3; ρ – тығыздығы, кг/м^3; с – жылу сиымдылығы, кДж/(кг·К).

Ашытқы өсіру аппаратының жылу балансы

$$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5+Q_6+Q_7+Q_8, \qquad (13.9)$$

мұндағы: Q_1 – өніммен аппаратқа кіретін жылу, кДж/кг; Q_2 – ашыту кезіндегі бөлінетін жылу, кДж/кг; Q_3 – салқындату суымен аппаратқа кіретін жылу, кДж/кг; Q_4 – ауамен аппаратқа кіретін жылу, кДж/кг; Q_5 – өніммен сыртқа шығарылатын жылу, кДж/кг; Q_6 – салқындату суымен шығатын жылу; кДж/кг; Q_7 – ауамен кететін жылу, кДж/кг; Q_8 – сыртқы ортаға тарайтын жылу, кДж/кг.



13.5- сурет. Ашытқы өсіру аппараттары:
а-Қарапайым аппарат; б- ауамен араластырылатын аппарат:
1-орам түтіктер; 2- араластырғыш.

Ыстау. Ыстау процесінде өнімнің физикалық, физикалық-химиялық және химиялық сипатында айтарлықтай өзгерістер болады, бұл белгілі бір қасиеттердің пайда болуына әкеледі (хош иіс, дәм, сыртқы түрі, консистенциясы). Ақуыздардың коагуляциясы, кептіру, салмақ жоғалту сияқты өзгерістер жылумен өңделген барлық өнімдерге жиі кездеседі. Басқа өзгерістер (тұндыру, түтін компоненттерінің өнім қалыңдығына диффузиясы, бетті бояу және илеу, тотығу және бактериялық зақымға төзімділіктің жоғарылауы және т.б.).) тек ыстау процесіне ғана тән. Өнімнің салмағының жоғалуы, негізінен ылғалдың буланuына байланысты, түтіннің температурасы мен жылдамдығының жоғарылауымен жоғарылайды және оның ылғалдылығының жоғарылауымен төмендейді.

Ысталған өнімдердің беті тотығу және полимерлеу реакцияларына бейім бейтарап шайырлар, фенолдар, фурфурол, сондай-ақ көмірсулардың карамелдену өнімдері сияқты боялған заттардың тұнбасы нәтижесінде боялған. Бояу өнімнің беткі қабатын кептіру деңгейінің жоғарылауымен, түтін түтінінің концентрациясы мен ылғалдылығының жоғарылауымен, темекі шегудің ұзақтығы мен темекі шегетін ортаның қозғалыс

жылдамдығының жоғарылауымен күшейеді. Бояудың қарқындылығы өнімнің түріне және түтіннің пайда болуына қолданылатын ағашқа да байланысты. Ыстау кезінде нитриттердің мөлшері азаяды, нәтижесінде шұжықтар аз боялады, дегенмен, ыстаудың барлық факторлары шұжық өнімдерін бояуға оң әсер етеді. Түтіннің кейбір компоненттерінің тотығу әрекеті нәтижесінде (формальдегид, сірке альдегиді, альдегидтері бар фенол конденсациясының жеке өнімдері) өнімнің беткі қабаттарының ақуыздары жаңа қасиеттерге ие болады (ыстыққа, химиялық және ферментативті әсерлерге төзімділікті арттыру, беріктікті арттыру, кептіру кезінде кеуектілікті сақтау), бұл өнімнің (әсіресе балықтың) пішінін жақсы сақтайды.

Түтіннің түтін компоненттерінің өнімге енуі диффузиялық процестің сипатына ие және өңдеу процесінде өнімнің құрылымдық өзгеруіне, ыстаудың ұзақтығына, түтін ортасының ылғалдылығына, өнімнің түріне (май мен бұлшықет тіндерінің қатынасы және т.б.) және оның беткі қабатының күйіне байланысты. Бұлшықет тініне қарағанда май тінінде түтін фенолдарының көбірек жинақталу үрдісі байқалады. Суық ысталған ет пен балық ақуыздарының химиялық өзгерістері осы өнімдерді тұздау және кептіру процесінде болатын өзгерістерге ұқсас, бірақ айқын көрінеді. Ысталған өнімнің ерекше органолептикалық қасиеттері өнімнің өзгеруіне байланысты (шикі ысталған өнімдердегі ферментативті процестер, ыстық ысталған кезде аспаздық дайындыққа қол жеткізу), ыстау режимі және түтін сапасы. Ысталған еттің тән иісі хош иістің ащы реңктері бар фенолдардың жекелеген фракцияларын, фурфурол, ванилин, диацетил сияқты кейбір альдегидтер мен кетондарды және басқа да анықталмаған заттарды анықтайды. Өткірлігін иіс түтін мән береді қосылыстар үлгідегі этиль спирті және алифатических альдегидтердің. Ысталған өнімдердің дәмін қалыптастыруға қышқылдар, фенолдар және айқын дәмі бар басқа заттар қатысады. Органикалық негіздер мен хош иісті көмірсутектер сияқты түтін компоненттері пайдалы қасиеттерге ие емес және ысталған тағамдарды физиологиялық бағалау тұрғысынан балласты немесе жағымсыз болып табылады. Ысталған өнімдер тотығу және бактериялардың бұзылуына аз сезімтал. Бұл өнімге антиоксидантты бактерицидтік қасиеттері бар түтін компоненттерінің енуіне байланысты. Фенолдар ең күшті

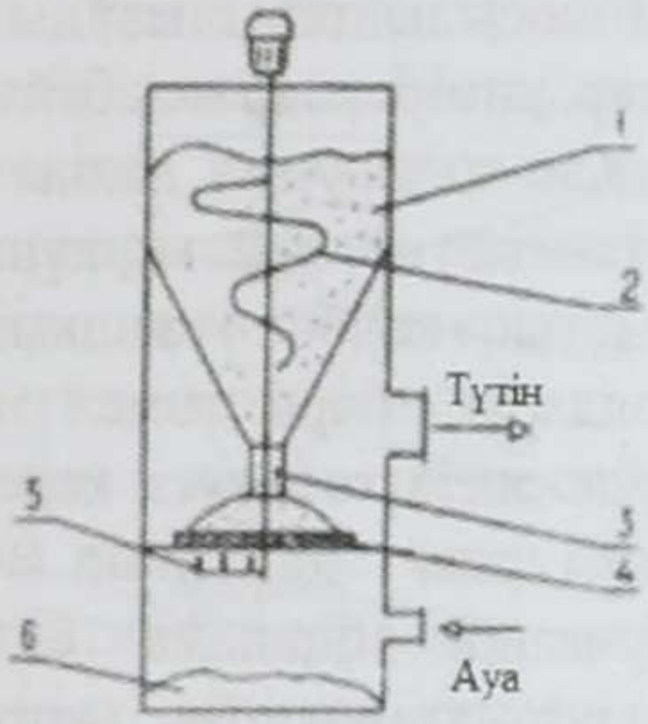
антиоксиданттық қасиеттерге ие. Қышқылдар сияқты органикалық түтін қосылыстары майды бүлінуден өте нашар қорғайды, ал негіздер, көмірсулар мен бейтарап заттар тіпті белгілі бір дәрежеде майдың тотығуына ықпал етеді. Түтіннің фенол компоненттерінің тотығуға қарсы күші олардың химиялық сипатына байланысты: карбол қышқылы, крезол және т.б. монатомды фенолдары бар төмен қайнаған фракциялар салыстырмалы түрде әлсіз тотығуға қарсы қасиетке ие; гваякол түріндегі қосылыстарды қамтитын фракциялар алдыңғы фракцияларға қарағанда біршама белсенді, бірақ жоғары фракциялардан едәуір төмен. Ең күшті антиоксиданттар-бұл пирогаллол мен гваяколдың, пирокатехиннің және олардың гомологтарының метил және диметил эфирлері.

Ыстаудың бактерицидтік әсері кептіру, тұздау, түтіннің жоғары температурасының (ыстық ысталған кезде) аралас әсерінің, әр түрлі микроорганизмдерге біркелкі әсер етпейтін түтіннің антисептикалық компоненттерінің тұндырылуының және өнімге терең енуінің нәтижесі болып табылады, нәтижесінде ысталған өнімнің қалдық микрофлорасында көбінесе кокк формалары мен сүт қышқылы бактериялары басым болады; сақталған микроорганизмдерде сыртқы әсерлерге төзімділік жоғарыламайды.

Ысталған өнімдегі микроорганизмдердің құрамы ыстау ұзақтығына пропорционалды түрде азаяды және дымқыл түтін қолданылған кезде тез жүреді. Өнім қалыңдығындағы микроорганизмдердің өлуі және темекі шегу аяқталғаннан кейін (темекі шегудің қалдық әсері) түтіннің бактерицидті компоненттерінің беткі қабаттардан төмен қабаттарға баяу диффузиясымен байланысты. Түтін қалыптарға салыстырмалы түрде әлсіз әсер етеді. Түтіннің жекелеген компоненттерінің микрофлораға бактерицидтік әсері олардың химиялық сипатына байланысты.

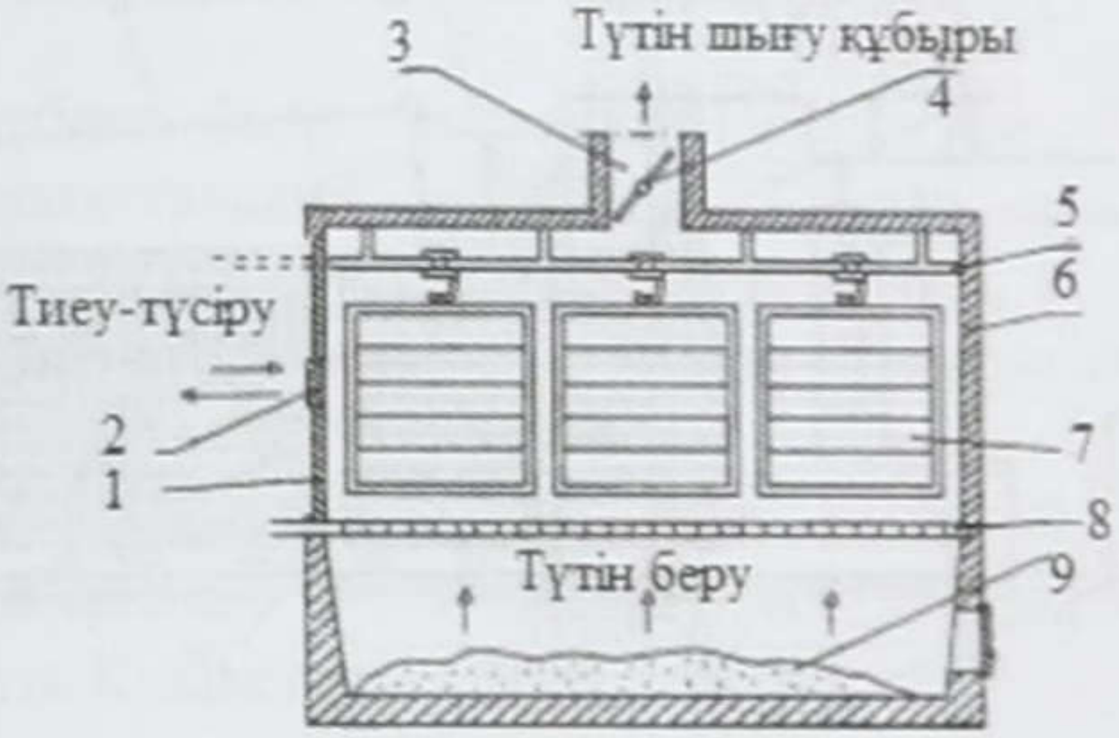
Түтін тәсілімен ыстау камералық немесе туннель үлгісіндегі қондырғыларда, сондай-ақ шағын габаритті автоматтандырылған ыстау қондырғыларында жүргізіледі. Кәдімгі түтінмен ыстаудың сапасы көбінесе түтін қоспасының параметрлеріне байланысты. Қазіргі заманғы өндірістің өзіне тән ерекшелігі – түтін шығаратын механикалық көздерді қолдана отырып, түтін шығаратын қондырғыларды орталықтандырылған түтінмен қамтамасыз етуге көшу (13.6- сурет). Түтін

генераторларын пайдалану түтін-ауа қоспасының параметрлерін толық бақылауға мүмкіндік береді.



13.6- сурет. Түтін генераторының схемасы: 1- ағаш жоңқалары салынған шанақ; 2- араластырғыш; 3- стакан; 4- тор көзді бет; 5- араластырғыш; 6- күл.

Камералық түтін қондырғылары. Бұл типтегі қондырғылар ыстық және суық түтінмен ыстау үшін қолданылады және камералардың әртүрлі өлшемдеріне ие. Олар ішкі жану ошақтары және шығарылатын (түтін генераторлары) бар қондырғыларға бөлінеді. Түтін камералары (13.7- сурет) әдетте кірпіштен салынған бөлме. Төбеде сорғыш құбырлар, ал төменгі бөлігінде камераға жеткізілетін ауаны реттеуге арналған жапқыштар бар. Камераның еденіне оны шикізатпен толтырғаннан кейін түтін алу үшін үгінділер үймесі қойылады. Түтін камераға оның сыртында орналасқан түтін генераторынан да берілуі мүмкін. Түтін генераторы-бұл электр жылытқыштарымен жылытылатын екі шойын плитасы (пештері) орналасқан жабық корпус. Шұңқырларда үгінділер бықсып, біртіндеп қырғыштармен қож жинағышына ауысады. Түтін шығару корпустың жоғарғы жағы арқылы жүзеге асырылады. Түтін генераторы үгінділердің біркелкі жануымен сипатталады. Түтін тұрақты температурада пайда болады.



13.7-сурет. Табиғи түтін ағыны бар тұйық ыстау камерасының схемасы:1- есік; 2- люк; 3- түтін жолы; 4- қақпақ; 5- монорельс; 6- тұмшаланған камера; 7- өнім салынған клеткалар; 8- тор көзді бет; 9- ағаш жоңқасы.

АФОС ыстау қондырғысы (13.8 - сурет) ет өнімдерін, құс және балықтарды ыстауға арналған. Негізгі элементі ыстау камерасы, 5- қайтарма және сору желдеткіштер, 4-негізгі және 10-қосымша жылу алмастырғыштар, 2-түтін құбыры, 6- ауа құбыры, 3- бақылау және басқару аспаптары. Қондырғы бір немесе көп есікті болады. Камера 8- кіретін, 11- шығатын түтін тарататын тордан тұрады. Өнімдер 9- арбашаларға орнықтырылады. Арбашалар саны камера санына байланысты. Қажетті түтінді ауа қоспасы негізгі жылу алмастырғыштар көмегімен жасалынады. Жылу алмастырғыштар бумен, электр күшімен немесе ыстық сумен қыздырылады. Қоспа мөлшері 7 және 12- жапқыштар арқылы реттелінеді.

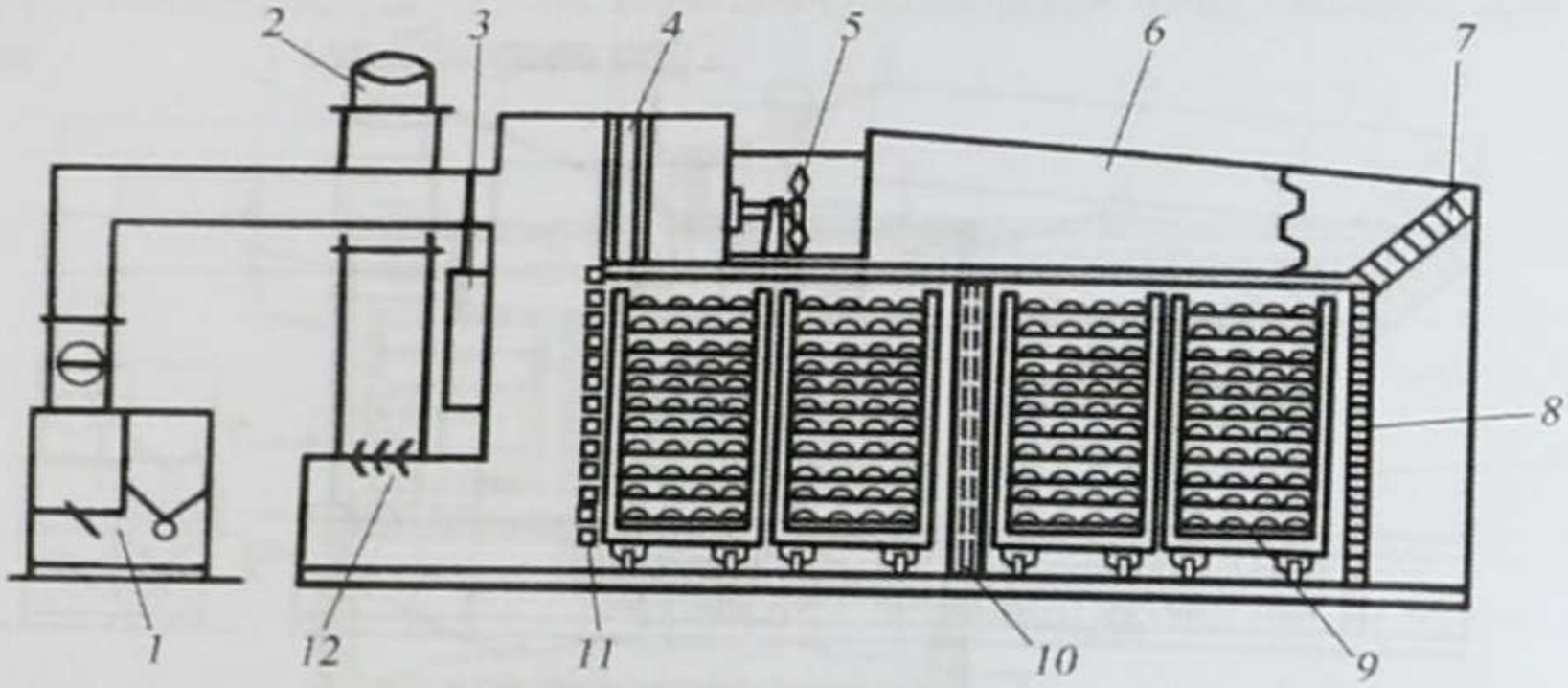
Ыстау камерасының өнімділігі, $П_S$ [кг/(м^2·сағ)] $П_V$ [кг/(м^3·сағ)] мына теңдеумен анықталынады:

$$П_S = G/(S\tau), \qquad (13.10)$$

мұндағы: G – тиелінген өнімнің массасы, кг; S – қондырғының алатын ауданы, м^2; τ – айналым уақыты, сағат;

$$П_V = G/[(V_1 + V_2 + V_3)\tau], \qquad (13.11)$$

мұндағы: V_1 – пеш көлемі, м^3; V_2 –түтін генераторының көлемі, м^3; V_3 – қолған құрылымдардың көлемі, м^3.



13.8 - сурет. АФОС ыстау қондырғысы: 1-түтін генераторы; 2- түтін құбыры; 3- басқару қалқаншасы; 4- негізгі жылу алмастырғыш;5-қайтарма желдеткіш; 6- ауа құбыры; 7- 12-жапқаштар; 8- 11- түтін торлары; 9- арбаша; 10- қосымша жылу алмастырғыш

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Назарбаев Н.А. Послание Президента Республики Казахстан «Казахстанский путь-2050: Единая цель, единые интересы, единое будущее» от 17 января 2014 года.

2. Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана. 1 сентября 2020 г.

3. Курмангалиев С. Некоторые проблемы пищевых отраслей Казахстана // Пищевая и перерабатывающая промышленность Казахстана. – 2010. – № 3-4.

4. Азық-түлік тауарларын тану және сараптау: Оқу құралы/ Диханбаева Ф., Кузембаева Г., Кузембаев К., Матибаева А. – Астана: Фолиант, 2017. – 432 бет

5. Сала бойынша технологиялық процестер мен қондырғылар. Пәнінің оқу-әдістемелік кешені, Семей. 2013.ж.-110.б

6. Гнездилова, А. И. Процессы и аппараты пищевых производств : учебник и практикум для вузов / А. И. Гнездилова— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 270 с.

7. Ковецкий Г.Д., Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой
технологии. 2-е изд,перераб. и доц. –М.: Колос, 2000. – 551 с.

8. Медведков Е.Б., Нурмуханбетова Д.Е., Еренова Б.Е., Джингилбаев С.С., Адмаева А.М.. Процессы и аппараты пищевых производств. Учебник для вузов. – Алматы. 2016. – 360 с.

9 Медведков Е.Б., Нурмуханбетова Д.Е. Процессы и аппараты пищевых производств: Электронный учебник / Е.Б. Медведков, Д.Е. Нурмуханбетова. – Алматы: РМЭБ , 2017. Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права №1107 от 23 мая 2017 г.

10 Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2004. – 751 с.

11 Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – М.: Альянс, 2007. – 576 с.

12 Абрамов О.В. Процессы и аппараты пищевых производств: Учебник для вузов/ А.Н. Остриков, О.В..Абрамов, А.В. Логинов.–СПб.:ГИОРД, 2012.–616 с.

13 Алексеев Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч.пособие/Г.В. Алексеев, И.И.Бриденко, Н.И. Лукин.–СПб.: Лань, 2011.– 144 с.

14 Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии/ Г.Д. Кавецкий, В.П. Касьяненко, В.П. – М.: Колос, 2008. – 591 с.

15 Плаксин Ю.М. Процессы и аппараты пищевых производств/ Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин.- 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2007. – 760 с.

16 Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств, учебное пособие, Еренгалиев А.Е., Масленников С.Л., Какимов А.К., Тусипов И.О., СемГУ, 2008.– 250 с.

17 Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 1 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 704 с.

18 Вобликова, Т.В. Процессы и аппараты пищевых производств: Учебное пособие / Т.В. Вобликова, С.Н. Шлыков и др. - СПб.: Лань, 2016. - 204 с.

19 Малахов, Н.Н. Процессы и аппараты пищевых производств. / Н.Н. Малахов, Ю.М. Плаксин. - М.: КолосС, 2008. - 760 с.

20 https://www.activestudy.info/process-kopcheniya-produktov/

21 Еріш Н.А., Төлеміс Т.С Тағам өндірістерінің процестері мен аппараттары. 5В072800 – Өңдеу өндірістерінің технологиясы, 5В072700 – Азық-түлік өнімдерінің технологиясы, 5В073200- Стандарттау, сертификаттау және метрология мамандықтары бойынша оқу-әдістемелік құрал. – Қостанай, 2017. - 85 б.

22 https://zinref.ru/000_uchebniki/04200produkti/006_00_tehnologia_pishevih_proizvodstv_kovalskaia_1997/016.htm

23 Қадырбаев Ә., Қадырбаева Ә. Гидравлика және гидрометрия негіздері: Оқу құралы.-Астана: Фолиант, 2008.–168 б.

24 Нұрсейітов Ш.Ш., Керімқулов Қ.Ж., Шертаев Е.Т. Химия өндірісінің негізгі процестері мен аппараттары: Оқу құралы.– Астана: «Дәме», 2014.–175 б.

25 Қ. Күзембаев. Е.Медведков. Т. Құлажанов, Г.Күзембаева. Тамақ өндірісінің технологиялық жабдықтары: оқулық / Қ.Күзембаев. Е. Медведков. Т.Құлажанов, Г.Күзембаева - Алматы, 2016. – 726 б.

26 Күзембаев Қ.,Күзембаева Г. Тамақтандыру кәсіпорындарының жабдықтары: оқулық /Күзембаев Қ ., Күзембаева Г. - Астана: Фолиант, 2010. - 200 б.

27 Күзембаев Қ., Күзембаева Г. Тамақтандыру кәсіпорындарының жабдықтары: Оқулық / 3-басылым, толықт., өңделген. Қ. Күзембаев, Г. Күзембаева. – Астана: Фолиант, 2017. – 320 бет.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ 3

1. ЖАЛПЫ МӘЛІМЕТТЕР 10

1.1. Тамақ өндірісі процестерінің жіктелінуі 10

1.2. Материалдық және жылу баланстарының теңдеулері 11

1.3. Процестерді оңтайландыру туралы түсінік 12

1.4. Процестерді модельдеу және олардың ұқсастықтары 14

1.5. Ұқсастық критерийлерін алу тәсілдері 16

1.6. Бекингем теоремасы (π- теоремасы) 18

1.7 Тамақ өндірісіндегі аппараттарға қойылатын талаптар 23

1.8 Аппараттар жасалынатың материалдар 28

1.9 Аппараттарды есептеу 29

2. ТАМАҚ ӨНДІРІСІНДЕГІ ШИКІЗАТТАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІ 35

3. ГИДРАВИКА НЕГІЗДЕРІ 42

4 ГИДРОМЕХАНИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР 67

4.1 Гравитациялық өрісте қатты бөлшектердің тұнуы 67

4.2 Сүзу процесі 74

4.3 Центрифугалау 86

4.4 Механикалық араластырғыштар 90

4.5 Баромембраналық процестер 98

4.6 «Жалған қайнау» процесінің гидродинамикасы 101

4.7 Газдарды тазалау 107

5. МЕХАНИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР **111**

5.1 Ұсақтау 111

5.2 Престеу 116

5.3 Іріктеу және сұрыптау 120

6. ЖЫЛУ ПРОЦЕСТЕРІ 136

6.1 Жалпы мәліметтер 136

5.2 Жылу алмасу негіздері 145
6.3 Жылу алмастырғыш аппараттар 159
6.4 Кептіру. Кептіру қондырғылары 176
7.МАССААЛМАСУ ПРОЦЕСТЕРІ 196
7.1 Массаалмасу процесінің теориялық негіздері 196
8.АБСОРБЦИЯ 202
9. АДСОРБЦИЯ 211
10.ЭКСТРАКЦИЯ 218
11. РЕКТИФИКАЦИЯ 227
12 КРИСТАЛДАНУ 241
13.БИОХИМИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР 253
ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР 267

Қ. Күзембаев, Е. Медведков, Г.Кузембаева

ТАМАҚ ӨНДІРІСІНІҢ ПРОЦЕСТЕРІ МЕН АППАРАТТАРЫ

Басылуға 05.04.2021 ж. қол қойылды
Пішіні 60х84 1/16. Көлемі 17 б.т.
Таралымы 500 дана.
Тапсырыс № 000257

ЖШС «Лантар Трейд»
Тел. 87022510217
E-mail: lantar2018@mail.ru
Алматы қаласы, Егізбаев к., 7В, офис 704

ЛАНТАР ТРЕЙД

ТОО «Лантар Трейд»
Тел. 8-702-251-0217
e-mail: lantar2018@mail.ru

г.Алматы, ул. Егизбаева, 7В,оф. 704
Индекс: 050046

ISBN 978-601-7659-86-8

9 786017 659868