

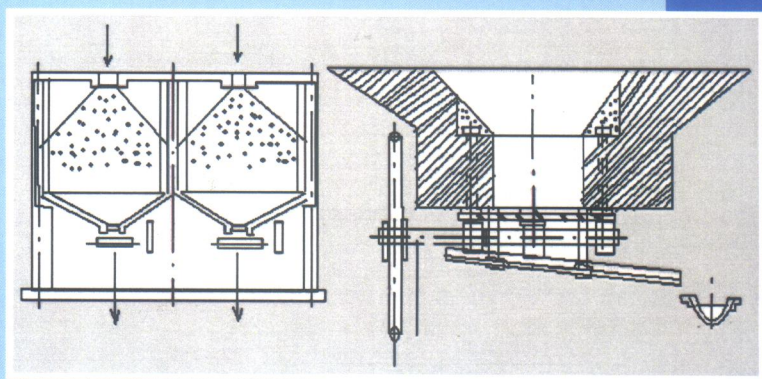
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ
ұлттық техникалық университеті

ҚАЗҰТУ



М.Р. Шәутенов

СУСЫЗДАНДЫРУ және ШАҢҰСТАУ



**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ**

**Қ.И. СӘТБАЕВ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ
ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ**

М. Р. ШӘУТЕНОВ

СУСЫЗДАНДЫРУ ЖӘНЕ ШАҢҰСТАУ

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі
оқу құралы ретінде ұсынған

Алматы 2011

ЖОК 628 (075.8)

ББК 38.76 я 73

М.Р. Шәутенов. Сусыздандыру және шаңұстау. Оқу құралы. – Алматы: – ҚазҰТУ, 2011. 158 б.

Сурет – 54. Кесте – 15. Әдебиеттер тізімі – 19 атау.

ISBN 978-601-228-289-4

Ұсынылып отырған оқу құралында пайдалы қазындыларды байыту фабрикаларында алынған байыту өнімдерін сусыздандыруда және шаңұстауда қолданылатын үрдістерінің теориялық негіздері, құрал – жабдықтары баяндалған. Қолданылатын қондырғылар мен аппараттардың конструкциялық құрылымдары, жұмыс істеу принциптері және оларды есептеу тәсілдері берілген.

Оқу құралы, жоғары оқу орындарының техникалық мамандықтарының студенттеріне арналған. Сондай-ақ, тау-кен және металлургиялық саласында істейтін инженерлер мен техникалық қызметкерлерге де пайдалы.

Пікір жазғандар:

М.Т. Баймаханов, Жер туралы ғылымдар металлургия және кен байыту орталығының («ЖГОМКБ» АҚ) бас ғалымы, техн. ғыл. докторы.

А.Т. Мұстахимов, Ө.А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университетінің профессоры, техн. ғыл. канд.

Т.С. Даулетбақов, Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ-дың «Түсті металдар металлургиясы» кафедрасының меңгерушісі, техн. ғыл. д-ры, профессор.

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2011 жылғы жоспары бойынша басылды

ISBN

© Шәутенов М.Р., 2011

© ҚазҰТУ, 2011

Алғы сөз

Қазақстан Республикасының жер қойнауындағы қоры мол минералды шикізаттарды ел мүддесіне жарату жолында оларды өңдеу әдістерін меңгеру және жетілдіру болашақ мамандардың алдында тұрған басты мәселенің бірі.

Сусыздандыру және шаңұстау үрдістері технологиялық және экономикалық маңыздылығы жағынан сондай-ақ, қолданылатын техникалық құрал-жабдықтармен минералдық шикізатты өңдеуде алдыңғы қатардан орын алады.

Оқу құралының мақсаты – кен байыту фабрикаларында минералдық шикізатты өңдеуден алынған байыту өнімдерін сусыздандыруда және әр түрлі технологиялық үрдістерді атқару кезінде шыққан өндірістік шаңдарды ұстаудың теориялық негіздерімен толығырақ таныстыру. Сусыздандыру және шаңұстау үрдістерінде қолданылатын қондырғылар мен аппараттардың құрылымдарымен таныстырып, жеткілікті білім беру.

Оқу құралы, «Сусыздандыру және шаңұстау» пәнінен оқу бағдарламасына сай бірінші рет қазақ тілінде жазылып отыр. Осыған байланысты ондағы көзге түсер кемшіліктер жайында оқырмандар өз көзқарастарын білдіріп, оны келешекте жетілдіру мақсатында ұсыныстар білдірсе, олар қабыл алынып, келешекте қайта басу мүмкіншілігі болғанда ескеріледі.

1. КЕН БАЙЫТУ ОПЕРАЦИЯЛАРЫНДА ҚАТТЫ-СҮЙЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІ

1.1. Байыту өнімдерін сусыздандыру және оның қажеттілігі

Пайдалы қазбалардың көбі сулы ортада байытылады [1]. Олардың қасиеттерімен байланысты қолданылатын байыту процестерінің түріне қарай байыту фабрикаларында кеннің әр тоннасына 3–15 м³ су шығындалады. Флотациялық фабрикаларда судың дені ұнтақтау және классификациялау үрдістеріне, аздап флотация үрдістерінде көбікті өнімді науаға ағызуға пайдаланылады. Бұл фабрикаларда орташа шығын 3–6 м³. Гравитациялық фабрикаларда судың негізі байыту үрдістерінде шығындалады. Оларда шығын 5–15 м³ мөлшерінде. Байыту фабрикаларында әр түрлі пайдалы қазбаларды байытуда шығындалатын үлесті су шығыны (м³/т кенге) төменде келтірілген:

кендер:

темірлі	6–14,8
оның ішінде қоңыр түсті	
темірлі.....	13,4–15,9
марганецті.....	8,–11,5
хромды.....	12,7
түсті металды.....	3–5,8
оның ішінде қалайы.....	15,8–19,4
апатитті және фосфоритті.....	3,3–6,0
флюоритті.....	6,5–10,6
каолинді.....	3,1–5,1
графитті.....	5–6
күкіртті.....	4–5
тас көмір.....	3–5

Пайдаланылған су акырында алынған өнімдермен бірге шығады.

Өнімдерден суды бөлудың қажеттілігі әр түрлі талаптарға байланысты. Концентраттарда судың пайыздық үлесі 50–60 %, ал қалдықтарда 15–85 % аралықта өзгереді.

Концентраттардан суды бөлудің қажеттілігі көп талаптармен байланысты. Металлургиялық өңдеу алдында оның құрамындағы судың пайыздық үлесі белгілі мөлшерден, мысалы 2–15 %-тен аспауы керек. Концентраттар көпшілік жағдайда байыту фабрикаларынан алыстау орналасқан металлургиялық зауыттарға тасылады. Оның құрамында су көбейген сайын тасымал жабдықтардың көлемі және басқа шығындар өседі. Ауа-райы қыста қатал аймақтарда концентраттар үлкен кесек күйде қатып, тасымал жабдықтардан (вагон және кузов іштерінен) түсіру қиындайды және ұсатуды қажет етеді.

Қалдық арнаулы орындарда (қалдық қоймасында) жиналып сақталуы керек. Ол үшін суды бөліп алу қажет. Пайдаланылатын судың негізі қалдықтан бөлінеді. Оның ішінде байыту кезінде қолданылатын көптеген улы заттарда қалады. Егер бұл су табиғи су орындарына түсірілсе улы заттардан тазарту қажет. Көпшілік аймақтарда табиғи су қорының тапшылығынан байыту фабрикаларында су жетіспейді. Сол үшін өнімдерден, әсіресе қалдықтан, бөлінген суды қайта пайдалану өте қажетті мәселенің бірі.

Пайдалы қазбалардың байытылуы оның әр сатысында су мен қатты заттың тиімді қатынасында (пульпа көлемінде) жүргізіледі. Сондықтан жеке операцияларда әр түрлі көлемді су пайдаланылады және оның мөлшері технологиялық үрдісті жетілдіруге байланысты өзгертіліп отырады. Төменгі кестеде кейбір байыту операцияларында және байыту өнімдеріндегі су үлесінің шамалау мөлшері келтірілген [2].

Кен байыту операцияларында және байыту өнімдеріндегі су
үлесінің мөлшері

Операциялар және өнімдер	Су үлесі, %	
	операцияға берілетін	өнімдерде
Шарлы және білікті диірмендерде ұнтақтау	35-20	
Ұнтақтаудағы классификатор ағызындысы, ірілікке сәйкес, мм:		
0,3		72-50
0,2		75-55
0,15		80,65
0,10		85-70
Құмдар: спиральді классификаторларда гидроциклондарда		20-15 40-30
Екі сатылы сұлбалардың бірінші сатысының негізгі флотациясы	70-60	
Бір сатылы сұлбалардың негізгі флотациясы және екінші сатының негізгі флотациясы:		
кендерге	60-65	
көмірлерге	70-75	
Флотация концентраттарының тазалу флотациясында	75-70	
концентраттар: негізгі флотацияда		60-55
бақылау флотацияда		60-65
флотацияның тазалау операцияларында		55-50
шөгілдіруде (отсадкалауда):		
көмірлерді	70-60	
кендерді	60-50	
шөгілдіру өнімдері (сусыздандырушы элеваторлардан)		
ірі өнімдер		20-10
ұсақ түйіршікті		25-15

1-кестенің жалғасы

Столдарда концентрациялау	75-65	
Столдардың ауыр өнімдері		60-40
Столдардың екіаралық өнімдері		70-55
Концентрациялау (жинақтау): винттік сепараторларда	75-65	
ағымды және конусты сепараторларда	55-45	
Гидравликалық классификация	70-50	
Гидравликалық классификацияның құмдық фракциясы		80-50
Көлбеу науалы жуғыштардың жуылған өнімдері		10-15
Кен концентраттарын қойылдырудан кейін сүзуге берер алдында		50-30
Сүзу: көмір концентраттарын қойылдырмай сүзуде	70-60	18-24
көмір шламдарын қойылдырудан кейін	75-65	20-24
Ұсақ көмір концентраттарын центрифугалау	15-18	7-9
Ірі көмір концентраттарын бункерлерде сусыздандыру	7-9	7-5

Байыту өнімдерінен суды (ылғалды) бөліп алу *үрдісін сусыздандыру* деп атайды. Осыған байланысты барлық байыту фабрикаларында міндетті түрде сусыздандыру үрдістері жүргізіледі.

Олар өнімдегі судың түріне қарай, қатты заттың ірілігіне және судың үлесіне қарай таңдалып қолданылады.

Су төмендегідей түрлерде кездеседі: а) гравитациялық не бос су. Ол қатты затпен байланыспай, түйіршіктердің (кесектердің) арасында бос болады;

б) капиллярлы су. Қатты заттың жарықшақтарында капилляр қысымымен ұсталады. Зат неғұрлым кеуекті болса, соғұрлым бұл су үлесі жоғары болады;

в) адсорбцияланған су қатты зат бетімен су молекулалары физикалық күштер әсерімен байланысқа түсіп су қабатын түзеді;

г) кристалданған не химиялық су. Су молекулалары зат атомдарымен химиялық байланысқа түсіп кристалдық тор құрамына кіреді. Бұл су түрін бөлу үшін затты жоғары температурада (300°C -дан жоғары) қыздыру қажет.

Ең оңай бөлінетін гравитациялық су. Адсорбцияланған су ауада құрғатумен бөлінсе, капиллярлы су заттың қасиетіне қарай кейде аз дәрежеде қыздырумен ғана бөлінеді. Байыту фабрикаларында өнімдерден осы су түрлері бөлінеді.

Судың бөлінуіне өте жоғары әсер ететін, фактор-зат түйіршіктерінің (кесектерінің) ірілігі: неғұрлым ірілік артқан сайын, соғұрлым су тез бөлінеді. Ірілік 1–5 мм не одан жоғары болса сусыздандыру оңай жүргізіледі. Мұндай заттарға гравитациялық кейде магнитті әдістермен алынған концентраттар жатады. Ірілік 0,2–0,1 мм-ден кемісе (флотациялық концентраттар) сусыздандыру қиындайды.

Заттың ірілігіне қарай қолданылатын сусыздандыру үрдістерінің түрлері: дренаж, центрифугалау, қойылдыру, сүзу және құрғату.

Көпшілік жағдайда сусыздандыру бірнеше үрдістерді қолданумен ғана жүзеге асырылады. Мысалы, түйіршікті не кесекті заттарға дренаж ғана қолданылса, флотациялық концентраттарға кезектесе қойылдыру, сүзу және құрғату процестері қолданылады [3].

1.2. Судың физикалық қасиеті

Байыту фабрикасына сырттан берілетін техникалық су құрамында өзінің сұйық бөлшектерінен басқа механикалық қоспа (тұнба), химиялық элементтер (минералдар түрінде) және әр түрлі бактериялар болады, бірақ бұл су технологиялық қажетке сай, таза болып саналады [4]. Судың, басқа да сұйықтықтар сияқты, қасиеттеріне жататын ол – тығыздық, тұтқырлық, және қатты заттарға жұғу қабілеті. Су құрамындағы тұз үлесіне және сутек иондарының концентрациясына (pH) қарай, кермектілік пен электрлік қасиеттерімен бағаланады.

Техникалық судың тығыздығы 1000 кг/м^3 -ке жақын. Жалпы сұйықтың *тығыздығы* деп, оның массасының (M) көлеміне (W) қатынасын айтады:

$$\rho = M/W, \quad (1.2.1)$$

мұндағы ρ – тығыздық (кг/м^3).

Тұтқырлық немесе динамикалық тұтқырлық кедергісі деп аталатын, ол сұйықтың салыстырмалы қозғалысы кезінде сұйық қабаттарындағы бөлшектердің үйкеліс кедергілерінен болатын қасиет боп саналады.

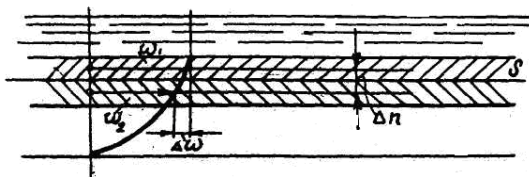
Құбырда және ашық арнадағы сұйық қабаттары бір-бірімен сырғанап жылжып ағады, яғни сұйық ішінде үйкеліс процесі жүреді. Құбырмен аққан сұйық қозғалысы кезінде пайда болатын үйкеліс кедергісі сұйықтың тұтқырлығына байланысты.

Ньютонның динамикалық тұтқырлыққа арналған

$$F = \mu S \frac{\Delta \omega}{\Delta n}$$

теңдеуі ішкі үйкеліс заңына негізделген, мұндағы F

– ішкі үйкеліс күші, μ – үйкеліс коэффициенті немесе динамикалық тұтқырлық коэффициенті, ол сұйық қасиетіне байланысты; S – сұйық қабаттары беттерінің бір-бірімен жұғысу ауданы; $\Delta \omega$ – сұйық жылдамдығының өзгеруі $\Delta \omega = \omega_1 - \omega_2$; Δn – екі сұйық қабатының нормалы, жылдамдық бағытына бағытталған ара қашықтығы (1.1-сурет).



1.1-сурет. Сұйық қозғалысы кезіндегі үйкелістен ішкі күштің пайда болу сызба нұсқасы

Сұйықтағы ішкі үйкелістен пайда болатын жанама немесе үйкеліс кернеуін мына формуламен табады:

$$\tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{\Delta \omega}{\Delta n} . \quad (1.2.2)$$

Сонымен сұйықтың тұтқырлығы динамикалық тұтқырлық коэффициентімен бейнеленеді:

$$\tau = \mu \frac{\Delta n}{\Delta \omega} . \quad (1.2.3)$$

Практикалық (тәжірибелік) есептеулер кезінде кинематикалық тұтқырлық коэффициентін пайдаланады (ν), ол динамикалық тұтқырлық коэффициентінің (μ) сұйық тығыздығының қатынасына тең:

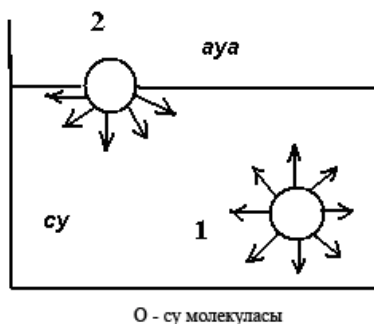
$$\nu = \mu / \rho . \quad (1.2.4)$$

Осыдан кинематикалық тұтқырлық коэффициентінің өлшемін табамыз:

$$[\nu] = [\mu] : [\rho] = [k_2 / m \cdot c] : [k_2 / m^3] = m^2 / c$$

Сондай-ақ сұйықтың тұтқырлығы температураға байланысты, температура артса, тұтқырлық кемиді, ал газдың тұтқырлығы температурасы артқан сайын артады.

Қатты денелер бетіне сұйықтың жұғуы оның беттік керілуіне және қатты денелердің қасиеттеріне тәуелді болады [5]. Жұғу құбылысы үш түрлі фазалардың - қатты зат, сұйық және ауа – қатысуымен жүреді. Фазалардың бір-бірімен әрекеттесулерінде, олардың өзара байланысқа тек шектескен беттері ғана түседі. Осыған байланысты фазалардың шекаралық бетіне орналасқан атомдармен молекулалардың қасиеттерінің ерекшеліктерімен танысу қажет. Оны түсіну үшін, мысал ретінде, сумен ауаның шекаралық қасиетін қарастырайық. 1.2-суретте ауамен шектескен судың ішкі және бет молекуласы көрсетілген.



1.2-сурет. Молекулааралық күштердің әсер ету сұлбасы:

1 – судың ішкі қабатында; 2 – судың бет қабатында

Судың іш қабатындағы молекула басқа молекулалармен қоршалып, барлық энергиясы солармен байланысқа жұмсалады. Соның нәтижесінде ол тұрақты энергетикалық жағдайда болады (1.2-сурет, 1).

Ауамен шекарадағы молекула екі бүйірден төмен қарай қабаттарда орналасқан молекулалармен ғана байланысқа түседі. Ал үстіңгі жағы ауа молекулаларымен ғана қоршалған (1.2-сурет, 2). Су молекулаларының өзара байланыс күші олардың ауа молекулаларымен байланыс күшінен көп артық. Соның нәтижесінде беткі молекула су молекулаларымен әрекеттесуге энергиясын жартылай ғана жұмсайды, ал жартылай энергиясы бос қалады. Демек, сумен ауа шекарасында бос бет энергиясы пайда болады.

Бос энергиялы молекулалар астыңғы молекулалардың тарту күшімен төменгі қабатқа «сүңгиді». Олардың орнын басқа молекулалар басып, шекарада үнемі бос энергия сақталады. Сумен ауа шек аралығындағы бұл энергияны – *беттік керілу* деп атайды.

Беткі бет ішкі бет көлемімен салыстырғанда әрдайым тартылу жағдайында болады. Сұйықтың керілу беті неғұрлым

үлкейген сайын, соғұрлым оның қатты денелер бетіне жұғуы төмендейді. Судың беттік керілуі жоғары – $73 \cdot 10^{-3}$ Н/м құрайды. Басқа сұйықтықтардың (майлар, көмірсутектер) сұйық-газ шет аралығындағы беттік керілуі $17 \cdot 10^{-3}$ - $25 \cdot 10^{-3}$ Н/м аралығында, сондықтан олардың жұғу қабілеті жоғары болады.

Қатты денелердің өз бетіне суды жұқтыру дәрежесі әр түрлі көптеген факторларға тәуелді. Олардың негізгілері мыналар:

1. Беттің тазалығы. Егерде гидрофильді (суланатын) бет маймен ластанса, ол гидрофобты (суланбайтын) бетке (гидрофобтануы), керісінше, гидрофобты бетке полності зат отырса, ол гидрофильді бетке айналуы мүмкін.

2. Көптеген қатты денелердің, әсіресе тотықты минералдардың беттері оксид қабыршықтарымен қапталған болып келеді. Сондықтан мұндай денелер суды жақсы жұқтырады.

3. Қатты дененің бетіне әрқашан ауа адсорбцияланады. Беттегі ауа жұғу құбылысын тежейді. Өйткені, сұйық қатты дене бетіндегі ауа көпіршіктерін ығыстырып шығару үшін біраз уақыт керек. Сол себептен беттің сумен жұғуы кешігіп орнау мүмкін.

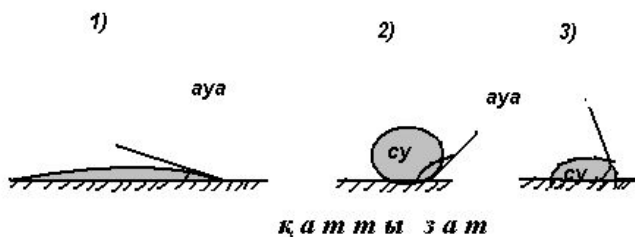
4. Беттің тегістігі (бұдырлығы) әсер етеді. Беттің бұдырлығы неғұрлым жоғары болған сайын, бетке сұйықтың жұғуы немесе жұқпауы соғұрлым арта түседі. Бетке сұйық жұғатын болса, онда беттің бұдырлығы сұйықтың бетке жұғуын жақсартып түседі. Керісінше, сұйық бетке нашар жұғатын болса, онда беттің бұдырлауы сұйықтың бетке жұғуын одан әрі нашарлата түседі.

Қатты дене беттерінің сулануларына қарай гидрофильді және гидрофобты болып бөлінеді. Мысалы, карбонаттар, силикаттар, сульфаттар және оксидтер сумен жақсы суланады, ал күкірт, көмір, графит, тальк, сульфидтер сумен суланбайды, керісінше олар гидрофобтыларға жатады.

Қатты зат бетінің (мысалы, минерал бетінің) сулану дәрежесін бағалау үшін *шеттік сулану* бұрышы деген ұғым қолданылады. Минерал бетіне су тамшысы тамызылса, ол

минерал қасиетіне қарай әр түрлі жағдайға түседі. Күшті суланатын минерал бетінде тамшы бірден жайылып жұқа қабат жасайды (1.3-сурет,1), егер нашар суланатын болса тамшы өзінің домалақ пішінін сақтап қалады (1,3-сурет, 2).

Минералдардың сулану дәрежесін салыстыру үшін өлшем бірлігі ретінде шеттік сулану бұрышы өлшенеді. Ол үшін үш фазаның түйіскен нүктесінен ауа және су шекаралығына жанама сызық жүргізіледі. Осы сызықтың минерал бетімен су жағына қарай жасайтын бұрышты шеттік сулану бұрышы деп атайды. Минералдың сулану дәрежесі артқан сайын сулану бұрышы кішірейіп 0-градусқа және керісінше, сулану дәрежесі төмендеген сайын ол 180 градусқа жақындайды.



1.3-сурет. Қатты зат, су және ауа шекаралықтарындағы бос энергияға тәуелді қатты зат бетінің күшті сулануы (1), суланбауы (2) және орташа сулануы (3)

Капиллярлық қысым. Фазааралық бөлу бетінде еркін энергияның артық мөлшері шоғырланатындықтан, жүйе әрқашан өзінің энергиясын азайтуға ұмтылады. Бұл бөлу бетінің ауданын (S) кішірейту арқылы іске асырылады, өйткені $\Delta G = \sigma \Delta S$. Сол себептен, сұйық тамшысы ауырлық күші әсер етпейтін жағдайда, немесе екінші бір сұйық көлемінде шар формасына ие болады. Өйткені шар бетінің ауданы басқа пішіндерінен (цилиндрлік, төрт бұрыштық, т.б.) кіші.

Бөлу бетінің майысуы жүйенің еркін энергиясын азайтып қана қоймай, сонымен бірге жанасушы фазалардағы қысымдардың өзгеруіне әкеледі. Ал фазалардағы қысымдардың өзгерісі бөлу бетінің майысуы артқан сайын өсе түседі.

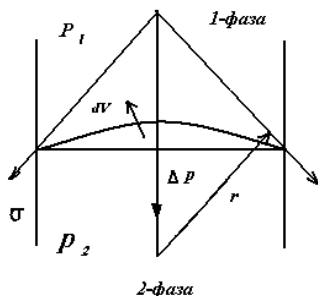
Енді фазалар арасындағы қысымдар айырымы (Δp) мен беттің майысу радиусы (r) арасындағы байланысты табу үшін өзара араласпайтын екі сұйық арасындағы бөлу беті майысқанда фазалардағы ішкі қысымдар қалай өзгереді, соны қарастырайық (1.4-сурет).

Фазааралық бөлу беті майысқанда беттің ауданымен бірге фазалардың көлемдері де өзгеріске ұшырайды, сонда $dV_1 = dV_2 = dV$.

Нәтижесінде беттік энергияның шамасы (σdS)-ке өзгереді. Ал көлем өзгеруі нәтижесінде фазалардың энергиялары $p_1 dV_1$ және $p_2 dV_2$ шамаларға өзгереді (мұндағы p_1 мен p_2 - фазалардағы қысымдар).

Енді термодинамиканың I және II-заңдарына сүйене отырып, бөлу бетінің майысуы барысында жүйенің Гельмгольц энергиясының өзгерісін қарастырайық:

$$dF = -S_3 dT - p dV - \sigma dS - \sum \mu_i dn_i .$$



1.4-сурет. Беттің майысуы сұйықтың ішкі қысымына әсерін сипаттайтын сызба-нұсқа

Фазалар арасында зат тасымалдануы болмаса ($dn_i=0$) және температура тұрақты болғанда ($dT=0$), жоғарыдағы теңдеу былайша жазылады:

$$dF = -pdV + \sigma dS$$

Сонда берілген екі фазалы жүйе үшін:

$$dF = -p_1 dV_1 - p_2 dV_2 + \sigma dS$$

Системада тепе-теңдік күй орнаған жағдайда:

$$dF = -p_1 dV_1 - p_2 dV_2 + \sigma dS = 0$$

$$dV = dV_1 = -dV_2 \text{ екендігін еске алсақ, онда}$$

$$(p_1 - p_2)dV_2 + \sigma dS = 0; \quad \Delta p = p_2 - p_1 = \sigma \frac{dS}{dV}, \quad (1.2.5)$$

мұндағы Δp – фазалар көлемдеріндегі қысымдардың айырымы, *капиллярлық қысым*; $\frac{dS}{dV} = H$ - бөлу бетінің майысуы.

(1.2.5) теңдеуі - *Лаплас теңдеуі* деп аталады. Ол фазааралық бөлу беті майысқанда, ішкі қысымдардың өзгеруін сипаттайды. Сонда майысуы он фазаның ішіндегі қысым майысуы теріс фазаның ішіндегі қысымнан әрқашан артық, ал капиллярлық қысым фазааралық керілудің шамасы σ мен беттің майысуына H тура пропорционал. Біздің қарастыратын жағдайында Δp -капиллярлық түтікшенің кірер және шығар бетіндегі қысым айырмашылығы енді радиусы r су тамшысының ішіндегі капиллярлық қысымның шамасын анықтайық. Шардың көлемі $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$, бетінің ауданы $S = 4\pi r^2$ екендігін еске алса, онда $dV = 4\pi r^2 dr$; $dS = 8\pi r dr$. Олай болса,

$$\Delta p = \sigma \frac{dS}{dV} = \sigma \frac{8\pi r dr}{4\pi r^2 dr} = \frac{2\sigma}{r} \quad (1.2.6)$$

Демек, тамшының көлемі (радиусы) кіші, ал сұйықтың беттік керілуі үлкен болған сайын, тамшы ішіндегі капиллярлық қысым соғұрлым үлкен болады.

$T = 293\text{K}$ температурада судың беттік керілуі $\sigma_{H_2O} = 72,75 \text{ мН/м}$ екендігін ескерсек, радиусы $r = 10^{-6} \text{ м}$ су тамшысының ішіндегі қысым өсімшесі мынадай шамаға тең болады:

$$\Delta p = \frac{2 \cdot 72,75 \cdot 10^{-3} \text{ Н / м}}{10^{-6} \text{ м}} \approx 0,15 \text{ МПа}$$

ал $r = 10^{-7} \text{ м}$ болғанда, $\Delta p = 1,5 \text{ МПа}$ болады.

Басты майысу радиустері r_1 мен r_2 эллипсоид үшін Лаплас теңдеуі былай жазылады:

$$\Delta p = \pm \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right). \quad (1.2.7)$$

Цилиндр үшін $r_2 = \infty$, сондықтан цилиндр ішіндегі капиллярлық қысым

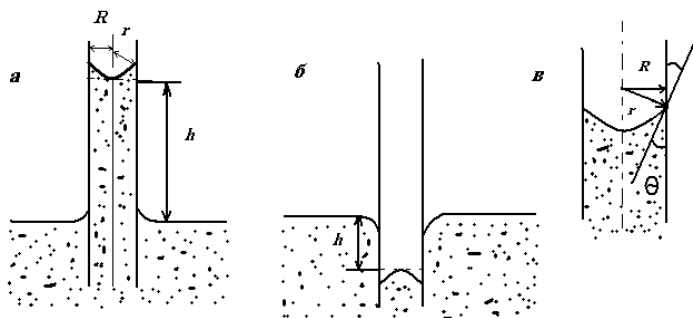
$$\Delta p = \pm \frac{\sigma}{r}, \quad (1.2.8)$$

Демек, тепе-теңдік күйде бөлу бетінің майысуы нәтижесінде пайда болатын қысымның артық шамасы әрқашан беттің майысу ортасына қарай бағытталған және бұл ереже жанасушы фазалардың агрегаттық күйлеріне байланысты емес.

Егер майысу ортасы сұйықтың ішінде жатса, онда сұйықтың ішіндегі қысым артады, керісінше майысу ортасы сұйықтың сыртында жатса, ол сұйықтың ішіндегі қысымды азайтады.

Капиллярдың бойымен сұйықтың көтерілуі [2]. Үлкен ыдысқа құйылған сұйықты қарастырайық. Фазааралық бөлу беті майыспаған (жазық) жағдайда жанасушы газ бен сұйық фазалардағы қысымдар (p^0) өзара тең болады. Жұқа капиллярды (түтікшені) сұйыққа батырсак, жұғу құбылысының әсерінен

түтікше ішіндегі сұйық беті майысады. Бұның өзі Лаплас теңдеуіне сәйкес, фазалардағы қысымдардың өзгеруіне әкеледі, яғни капиллярлық қысым пайда болады. Нәтижесінде капилляр ішіндегі сұйық деңгейі жоғары көтерілуі немесе төмен түсуі мүмкін. Егер сұйық капилляр қабырғасына жұғатын болса ($\theta < 90^\circ$), онда майысу бетінің астындағы сұйықтың қысымы (p_r^0) бастапқы жазық беттегі қысымнан кемиді де, соның нәтижесінде капилляр ішіндегі сұйықты итеруші күш пайда болады. Сұйық түтікшенің бойымен белгілі бір h биіктікке көтеріледі (1,5 а-сурет). Керісінше, сұйық түтікшенің қабырғасына жұқпаған жағдайда ($\theta > 90^\circ$) майысу бетінің астындағы сұйықтың қысымы бастапқы жазық беттегі қысымнан жоғары болады да, нәтижесінде түтікшедегі сұйық деңгейі бастапқы күйінен h тереңдікке төмен түседі (1,5 б-сурет).



1.5-сурет. Капилляр ішіндегі беттің майысуынан сұйық деңгейінің көтерілуі (а) және төмен тусуі (б)

Енді түтікше ішіндегі сұйық деңгейінің көтерілу биіктігі h , бетінің майысу радиусы r , түтікше радиусы R , жұғу бұрышы θ мен сұйықтың беттік керілуі σ арасындағы байланысты қарастырайық.

Жұғу жағдайында сұйықтың түтікше бойымен көтерілуі капиллярлық қысым (Δp) гидростатикалық қысыммен (p_g) теңескенше байқалады. Ал сұйықтың гидростатикалық қысымы мына теңдеу арқылы анықталады:

$$p_g = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho hg, \quad (1.2.9)$$

мұндағы m – түтікше ішіндегі сұйықтың массасы;
 S – түтікшенің қима бетінің ауданы;
 ρ – сұйықтың тығыздығы;
 g – еркін түсу үдеуі.

Олай болса тепе-теңдік күй орнағанда, Лаплас заңына сәйкес:

$$\Delta P = P_g; \quad \frac{2\sigma}{r} = \rho \cdot h \cdot g. \quad (1.2.10)$$

Бұдан капилляр ішіндегі сұйық деңгейінің биіктігін тапсақ:

$$h = \frac{2\sigma}{r\rho g}. \quad (1.2.11)$$

Енді беттің майысу радиусын түтікшенің радиусымен (R) алмастырып көрейік. 1.5в-суретке сәйкес, майысу радиусын түтікше радиусымен байланыстыратын келесі теңдеуді жазуға болады:

$R = R / \cos\theta$. Олай болса, беттің майысу радиусын түтікше радиусымен алмастыра отырып, (1.2.11) теңдеуді қайта былай жазамыз:

$$h = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{R\rho g}. \quad (1.2.12)$$

Бұл теңдеу - *Жюрен теңдеуі* деп аталады. Демек, Жюрен теңдеуіне байланысты *сұйықтың беттік керілуі артып, оның түтікше қабырғасына жұғуы жақсарғанда және түтікшенің радиусы кішірейген сайын, сұйықтың түтікше бойымен көтерілу биіктігі соғұрлым үлкен болады.*

Түтікше радиусының сұйықтың көтерілу биіктігіне әсерін мынадай мысалдан да көруге болады. Бөлме температурасында радиусы 1мм түтікшені суға батырғанда, судың ($\theta \approx 0^\circ$) көтерілу биіктігі мынаған тең:

$$h=(2.73 \cdot 10^{-3} \text{Н/м} \cdot \cos 0^{\circ}) / (10^{-3} \text{м} \cdot 9,8 \text{м/с}^2 \cdot 10^3 \text{кг/м}^3) = 14,9 \cdot 10^{-3} \text{м}.$$

Егер түтікше радиусы 0,1мм болса, онда көтерілу биіктігі 14,9 см-ге тең болады.

Сұйық түтікше қабырғасына жұқпаған кезде $\theta > 90^{\circ}$; $\cos \theta < 0$. Олай болса,

$$h = - \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{R\rho g}$$

Демек, *жұқпаған жағдайда түтікше ішіндегі сұйықтың деңгейі жазық бетпен салыстырғанда төмен жатады (2.56-сурет). Сұйық деңгейінің түсуі шыны түтікшені сынапқа батырғанда байқалады.*

Жалпы капиллярлық құбылыстың күнделікті өмірде алатын орны ерекше. Табиғатта байқалатын көптеген құбылыстар капиллярлық қысымның пайда болуымен түсіндіріледі. Мысалы, жер қыртысында топырақта ұсақ түтікшелердің түзілуі нәтижесінде тереңде жатқан су капиллярлық қысымның арқасында көтеріліп, жер бетіндегі өсімдіктерді ылғалмен камтамасыз етіп отырады.

Үй қабырғаларындағы түзілетін ұсақ түтікшелер судың қабырға бойымен жоғары көтеріліп, қабырға дымқылдануының басты себепшісі болып саналады. Мұның өзі үй қабырғасының тез тозуына әкеп соғады. Сондықтан, сұйықтың капиллярлық көтерілуі арқылы қабырғаның ылғалдануын болдырмас үшін үйдің қабырғалары мен негізі (фундаменті) арасына ылғал өткізбейтін *гидроизоляторлар (рубероид)* төсейді. Капиллярдың бойымен сұйықтың көтерілуі байыту өнімдерін дренаждау процесімен сусыздандыруда орын алынатыны көрсетілген.

Сонымен бірге, сұйықтың түтікше бойымен көтерілу құбылысын сұйықтың (ерітіндінің) беттік керілуін анықтау үшін де пайдалануға болады. Ол үшін радиусы белгілі түтікше алып, зерттелетін сұйықтың түтікше бойымен көтерілу биіктігін және жұғу бұрышын өлшеу жеткілікті.

2. ДРЕНАЖДАУ ҮРДІСІМЕН СУСЫЗДАНДЫРУ

2.1. Жалпы түсініктер

Дренаждау әдісінде су қатты зат түйіршіктерінің арасымен өз салмағымен ағып бөлінеді. Сондықтан суланған қатты зат өнімдерден ауырлық күш әсерімен судың ағып бөлінуі *дренаждау* деп аталады [6]. Осы құбылыс суспензия түрінде алынған түйіршікті (не кесекті түрде алынған) концентраттарды сусыздандыруға қолданылады.

Сүзілген су көлемі сұйықтың қозғалу режиміне байланысты болады. Олар ламинарлы, ауыспалы, турбулентті болып бөлінеді және Рейнольдс параметрімен (Re) анықталады:

$$Re = g \cdot d \cdot \Delta / \mu, \quad (2.1.1)$$

мұндағы g – сұйықтың қозғалу жылдамдығы, м/сек;

d – капилляр диаметрі, м;

Δ – сұйықтың тығыздығы, кг/м³;

μ – сұйықтың тұтқырлығы Па.с .

Егерде Рейнольдс параметрі 1-ден төмен болса, онда ағын ламинарлы, мұнда тұтқырлық кедергі күштің әсері жоғары. Рейнольдс параметрі 1000-нан асса, онда ағын турбулентті және мұнда екпінді күштің үлесі жоғары. Сусыздандырудың бастапқы кезінде судың қозғалуы ауыспалы болып, сонан ламинарлығы ауысады.

2.2. Дренаждау үрдісін сипаттайтын көрсеткіштер

Дренаждау үрдісінде бірлік уақытында сүзіліп өткен су көлемін келесі теңдеуден табуға болады:

$$V = K_{\phi} \cdot F \cdot h_w / h, \text{ м}^3/\text{сек} \quad (2.1.2)$$

мұндағы K_{ϕ} – сүзудің эмпирикалық коэффициенті, ол сүзу ортасының кеуектілігіне және оның басқа да геометриялық сипаттамасына, сонымен қоса сүзілетін сұйықтың тұтқырлығына және тығыздығына тәуелді; F – сүзілген ағынның

көлденең қимасының толық ауданы, m^2 ; h_w – ағын арыны, м; h – сусыздандырылатын зат қабатының биіктігі, м.

Бірлік уақытында, бірлік сүзілу ауданынан сүзіліп өткен су көлемі арасындағы қатынасты сүзу жылдамдығы деп атайды.

$$\omega = \frac{1}{F} \frac{dV}{dt}, \quad (2.1.3)$$

мұндағы V – сұйық көлемі, m^3 ; t – сүзу уақыты, сек.

Сұйықтың ламинарлы ағынындағы жылдамдығын Дарси заңымен анықтайды.

$$\omega = K_{\phi} J. \quad (2.1.4)$$

мұндағы J – гидравликалық градиент ($J = h_w / h$);

$$J = \Delta P / (\rho \cdot h), \quad (2.1.5)$$

мұндағы ΔP – сұйық тіреуінің қысымы, Па; ρ – сұйық тығыздығы, kg/m^3 ; h – қабаттың биіктігі, м.

Дренаждалған судың көлемі сусыздалынатын өнімнің ірілігіне, оның сулануына, түйіршіктер арасындағы (капилляр) сұйықтың қысымына және сусыздандыру уақытына тәуелді болады. Неғұрлым ірілік артқан сайын, соғұрлым су тез бөлінеді. Қатты зат түйіршіктерінің (кесектерінің) ірілігі 0,4 мм-ден жоғары болса дренаждау үрдісі оңай жүргізіледі. Ірілік 0,2-0,1 мм-ден төмендеген сайын сусыздандыру қиындай түседі. Мұндай жағдайда ұсақ түйіршіктер ірілердің арасындағы қуыстарды толтырып, олардың бос аудандарын кемітіп сандарын көбейтеді, яғни қуыс қабаттар капиллярларға айналады. Неғұрлым түйіршіктер ұсақ болса соғұрлым капилляр диаметрі кішірейеді де, соған байланысты судың капилляр бойымен көтерілу биіктігі өседі. Судың капилляр бойымен көтерілуі капиллярлық қысымның арқасында атқарылады.

Мысал ретінде – штабельдегі заттың сусыздануын қарастырайық. Судың штабельден ағып бөлінуі оның капилляр

бойындағы көтерілу биіктігімен (h) шектеледі. Егерде капиллярлар диаметрін 0,015 мм-тең деп алсақ, қатты зат түйіршіктерінің сумен жұғысуы толық болса ($\theta=0^0$, $\cos \theta \approx 1$) судың беттік керілуі $\sigma = 73 \cdot 10^{-3}$ Н/м және тығыздығы $\rho = 1000$ кг/м³, онда төмендегі формулаға сәйкес сұйықтың капиллярлық көтерілу биіктігін анықтауға болады:

$$h = 2\sigma \cos \theta / (r \cdot \rho \cdot g), \quad (2.1.6)$$

мұндағы θ – шеттік сулану бұрышы; r – капилляр радиусы; g – еркін түсу үдеуі.

$$h = \frac{2 \cdot 73 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{7,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 \cdot 9,8} \approx 2 \text{ м}$$

Капиллярлық көтерілу биіктігін төмендету үшін штабельдегі заттың астына ұсақты зат түйіршіктерінен төсеніш төселінеді. Оның қалыңдығы капиллярлық көтерілу биіктігін төмендетеді, яғни сусыздандыруды жақсартады.

Ірі түйіршікті төсеніш, судың капиллярлық көтерілу биіктігін төмендетпейді, яғни мұндай төсеніш сусыздандыру жылдамдығына әсерін тигізбейді.

Дренаждау процесі статикалық және динамикалық жағдайларда атқарылады.

Статикалық жағдайда дренаждау үрдісі түйіршіктердің (кесектердің) ірілігіне, үрдістің жүру уақытына, штабельдің биіктігіне, төсеніштің гранулометриялық құрамына, түйіршіктердің сумен сулану дәрежесіне тәуелді болады. Сонымен қоса оған қоршаған ортаның температурасы әсерін тигізеді.

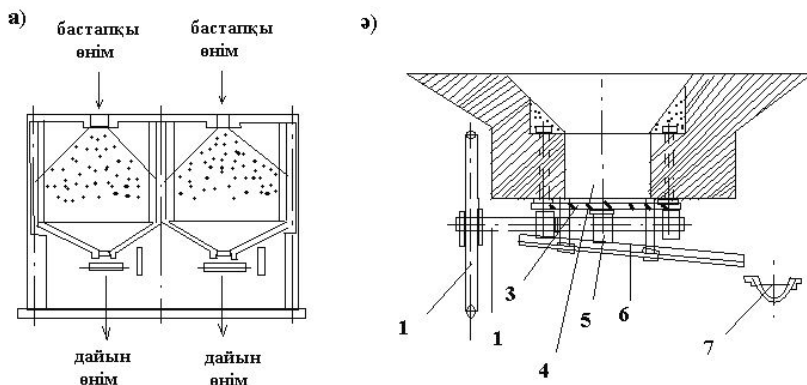
Дренаждау үрдісі динамикалық жағдайда атқарылса, онда сусыздандырылатын байыту өнімдері тоқтаусыз елеуіш бетінде бірыңғай қозғалыста болады. Су сүзіліп елеуіш тесіктерінен бос күйінде ағып бөлінеді.

Дренаждау үрдісінің атқарылуына қарай олар сусыздандыру бункерлерінде, штабельдерде, сусыздандыру (дренаждау) қоймаларында, конвейерлерде, шөмішті элеваторларда, спиральды классификаторларда, електерде (грохоттарда) жүргізіледі.

2.3. Дренаждау үрдісінде қолданылатын құрал-жабдықтар

2.3.1. Бункерлерде сусыздандыру

Сусыздандыру бункерлері бет жағы төрт бұрышты, түбі пирамидалды пішінді темір бетоннан кұйылған бірнеше бөлімшелерден тұрады. Бөлімше түптеріне тор орнатылған. Тор тесіктерінің диаметрі оған салынатын зат кесектерінің ірілігінен көп кіші болуы керек. Кесектер тор бетінде қалады да, су зат қабатында-сүзіліп, ақырында тесіктен ағып бөлінеді. Сусыздандыру уақыты заттың ірілігіне байланысты. Бункерлер (2.1-сурет) көбінде ірі класты көмірді, темір концентраттарын сусыздандырғанда және тағы кейбір жағдайларда пайдаланылады.



2.1-сурет. Сусыздандыру бункері:

- а) бункер бөлімшелері; б) бункер ысырмасы; 1-штурвал; 2-білік (вал); 3-тор; 4-зат шығарылатын тесік; 5-тісті рейкалы механизм; 6-көлбеу жайма; 7-су науашығы

2.3.2. Сусыздандыру бункерлерді есептеу

Есептеу, сусыздандыруға берілетін өнімнің байыту фабрикасы бойынша өнімділігін және сусыздандыру уақытын, тағайындаудан басталады. Осыларға сай бункерлердің жалпы көлемі, оларға кіретін бөлімшелер саны және көлемдері анықталады. Бункердің қажетті сиымдылығы (тоннамен) төмендегі теңдеумен табылады:

$$G = q_T(t_1 + t_2 + t), \quad (2.2.1)$$

мұндағы q_T – сусыздалынатын өнім бойынша өнімділік, т/сағ;

t_1 – бір бөлімшені толтыруға қажетті уақыт, сағ;

t_2 – бөлімшені сусыздалынған заттан босату және оны келесі сусыздандыру циклына дайындау уақыты, сағ; t – сусыздандыру уақыты, сағ.

Бір бөлімшенің сиымдылығы (тонна)

$$G_1 = q_T t_1 \quad (2.2.2)$$

$$\text{Бөлімшелер саны} \quad n = \frac{Q}{Q_1} = 1 + \frac{t + t_2}{t_1} \quad (2.2.3)$$

$$t_1 = t_2 \text{ тең деп қабылдасақ, онда } n = 2 + \frac{t}{t_2}.$$

Әдетте, есептеулерде бункерлер санын 1-2-ге артық етіп қабылдайды. Бункердің қажетті көлемі (м^3)

$$V = \frac{Q_1}{\gamma_0 \psi}, \quad (2.2.4)$$

мұндағы γ_0 – үйінді тығыздығы, т/м³;

ψ – толтырылу коэффициенті (0,8–0,85).

Есептеу тәртібі келісідей боп келеді:

1. Бөлімшенің призмалық бөлігінің көлемі (м^3) мына

$$\text{формуламен анықталады:} \quad V_1 = a \cdot \acute{a} \cdot h_1, \quad (2.2.5)$$

мұндағы h_1 – призмалық бөлігінің биіктігі;

2. Бөлімшенің пирамидалды түбінің көлемі (м^3) мына формуламен анықталады:

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot h_2 (a \cdot b + v \cdot z + \sqrt{a \cdot b \cdot v \cdot z}), \quad (2.2.6)$$

мұндағы h_2 – бөлімшенің пирамидалды бөлігінің биіктігі;

a және b – кезегімен призмалық бөлігі кесіндісінің ені және ұзындығы, м; v және z – зат шығарылатын жырықтың өлшемі.

3. Бөлімшенің жалпы көлемі (м^3) анықталады

$$V_0^1 = V_1 + V_2. \quad (2.2.7)$$

4. Бөлімшенің сиымдылығы (т) анықталады

$$Q_1 = q_T \cdot t_1 = V_0^1 \gamma_0 \psi. \quad (2.2.8)$$

5. Бір бөлімшені толтыруға қажетті уақыт шамасы (сағ) анықталады

$$t_1 = \frac{Q_1}{q_T}.$$

6. Сусыздандырушы бункерлерде сусыздандыруға қажетті уақыт мөлшері арнаулы техникалық анықтағыштардан анықталынып және $t_1 = t_2$ тең екенін еске алып, бункерлердің жалпы сиымдылығы (Q), бөлімшелердің саны (n) анықталынады.

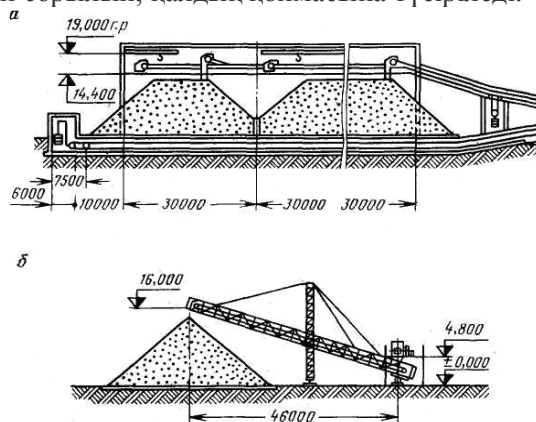
7. Бункердің жалпы салынатын көлемі мына формуламен анықталады

$$V = n \cdot V_0 \quad (2.2.9)$$

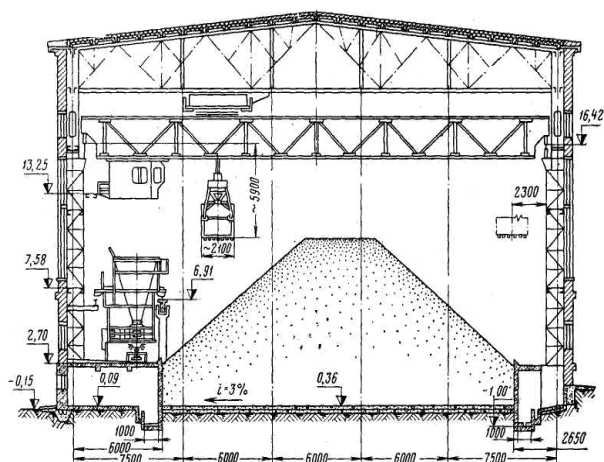
2.3.3. Дренажды қоймаларда сусыздандыру

Дренаждау қоймалары ашық немесе жабық түрді болып салынады. (2.2; 2.3-сурет) Қойма едені көлбеу етіліп бетоннан жасалынады, бөлінген су арнаулы дренаждық тоғандармен

шығарылады. Сусыздандырылатын зат қоймаға таспалы (ленталы) конвейерлермен беріліп, содан грейферлі крандар арқылы штабельге немесе конусқа үйіледі. Дренаждалған су насостармен сорылып, қалдық қоймасына түсіріледі.



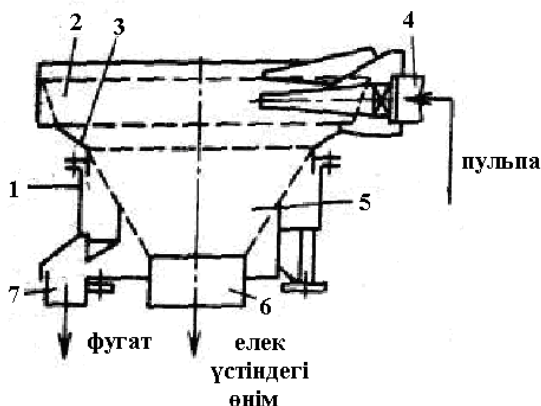
2.2-сурет. Ашық дренаждау қоймалары:
а-штабельді; б-конусты



2.3-сурет. Жабық дренаждау қоймасы

2.3.4. Електерде және сусыздандырушы конвейерлерде сусыздандыру

Сусыздандырғыш електер (2.4-сурет) көбінде орта ірілікті заттарға қолданылады. Осы мақсатпен жиі қолданылатындары дірілдеуік және екпінді електер. Оларда тор тесігі жалпақтығы 0,25:0,5:0,75 және 1мм жырық түрінде жасалған. Яғни, електерде ірілігі 1мм-ден артық зат сусыздандырылады.



2.4- сурет. Ортадан тепкіш елек (грохот):

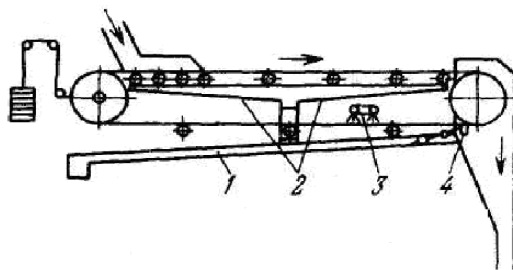
1-қорап; 2-шеңберлі науа; 3-табалдырық; 4-бастапқы зат берілетін сұғындырма; 5-конустық торлар; 6-дайын өнімді шығару;
7-фугатты шығару

Көбінде сусыздандыру үшін қолданылатын електерге жататындар: ГИСЛ; СД-1; СДО-3; БКГО-ПА, БКГО-ИБ, БКГОМ-2А, ГУКОД, ГУКО, ГПО4-ПБ, ГПО4-КА, ГПО4-М, ГУП-40, ГРО-1А, ГРЛ-61 (ГРО-21), ГРЛ-62 (ГРО-22), ГРЛ-72 (ГРО-82). ГИСЛ маркалы електердің техникалық сипаттамасы 1-кестеде келтірілген.

ГИСЛ електердің техникалық сипаттамасы

Параметрлері	ГИСЛ-62	ГИСЛ-72	ГИСЛ-82
Елеуіш бет ауданының өлшемдері, мм: ені ұзындығы	2000 5000	2500 6000	3000 7000
Елеуіш ауданы, м ²	10	15	21
Тор тесігінің жалпақтығы, мм Сымнан тоқылған Ойылып тоқылған (штампованный)	6-60 10;13	6-60 20; 25; 50	6-100 100
Жырықты діріл жиілігі, мин ⁻¹	0,5	1;1,6;2 735	
Елеуіш қорабының көлбеу бұрышы, градус		0-25	
Электрқозғалтқыштың қуаты, кВт	17x2	22x2	40x2
Габариттері, мм: ұзындығы ені биіктігі	5670 2710 2630	6930 3720 2500	8000 4300 2700
Массасы, т	9,165	11,9	18

Сусыздандырушы конвейерлер (2.5-сурет) болатты таспадан (лента) жасалынады, олардың тасымалдаушы конвейерлерден айырмашылығы таспа беті тесіктелінген (перфорированный) сонымен қоса суды бөліп шығаруға науалар және оймыш құймамен жабдықталған. Конвейер таспасының астыңғы тармағында қырғыш, ал таспа бетінде шайғыш қондырғы орнатылған. Аталған конвейерден басқа сымнан тоқылған (торлы) түрлері де қолданылады. Болатты таспалы конвейерлердің ені 800 мм, ал торлылардікі -1200 мм-ге дейін болады.



2.5-сурет. Таспалы сусыздандырушы конвейер:

1-астыңғы тармақтағы су бөлуші науа; 2-үстіңгі тармақтағы су бөлуші науа; 3-шайғыш қондырғы; 4-қырғыш

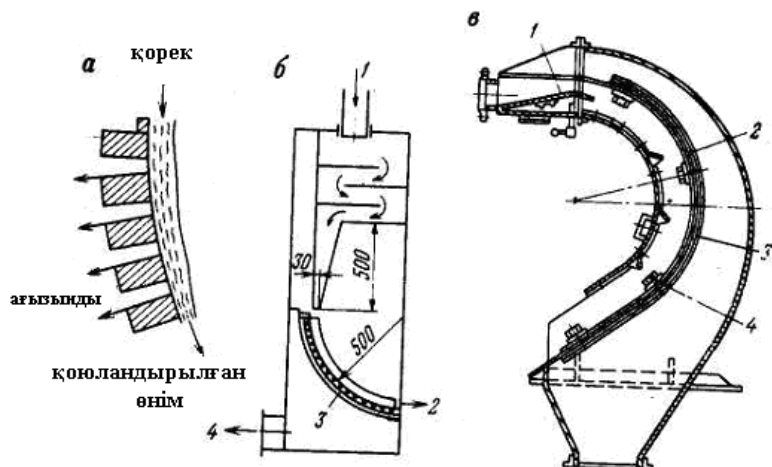
Конвейерлерде сусыздандырудың тиімділігі заттың қасиетіне, таспа бойындағы зат қабатының қалыңдығына, конвейер ұзындығына және қозғалу жылдамдығына тәуелді болады.

Өте суланған өнімдер (су үлесі 75%-ға дейін) алдын ала доғалы електерде (2.6-сурет) сусыздандырылады, оларда 85 % су бөлініп алынады. Елеуіш беті тат баспайтын төзімді болаттан жасалған, пішіні трапеция кесіндісіне сай колосниктерден жиналған. Колосниктер арасындағы жырықтар, пульпаның қозғалуына перпендикулярлы болып орналасқан. Жырықтар ені 0,3-3мм. Тор астына кететін ағызындыға, ірілігі ең көп дегенде жырық енінің жартысына тең қатты зат түйіршіктері кетуі мүмкін. Жырық тесігі 0,5-1мм аралығында, доғалы грохоттың көлемдік өнімділігі Q ($\text{м}^3/\text{сағ}$) келесі эмпирикалық формуламен анықталады:

$$Q=160 \cdot S \cdot v, \quad (2.1.6)$$

мұндағы S – жырықтар ауданы, м^2 ; v – грохот бетіне берілетін пульпаның жылдамдығы, м/с .

Доғалы електердің елеуіш бетінің орталық бұрышы 90° немесе 60° құрайды. Оның мәні пульпа құрамындағы қатты зат ірілігіне тәуелді.



2.6-сурет. Доғалы елек (грохот): а-жұмыс істеу принципі; б-доғалы електің жұмыс істеу сұлбасы:

1-бастапқы сусыздалынатын зат; 2-қойылған зат; 3-жұмысшы бет;
4-ағзынды; в-СД2А доғалы електің сұлбасы: 1-зат кіруші тесік;
2-жырықты тор; 3-тіреуіш; 4-бекітуші құрылғы (ағаш сыналары)

Доғалы елекке бастапқы пульпа өз бетімен ағу арқылы (жылдамдығы 0,5-тен 3м/с дейін) немесе қысыммен (кіре берістегі жылдамдығы 6–10 м/с) беріледі. Доғалы електердің сипаттамасы 2.2-кестеде келтірілген.

2.2-кесте

Доғалы електердің техникалық сипаттамасы

Параметрлер	СД1	СД2А	СД03
Елеуіш өлшемі, мм:			
ені, ұзындығы	1100	1170	1200
Пайдалы ауданы, м ²	865	1730	2500
Қисықтық радиусы, мм	0,95	1,9	3
Орталық бұрыш, градус	550	550	800
Елек жырығының өлшемі, мм	90	180	180

2.2-кестенің жалғасы

Параметрлер	СД1	СД2А	СД03
Бастапқы өнім берілетін патрубоктың ені, мм	0,5-3	0,5-2	0,5
Елеуіш бетіне берілетін пульпаның жылдамдығы, м/с	10-30 4-ке дейін	0-30 4,5-9	90-140 4,5-6
Бастапқы пульпа бойынша өнімділік, м ³ /сағ	200-ге дейін	300-400	450-500
Габариттері, м			
Массасы, т	0,8×1,3×2,6 0,29	1,4×1,3×2,6 0,508	1,9×1,5×2,6 0,836

2.3.5. Классификаторларда және шөмішті элеваторларда сусыздандыру

Шөмішті элеваторлар – көбінде шөгілдіру машиналарынан шығатын ауыр фракцияны сусыздандыруға қолданылады.

Қабырғалары және түптері тесікті шөміштер екі қатар көлбеу орналасқан айналмалы шынжырларға ілінген. Шөміш камерадағы су деңгейінен жоғары көтеріледі де, ішінде қатты зат қалып су ағып кетеді, одан кейін шөміш төңкеріліп, зат таспалы конвейерге түседі. Сусыздалынатын өнімнің ірілігі 2–35 мм құрайды. Сусыздалыну уақыты және сусыздалынған заттың ылғалдылығы шөміштердің қозғалу жылдамдығына және қатты зат ірілігіне тәуелді болады.

Элеваторда шөміштер тікелей бір-біріне жалғаса немесе бір-бірінен алшақтап (шөміш-шөміштен кейін шөміш) орналасады. Тікелей орналасқан шөміштердің көлбеулігі 60–70°, ал (шөміштері алшақтан орналасқан) элеватордың көлбеулігі 55–65° құрайды. Шөміштердің элеваторда осылай орналасуы, жоғары орналасқан шөміштен астыңғысына, судың ағып түсуіне тосқауыл жасайды.

Егерде ірі кластар сусыздалынса, онда элеватордың қозғалу жылдамдығы 0,25–0,27 м/сек, ал ұсақ кластар үшін 0,15–0,17 м/сек құрайды.

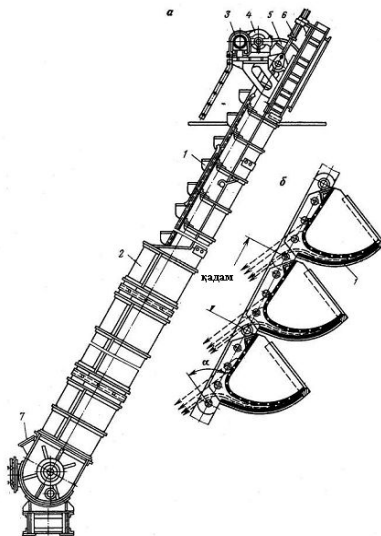
Элеватордың ұзындығын шөміштегі заттың сусыздану уақытына байланысты етіп алады. Ірі заттың шөміште болу уақыты 17–18 сек-тан кем болмауы керек, ал майда кластың уақыты 27–29 сек.

Сусыздандырушы элеватордың өнімділігі төмендегі формуламен анықталады.

$$Q = 1,8 \frac{i}{a} v \gamma_0 \psi, \text{ т/сағ},$$

мұндағы i – шөміш көлемі, л; a – шынжыр қадамы, м; v – шынжырдың қозғалу жылдамдығы, м/сек; γ_0 – сусыздалған өнімнің көлемдік салмағы, т/м³; ψ – шөміштердің толу коэффициенті;

Сусыздандырушы элеватордың көрінісі 2.7-суретте келтірілген.



2.7-сурет. Сусыздандырушы шөмішті элеватор:

а-элеватор: 1-шөміштер; 2-қаптама; 3-электрқозғалтқыш; 4-жетек;

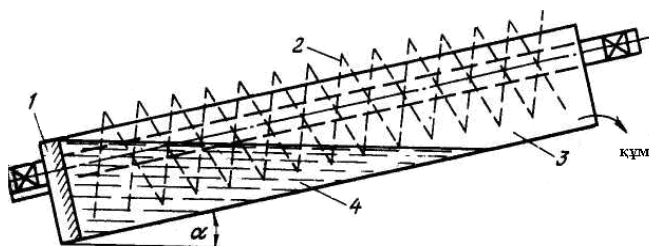
5-астыңғы жұлдызшылар; 6-керуші құрылғы; 7-тиеуші башмак;

б-шынжырларға ілінген шөміштер

2.3.6. Классификаторларда сусыздандыру

Сусыздандырғыш спиральді классификаторлардың (2.8-сурет) айналу жылдамдылығы аз болады да көлбеулігі ұнтақтау циклінде қолданылатын классификаторлардан артық болады. Құмды заттан су төмен бағытта ағып бөлінеді.

Бұл аппарат пульпадан ұсақ ұнтақталған затты бөлу қажеті болғанда қолданылады. Бөлінген суда заттың өте ұнтақталған бөлігі қалып қояды. Оны қосымша бөлу үшін ағызынды қойылдырғыштарға түсіріледі. Осындай мақсатпен конусты классификаторларда қолданылады.



2.8-сурет. Спиральді классификатор:
1-табалдырық; 2-спираль; 3-науа (корыто); 4-шөгу аймағы

3. ҚОЙЫЛДЫРУ ҮРДІСІМЕН СУСЫЗДАНДЫРУ

Қойылдыру – деп қатты фазаның ауырлық күш немесе ортадан тепкіш күш әсерімен шөгіп және сұйық фазаның пульпадан бөлініп шығу үрдісін атайды. Мұндағы «қойылдыру» дейтін терминнің негізі тығыздалынған (қаттының үлесі 45–70 %) өнімді алу. Қойылдыру үрдісі кезінде қатты фазамен қатар пульпадан мөлдірленген сұйық фаза бөлінеді, яғни ағызынды алынады. Сондықтан құрамында шламы көп лайланған және шайма суларын сусыздандыруды *шламды суларды тазалау* деп те атайды.

Қойылдыру үрдісі қатты түйіршіктерінің ірілігі 0,5 мм төмен пульпалар үшін қолданылады. Байыту фабрикаларында флотация немесе магниттік сепарациямен (ірілігі <0,2 мм) алынған өнімдер қойылдырылып, сүзіліп сонан соң олардан бөлініп алынған ағызынды қайтадан байыту үрдісіне түсіріледі. Ағызынды да сұйық фазамен қатар қатты фазада болуы мүмкін (шлам ретінде), сондықтан мұндай суларды байыту үрдісіне берер алдында міндетті түрде алдын ала шламдардан тазартады. Қойылдыру үрдісінде қолданылатын аппараттар *қойылдырғыштар* деп аталады.

Байыту үрдісіндегі пульпаны суспензия ретінде қарастыруға болады, өйткені олар ұнтақты қатты затпен судың араласы боп саналады. Суспензиялар құрамындағы қаттының ірілігіне қарай төменгідей болып бөлінеді: ірі, қатты зат түйіршіктерінің ірілігі >100 мкм; ұсақ 0,5 мкм-ден

100 мкм дейін; лайлар –0,1-ден 0,5 мкм дейін; коллоидты ерітінділер-ірілігі <0,1мкм.

Ірі суспензиялардағы қаттының түйіршіктері ауырлық күш әсерінен тез шөгеді, ұсақ суспензиялардың түйіршіктері тыныш ортада ақырын шөгеді, өйткені оның ішіндегі өте майда түйіршіктер броундық қозғалыста болуына байланысты, жалпы шөгу жылдамдығын төмендетеді. Лайлардағы түйіршіктер толығымен броундық қозғалыста болады және әдеттегі

жағдайда шөкпейді. Коллоидты ерітінділердің түйіршіктері арнаулы реагенттерсіз мүлдем шөкпейді.

Пульпаны (суспензияны) сипаттайтын негізгі көрсеткіштер бір-бірімен келесі қатынастарда болады:

1м³ пульпада қаттының (түйіршіктің) V_к және сұйықтың (судың) V_с көлемдері

$$V_k = \frac{T}{\rho}; \quad V_c = \frac{\rho - C}{\rho}, \quad (3.1)$$

сұйық пен қаттының массалық қатынасы (C:K) :

$$C:K = n = \frac{(\rho - T) 100}{\rho T}, \quad (3.2)$$

1м³ пульпадағы қаттының массасы (кг)

$$T = \frac{\rho 1000}{n\rho + 1},$$

пульпаның тығыздығы (кг/м³)

$$\rho_n = 1 + \frac{(\rho - T) 100}{\rho}, \quad (3.3)$$

қаттының масса бойынша концентрациясы

$$C = \frac{T - 100}{\rho}, \%; \quad T = \rho \frac{\rho_n - 1000}{\rho - 1000}, \text{ кг/м}^3 \quad (3.4)$$

мұндағы ρ – қаттының тығыздығы, кг/м³.

3.1. Қойылдыру үрдісінің теориялық негізі

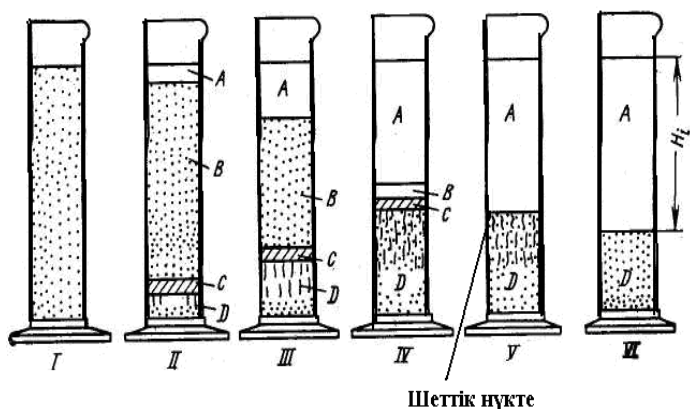
Қойылдыру үрдісі қатты зат түйіршіктерінің ауырлық немесе ортадан тепкіш күш әсерлері негізінде шөгу заңдылықтарына негізделінген.

Қатты зат түйіршіктерінің шөгу жылдамдығын анықтау үшін пульпа сынамасын цилиндрге құяды да, біраз уақыт тұндырып қояды (3.1-сурет).

I цилиндрде бастапқы пульпа көрсетілген. Біраз уақыттан кейін (цилиндр II) цилиндрде әр түрлі зоналар пайда болады:

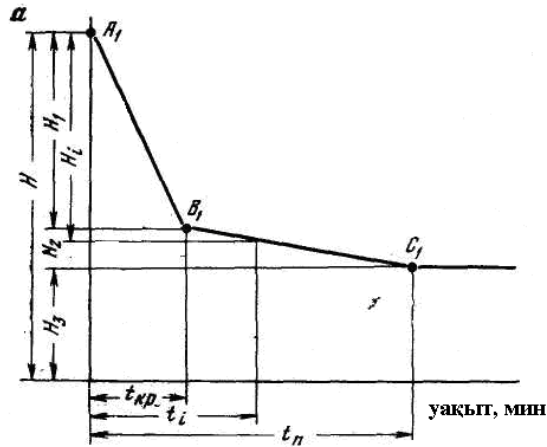
мөлдірленген сұйық аймағы А, бос шөгу аймағы В, қысылымды шөгу аймағы С және шөгіндінің тығыздану аймағы Д. Цилиндрдің түбінде тез шөгетін ірі түйіршіктерден қабат пайда болады.

Әрі қарай (III және IV цилиндрлер) А және Д аймақтарының қалыңдықтары үлкейеді де, ал В аймағының қалыңдығы кішірейеді, С аймағы өзгерусіз қалады. V цилиндрде В мен С аймағы жоғалып кетеді де, ал А аймағы Д аймағымен шектеседі. Бұл жағдай түйіршіктердің шөгу жылдамдығы күрт өзгергенде пайда болады. Цилиндр VI-де пульпадағы қатты зат түйіршіктерінің ақырғы шөгіп тығыздалынғанын көрсетеді.



3.1-сурет. Шыны цилиндрдегі пульпаның қойылдыру үрдісі

Қойылдыру үрдісі графикалық түрде 3.2-суретте көрсетілген. Мұнда абсцисса осі бойынша сұйықтың тазаланған биіктігі көрсетілген (А аймағы). Түйіршіктердің шөгуі және мөлдірленген сұйықтың пайда болуы А нүктесімен басталады да аумалы шеттік нүкте В-ға дейін жетеді. Әрі қарай шөгіндінің тығыздалынуы жүреді (С нүктесіне дейін). Бұл жерде қойылдыру үрдісі аяқталады да қисық сызығы абсцисса өсіне параллельді жүреді.



3.2-сурет. Қойылдыру үрдісінің қисығы

Графикте көрсетілуі:

H – цилиндрдегі пульпаның жалпы биіктігі;

H_1 – бос шөгу аймағының биіктігі;

H_2 – тығыздану аймағындағы шөгіндінің биіктігі;

H_3 – шөгінді биіктігі;

$t_{кр}$ – аумалы нүктеге дейінгі шөгу уақыты;

t_n – түйіршіктердің толық шөгуімен және шөгінді

тығыздалуының уақыты.

Қойылдыру үрдісінің қисығы арқылы қатты зат түйіршіктерінің шөгу жылдамдықтарын анықтауға болады:

а) оңтайлы жылдамдық
$$v_0 = \frac{H_1}{t_{кр}} ;$$

б) пульпаның қойылу жылдамдығы (белгілі бір дәрежеде)
$$v_i = \frac{H_1}{t_i} .$$

Шөгудің орташа жылдамдығын білу үшін алғашқы және соңғы қойылдыру дәрежесін қабылдау керек немесе сұйық пен қаттының қатынасын.

Бізге белгілі делік:

$C_1: K_1 = a$ – қойылдырудың алғашқы дәрежесі;

$C_2: K_2 = \epsilon$ – қойылдырудың соңғы дәрежесі;

Q_1 – пульпадағы қатты заттың мөлшері;

V_1 – пульпаның алғашқы биіктігі, H_1 ;

V_2 – пульпаның соңғы биіктігі, H_2 .

$$\begin{aligned} & V_1 / Q = a, \quad V_2 / Q = \epsilon, \\ \text{бұдан} \quad & V_1 / a = V_2 / \epsilon, \\ & V_1 / V_2 = H_1 / H_2, \quad H_1 / a = H_2 / \epsilon, \end{aligned}$$

$$\text{одан шығатын} \quad H_2 = H_1 \frac{\epsilon}{a}$$

Шөгудің орташа жылдамдығы төмендегі формула арқылы табылады

$$v_{opt} = \frac{H_1 + H_2}{t}.$$

Жоғарыда келтірілген тәжірибеде әрбір түйіршіктің цилиндрде қозғалу кезінде оған басқа түйіршіктер әсерін тигізеді, демек түйіршіктер бір-біріне соқтығыса, кедергі жасай шөгеді, яғни қысыла шөгеді. Осы жағдай қойылдыру үрдісінде маңызды рөл атқарады.

Шөгу кезінде түйіршіктерге негізінде үш күш әсер етеді: ауырлық күші P , судың жоғары бағытталған көтеру күші (архимед күші) R және ортаның кедергі күші F . Түйіршіктің шөгу жылдамдығы осы үш күштің теңесуінен шығатын күштің әсерімен анықталады.

$$P = V \cdot \rho_k \cdot g, \quad (3.5)$$

$$R = V \cdot \rho_c \cdot g. \quad (3.6)$$

мұндағы V – түйіршік көлемі; ρ_k – қатты зат (түйіршік) тығыздығы; ρ_c – сұйық тығыздығы; g – бос шөгу үдеуі.

Ньютон заңына қарасты сұйықтың (ортаның) кедергісі

$$F = \psi \cdot v^2 \cdot d^2 \cdot \Delta, \quad (3.7)$$

мұндағы ψ – гидродинамикалық кедергі коэффициент
 v – түйіршіктің шөгу жылдамдығы; d – түйіршік диаметрі;
 Δ – ортаның тығыздығы; ψ – коэффициенті Рейнольдс
 критериясына тәуелді.

Ауырлық күш заттың көлемі және тығыздығымен байланысты екені белгілі. Ортаның кедергі күші негізінде зат түйіршігінің шөгу жылдамдығымен анықталады. Түйіршік неғұрлым ұсақ болса, демек салмағы азайған сайын, кедергі күш ортаның тұтқырлығымен (үйкеліс күшімен) анықталады да, ол шөгу жылдамдығына тура пропорционал болады. Түйіршіктің осындай жағдайда шөгуін ламинарлы (параллельді ағым) қозғалыс деп атайды.

Түйіршіктің салмағы артқан сайын (яғни, іріленген сайын) кедергі күш екпінді күшпен (динамикалық) анықталып, шөгу жылдамдығының квадратына пропорционал болады. Осындай жағдайда шөгуді турбулентті (иірімді) қозғалыс деп атайды. Шөгу кезінде денеге осы кедергі күштердің екеуі де әсерін тигізеді. Бірақ дененің (түйіршіктің) ірілігіне қарай олардың екеуі арақатынасы әр түрлі болады. Орта есеппен егер түйіршік диаметрі 2 мм-ден үлкен болса, онда динамикалық кедергі күштің әсері артады. Егер түйіршік диаметрі 0,1-ден кіші болса және ортаның тұтқырлығы артқан сайын үйкеліс кедергі күші басым болады. Осы екі аралықта кедергі күштің екі түрі де орын алады.

Шөгу қозғалысының бастапқы уақытында түйіршіктің шөгу жылдамдығы аз, ал үдеуі үлкен болады. Біртіндеп шөгу жылдамдығы өсіп, соның нәтижесінде кедергі күш молайып, үдеу азая бастайды. Бір сәтте ауырлық күш пен кедергі күш теңеледі де, түйіршік бірқалыпты жылдамдықпен шөге бастайды.

Архимед заңына сәйкес түйіршіктің ортадағы массасы

$$G_0 = P - R = F = (\rho_k - \rho_c) \cdot g \pi d^3 / 6 = \psi \cdot v^2 \cdot d^2 \cdot \Delta, \quad (3.8)$$

мұнан
$$\psi = (\rho_k - \rho_c) \cdot g \pi d^3 / (6 \rho_c \cdot v^2 \cdot d^2) = \Delta \cdot g \pi d / 6 v^2, \quad (3.9)$$

мұндағы
$$\Delta = (\rho_k - \rho_c) / \rho_c,$$

Дененің (түйіршіктің) бос шөгу жылдамдығы эмпирикалық және теориялық формулалармен анықталады. Шар пішінде түйіршіктердің әр түрлі қозғалыс режимінде шөгу жылдамдығын анықтауда Рейнольдс саны (R_e) және Лященко параметрі (A) қолданылады

$$A = R_e^2 \psi. \quad (3.10)$$

Лященко параметрін анықтайтын формулаға (3.10) Рейнольдс санын (R_e) және (3.9) формуладағы ψ көрсеткішін енгізсек, онда келесіні аламыз

$$A = R_e^2 \psi = \pi d^3 g \Delta / (6 \nu^2). \quad (3.11)$$

3.1-кестеде шар тәріздес түйіршіктердің судағы шөгу жылдамдықтарын анықтауға арналған есептеу формулалары келтірілген.

3.1-кесте

Шар тәріздес түйіршіктердің суда шөгу жылдамдықтарын есептеу формулалары

Қолдану аумағы	Жылдамдық v , см/сек	Формулалардың қолданылатын шегі	
		Рейнольдс (R_e) саны бойынша	$A = R_e^2 \psi$ параметрі бойынша
Ламинарлы ағыс (Стокс формуласы)	$5450 d^2 \cdot \Delta$	0-0,5	0-5,25
Ауыспалы аумақтың басталуында	$508 d^{1,5} \cdot \Delta^{0,83}$	0,5-30	5,25-720
Ауыспалы аумақтың ортасында (Аллен формуласы)	$113 d \cdot \Delta^{0,67}$	30-300	$720-2,3 \cdot 10^4$
Ауыспалы аумақтың соңында	$62 d^{0,67} \cdot \Delta^{0,56}$	300-3000	$2,3 \cdot 10^4-1,4 \cdot 10^6$
Турбулентті (иірімді) ағыс (Ньютон формуласы)	$57 d^{0,5} \cdot \Delta^{0,5}$	3000-100000	$1,4 \cdot 10^6-1,7 \cdot 10^9$

3.1-кестедегі көрсеткіштер арқылы шар тәрізді түйіршіктердің шөгу жылдамдықтарын, сәйкесті формуланы қолданумен табуға болады.

Мысалы. Диаметрі $d = 0,03\text{см}$, тығыздығы $\delta_k = 3\text{г/см}^3$ түйіршіктің суда шөгу жылдамдығын анықтау. Судың температурасы 20°C тең.

20°C судың кинематикалық тұтқырлық коэффициенті $\nu = 0,014007\text{см}^2/\text{сек}$ тең. Лященко параметрін (3.11) формула арқылы анықтаймыз $A = 3,14 \cdot 0,03^3 \cdot 981(3-1)/(6 \cdot 0,01007^2 \cdot 1) = 273$.

3.1-кестеде есептен табылған $A = 273$ мәніне, мына формула сәйкес келеді $\nu = 508d^{1,5} \cdot \Delta^{0,83}$. Мұнда $\nu = 508 \cdot 0,03^{1,5} \cdot 3^{0,83} = 4,7\text{см/сек}$.

Қойылдыру үрдісіне көп факторлар әсерін тигізеді: гранулометриялық және минералогиялық құрам, түйіршіктердің пішіні, қатты және сұйық фазалардың тығыздығы, сұйықтың тұтқырлығы, пульпаның температурасы, ортаның рН-ы, пульпадағы реагенттердің барлығы және түйіршіктердің шөгуін тездететін қоспалар. Осылармен бірге қойылдыру үрдісіне қосымша әсер ететін қойылдырғыштың құрылым ерекшеліктері және ортадан тепкіш күштің мөлшері.

Қатты фаза түйіршіктерінің ортада шөгу жылдамдықтарын анықтағанда, түйіршіктердің ірілігі, қатты және сұйық фазалардың тығыздығы, сұйықтың тұтқырлығы міндетті түрде ескеріледі.

Қойылдырғыштардың жоғарғы жағында пульпадағы қатты зат концентрациясы шамалы болады, сондықтан түйіршіктердің шөгуі бос жағдайда болуына байланысты шөгу жылдамдығы жоғары боп келеді. Шөгу жылдамдығы түйіршіктердің ірілігімен тығыздығына немесе оның үлесті салмағына тәуелді. Пульпаның төменгі қабаттарында қатты заттың концентрациясы өскен сайын, олардың шөгу жылдамдығы төмендейді. Қатты зат концентрациясы бір белгілі шетке жеткенде түйіршіктердің шөгуі қысылмалы жағдайда атқарылады. Осы жағдайда ірілері майда түйіршіктермен бірге шөге бастайды. Шөгінді сығымдалған сайын қатты зат концентрациясы ең жоғарғы (максимум) дәрежеге жетіп, ал

шөгу жылдамдығы нөлге жақындайды. Осындайда қысым әсерінен шөгіндіден су сығылып төменнен жоғары қарай бағытталады.

Шар пішінді ірілігі $<0,1$ мм түйіршіктердің бос шөгу жылдамдығын Стокстың формуласымен анықтауға болады:

$$g_0 = \frac{54,5d^2(\rho - 1)}{\mu}, \text{ см/сек} \quad (3.12)$$

Ірілігі 0,1мм-ден 1,5 мм-ге дейін аралықта бос шөгу жылдамдығын анықтауға Аллен формуласы қолданылады:

$$g_0 = 25,8d\sqrt[3]{(\rho - 1)^2 \frac{1}{\mu}}, \text{ см/сек} \quad (3.13)$$

мұндағы d – түйіршіктің диаметрі, см; ρ – түйіршіктің тығыздығы, г/см³; μ – сұйықтың тұтқырлығы (0,01 пз).

Жоғарыда айтқандай қойылдыру үрдісінде түйіршіктер бос шөкпей, бірігіп қысыла шөгеді, сондықтан олардың шөгу жылдамдығы бос шөгу жылдамдығына қарағанда төмен болады. Шөгу жылдамдығына пульпадағы қаттының концентрациясы немесе сұйықтың пульпадағы алып жатқан көлемдік мөлшері, яғни қопсу коэффициенті (m) әсерін тигізеді. Қопсу коэффициентінің шамасы (m) пульпадағы минерал түйіршіктерінің арасындағы ортаның көлемі және пульпаның жалпы көлемі арақатынасымен анықталады.

Түйіршіктердің көлемін V_2 деп, ал пульпаның жалпы көлемін V_1 деп белгілесек: $m = \frac{V_1 - V_2}{V_1}$ (3.14)

Осы жай негізінде қысыла шөгу жағдайында ақырғы жылдамдықты табу үшін Лященко мынадай теңдеу ұсынды:

$$V_k = v_0 \sqrt{m^n}, \quad (3.15)$$

мұндағы v_0 – бос шөгу жылдамдығы; n – дәреже көрсеткіші (оның шамасы орташа алғанда 5–7,5-ға тең).

Әр түрлі іріліктегі түйіршіктер қысыла шөгуде бір-біріне әсерін тигізеді: майдалардың арасындағы ірі түйіршіктердің шөгу жылдамдығы, арасында майдалары жоқ ірі түйіршіктердің шөгу жылдамдығымен салыстырғанда әлдеқайда төмендейді. Керісінше, арасында ірі түйіршіктері бар, майда түйіршіктердің жылдамдығы жоғарылайды, өйткені олар ірі түйіршіктермен соғылып және итеріліп соның нәтижесінде, шөгу жылдамдықтарын асырады.

3.2. Қойылдыру үрдісін қарқындату

3.2.1. Суспензияларды коагуляциялау және флокуляциялау

Сусыздандыру (қойылдыру) үрдісінің тиімділігін, пульпаны құрамында полюсті функционалдық тобы және полюссіз көмірсутек радикалы бар беттік-активті заттармен (қысқаша БАЗ) өндеу арқылы едәуір арттыруға болады. Оларға жататындар табиғи және синтетикалық БАЗ-дар. Көмірсутек радикалының ұзындығы, реагенттің белсенділігін (активтілігін) анықтайды, неғұрлым ол ұзын болса соғұрлым оның активтілігі өседі. БАЗ-дың негізгі қасиеті, олардың молекулаларының қатты зат беттеріне адсорбциялануы. Адсорбциялану қасиетін таңдамалы түрде қолдану арқылы қатты зат түйіршіктерінің бір-біріне тартылуын жоғарылатуға немесе төмендетуге болады. Беттік-активті заттар молекулалары пульпаның фазааралық бөлу бетінде адсорбцияланып, оның беттік керілу шамасын төмендету арқылы қатты фаза түйіршіктерінің күйін өзгертеді. Дисперсті және коллоидты түйіршіктер бірігіп агрегаттар құрастырады, соның нәтижесінде олар сұйық фазадан оңай бөлінеді. Жекешеленген өте майда қатты зат түйіршіктерінің бірігіп іріленуі *коагуляция* және *флокуляция* арқылы жүргізіледі.

Флокуляция – деп ұнтақ түйіршіктерді жоғары молекулалы органикалық қосылыстармен өндеу арқылы біріктіріп ірілеуді айтады. Осы процесс гидрофобизациялаушы (су жұқтырмаушы) реагенттермен және полимерлермен флокуляциялау арқылы жүргізіледі.

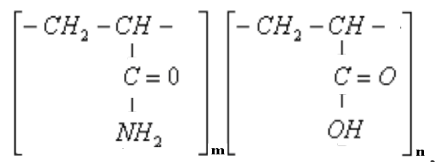
Осы реагенттердің жоқтығында суспензиядағы қатты зат түйіршіктерінің бір-бірімен бірікпеуі, олардың бетіндегі гидраттық жұқа қабаттың немесе біртекті электрлі зарядтардың болуымен түсіндіруге болады. Өте ұнтақты түйіршіктердің шөгуін тездету үшін коагулянттар ретінде ақ кіріш (известь), күйдіргіш натрий, магний сульфаты, хлорлы темір, күкірт қышқылы, темір купоросы және т.б. қолданылады.

Түйіршіктерді гидрофобизациялау арқылы флокуляциялау дейтініміз ол пульпаны жинағыш реагенттермен өңдеу арқылы олардың бір-біріне тартылу күштерін өсіріп, ал сумен әрекеттесу күшін азайту. Реагент ретінде ксантогенаттар, олеаттар, алкилсульфаттар, аминдер және т.б. қолданылады.

Полимер арқылы түйіршіктерді флокуляциялауда көбінесе полиакриламид пайдаланады. Флокуляциялау қабілеті барға жататындар: полиэтиленмин, "Метас", "Комета", полиэтиленоксид. Табиғи органикалық қосылыстардан: крахмал, глютен, желатин. Мұнда минерал түйіршіктерінің флокуляциялануы полимер молекулаларының немесе мицеллалардың қатты зат бетіне адсорбцияланып жеке түйіршіктерді біріктіріп ірілеу. Өйткені реагенттің бір молекуладағы активті топтары бірнеше түйіршіктерге жабысады. Осы жағдайда полимердің молекулалары немесе мицеллалары түйіршіктер арасында «торланған көпіршіктер» құрайды.

Байыту фабрикаларында аталған реагенттердің ішінде ең көп қолданылатыны – полиакриламид [3].

Полиакриламид (ПАА)-полимер, құрылымды формуласы



ионогенді емес флокулянтқа жатады, яғни сулы ерітіндіде иондар түзбейді. Термиялық тұрақтылығы 120–130 °С

кыздырғанға дейін сақталады. Сумен әр түрлі қатынаста жақсы ериді. ПАА-ның сулы ерітінділерінің тұтқырлығы жоғары болады.

ПАА сумен, сілтілермен және қышқылдармен гидролизденеді. Гидролизденгенде оның анион-активті қасиеті пайда болады.

Техникалық ПАА ақ кіріш немесе аммиак гелі ретінде немесе құрғақ түрінде шығарылады. Гель ретіндегі ПАА арнаулы сиымдылықта (тарада), үсті жабық ғимаратта, плюс 30 °С-дан аспайтын температурада сақталады. Сақталу мерзімі 4 айдан аспау керек.

Құрғақ (ұсатылған) ПАА ірілігі 3,6 мм-ге дейін ұнтақ түрінде шығарылады, оның құрамы- 52–54 % полимер және 38–40 % аммоний сульфаты.

Полиакриламидтің белсенділігін арттыру үшін оған қосымша күйдіргіш натрийдің судағы ерітіндісі қосылады, оны *гидролизденген полиакриламид* (ГПАА) деп атайды. Гидролизденген полиакриламидтің жәй полиакриламидке қарағанда аниондық қасиеті өте жетілген. Бейтарап, сілтілі ортада ГПАА-ның флокуляциялық қасиеті ПАА-ға қарағанда әлдеқайда жоғары.

Байыту фабрикаларында ГПАА-ның жұмысшы ерітіндісін дайындау, арнаулы ыстық бумен және механикалық араластырғышпен жабдықталған аппаратта жүргізіледі. Алдымен концентрациясы 0,5 % тең ПАА-ның жылы судағы ерітіндісі дайындалады, ол 20 – 30 мин араластырылады. Содан кейін бакқа 1кг 8% ПАА ерітіндісіне шаққанда 37,5г күйдіргіш натрий қосады және осы қоспа сілтінің түгел еруіне дейін араластырылады. Алынған ерітінді 16 сағат ішінде 50–80 °С-дағы температурада ұсталынады. Одан кейін пайдалануға дайын реагент ерітіндісі ретінде тарату жеріне жеткізіледі. Қойылдыру процесіне берілетін ГПАА ерітіндісінің концентрациясы 0,1–0,3 %, шығыны 0,15–2,0 г/м³ суспензияға шаққанда.

Коагуляция – деп сусыздандырылатын суспензия (пульпа) құрамындағы майда түйіршіктердің электрлі қасиеттерінің өзгеру нәтижесінде бірігіп, іріленіп шөгуі. Осы мақсатпен пульпа аорганикалық күшті электролиттермен, тұздармен қышқылдармен және сілтілермен өңделеді.

Минерал түйіршіктерінің коагуляциялануы аталған заттарды қолдану арқылы олардың бет зарядтарын төмендету әрекетімен байланысты.

3.3. Қойылдыру үрдісінде қолданылатын аппараттар

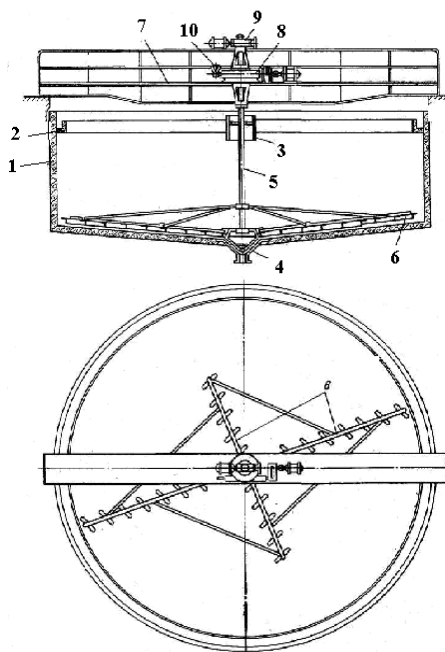
3.3.1. Цилиндрлі қойылдырғыштарда қойылдыру

Цилиндрлі қойылдырғыштар [7, 8] әр түрлі пульпаларды, суспензияларды қойылдыру үшін және шламды суларды тазартуда қолданылады. Олар цилиндрлі пішінді, биіктігі бірнеше метр, диаметрлері ондаған метр бетоннан, сирек темірден (кішілері) жасалған сиымды аппарат. Бастапқы пульпа қойылдырғышқа төменгі шеті пульпа ішіне кіргізілген құбырмен түсіріледі. Қойылдырғыш түбі көлбеу жасалады (5–10°).

Қойылдырғышқа пульпа үздіксіз түседі. Соған байланысты мөлдірленген сумен шөгінді де үздіксіз шығарылып бөлінеді. Мөлдірленген су күбінің үстіндегі ернеуінен асып шеңбер бойымен орналасқан науаға төгіледі де одан құбырға түседі.

Бастапқы пульпа түсетін құбырдың төменгі шеті мөлдір су қабатының астына жететіндіктен тазаланған су лайланбайды.

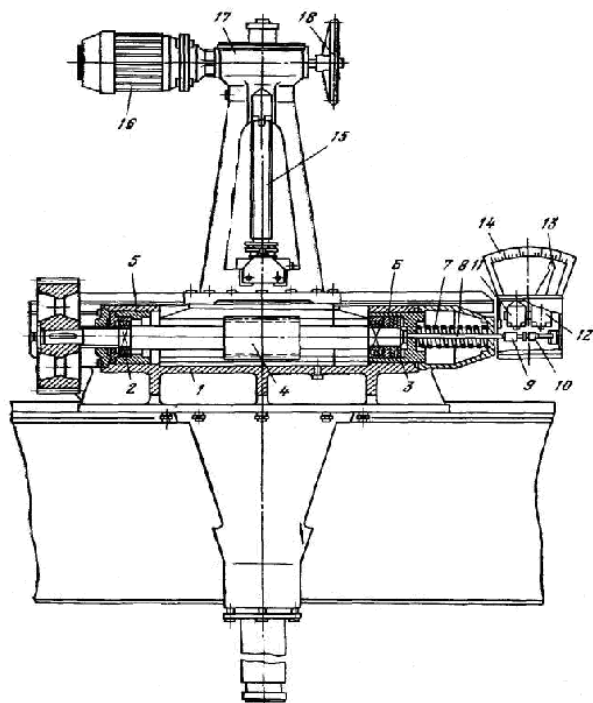
Орталықты қозғалту жүйелі цилиндрлі қойылдырғыш (3.3-сурет). Тығыз шөгінді қабатты қойылдырғыштың түбіне жеткізілуін қамтамасыз ететін сыдырғыш қондырғы рамасы вертикальды біліктің (вал) үшіне бекітілген. Біліктің өзі чанның қабырға бетіне немесе арнаулы колонналарға орнатылған болатты фермаларға ілінген.



3.3-сурет. Орталықты қозғалту жүйелі қойылдырғыш:

1-күбі; 2-ағызынды науасы; 3-пульпа қабылдайтын құйғыш; 4-тығыз шөгіндіні шығаратын конус; 5-орталық білік; 6-сыдырғыштар; 7-ферма; 8-жетек; 9-сыдырғыштар ілінген білікті көтеру механизмі; 10-қойылдырғыш жүктемесінің көбеюін көрсететін көрсеткіш

Фермада қосымша орталық білікті іске қосуға және сыдырғыш қондырғысы рамасын көтеруге арналған механизм орнатылған (3.4-сурет). Сыдырғыш рамасының көтерілуі қойылдырғыш жүктемесінің күрт өсіп кетуінде немесе жұмысының тоқтауында іске асырылады.



3.4-сурет. Орталық білікті және сыдырғыш раманы көтеруші механизмдердің жетегі:

- 1-корпус; 2,3- қырықаяқ мойынтірегі (червяк подшипниктері);
 4- қырықаяқ (червяк); 5,6-сырғанайтын стакандар; 7-серіппе;
 8-тетік; 9,10- жұдырықшалар (кулачоктар); 11,12-шетті айырғыштар; 13-дабыл беру тілшігі; 14-қойылдырғыштың жүктемесі шкаласы; 15-домкрат; 16-сыдырғыш раманы көтеру механизмінің электрқозғалтқышы; 17- тісті дөңгелек (шестерня) корпусы; 19-көтеру механизмінің тегірішігі (маховичогі)

Орталық білікті, қозғалысқа келтіру механизмі электроқозғалтқыштан, редуктордан және қырықаяқты берілістен тұрады, олар құйылған қорапта орналасқан. Қырықаяқ мойынтірегі сырғымалы стакандарда жиналған. Қойылдырғыштың жүктемесі көбейіп және қойылдырататын

өнім тығыздалынып кетсе, онда қырықаякқа берілетін осьтік қысым өсе бастайды да, қырықаяқ стаканмен бірге солдан оңға қарай қозғалып серіппені сығады. Оң жағындағы стаканға екі жұдырықшалы тетік бекітілген, оның бірі оңжаққа қозғалып тетік айырғыш түйіспесін тұйықтайды да, авариялық дабылдыбыс немесе жарық шығару арқылы беріледі, ал екіншісі шеттік айырғыш арқылы вал жетегінің электрқозғалтқышын тоқтатады (өшіреді). Жалпы, қойылдырғыш жүктемесін тұрақты түрде жұдырықшаның біреуімен қосылған құрылғы арқылы бақылап тұруға болады.

Орталық білік пен сыдырғыш раманы жоғары көтеру немесе төмен түсіру электрлі жетек негізінде домкратпен атқарылады. Домкрат винтінің айналуын қолмен де жүргізуге болады, ол үшін қолдық тегіршік қолданылады.

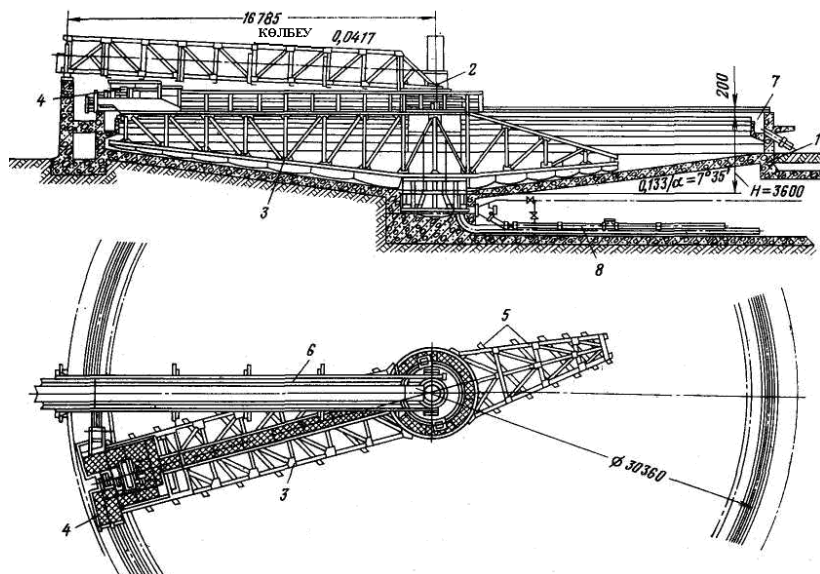
Шеткі қозғалту жүйелі қойылдырғыш (3.5-сурет), орталықты қозғалту жүйелі қойылдырғыштан айырмашылығы сыдырғыш раманың конструкциясына байланысты.

Соңғысында сыдырғыш рама радиальды ферма түрінде орындалған. Ферманың астыңғы жағында қалақшалар орнатылған. Ферманың бір жақ шеті чанның ортасында орналасқан темір бетонды колоннадағы айналмалы тіреуіш басқа тірелген, ал екінші шеті чанның ернеуінде шеңбер бойында орналасқан рельс бетінде қозғалатын катокқа. Катокты қозғалысқа келтіретін жетек келесі құрылымдардан тұрады: электрқозғалтқыштан, редуктордан, түзу тісті цилиндрлі берілістен және катоктың тіреліп қалуын бақылайтын дабыл беруші құрылғыдан. Ток алушы құрылғы тіреуіш баста орналасқан.

Темір бетонды колоннаға қосымша қозғалмайтын ферма орналасқан. Оның бойында пульпаны қойылдырғышқа түсіретін науа орнатылған.

Тіреуіш бас бойында пульпаны чанға түсіруге арналған арнаулы түсіргіштер бар. Қойылған өнім чан түбінен диафрагмалы сорғыштармен жалғасқан құбыр жүйелерімен

шығарылады. Мөлдірленген су чанның үстіндегі шеңбер бойында орналасқан науаға ағып түседі.



3.5-сурет. Шеткі қозғалту жүйелі қойылдырғыш:
 1-темірбетонды чан; 2-тіреуіш бас, 3-сыдырғыш рама фермасы;
 4-айналушы ферманы қозғалысқа келтіретін жетек; 5-сыдырғыш
 рама; 6-қозғалмайтын ферма; 7-шеңберлі науа; 8-қойылдырылған өнім
 құбыры

3.2-кесте
 Қойылдырғыштардың техникалық сипаттамалары

Параметрлері	Орталықты қозғалту жүйелі			Шеткі қозғалту жүйелі	
	Ц - 30	Ц - 50	Ц - 100	П - 25	П - 30
Чан диаметрі, м	30	50	100	25	30
Чан тереңдігі, м	4	5	7,5	3,6	3,6
Қойылдыру ауданы, м ²	700	1950	7850	500	700

3.2-кестенің жалғасы

Сыдырғыштардың айналу жиелігі, мин ⁻¹	0,08;0,06;	0,06;0,04	0,03;0,01	0,1;0,08;	0,09;0,06
Электрқозғалтқыш- тардың қуаты, кВт	0,05 7,5	13	4x8	0,06 7,1;8,3;	7,1;8,3;
Габариттер, м:				10,5	10,5
ұзындығы,	32	52	106	-	-
биіктігі	12,5	13,5	20	-	-
массасы, т	-	80	200	-	-

3.3.2. Цилиндрлі қойылдырғыштарды есептеу

Егер өте ұнтақталынған қатты затты пульпалар қойылдырылатын болса, онда қойылдыру ауданының бетін келесі тендеулер арқылы есептейді:

$$а) \text{ меншікті (үлесті) бет ауданы } f = \frac{a-b}{k \cdot g_0 \cdot \gamma_{ж}}, \frac{m^2 \cdot \text{сағ}}{t};$$

$$ә) \text{ жалпы бет ауданы } F = f \cdot Q, \text{ м}^2 \text{ және } F = \frac{\pi D^2 - d^2}{4}.$$

$$\text{Бұдан } D = \sqrt{\frac{4fQ}{\pi}} + d^2, \text{ м} \quad (3.16)$$

мұндағы a – бастапқы пульпадағы сұйық пен қаттының қатынасы ($c_1:k_1$); b – қоюланған өнімдегі ($c_2:k_2$) қатынасы; k – қойылдыру беттің оңтайлы қолдану коэффициенті; g_0 – қоюланған өнімнің өте ұсақ түйіршіктерінің бос шөгу жылдамдығы, м/сағ; $\gamma_{ж}$ – сұйықтың (судың) үлесті салмағы, т/м³; Q – қойылдырғышқа түсетін пульпадағы қаттының мөлшері, т/сағ; D – қойылдырғыш диаметрі, м; d – пульпа түсіргіш құбырдың диаметрі, м.

Ұсақ түйіршіктердің ақырғы бос шөгу жылдамдығы:

$$g_0 = (\rho_k - \rho_c) d^2 g / (18\mu), \quad (3.17)$$

мұндағы ρ_k және ρ_c – қатты және сұйық фазалардың тығыздығы, кг/м^3 ; d – түйіршік диаметрі, м; g – бос шөгу үдеуі, $\text{м}^2/\text{с}$; μ – сұйықтың тұтқырлығы, $\text{Па}\cdot\text{с}$

Қойылдырғыштың ағызынды бойынша өнімділігі:

$$V_c = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4k} \cdot g_0, \text{м}^3/\text{с}, \quad (3.18)$$

мұндағы D – қойылдырғыш диаметрі, м; d – пульпа түсіргіш құбырдың диаметрі, м.

Қойылдырғыштың есептелінген диаметрі табылғаннан кейін олардың техникалық сипаттамаларына сәйкес (3.2-кесте) есептелінгенге жақын диаметрі бар қойылдырғыш саны таңдалынады:

$$n = F / (kF_c), \quad (3.19)$$

мұндағы F – жалпы қойылдыру ауданы, м^2 ; k – қойылдырғыш ауданының пайдалану коэффициенті – ($k=0,7-0,8$); F_c – орнатуға таңдалған қойылдырғыштың қойылдыру ауданы, м^2 .

Қойылдырғыштардың үлесті қойылдыру ауданы мен үлесті өнімділігі 3.3-кестеде келтірілген.

3.3-кесте

Цилиндрлі қойылдырғыштардың жұмыс істеу кезіндегі көрсеткіштері

Қоюланатын өнімдер	Үлесті қойылдыру ауданы $\text{м}^2\text{сағ/т}$	Үлесті өнімділік	
		$\text{т}\cdot\text{сағ}/\text{м}^2$	$\text{т}\cdot\text{сағ}/\text{тәулік}/\text{м}^2$
Флотацияға берілетін өнім, флотациядан шыққан қалдық... Флотациялық сульфидті концентраттар:	12–24	0,04 – 0,08	1-2
мыс	16–24	0,04–0,06	1–1,5
қорғасын	24–32	0,03–0,04	0,75–1,0
мырыш	20–30	0,03–0,05	0,75–1,2
пирит	12–24	0,04–0,08	1,0–2,0
молибден	30–50	0,02–0,03	0,5–0,8
темір (80%–0,074 мм)	40–80	0,01–0,02	0,25–0,5
марганец.....	35–60	0,02–0,03	0,5–0,7
Кен шламдары	60–90	0,01–0,02	0,25–0,5

Үлесті қойылдыру ауданын келесі формуламен табуға болады

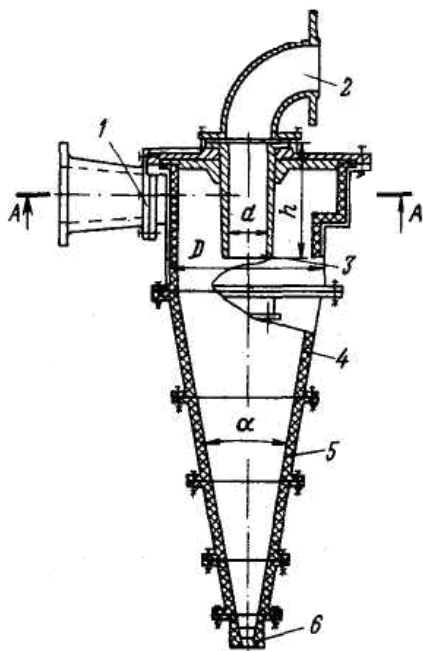
$$S=(V_n-V_k)/v, \quad (3.20)$$

мұндағы S – үлесті қойылдыру ауданы, $\text{м}^2\text{сағ/т}$; V_n, V_k – кезегімен қойылдыруға берілетін және қойылдырылған өнімдегі бір тонна қатты затқа үлесті сұйықтың көлемі, $\text{м}^3/\text{т}$ (немесе масса бойынша $C:Q$ қатынасы); v – шөгу жылдамдығы, $\text{м}/\text{сағ}$. V_n, V_k және v тәжірибе негізінде анықталады.

3.3.3. Гидроциклондарда қойылдыру

Гидроциклонның корпусы екі бөліктен тұрады: жоғары бөлігі цилиндр пішінді, ал төменгі бөлігі конус пішінді келеді (3.6-сурет).

Гидроциклондар кен байыту саласында майда ұнтақталған затты құм- ағызындыға бөлу үшін (классификация), кейде сусыздандырумен шламсыздандыру, сондай-ақ, кейбір кендерді ауыр ортада байыту үшін де қолданылады. Қолдану үрдісінің тағайындалуына қарай, олардың конустық көлбеу бұрышы өзгеріп тұрады. Алдын ала қойылту және шламсыздандыру үшін қолданылатын гидроциклондардың конустық бұрышы 10^0 шамасында болады.



3.6-сурет. Сусыздандырушы гидроциклон:

1-пульпа түсетін сұғындырма (патрубок); 2-ағызынды құбыры;
3-ағызынды сұғындырмасы; 4-корпус; 5-резина қаптамасы
(футеровка); 6-құм сұғындырмасы

Гидроциклонның цилиндрлі бөлігінде қойылдыруға берілетін пульпаны қабылдайтын сұғындырма, ағызынды

шығаратын сұғындырма (құбырмен жалғасқан), ал конусты бөлігінде құм шығаратын сұғындырма орналасқан.

Гидроциклонның конустық бөлігі алмалы-салмалы конустардан тұрады. Гидроциклонның ішкі беті тозуға төзімді резеңкемен, тас қаптамамен қапталады. Конус табанының диаметрі гидроциклонының түріне сәйкес болып келеді. Конустық бөлігінің төбесінде құм шығатын тесік бар, оның мөлшері белгілі бір диаметрі бар салмаларды ауыстыру арқылы реттеліп отырады. Осындай салмалар гидроциклонның пульпа түсетін сұғындырманың қима ауданын қажетті мөлшерде өзгертіп отыру үшін де орнатылады.

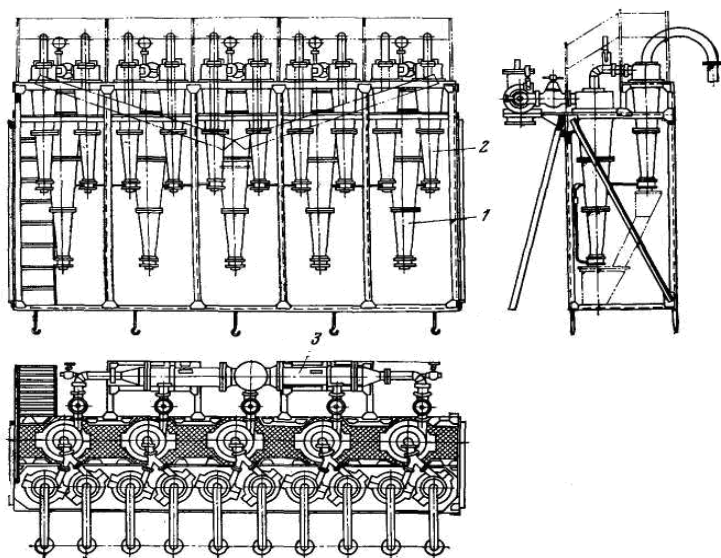
Гидроциклонға пульпа насостың айдау қысымымен корпусың цилиндрлі бөлігіне жанама орнатылған (тангенциально) сұғындырма арқылы түседі. Соның нәтижесінде пульпа айналмалы қозғалысқа келеді, ал ол ортадан тепкіш күшті пайда етеді. Ағызынды шығатын сұғындырманың диаметрі құм шығатын сұғындырма диаметрінен көп үлкен. Сондықтан судың негізгі массасы ағызынды сұғындырмасы арқылы көтеріледі. Соның нәтижесінде көтерілу ағымы пайда болады. Сонда әр түйіршікке үш күш әсер етеді: салмақ күші, ортадан тепкіш күш және жоғарғы ағын күші. Түйіршіктің ағызындыға не құмға кетуі үш күшке тең әсерлі күштің бағытына байланысты. Ірі және тығыздығы үлкен түйіршіктерге ортадан тепкіш күш пен салмақ күші әсер етеді де олар құмға түседі, ал ұсақтарына ағым күші басым әсер етеді де ағызындыға шығады. Сонымен, құмға не болмаса ағызындыға шығатын түйіршіктер ірілігін бірнеше факторларды өзгерту арқылы реттеуге болады. Оларға жататындар: гидроциклонға түсетін пульпаның қысымы, пульпаның тығыздығы, ағызынды және құм сұғындырмасының диаметрлері. Іс жүзінде көбінде тек құмды сұғындырма диаметрі өзгертіледі. Оның диаметрі кішірейтілсе көтерілу ағын жылдамдығы өседі де ағызындыға шығатын түйіршіктер диаметрі үлкейеді және керісінше.

Батарейлі гидроциклондар (3.7-сурет) ірілігі 0,1мм-ден аспайтын майда ағызынды алу үшін және шламсыздандыру

үшін қолданылады. Түсетін пульпа бойынша гидроциклондардың өнімділігін төмендегідей формула арқылы анықтауға болады:

$$V = 5d_1d_2\sqrt{gH}, \text{ л/мин} \quad (3.21)$$

мұндағы d_1 – пульпа түсетін сұғындырма диаметрі, см;
 d_2 – ағызынды сұғындырмасының диаметрі, см; g – еркін түсу үдеуі, м/сек²; H – пульпаның гидроциклонға түсердегі қысымы, кг/см².



3.7- сурет. Батарейлі гидроциклон:

1-бастапқы қойылдырудағы гидроциклондар; 2-соңғы қойылдырудағы гидроциклондар; 3-таратушы коллектор

Гидроциклондар жоғары және төмен қысымды болып екіге бөлінеді. Біріншілеріне, түсетін пульпа қысымының мөлшері 0,25–0,35 МПа болса екіншілерінде ол 0,03–0,05 МПа-ға тең.

Сусыздандырушы және шламсыздандырушы гидроциклондар классификациялау үрдісінде қолданылатын гидроциклондарға қарағанда жоғары қысымды қажет етеді. Өте майда ағызынды алу үшін қысым мөлшері 0,15–0,2 МПа шамаларында болу керек. Барлық жағдайда гидроциклонның кіре берісіндегі қысым тұрақты болып ұсталуы қажет.

3.3.4. Тақташалы (пластинчатый) қойылдырғышта сусыздандыру

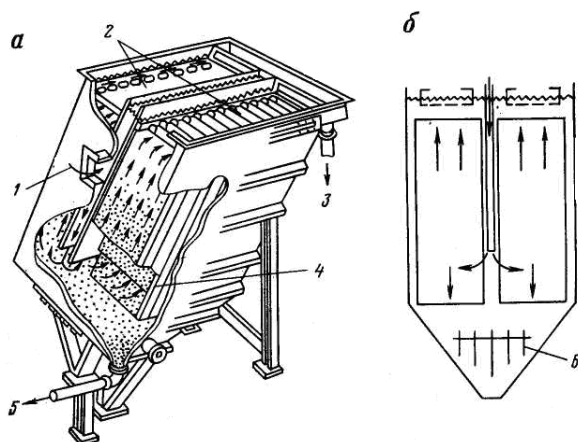
Тақташалы қойылдырғыш (3.8-сурет) құрылымы камералы болып жасалынған, оған бастапқы пульпа қабылдаушы терезе 1 арқылы түсіріледі. Камерада параллельді тақташалар 4 орнатылған, олардың бір-бірінен арасы 50–70 мм, ал көлбеулігі $40\text{--}60^\circ$ құрайды. Тақташалар камераға кірген пульпа ағынын жеке ламинарлы қозғалыстағы ағын бөліктеріне бөліп соның нәтижесінде қатты зат түйіршіктерінің шөгу жолын қысқартуға мүмкіндік туғызады. Сусыздандырудың жалпы ауданы, бүкіл тақташалардың горизонтальді аудандар қосындысына тең.

Қаттыдан бөлінген сұйық камераға 2 түсіп, одан қойылдырғыштан құбыр 3 арқылы шығарылады. Қатты зат түйіршіктері, ағынның тақташалар арасында қозғалу кезінде, көлбеу тегістікте шөгіп тақташалар бетімен сырғып қойылдырғыштың трапециялық бөлігінде жиналады. Қойылдырылған өнім құбыр 5 арқылы шығарылады.

Шығарушы құбырда тығыздалынған өнім кептелініп қалмау үшін аппараттың трапециялық бөлігінде арнаулы дірілдеткіш 6 орнатылған. Жұмыс істеу принципіне байланысты, тақташалы қойылдырғыштар келесідей боп бөлінеді: тура ағынды кері ағынды және көлденең ағынды. Қойылдырғыштар, қойылдыру ауданы 50; 100; 200 және 1000 м^2 тең боп жасалынады.

Тығыздығы өте төмен пульпалардан қатты фазаны бөлу үшін *шламды шөгілдіргіштер* қолданылады. Олар пішіні түзу

бұрышты, үлкен көлемді бассейндер ретінде жасалынады. Шламды шөгілдіргіштер негізінде көмір байытатын фабрикаларда қолданыс тапқан.



3.8-сурет. Тақташалы қойылдырғыш:

а- жалпы көрінісі; б- жұмыс істеу схемасы

1-қабылдаушы терезе; 2-камера; 3-құбыр; 4-параллельді тақташалар;

5- өнім құбыры; 6- арнаулы дірілдеткіш

4. СҮЗУ ҮРДІСІМЕН СУСЫЗДАНДЫРУ

4.1. Сүзу үрдісінің негізі

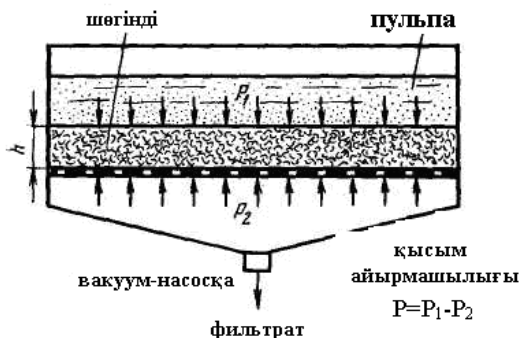
Сүзу – деп қатты заттан суды ұсақ саңлаулы (кеуекті) қалқадан өткізу арқылы бөлуді атайды. Судың қалқадан өтуін жылдамдату үшін қалқаның екі жағында қысым айырмашылығы тудырылады.

Қысым айырмашылығын жасау екі әдіспен атқарылады. Бірінші әдіс: қалқаның бір жағында ауа қысымы төмендетіледі (вакуум), екінші жағында атмосфералық қысым сақталады. Екінші әдіс: қалқаның бір жағында атмосфералық қысымнан артық қысым тудырылады.

Бөлініп алынған су ағызынды (фильтрат) деп, ал сүзілген зат сүзінді (кек) деп аталады. Ұсақ саңлаулы қалқа ретінде әр түрлі табиғи маталар, синтетикалық маталар не металды торлар қолданылады.

Сүзуге қолданылатын аппараттарды *сүзгіштер* деп атайды. Егерде қалқаның екі жағындағы қысым айырмашылығы вакуум (ауаның сиреуі) арқылы жүргізілсе немесе артық қысым тудырылса, онда бірінші жағдайда сүзу үшін *вакуум-сүзгілер*, ал екіншісінде *пресс-сүзгілер* қолданылады.

Сүзу келісідей болып атқарылады. Пульпа (суспензия) сүзгіштің сүзуші бетіне беріледі. Вакуум немесе артық қысым әсерімен пульпадағы су қатты зат сүзіндісінен және сүзуші қалқа бетінен сүзіліп өтеді (4.1-сурет) қалқа бетінде жеткілікті сүзінді қабаты жиналғаннан кейін пульпаның сүзуші бетіне берілуі тоқтатылады да, ары қарай сүзінді бір уақыттай ауа ағынында құрғатылады, сонан соң ол сүзуші беттен сыпырылып алынады.



4.1-сурет. Сүзу үрдісінің сұлбасы

Сүзінді қабатындағы қысым айырмашалығы *вакуум-сүзгілерде* – вакуум сорғымен, ал *пресс-сүзгілерде* – компрессормен жүргізіледі.

Қысым айырмашылығы арқылы пульпадағы судың сүзілуі, жер қабаты кеуектеріндегі судың сүзілуіне сәйкестігі Дарсидың гидродинамикалық заңдылығымен анықталады (2 тараудағы (2.1.2), (2.1.4) формулалары).

Аталған үрдіс сүзу жылдамдығымен, қалқаның кеуектілігімен, сүзіндінің гранулометриялық құрамы және оның физикалық қасиетімен сипатталады.

Сүзіндінің екі түрін айыруға болады – сығылатын және сығылмайтын. Сығылмайтын сүзінділердің құрылымы негізінде түйіршікті немесе кристалдық боп келеді және сүзілу кезінде өзінің нықтылығымен кеуектілігін сақтайды. Сығылмайтын сүзінділерге суланған көп байыту өнімдері жатады. Олар жақсы сүзіледі сондықтан олардың ақырғы ылғалдылығы төмен болады.

Сығылатын сүзінділерге негізінде құрылымы коллоидты заттар, мысалы, топырақтар жатады. Бұндай сүзінділер қысым әсерімен өздерінің кеуектілігін сақтай алмауынан нашар сүзіледі.

Сүзу үрдісінің теориялық негізі сығылмайтын сүзгілерге сай боп қарастырылады. Сүзілген судың-филтраттың көлемі және сүзу жылдамдығы Дарси заңына сәйкес келесі тәуелділіктермен сипатталады:

$$V = K_{\phi} F \frac{\Delta p}{\gamma h}, \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (4.1.1)$$

мұндағы K_{ϕ} – сүзу коэффициенті, м/сек; F – сүзуші беттің толық ауданы, м^2 ; Δp – сүзуші қалқаның екі жақ бетіндегі қысым айырмашылығы, $\text{кг}/\text{м}^2$; γ – сұйықтың (судың) үлесті салмағы, $\text{кг}/\text{м}^3$; h – сүзінді қабатының биіктігі (қалыңдығы), м.

Судың сүзінді қабатынан және сүзу бетінен сүзілуін, оның жұқа капиллярды түтікшелер арқылы ағуымен салыстыруға болады. Сондықтан осындай капиллярды түтікше кесіндісінен ағып өткен судың көлемін Пуазейль заңдылығына сәйкес төмендегі тәуелділікпен көрсетуге болады:

$$V_{\kappa} = \frac{\pi}{128} \frac{\Delta p d^4}{l \mu}, \quad (4.1.2)$$

мұндағы Δp – түтікшенің кіре берісіндегі және шығар жеріндегі қысым айырмашылығы; d – түтікше диаметрі, м; l – түтікше ұзындығы, м; μ – сұйықтың (судың) тұтқырлығы, Па·с.

Судың капилляры түтікшеден шығу жылдамдығын (4.1.2) теңдеуді ескере отырып келесі қатынастан табуға болады:

$$W = \frac{V_{\kappa}}{F} = \frac{4V_{\kappa}}{\pi d^2} = \frac{\Delta p d^2}{32 l \mu}, \text{ м/сек}, \quad (4.1.3)$$

мұндағы F – капиллярлы түтікше кесіндісінің ауданы $\frac{\pi d^2}{4}$ тең, теңдеудегі мәндер: $\frac{d^2}{32 l} = \frac{1}{R}$ немесе $\frac{32 l}{d^2} = R$ капиллярлы түтікшедегі судың қозғалуына әсер ететін қысымды сипаттайды. Пуазейль заңы жалпы түрде мына теңдеу арқылы анықталады:

$$W = \frac{\Delta p}{\mu R} \quad (4.1.4)$$

Пульпаларды (суспензияларды) сүзуде пайда болатын кедергі (R) сүзінді және сүзгіш қалқан бетінің қысымдарынан тұрады:

$$R = \tau_o h + \rho_o, \quad (4.1.5)$$

мұндағы r_o – бірлік сүзінді көлемінің үлесті кедергісі;
 h – сүзгіш қалқа бетіндегі сүзінді биіктігі (қалыңдығы);
 ρ_o – сүзгіш қалқа бетінің бірлік ауданының кедергісі.

(4.1.5) теңдеудегі R мәнін (4.1.3) теңдеуге кіргізсек, онда пульпаларды (суспензияларды) сүзудегі, судың сүзілу жылдамдығын анықтайтын теңдеуді аламыз:

$$W = \frac{\Delta p}{\mu R} = \frac{\Delta p}{\mu(r_o h + \rho_o)} \quad (4.1.6)$$

$$\text{және} \quad W = \frac{dV_K}{F dt}, \quad \text{бұдан} \quad \frac{1}{F} \frac{dV_K}{dt} = \frac{\Delta p}{\mu(r_o h + \rho_o)}$$

$$\text{және} \quad \frac{dV_K}{dt} = \frac{\Delta p F}{\mu(r_o h + \rho_o)}, \quad (4.1.7)$$

мұндағы $\frac{dV_K}{dt}$ – бірлік уақытында сүзіліп өткен су (фильтрат) көлемі, см³/сек.

Сүзінді биіктігін (қалыңдығын) h келесі қатынастан анықтауға болады: $h = \frac{a V_K}{F}$,

мұндағы – a – фильтраттың бірлік көлеміндегі сүзіндінің көлемі.

(4.1.7) теңдеуге h мәнін енгізумен табатынымыз :

$$\frac{dV_K}{dt} = \frac{\Delta p F^2}{\mu(r_0 a V_K + \rho_0 F)}, \quad (4.1.8)$$

Қысымның (Δp) тұрақты мәнінде (4.1.8) теңдеуді интегралдау арқылы алатынымыз:

$$t = \frac{\mu r_0 a}{2 \Delta p F^2} V_K^2 + \frac{\mu \rho_0}{\Delta p F} V_K, \quad (4.1.9)$$

$$\frac{t}{V_K} = \frac{\mu r_0 a}{2 \Delta p F^2} V_K + \frac{\mu \rho_0}{\Delta p F}. \quad (4.1.10)$$

Соңғы (4.1.10) теңдеу $\frac{t}{V_K} = f(V_K)$ түзу сызықты функцияның төмендегі түрін анықтайды:

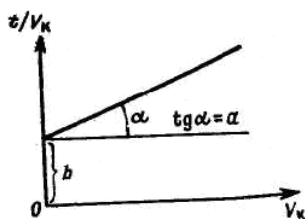
$$y = ax + b, \quad (4.1.11)$$

мұндағы $a = \frac{\mu r_0 a}{2 \Delta p F^2}$ – сүзу қисығының тангенстік көлбеу

бұрышы; $b = \frac{\mu \rho_0}{\Delta p F}$ – ординаты осіндегі қисық сызық кесіндісі.

Сүзу графигін (4.2-сурет) тұрғызу арқылы a және b мәнін анықтауға болады. Негізінде олардың шамалары зертханалық сүзу қондырғысында тәжірибелік түрде анықталады, a және b мәндерін білу негізінде үлесті кедергілер r_0 және ρ_0 келесі теңдеулерден табылады.

$$r_0 = \frac{2 \Delta p F^2 \cdot a}{\mu \cdot a} \text{ және } \rho_0 = \frac{\Delta p F \cdot b}{\mu} \quad (4.1.12)$$



4.2-сурет. Сүзу графигі

4.2. Сүзу үрдісінің тиімділігін анықтайтын факторлар

Сүзу үрдісіне әр түрлі факторлар әсер етеді: бастапқы пульпадағы қатты және сұйық фазаларының химиялық қасиеттері, сүзуші қалқаның қасиеттері, сүзгіш қалқаның екі жағындағы қысым айырмашылығы, сүзілетін материалдарды беттік активті заттармен өндеу, барабандардың (дискілер) айналу жиілігі, сүзінді жинау мен құрғату аймақтарының қатынасы, сүзінді құрылымы, оның қалыңдығы, сүзу құрал-жабдықтарының озықтығы. Пульпаның физикалық-химиялық қасиетіне жататындар: қатты фазаның құрамы, пульпадағы С:Қ қатынасы, қатты зат беттерінің физикалық-химиялық қасиеттері, олардың кеуектілігі. Қатты фазаның гранулометриялық құрамы – сусыздандыру үрдістеріне, оның ішінде сүзу үрдісіне үлкен әсерін тигізеді. Сусыздандыру тиімділігі қатты зат түйіршіктерінің ірілігі артқан сайын өседі. Сусыздандыру үрдісіне қатты зат бетінің қасиеті, яғни оның молекулалары мен сұйық (су) молекулаларының өзара әсерлесуі ең негізгі фактор болып табылады және ол сусыздандыру тиімділігін анықтайды. Сонымен қатар, сұйық фазаның физикалық-химиялық қасиеттері – оның тұтқырлығы, қатты зат түйіршіктерінің бетіне жұғу қабілеті және т.б. сүзу үрдісіне едәуір әсерін тигізеді. Филтраттың тұтқырлығы өскен сайын сусыздандырудың тиімділігі төмендейді, демек сүзінді қабатының және сүзгіш қалқаның кедергісі көбейеді.

Сүзгіш қалқаның екі жақ бетіндегі қысым айырмашылығы (Δp) сүзу нәтижесіне үлкен әсер етеді. Вакуумның мөлшері 0,4-тен 0,8 бірлікке дейін ($404 \cdot 10^2 - 808 \cdot 10^2$ Па) өсуі сүзінді ылғалдылығын 2–3%-дейін төмендетеді, ал вакуумның ары қарай өсуі айтарлықтай нәтиже бермейді. Вакуумның төмен түсіп кету себебі–сүзгіш матаның жыртылуы, вакуум жүйесінің ақауы, вакуум құбырындағы қосушы фланецтердің мықты болмауы. Сығылатын заттарды сүзуді, вакуумның өсуі, сүзінді қабаттарының кеуектілігін төмендетеді, соның нәтижесінде сусыздандыру үрдісіне кері әсерін тигізеді.

Сонымен қатар сүзгіш мата бетіндегі сүзінді құрылымы сусыздандыру үрдісіне өзінің әсерін тигізеді. Сығылмайтын сүзінділер үшін ең оңтайлы құрылым боп саналатын, ол ірі түйіршіктердің сүзгіш қалқаның ішкі бет қабатында, ал майдаларының жоғары қабаттарында болуында. Осы жағдай сүзу үрдісі ішкі бетінде жүргізілетін вакуум-сүзгіштерде, таспалы сүзгіштерде және план-сүзгіштерде орындалады. Сүзінді қабатының қалыңдығы кептіру кезіндегі кішіреюінде жарықтар пайда болуы мүмкін, олар ауа шығынын 10 есе және одан да жоғары өсіріп жібереді. Жарықтардың санымен мөлшерін төмендетуге болады: пульпаны сүзу алдында магнитсіздендірумен (магнетит концентраттарын), пульпаны шламсыздандырумен (<5 мкм іріліктегі түйіршіктерді бөлу), сүзгіш мата бетінде оңтайлы сүзінді қалыңдығын қалыптастыру арқылы, сүзгіш мата бетінің қатпарлауын жою жолдарымен. Сүзіндіні жинау аймағында вакуум мөлшерін азайту, керісінше, кептіруде оны жоғарылату арқылы сүзу процесін жақсартуға болады. Өйткені кіші вакуумда сүзіндінің кеуектілігі жоғары болады соған сәйкес одан фильтрат жақсы шығарылады.

Беттік активті заттар (БАЗ) қолдану арқылы сүзу үрдісін қарқындатуға болады. БАЗ қатты-сұйық фазалар аралығында адсорбцияланып сусызданылатын қатты зат түйіршіктерін гидрофобизациялайды, яғни олардың сумен әрекеттесуін төмендетіп, судың (фильтраттың) қатты фазадан бөлінуін жеңілдетеді.

Вакуум-сүзгіш дискаларындағы сүзінді қабатын немесе пульпаны сүзу алдында құрғақ бумен қыздыру арқылы, сүзінді ылғалдығын айтарлықтай төмендетуге және сүзу үрдісін жеделдетуге болады. Әдетте, пульпаны былай өңдеу өте қымбатқа түседі, сондықтан вакуум-сүзгіш дискаларындағы сүзіндіні бумен қыздыру-құрғату аймағында жүргізіледі. Ол үшін қыздыру учаскесі арнаулы қалқалаумен жабылады. Осы жағдайда будың артық қысымы 10^5 Па құрайды, ал оның температурасы 110–120 °С. Темір концентратын сүзуде құрғатылған буды қолданумен ылғалдылықты 2–4 % төмендетуге және сүзгіштің өнімділігін 15% өсіруге болады.

4.3. Сүзгіш маталардың негізгі түрлері

Сүзу үрдісінің тиімділігі көп жағдайда сол үрдісте қолданылатын сүзгіш қалқаға, яғни сүзгіш матаға тәуелді болады [9].

Сүзгіш маталар негізгі қажетті қасиеттерімен анықталады: жоғарғы сүзгіш және ауа өткізуші қабілеттілігімен, ең төменгі гидравликалық кедергілігімен, суспензия қатты заттарын өз бетіне ұстап қалу дәрежесінің жоғарылығымен, бұралуға және тартылуға лайықты жоғарғы төзімділігімен, қажетті химиялық тұрақтылығымен, сүзгіш қасиеттерін тез арада қайта қалпына келтіру мүмкінділігімен, қолдану мерзімінің ұзақтығымен. Байыту фабрикаларының тәжірибесінде келесі сүзгіш маталар қолданылады: мақта-маталы фильтродиагональ, фильтробельтинг, фильтромиткаль; металдық сүзгіш маталар-қалайы, темірболат және қола сымдарынан тоқылған торлар; синтетикалық сүзгіш маталар-капрон, нейлон және лавсан талшықтарынан тоқылған маталар.

Мақта-маталы сүзгіш маталар сапа жағынан барлық басқа маталардан біршама төмен, олардың қолдану мерзімі төмен, қышқылдар және сілтілер әсерінен тез уақытта істен шығады, ұсақ қатты зат түйіршіктерімен тез арада бітеліп қалады, тозуы тез. Мақтадан жасалған маталардың қолдану мерзімі 200–300

сағат. Қалайы, қола және болатты торлар көмір шламдарын сусыздандыруда кеңінен қолданылады. Олар макта-маталарымен салыстырғанда кейбір артықшылығы болса да, сондай-ақ кемшілігі де бар: қолдану мерзімі 1,5–2 айдан аспайды (600–100 сағат), бұл көрсеткіш көмір шламдарын сусыздандырғанда, ал тау-кендерін сусыздандырғанда одан да төмен, жұмыс кезіндегі тордың зақымдануы көп кездесіп тұрады, соның негізінде оны жөндеу және қалпына келтіру қажеттігі туады; торлардың жасалынған заттарға байланысты, оның құндылығы; қышқылдармен сілтілердің оған әсер етуі.

Ең оңтайлы боп саналатыны, ол синтетикалық сүзгіш маталар, олар сүзу үрдісінің технологиялық көрсеткіштерін едәуір жақсартады. Көмір шламдарын сусыздандыруда синтетикалық маталардың пайдалану мерзімі 8–9 ай (4000–4500 сағат) және тау-кендерін сусыздандырғанда 800–1000 сағат.

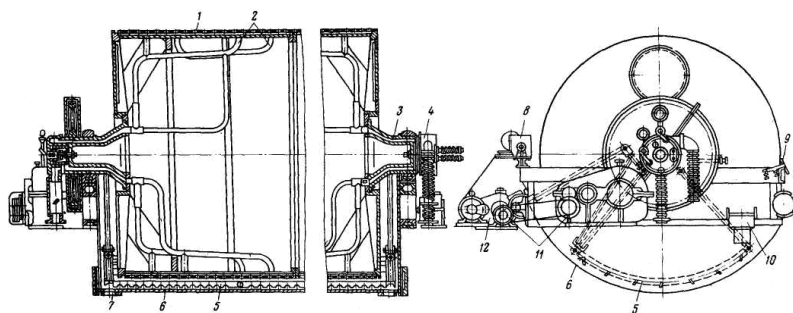
Сүзу үрдісінде қолданылатын сүзгіш маталарды қалай пайдаланатынын және регенерациялауының (қайта іске қосу) қалай атқарылатыны арнаулы нұсқауларда келтірілген.

4.4. Сүзу үрдісінде қолданылатын сүзгіштер

4.4.1. Вакуум-сүзгіштерде сүзу

Байыту фабрикаларында негізінде әр түрлі кен суспензияларын сусыздандыруда *вакуум-сүзгіштер* кеңінен қолданылады [3, 6, 8]. Темір және көмір өңдейтін фабрикаларда көбінде дискалы вакуум-сүзгіштер. Түсті және сирек металды кендерді, сонымен қоса металды емес пайдалы қазбаларды өңдейтін фабрикаларда дискалы сүзгіштермен қатар барабанды вакуум-сүзгіштер қолданылады. Апатит және фосфорит кендерін байытатын фабрикаларда ішкі сүзу бетті барабанды вакуум-сүзгіштерді қолдану кеңінен тараған. Кейбір өндіріс орындарында таспалы вакуум-сүзгіштер қолданыс тапқан.

Барабанды вакуум-сүзгіштер сыртқы және ішкі сүзу бетті болып бөлінеді. Көбінде біріншілері қолданылады. Сыртқы сүзу бетті барабанды вакуум-сүзгіш (4.3-сурет) жартылай ойыңқы пульпалы ваннаға батырылған барабаннан, қысылмалы ауамен вакуумды реттегіш қондырғыдан, араластырғыштан, сүзіндіні барабан бетінен бөліп алушы құрылғыдан және барабан мен араластырғыш жетектерінен тұрады.

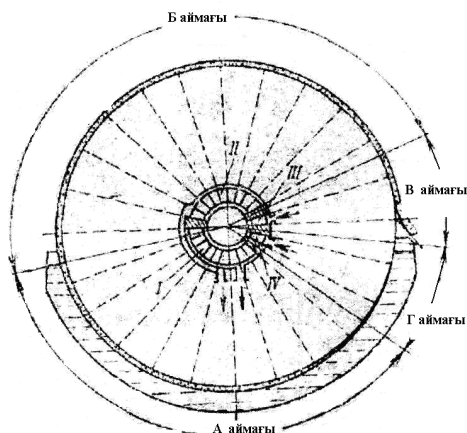


4.3-сурет. Сыртқы сүзу бетті барабанды вакуум-сүзгіш:
1-барабан; 2-ағызынды шығаратын құбырлар; 3-цапфа; 4-қысым және вакуумды реттегіш қондырғы; 5-араластырғыш; 6-ванна; 7-люк; 8-сым ораушы құрылғы; 9-сыдырғыш пышақ; 10-пульпа деңгейін реттейтін терезе; 11,12-кезегімен барабан және араластырғыш жетектері

Барабан ваннаға орнатылған қуыс шойын цапфа подшипниктерінде айналады. Барабан бетінде оның ұзын бойына қырлар орнатылған. Сол қырларды орай ірі тесікті тор, ал тор үстіне сүзгіш мата тартылған. Сүзгіш мата барабан бетіне сымдармен оралып бекітіледі. Екі қыр аралары бір-бірімен қатысы жоқ секциялар құрайды. Әр секция барабан бетіндегі тесік және түтік арқылы орталық вал ұшына орнатылған ауаның қысыммен берілуін не сорылуын реттейтін қондырғымен жалғасқан. Оның жалғасу схемасы 4.4-суретте көрсетілген.

Барабан айналғанда (4.4-сурет) әр секция вакуум және қысым аймағынан өтеді. А аймағында барабан секциялары I

камерамен жалғасады, соңғысы шығарушы құбырлар арқылы вакуум қондырғысымен байланысқан. Осы аймақта сүзінді қалыптасады да, ағызынды сорылады. Барабан секциялары Б аймағында II камерамен жалғасады, соңғысы және вакуум қондырғысымен байланысқан. Осы аймақта вакуум әсерімен сүзіндіде қалған су тартылып, сусыздануы арта түседі.



4.4-сурет. Барабан секцияларының қысымды және вакуумды реттегіш қондырғының камераларымен байланысу сұлбасы

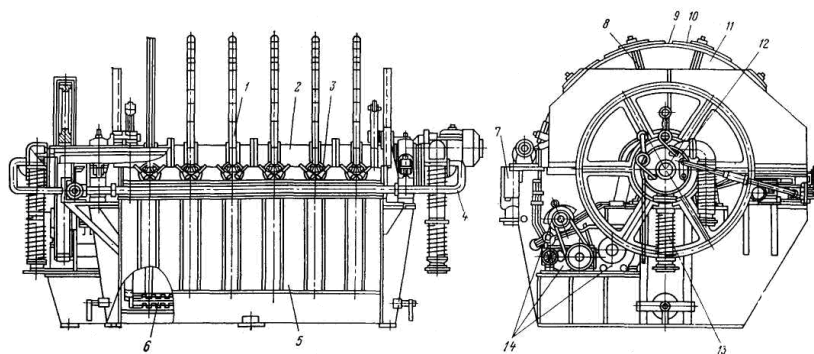
В аймағында барабан секциялары III камерамен жалғасқан, оған қысым беріледі (ауа арқылы). Соның әсерінен сүзгіш мата бетінде сүзінді қопсып босайды да бөлек алынады. Г аймағында барабан секциялары IV камерамен жалғасады, оған қысылған ауа немесе бу беріледі. Осы аймақта қысым күшімен мата тесіктері жабысқан заттан тазартылады.

Барабанды вакуум-сүзгіштердің артықшылығына жататындар: құрылымы мен қолдануы қарапайымдылығы, сүзіндіні жинау және құрғату зоналар қатынасын реттеу мүмкіншілігі, жарылып кететін сүзінділерді тиімді түрде сусыздандыру. Артықшылығымен қатар, мұндай сүзгіштердің

айтарлықтай кемшілігі де бар: сүзу бетінің аздығына карамастан, олар орнатуға үлкен көлемді және ауданды қажет етеді. Сүзгіш маталарды барабан бетіне бекітуге және жыртылғанда ауыстыруға ұзақ уақыт қажет. Сондықтан, соңғы кездерде пайдалануға көбіне дискалы вакуум-сүзгіштерді қолданады.

Дискалы вакуум-сүзгіштер. Дискалы вакуум-сүзгіштердің жұмыс істеу принципі барабанды сүзгіштердің жұмысына ұқсас, ал конструкциялық құрылымы барабанды-сүзгішке қарағанда өзгеше болып келеді.

Дискалы вакуум-сүзгіштің (4.5-сурет) дискаларының 1 төменгі жартысы ваннаға 5 орналасқан. Әр диска іші қуыс он екі секторлардан 9 құралған. Сектор беттері тесікті немесе жырықты болып жасалған және беті сүзгіш матамен қапталған. Секторлар ұялы қуыс білікке (валға) спицтермен 8, сонымен қоса басқыштармен 10 бекітілген. Дискалардың секторлары біліктің каналдарымен жалғасқан. Олардан білік ұшында орнатылған ауаны қысыммен берілуін не сорылуын реттейтін қондырғымен 12 (бір немесе екеу) ауа сорылып, соған сәйкес секторларда вакуум пайда болады. Сүзгіштің қуыс білігі цапфаларда бекітілген.



4.5-сурет. Алты дискалы вакуум-сүзгіш

Қондырғы 12 саны дискалардың санына қарай өзгереді, егер дискалар саны бестен төмен болса, онда сүзгіште бір қондырғы, ал дискалар саны алтыдан асса – екі қондырғы болады. Қондырғы вакуум жүйесіне иілгіш шланг 13 арқылы жалғасқан.

Біліктің дискалармен бірге айналуы жетекпен 14 атқарылады. Вакуум-сүзгіш, секторлар беттерінен жиналған шөгіндіні түсіруге пышақтармен 3, ваннадағы пульпаны араластыруға арналған араластырғышпен 6, артық пульпаны ваннадан шығаратын науамен 7 және сығылған ауа құбырымен 4 жабдықталған.

4.1-кесте

Барабанды вакуум-сүзгіштердің техникалық сипаттамасы

Параметрлері	Сүзгіштердің түрі			
	БОУ5-1,8	БОУ10-1,8	БОУ20-2,6	БОУ40-3
Сүзу ауданы, м ²	5	10	20	40
Барабан диаметрі, м	1,8	1,8	2,6	3
Барабанның айналу саны, мин ⁻¹	0,6-12,4	0,6-12,4	0,6-12,4	0,6-6,2
Электрқозғалтқыштың қуаты, кВт	2,2	3,3	4,0	8,0
Сүзгіштің массасы, т	5,7	8,8	13,6	14,2
Сүзгіштің негізгі өлшемдері, мм:				
ұзындығы	2930	3295	4725	3665
ені	2600	3360	3360	4204
биіктігі	2350	3290	3178	6460

Вакуум-сүзгіш келесідей болып жұмыс істейді. Бастапқы пульпа ваннаға келіп түседі және осы уақытта ваннадағы дискалардың қабырға беттеріне вакуум әсерінен шөгінді жинала бастайды. Дискалардың ваннадан шығу кезінде шөгінді сорылған ауа арқылы құрғатылады. Шөгіндінің жиналу және құрғатылу уақыты біліктің айналу жиілігіне тәуелді болады. Сусыздалынған шөгіндіні дискалардан түсіру, құрғату

фазасының аяғында кенеттен қысымды ауаны беру (үрлеу) арқылы жүргізіледі. Ауа қысымы дискалар бетіндегі шөгіндіні қопсытып, олардың бөлініп түсуін тездетеді. Осыдан кейін сүзуші мата регенерацияланады (шайылады). Сүзудің толық циклы біліктің бір айналымында атқарылады.

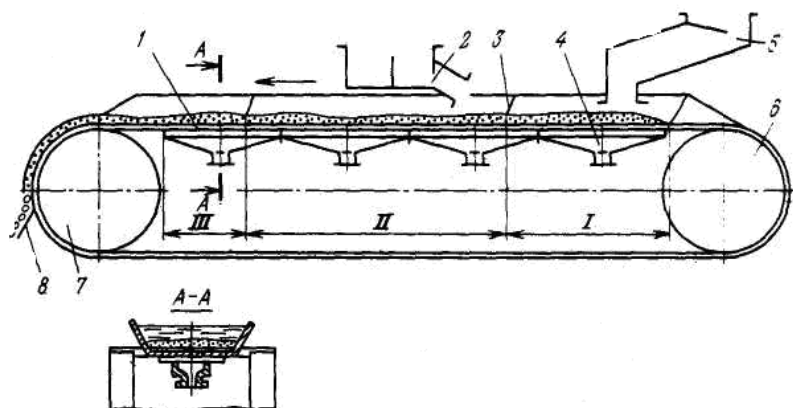
Ауаның қысыммен берілуін не сорылуын реттейтін кондырғы фильтратты және сорылған ауаны сүзгіштен шығаруға, сондай-ақ шөгіндіні қысылған ауамен үрлеуге және матаны регенерациялауға қызмет етеді.

4.2-кесте

Дискалы вакуум – сүзгіштердің техникалық сипаттамасы

Параметрлері	Сүзгіштердің түрі				
	ДУ51- 2,5	ДУ68-2,5	ДУ100-2,5	ДУ140-3,5	ДУ250-3,75
Сүзу ауданы, м ²	51	68	100	140	250
Дискі диаметрі, м	2,5	2,5	2,5	3,5	3,75
Дискалар саны	6	8	12	10	14
Дискалардың айналу саны, мин ⁻¹	0,18-0,9	0,18-0,9	0,18-0,9	1,0-2,5	0,3-1,2
Электрқозғалтқыштың қуаты, кВт	3	3	4	6	8,5
Сүзгіштің массасы, т	10,1	12,0	16,9	29,4	35,1

Таспалы вакуум-сүзгіштер. Кейінгі кезде тез шөгілетін ірі түйіршікті суспензияны сүзу үшін таспалы вакуум-сүзгіштер (4.6-сурет) қолданыла бастады. Ол таспалы конвейерге ұқсас, ірі тесікті таспа беті сүзгіш матамен қапталған. Суспензия таспа бетіне түседі. Вакуум камерасы таспа астында орналасқан. Оған берілетін вакуум шамасы 40 кПа дейін болады. Сүзілуге түсегін пульпа таспа бетіне керуші барабан жағынан беріледі. Зат таспа бетімен тасымалдану кезінде сусызданып, ал сүзінді таспадан түсіп, бөлініп алынады.



4.6-сурет. Таспалы вакуум-сүзгіштің сұлбасы:

I-III-кезегімен сүзу, шаю, кептіру аймақтары:

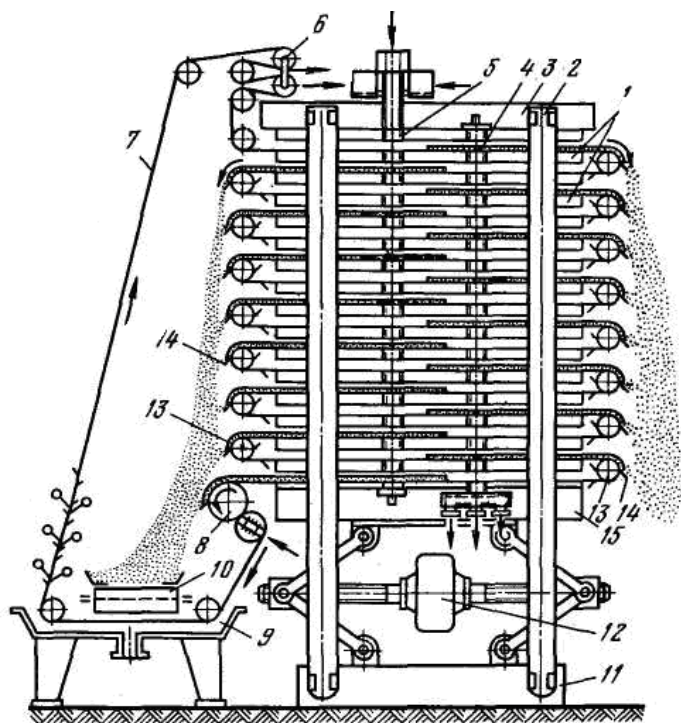
1-резина-маталы таспа; 2-шаю сұйықтығының науашығы;
3-аймақтарды шектейтін қалқалар; 4-вакуум-камера; 5-пульпа түсетін науашық; 6,7-кезегімен жетекші және кергіш барабандар;
8-сыпырғыш пышақ

4.4.2. Пресс-сүзгіштерде сүзу

Қиын сүзілетін суспензияларды сусыздандыру, сүзу процесін артық қысыммен атқаратын-пресс сүзгіштерде жүргізіледі. Пресс-сүзгіштердің әр түрлі конструкциялары белгілі. Олар негізінде химиялық өндірісте қолданылады. Байыту фабрикаларында қазіргі кезде қолданылатын пресс-сүзгіштердің ішінде ең көп тарағаны ФПАК түрді сүзгіштер.

Камералық пресс-сүзгіш ФПАКМ (4.7-сурет) сүзгіш плиталардан (1) жоғарғы тіреуіш (3) және төменгі тіреуіш (15) плиталардан тұрады. Сүзгіш плиталар арнаулы қысып буушы құрылғы (2) арасында орналасқан. Сүзгіш плита жоғарғы және төменгі рамалардан тұрады. Жоғарғы сүзуші раманың беті жырықты тормен қапталған және ол фильтрат шығарушы камера болып келеді. Төменгі рама, плиталар қысылғанда сүзуші камера рөлін атқарады, сүзгіш раманың астыңғы

кабатында иілімді диафрагма орнатылған және оған қысыммен ($15 \cdot 10^5$ Па) су берілгенде ол сүзіндіден ылғалды шығару үшін қолданылады. Пресс-сүзгістің екі коллекторы (4 және 5) бар, олардың ішінде біреуі суды және ауаны шығару үшін, ал екіншісі бастапқы пульпаны, шаюшы суды және ауаны сүзгішке беруге негізделген. Камералардың тесіктелінген беттері сүзуші матамен (7) қапталған және олар шексіз таспа құрайды, таспа тартушы құрылғымен (6) және оны қозғалтатын жетекпен (8)

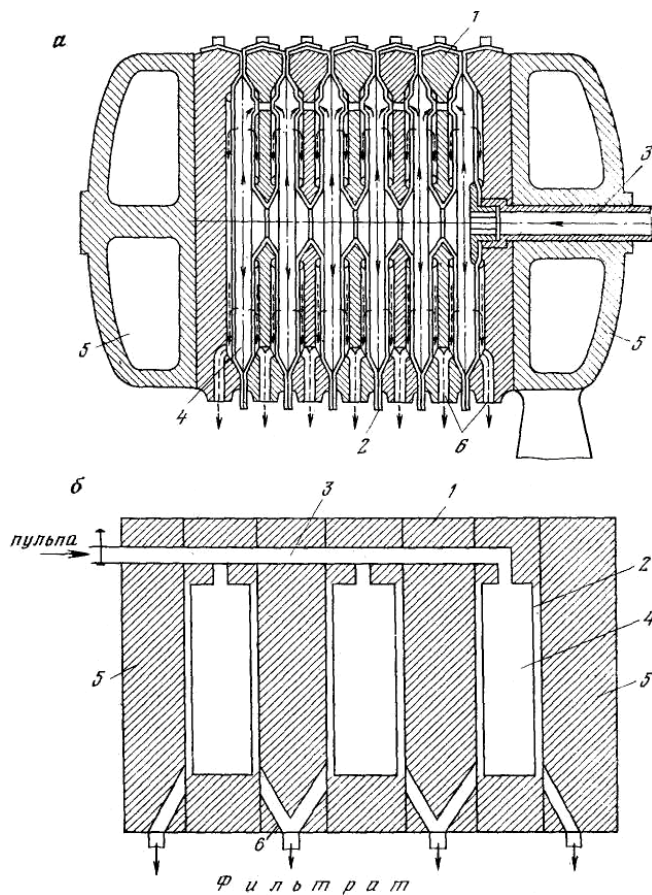


4.7-сурет. Камералық пресс-сүзгіш ФПАКМ

жабдықталған, таспа регенерациялау камерасында (9) сумен шайылып, қалпына келтіріліп содан қайтадан іске қосылады. Сүзу камерасында таспа бетіне шөккен шлам (сүзінді) таспаның роликтермен жылжу кезінде пышақпен (13) қырылып алынғаннан кейін конвейерге (10) түсіріледі. Сүзу қондырғысы рамаға (11) бекітілген. Сүзгіштің жұмыс циклы келесідей болып атқарылады. Электрмеханикалық қысқышпен (12) сүзуші плиталар қысыла бастайды да коллектор (5) арқылы бастапқы пульпа беріледі. Фильтрат сүзгіш матадан өтіп камераға түседі де одан коллектор (4) арқылы шығарылады, ал қатты зат түйіршіктері мата бетіне шөгіп, сүзінді қалыптасады, сүзінді ары қарай сумен шайылады да (егерде қажет болса) диафрагма арқылы сығылып, ауамен құрғатылады. Осыдан кейін плиталар бір-бірінен ажыратылып, сүзінді таспа арқылы камерадан шығарылып содан соң конвейерге (10) түсіріледі.

Қалдықтарды және ұсақ шламдарды сусыздандыруда камералық пресс-сүзгіштер кеңінен қолданылады. Олардың сүзгіш плиталары кедір-бұдырлы боп келеді. Суспензия плиталарға, оның орталық тесіктерінен беріледі және іш жақ беттері сүзгіш матамен (перлон, нейлон ж.т.б.) қапталған (4.8 а-сурет). Плиталар алюминий құймаларынан, шойыннан, пластмассадан, ағаштан жасалған. Плиталарды жинағанда олардың арасындағы пакетте камералар пайда болады, соңғыларына суспензия түсіріледі. Сұйық, сүзгіш матадан өтіп фильтрат камерасына түсіп содан сүзгіштен аластатады. Сүзінді камераларды толтырады да қысылмалы ауамен құрғатылып, сонан соң плиталар бір-бірінен ажырағаннан кейін түсіріледі. Пресс-сүзгіштің жұмысын басқару автоматтандыру жүйесінде атқарылады. Сүзгіш бет $100\text{--}400\text{ м}^2$ құрайды, плиталар саны 50-ден 100-ге дейін, өлшемдері $1,0 \times 1,0$; $1,22 \times 1,22$; $1,32 \times 1,32$ және $1,5 \times 1,5$ м. Суспензия насосар арқылы артық қысыммен $(10\text{--}15) \cdot 10^5$ Па беріледі. Пресс-сүзгіштің өнімділігі 7.6-дан $17,5\text{ кг/сағ } 1\text{ м}^2$ ауданына қарасты боп келеді, сүзінді ылғалдылығы $W^P = 19 \div 25\%$ (көмір үшін). Рамалық пресс-сүзгіштің камералықтан айырмашылығы, ол сүзгіш плиталардың орнына

вертикальді боп аралас орналасқан плиталар және рамалармен жабдықталған (4.8 б-сурет).



4.8-сурет. Пресс-сүзгіштер:

а-камералық: 1-плиталар; 2-сүзгіш мата; 3-суспензия берілетін ойық;
4-камералар; 5-сығушы плиталар; 6-фильтратты шығару;
б-рамалық: 1-плиталар; 2-рамалар; 3-сүзгіш мата; 4-тіреуіш
плиталар; 5-қысым плитасы

4.5. Вакуум – сүзгіштерді есептеу

Сүзгіштердің өнімділігі (т/сағ) төмендегідей формуламен анықталады:

$$Q = q / F , \quad (4.5.1)$$

мұндағы q – үлесті өнімділік, т/(м² сағ), анықтама бойынша қабылданады; F – сүзуші бет, м².

Өнімділік бойынша таңдалынып алынған сүзгіштің сүзу бетін F_c білу негізінде қажетті сүзгіштер сандары былай анықталады:

$$N = \frac{Q}{qF_c} . \quad (4.5.2)$$

Сүзгіштердің үлестік өнімділігі q үлкен шекте өзгереді де және көп факторларға тәуелді болады. Сондықтан оны дұрыс таңдаудың маңызы зор. Әр түрлі вакуум-сүзгіштердің үлестік өнімділігі 4.3-кестеде келтірілген.

4.3-кесте

Вакуум-сүзгіштердің үлестік өнімділігі

Сүзуге түсетін бастапқы өнім	Үлестік өнімділік, т/ (м ² сағ)	Вакуум-сүзгіштің түрі
Ұсақ көмір шламы	0,2–0,3	Дискалы
Көмірдің флотациялық концентраты	0,3–0,5	Дискалы
Ірі көмір шламы	0,5–1,0	Дискалы
Флотациялық концентраттар:		
мыс концентраты	0,1–0,2	Дискалы, барабанды
қорғасын концентраты	0,1–0,2	Дискалы, барабанды
мырыш концентраты	0,2–0,4	Дискалы, барабанды

4.3-кестенің жалғасы

пирит концентраты	0,3–0,4	Дискалы, барабанды
Қойылдырылмаған апатит флотациялық концентраты (86% ірілігі -0,15 мм класс)	0,6–0,65	Ішкі сүзу бетті барабанды сүзгіш
Нефелин концентраты	0,4–0,5	Дискалы
Магнетит концентраты: ірілігі -0,074 мм 70% жоғары	0,5–1,0	Ішкі сүзу бетті барабанды сүзгіш
-0,074 мм 40-70%	0,5–1,0	Ішкі сүзу бетті барабанды сүзгіш

Сүзгіштің өнімділігін есептеудің алдында келесі мәндерді анықтайды: бастапқы суспензиядағы қаттының үлесі S (кг/кг суспензияға), суспензия температурасы t , суспензия тығыздығы γ_n (кг/м³); фильтрат тығыздығы γ_0 (кг/м³) және оның тұтқырлығы μ (Па с); қысым ΔP (Па); ылғалды сүзінді массасының оның құрғақ массасына қатынасы (m).

Құрғақ сүзінді мөлшерін төмендегідей формуламен анықтайды:

$$q_k = \frac{\gamma_0 \cdot S}{1 - mS}, \text{ (кг/м}^3 \text{ фильтратта)}, \quad (4.5.3)$$

Ылғалды сүзінді мөлшерін (кг/м³ фильтратта)

$$q_{bl} = \frac{m\gamma_0 \cdot S}{1 - mS}, \quad (4.5.4)$$

Құрғақ сүзіндінің үйінді тығыздығын мына формуламен есептейді:

$$\delta_K = \frac{\gamma_0 \cdot S \cdot \gamma_n}{\gamma_0 - \gamma_n (1 - mS)}. \quad (4.5.5)$$

Ылғалды сүзіндінің көлемдік массасын, кг/м³

$$\delta_{bl} = \frac{\gamma_0 \cdot S \cdot \gamma_n \cdot m}{\gamma_0 - \gamma_n (1 - mS)} . \quad (4.5.6)$$

Сүзінді көлемі былай анықталады:

$$\alpha = \frac{q_{bl}}{\delta_{bl}} = \frac{\gamma_0}{\gamma_n (1 - mS)} - 1, \text{ (м}^3/\text{м}^3 \text{ фильтратта)} \quad (4.5.7)$$

Көрсетілген шамалар анықталғаннан кейін сүзгішті есептеу келесі ретпен жүргізіледі.

1. Сұйықтың сүзіндіден және сүзгіш қалқадан (берілген қысымдағы) өту өтімділігі анықталады.

2. Сүзу тәжірибелерін өткізгеннен кейін, 1 м² сүзу бетінен, сүзу уақытында бөлініп шыққан фильтрат көлемін анықтайды (м³/м²).

3. 1 м² сүзгіш бетінен алынған сүзіндінің ылғалды және құрғақ массаларын (кг) анықтайды:

$$\text{ылғалды} \quad q_{ыл} = \frac{m\gamma_0 \cdot S}{1 - mS} \cdot V ; \quad (4.5.8)$$

$$\text{құрғақ} \quad q_{кур} = \frac{\gamma_0 \cdot S}{1 - mS} \cdot V . \quad (4.5.9)$$

4. Бір айналымдағы ылғалды және құрғақ сүзінді массаларын анықтайды: $Q_{ыл} = q_{ыл} \cdot F_{\phi} , \quad (4.5.10)$

$$Q_{кур} = q_{кур} \cdot F_{\phi} . \quad (4.5.11)$$

5. Сүзгіштің ылғалды және құрғақ сүзінді бойынша өнімділігі (т/сағ) мына формулалармен анықталады:

$$Q_1 = 0,06 Q_{ыл} \cdot n , \quad (4.5.12)$$

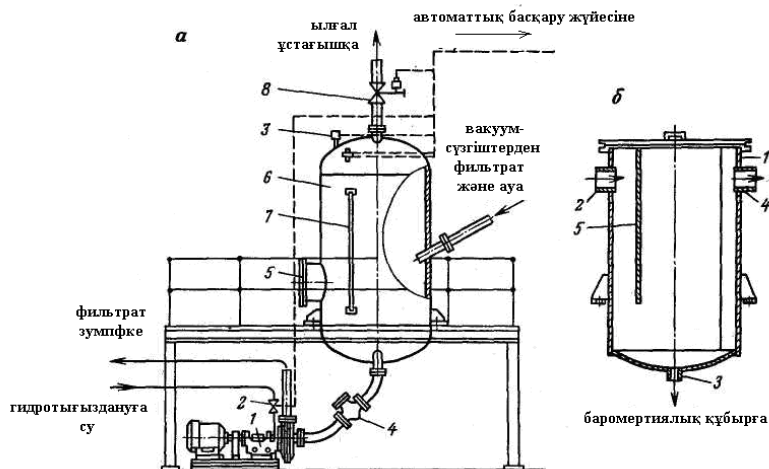
$$Q_2 = 0,06 Q_{кур} \cdot n , \quad (4.5.13)$$

мұндағы n – дисканың (барабанның) бір минутта айналу саны.

4.6. Сүзу үрдісіндегі қосалқы құрал-жабдықтар

4.6.1. Рессивер және ылғал ұстағыштар

Вакуум-сүзгіштердің жұмыс істеу кезінде фильтратпен қоса сүзгіш қалқадан ауада өтеді. Ауаны судан айыру үшін рессиверлер және ылғал ұстағыштар қолданылады. Олардың өнімділігі сүзгіштің ауаны және фильтратты сору бойындағы өнімділігіне тәуелді. Рессиверлер және ылғал ұстағыштардың көлемі келесідей боп қабылданады: 0,4; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0 м³. 4.9-суретте рессивер (а) мен ылғал ұстағыш (б) көрсетілген. Әдетте ауа судан рессиверлерде бөлінеді, ал ылғал ұстағыштарда ауадан толық айырмалынған су ұсталады. Рессиверден бөлініп шыққан ауа ылғал ұстағышқа кіру кезінде, оның ішінде орналасқан тойтарушы бетке соғылып, соның әсерінен судан бөлінеді.



4.9-сурет. Рессивер (а) және ылғал ұстағыштың (б) сұлбалық көрінісі:
(а): 1-ГРК, ГРТ насостары; 2-вентиль; 3-вакуумметр; 4-кері клапан;
5-люк; 6-рессивер; 7-су деңгейін бақылайтын әйнек; 8-ысырма;
(б) : 1-қақпақ; 2-ауа кіргізуші құбыр; 3-фильтрат шығарушы құбыр;
4-ауа шығарушы құбыр; 5-тойтарушы бет

Вакуум-насостар мен ауа айдағыштар. Сүзуші қондырғыларда вакуум-насостардың екі түрі қолданылады: поршеньді және су айналымды (ротационды). Біріншісі өнімділігі жоғары сүзуші қондырғыларда (бірнеше вакуум-сүзгіштері бар) пайдаланылады. Бірақ, соңғы уақытта өнімділігі жоғары ротационды вакуум-насостарды орнатуды қолдана бастады. Сондықтан сүзу үрдісінде қазіргі кезде кеңінен ВВН және РМК типті ротационды вакуум насостар қолданылады.

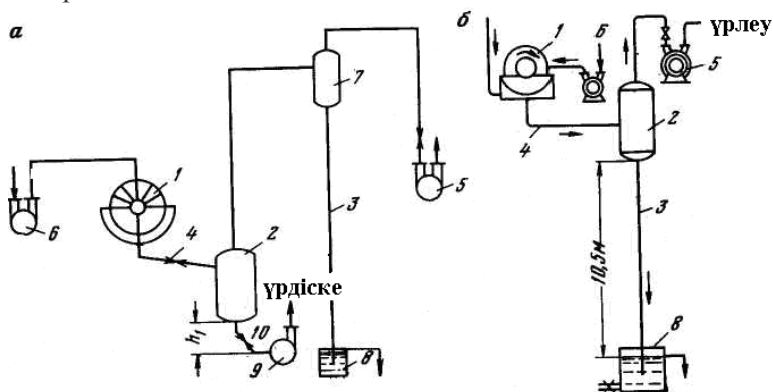
Ротационды, яғни су айналымды вакуум-насостарға температурасы 15–20 °С таза су беріледі. Сүзгіш бетінде жиналған сүзіндіні үрлеп бөліп алу үшін ротационды және турбоауа айдағыштар пайдаланылады. Ауа айдағыштар конструкциялық құрылымы бойынша ротационды вакуум-насостардан айырмашылығы жоқ. Көп вакуум-сүзгіштердің жұмыс істеуінде турбоауа айдағыштар қолданылады.

Қосалқы сүзу жабдықтарына қосымша кіретіндерге жататын: фильтратты рессиверден шығаратын насостар, гидравликалық жабылулар, кері клапан, құбыр жүйелері, рессивердегі су деңгейін бақылаушы әйнек, автоматтандыру приборлары және т.б. Фильтратты рессиверден сорып шығарушы ГРК және ГРТ насостарының сору биіктігі 8 м және өнімділігі 50-ден 400 м³/сағ дейін болады. Гидрожабқыш (гидрозатвор) түрі чан тәрізде болып келеді, одан фильтрат ағызынды шығаратын ернеуінен ағып шығарылады.

Гидрожабқышқа барометриялық құбыр түсірілген. Гидрожабқыш арқылы сүзгіштің вакуум-жүйесі атмосферадан оқшауланады. Чанның өнімділігі барометриялық құбырдың сиымдылығынан 1,5-2 есе артық етіп қабылданады. Кері клапан (4.10-сурет) насостардың тоқтатылу кезінде олардан вакуум кеңістігін оқшауландыруға тағайындалған. Клапан насостардың сору жерінде орнатылады (көлбеу бұрышы 45°). Құбыр жүйелерінің қосылыстары ауа, вакуумды жібермейтін нықты бөлу керек.

4.7. Сүзу сұлбаларының негізгі түрлері және сүзу қондырғыларын орналастыру принциптері

Жұмыс тәжірибесінде вакуум-сүзгіш қондырғыларынан фильтратты сүзгіштен шығарудың екі негізгі сызба-нұсқаулары қолданылады: рессиверден фильтратты насос арқылы шығару (4.10 а-сурет) және рессиверді гидрожабқышпен қосатын барометриялық құбыр арқылы фильтратты өз бетімен ағызып шығару (4.10 б-сурет). Фильтратты насоспен шығару сұлбасында, сүзгішпен ауа және фильтрат сорылып шығарылады. Фильтрат рессиверде жиналып, содан одан насостармен айдалып шығарылады, ал ауа ылғал ұстағыштан өтіп вакуум насос арқылы бөлек шығарылады. Насостардың авариялық тоқтатылуында фильтрат ауамен бірге ылғал ұстағышқа түсіріледі де және одан өз бетімен ағу арқылы барометриялық құбырдан және гидрожабқыштан өтіп сүзу қондырғысынан алыстатылады.



4.10-сурет. Сүзуші вакуум-қондырғылардың сұлбалық көріністері:

- а-фильтратты насоспен шығару сұлбасы; б- фильтратты өз бетімен ағызып шығару сұлбасы; 1-фильтрат; 2-рессивер; 3-барометриялық құбыр; 4-фильтратты рессиверге тасымалдайтын құбыр; 5-вакуум-насос; 6-ауа айдағыш; 7-ылғал ұстағыш; 8-гидрожабқыш; 9-фильтратты сорып айдамалаушы насос; 10-кері клапан

Фильтраттың өз бетімен ағызып шығару сұлбасының алдыңғыға қарағандағы айырмашылығы мынада, фильтрат рессиверден барометриялық құбыр мен гидрожабқыш арқылы, ал ауа вакуум-насоспен шығарылады. Фильтраттың өз бетімен ағызып шығару сұлбасында рессивердің түбімен гидрожабқыштағы судың деңгейі арасындағы биіктік 10,5 м болуын қажет етеді. Өйткені осы биіктікте рессивердегі вакуум мөлшері фильтраттың барометриялық құбырға өтуін қамтамасыз етеді.

Барометриялық құбырдың диаметрін келесідей етіп қабылдайды: сүзінді жинау аймағында 76 мм, ал құрғатуда – 109 мм.

Өндіріс тәжірибесінде сұлбаның бірін немесе екіншісін қолданады. Егерде сүзгіштер мен рессиверлер гидрожабқыштағы су деңгейінен 10-10,5 м жоғары орналасса, онда фильтраттың өзі ағып шығатын сұлбасы қабылданады. Ал, вакуум-сүзгіштердің орналасуы 10-10,5 м-ден төмен болса, онда фильтратты рессиверден насос арқылы шығаратын сұлба қолданылады.

Фильтраттың рессиверден өзі ағып шығатын сүзу сұлбасының төмендегідей кемшіліктері бар: жобалау үрдісі кезінде барометриялық құбырды орналастыру үшін қосымша биіктігі 10-10,5 м-ден жоғары болатын ғимаратты іздестіру қажеті, гидрожабқыштардың шламданып кету мүмкіндігі және оның жуылып–шаюын жобада қарастырылуы.

Бұл сұлбаның артықшылығы, оның жұмыс істеуінің қарапайымдылығы мен сенімділігі, сүзгіштердің жұмысы жекеше атқарылса және вакуум сүзінді жинау мен кептіру аймақтарына бөлек берілу жағдайында фильтратты шығару өте оңтайлы боп келеді.

Фильтратты насостармен шығару сұлбасының артықшылығы мынада: биік ғимараттың қажетсіздігі, насостың оңтайлы жұмысында шламдану үрдісі жойылады.

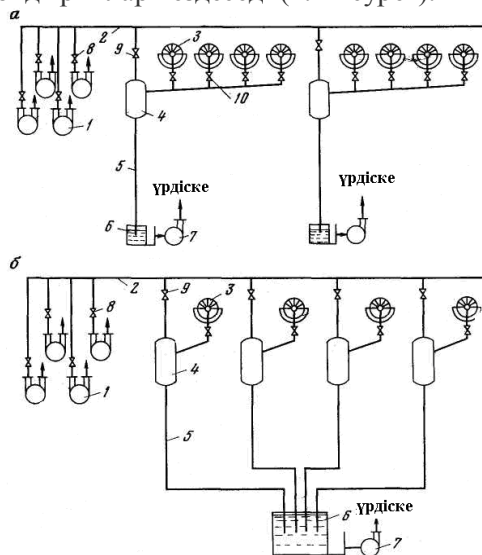
Фильтратты насостармен шығару сұлбасының кемшіліктеріне жататындар:

1) өте майда концентраттарды сусыздандыруда вакуум шамасы 798 Па және одан жоғары болады әдетте, осындай вакуум мөлшерін барлық жағдайда насостармен іске асыруға болмайды, сондықтан оларды рессиверден төмен орналастыру қажет;

2) рессивердегі фильтрат деңгейін бақылап тұру қажет, ал ол қосымша қиындық туғызады және насостарды орналастыруда қосымша шығынды талап етеді;

3) фильтрат жеке сүзгіштерден және жеке сүзінді жинаумен кептіру аймақтарынан алынатын сұлбаларда, көп насостарды қолдануға тура келеді, осыған сәйкес сүзу үрдісі күрделінеді.

Байыту фабрикаларында жекешелінген және топты вакуумдық қондырғылар кездеседі (4.11-сурет).



4.11-сурет. Жалпы вакуум желісіндегі сүзу қондырғысының
принципиалды сұлбасы (а) және жекешелінген вакуум желісіндегі сүзу
қондырғысының принципиалды сұлбасы (б):

1-вакуум-насос; 2-жалпы вакуум таратушы құбыр; 3-вакуум сүзгіші;
4-рессивер; 5-барометриялық құбыр; 6-гидрожабқыш; 7-насос;
8, 9, 10-ысырмалар

4.11 а -суретте топты вакуумдық жүйе көрсетілген. Мұнда фильтрат бір рессиверге төрт сүзгіштен (екі топ) түсіріледі. Топтарға берілетін вакуум жалпы, бірақ әр топқа берілетін вакуум ысырма 9 арқылы реттеледі.

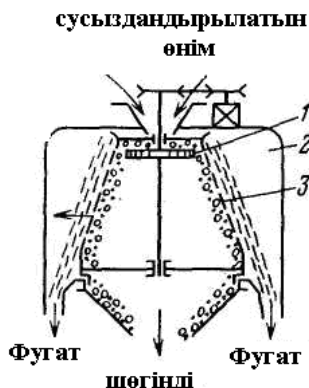
4.11 б-суретте жекешелінген вакуум жүйесі көрсетілген, осы сұлба бойынша әр сүзгіш жеке (бір немесе екі) рессивермен жабдықталған. Екінші сұлба күрделі боп келеді, бірақ ол қолайлы, өйткені бір сүзгіштегі вакуумның төмендеуі желідегі сүзгіштерге әсерін тигізбейді. Ал, осы жағдай жалпы және топты желілерде керісінше болады. Егерде сүзгіштер саны көп болса, онда топты вакуумдық желі қолайлы деп саналады.

5. ОРТАДАН ТЕПКІШ КҮШ ӨРІСІНДЕ ҰНТАҚТЫ ЗАТТАРДЫ СУСЫЗДАНДЫРУ

5.1. Центрифугалау үрдісі

Центрифугалау – деп суланған ұнтақты байыту өнімдерін (суспензияларды) ортадан тепкіш күш әсерімен сұйық және қатты фазаларға бөлу арқылы сусыздандыруды атайды. Центрифугалау процесі ортадан тепкіш машиналарда *центрифугаларда* атқарылады. Центрифуганың негізгі бөлшегі жоғары жылдамдықпен айналатын ротор. Бұл аппараттар негізінде ұсақ класты көмір концентраттарын сусыздандыруға қолданылады. Олар сүзуші және шөктіруші центрифугаларға бөлінеді. Центрифугаларда бөлінетін сұйық фазаны- фугат деп, ал қатты фазаны шөгінді (сусызданған дайын өнім) деп атайды.

Сүзуші центрифуганың сұлбалық көрінісі 5.1-суретте келтірілген. Корпус (2) ішіндегі тік орнатылған валға (4) конусты ротор (3) бекітілген. Ротор беті жырықша тесікті болып келеді. Тесік жалпақтығы 0,25–0,5 мм. Ротор минутына 400–600 айналым жасайды.

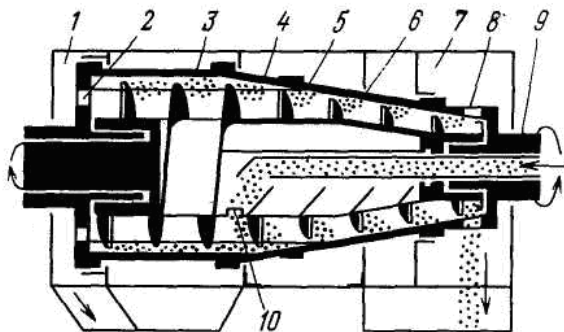


5.1-сурет. Сүзуші центрифуганың сұлбалық көрінісі

Пульпа валға орнатылған дискаға (1) түсіріледі. Ол түскен пульпаны ортадан тепкіш күш әсерімен айналдыра, біркелкі етіп ротордың ішкі бетіне шашады. Су ротор бетіндегі түйіршіктер қабатынан сүзіле өтіп тесіктерден шығып бөлінеді. Қатты зат қабаты сырғып ротордың төменгі шетінен шығады.

Бұл аппараттың бірнеше түрі бар (дірілдеуік роторлы, тік және горизонталь роторлы, шнекті центрифугалар). Оларда орташа 0,5–1,0 мм ірілікті зат сусыздандырылады.

Шөктіруші центрифуга (5.2-сурет) ұнтақтығы 1 мм-ден аз затқа қолданылады. Конусты ротор ішіне шнек орналасқан. Бастапқы пульпа шнек ішіне құбыр 3 арқылы түседі де тесік 4 арқылы ротормен шнек аралығында шығады. Ортадан тепкіш күш әсерімен түйіршіктер ротордың ішкі қабырғасына шөктіріледі. Шөгінді қабат шнек арқылы жылжып ротордың жіңішке басындағы тесік 5 арқылы шығады. Шөгіндінің үстіндегі су қабаты ротор түбіндегі тесіктен 6 өтіп ағызындыға арналған камераға 7 шығады.



5.2-сурет. Шнекті шөгілдіргіш центрифуганың сұлбалық көрінісі:

1-конусты ротор; 2-шнек; 3-құбыр; 4. 5. 6-шығару тесіктері;
7-ағызынды камерасы

Шөктіруші центрифугалардың сүзушіден айырмашылығы, оларда ротор беті тұтас болып жасалынады және шөгінді тек

қана шнек арқылы шығарылады. Аталған центрифугалардан басқа, байытылған көмір өнімдерін сусыздандыруда шөктіруші – сүзуші центрифугалар қолданылады. Олардың роторы күрделі: бір жағы сүзуші, ал екінші шөктіруші болып келеді және олар көп энергия қажет етеді. Құрылымдарының күрделілігіне байланысты жұмыс істеу сенімділігі төмен.

5.2. Центрифугалау үрдісінің теориялық негіздері

Дененің айналу кезінде пайда болатын ортадан тепкіш күшті келесі формуламен анықтайды:

$$F_u = mv^2 / r = F_a v^2 / (gr), \quad (5.2.1)$$

мұндағы F_u – ортадан тепкіш күш, н; m – айналып тұрған дене массасы, кг; v – шеңбер бойындағы айналу жылдамдығы, м/сек; r – айналу радиусы, м; F_a – айналып тұрған дене салмағы (ауырлық күш), н; g – бос құлау үдеуі, м/сек².

Шеңбер бойындағы айналу жылдамдығы төменгі формуламен анықталады:

$$v = \pi r n / 30, \quad (5.2.2)$$

мұндағы n – дененің айналу жиілігі, мин⁻¹

(5.2.1) формулаға (5.2.2) формуладағы дәрежелерді енгізсек, онда келесі формуланы табамыз

$$F_u = F_a n^2 r / (900 g), \text{ егерде } \pi^2 = g \text{ деп алсақ,} \\ \text{онда } F_u = F_a n^2 r / 900. \quad (5.2.3)$$

Бұл формуладан көретініміз ротордың айналу жиілігінің көбеюі ротор диаметрін үлкейтуге қарағанда ортадан тепкіш күштің өсуіне әлдеқайда көп әсерін тигізетіні.

Ортадан тепкіш күш үдеуінің (v^2/r) бос құлау үдеуіне (g) қатынасын бөліну факторы (K_p) деп атайды. Бөліну факторы центрифугада пайда болатын ортадан тепкіш күштің ауырлық күштен неше рет артық болуын көрсетеді:

$$K_p = v^2 / g r . \quad (5.2.4)$$

(5.2.4) формулаға (5.5.2) формуладағы v көрсеткішін кіргізсек және $\pi^2 = g$ деп алсақ, онда келесі теңдеуді аламыз:

$$K_p = v^2 / (g r) = \pi^2 / 900 \quad (5.2.5)$$

Центрифугалауда, бөліну факторы сүзуші центрифугалардың сүзу, ал шөктірушілердің шөгу жылдамдықтарына себепші болады. Сүзуші центрифугаларда бөліну фактордың көрсеткіші – $K_p = 100-200$, ал шөктірушілерде $K_p = 350-500$ құрайды.

Мысал. Ротор диаметрі 1000 мм ($r = 0,5$ м) және айналу жиілігі $n = 600 \text{ мин}^{-1}$ тең центрифуганың бөліну факторын анықтау қажет. 5.2.5 формуланы қолдану арқылы центрифуганың бөліну факторын анықтаймыз

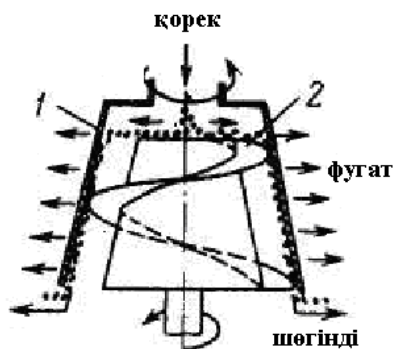
$$K_p = v^2 / (g r) = \pi^2 / 900 = 0,5 \cdot 600^2 / 900 = 200.$$

5.3. Центрифугалар үрдісінде қолданылатын аппараттар

Центрифугалар негізінде көмір байыту өнімдерін және металл емес пайдалы қазбаларды сусыздандыруда қолданылады. Қазіргі кезде үзіліспен істейтін центрифугалардың екі түрі қолданылады – сүзуші және шөктіруші.

Сүзуші центрифугалар. Көмір байытатын фабрикаларда кеңінен сүзіндіні діріл әсерімен және шнекпен шығаратын вертикальді сүзуші центрифугалар қолданылады (5.1-кесте).

Сүзіндіні шнек арқылы шығаратын центрифугаларда бастапқы сусызданатын өнім таратушы айналмалы дискіге түсіріліп, одан ротордың елеуіш бетіне лақтырылады. Заттың ротор бойымен төмен жылжу кезінде фугат елеуіштен өтіп камера қаптамасына (кожух) түседі. Сүзінді шнекпен центрифуганың астыңғы жағындағы орнатылған қабылдағышқа шығарылады (5.3-сурет).



5.3-сурет. НВШ-1000 центрифугада заттың қозғалу сұлбасы:
1- жырықталынған ротор; 2- шнек

Ірілігі 1–0 мм кластың үлесі 15–20 % құрайтын, бастапқы ылғалдылығы 20–25 % тең көмір осы центрифугада сусыздандырылғанда сүзінді ылғалдылығы 7–9 % тең болады. Фугатпен жоғалатын көмір үлесі 2–4 % болады.

Сүзуші центрифугалардың техникалық сипаттамалары 5.1-кестеде келтірілген.

5.1- кесте

Шөгіндіні ротордан дірілдеумен және екпін арқылы шығаратын сүзуші центрифугалар

Параметрлер	ФВВ-1000 (НВВ-1000)	ФВВ-1500	ФВГ-1320 (ВГ-1320)	ФВИ- 1000
Қатты зат бойынша өнімділік, т/сағ	100	350	250	80
Ротор: ең үлкен диаметрі, мм конус бұрышы, градус	1000 10	1500 13	1320 12	1000 10
Айналу жиілігі, мин ⁻¹	420	350-400	300-400	420-470
Дірілдеуік жиілігі, мин ⁻¹	1600- 1800	1400- 1800	1570- 1620	-

5.1-кестенің жалғасы

Электроқозғалтқыш қуаты, кВт	23	60	43	20
Габариттері, мм	2900 х 2165 х1560	3900 х 2700 х 1950	2995 х 2510 х 2385	2445 х 2165 х 1860
Массасы, т	3,2	6	6	3,6

Шнекті сүзуші центрифуганың (ФВШ-950, НВШ-1000) техникалық сипаттамасы:

бастапқы ылғалдылықтағы көмір бойынша
өнімділік, т/сағ 80–100
Ротордың:
максималды (ең үлкен) диаметрі, мм.....1000
конустық бұрышы, градус 20
айналу жиілігі, мин⁻¹ 600
Шнектің айналу жиілігі, мин⁻¹ 582
Электрқозғалтқыштың қуаттылығы, кВт 40
Габариттері, мм 2950×2150×1400
Массасы, т 4,1

ФВШ-9500 центрифугасын кварц құмдарын, кен байыту қалдықтарын және т.б. сусыздандыруда қолданады. Сусызданатын құмдар бойынша өнімділігі 50–80 т/сағ құрайды, сусыздалынған құмның ылғалдылығы 7–10%.

Сүзіндіні центрифугадан дірілді әсерімен шығаратын сүзуші центрифугалар роторының орналасуына қарай тік орнатылған (ФВВ-1000 және ФВВ-1500) және көлденең орнатылған (ФГВ-1320) центрифугалар түрінде жасалынып шығарылады. Сүзіндінің ротор бойымен жылжуы центрифуганың ось бойындағы діріл тербелісімен қамтамасыз етіледі. Діріл тербелісі сүзіндіні қопсытады, демек сусыздану үрдісі жақсарады. Сүзіндіні діріл әсерімен шығарушы центрифугалар көмір ұнтақтарын сусыздандыруда қолданылады. Бұл центрифугалардағы сүзіндінің ылғалдылығы, шнекті центрифугаларға қарағанда 1–2% жоғары болады.

ФВВ-1500 центрифуганың конусты роторының кіші табан беті жоғары бағытталып орналасқан, соған қарай суспензияны таратушы құрылғыны қолдануға және сүзіндіні қабылдайтын камераны тікелей ротор астында орналастыруға болады. Бұл жағдай шөгіндіні және фугатты центрифугадан шығаруды жеңілдетеді.

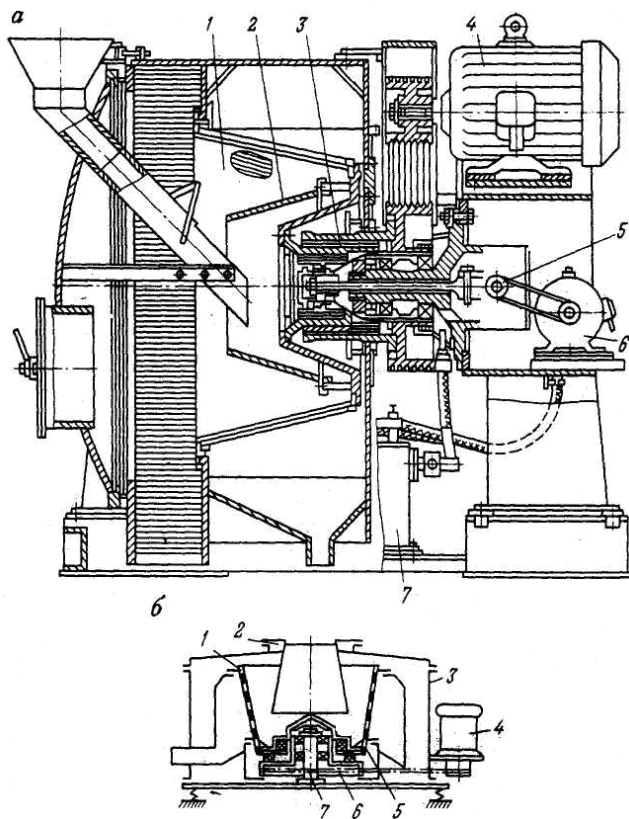
ФГВ-1320 центрифуга роторының горизонтальді болып орналасқаны (5.4 а-сурет), оның негізгі бөлшектерінің жинақталуын қарапайымдайды, сондықтан оларды бақылап қарау және жөндеу оңай жүргізіледі. Сусызданатын зат ротор бетіне біркелкі болып таралады. Өнімділігі 250 т/сағ және бастапқы ылғалдылығы 30 % көмірді осындай центрифугада сусыздандыруда сүзінді ылғалдылығы 7,5–8,5 % құрайды.

Сүзіндіні инерциямен шығаратын ФВИ-100 (5.4 б-сурет) центрифугасының конустық роторының түбінде арнаулы сфералық құрылғысы болады, сол арқылы сусызданатын затқа, оның торлы ротор бетімен жылжуына алдыңғы үдеу беріледі. Центрифуга арқылы ірілігі 130-мм және бастапқы ылғалдылығы 25 % құрайтын антрацит концентраттары сусыздандырылады. Алынған сүзіндінің ылғалдылығы 8 % құрайды.

Жалпы сүзуші центрифугалардың көрсеткіштері төмендегідей: сусыздану алдындағы ылғалдылық мөлшері 25–30 %, сүзіндінікі 7–8 %, қаттының фугаттағы үлесі 3–5 %.

Шөктіруші центрифугалар. Шөктіруші центрифугаларда сусыздандырылатын, пульпа ротор бетіне шнек барабанының ішкі білігіндегі қуыс арқылы түсіріледі. Барабанның сыртқы беті иіркелі орамамен (спиральмен) қапталған. Шнек барабанындағы тесіктен, пульпа жұмыс аумағына, яғни шнек барабанымен және тұтас бетті ротордың ішкі жақ аралықтарына түсіріледі. Шнек барабаны және ротор әр түрлі жылдамдықпен айналады (шнек барабаны аз жылдамдықпен). Ортадан тепкіш күш әсерінен пульпа қаттымен сұйыққа бөліне бастайды: қатты түйіршіктер сыртқы қабат құрайды да, ротордың ішкі бетіне жабысып, шөгінді құрастырады, ол шнек арқылы ротордың жіңішкіреу жағына тасымалданып, сонан соң арнаулы

жырықтардан шығарылады. Сұйық фаза ротордың кең жағына жылжып, сонан центрифуганың екінші шығар жақ бетіндегі тесіктен өтіп, фугат қабылдайтын орынға (камераға) құйылады.

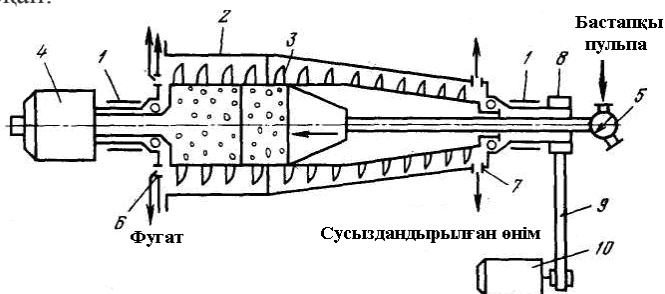


5.4-сурет. Сүзуші центрифугалар:

а – ФГВ-1320: 1 – сүзуші ротор; 2 – таратушы конус; 3 – резиналы амортизаторлардың жинағы; 4 – роторды айналдырушы жетегінің электрқозғалтқышы; 5 – діріл беруші жетек; 6- роторға діріл беруші жетектің электрқозғалтқышы; 7-май таратушы жүйе;

б – ФВИ-100: 1 – конустық ротор; 2 – тиеуші конус; 3 – сүзінді қабылдағыш; 4-электрқозғалтқыш; 5-сфералық құрылғы; 6-ротордың серпінді тіреулері; 7-мойынтірек тіреуіштері

НОГШ-1100А центрифугасы (5.5-сурет) подшипниктерге 1 тірелген ротордан 2, шнектен 3, редуктордан 4 тұрады. Бастапқы пульпа қоректендіруші құрылғы 5 арқылы шнектің жырықталынған барабанына түсіріледі, одан тесіктер арқылы айналып тұрған роторға беріледі. Фугат ағызынды тесіктерінен 6, шөгінді шнекпен центрифуганың конустық бөлігінде орналасқан. Тесіктерден 7 шығарылады. Ротордың үлкен жылдамдықпен айналуы электрқозғалтқыш 10 арқылы жүргізіледі: оның белдікті берілісі 9 ротор шкивімен 8 жалғасқан.



5.5-сурет. Шөктіруші НОГШ-1100А центрифугасының сұлбасы

НОГШ-1350 центрифугасы цилиндрлі-конусты ротордан тұрады, оның цилиндрлі бөлігіндегі шнек иірімді таспа ретінде орындалған. Осыдан басқа НОГШ-1350Н дейтін центрифуга шығарылады, ол жұмысқа төзімді болып саналады.

Көмір концентраттарын терең сусыздандыру үшін шөктіруші-сүзуші НОГШ-1320Ф центрифугасы қолданылады. Бұл центрифуганың роторы екі сатыдан тұрады. Центрифуганың сүзуші сатысы, оның роторының конусты бөлігінде орналасқан. Сүзуші саты торлы болып келеді (тор тесіктерінің арасы 0,2–0,3 мм) және иірімді орамамен жабдықталған. Орама шөктіруші ротордың конустық бөлігінің сыртқы бетінде орналасқан. Сүзуші сатының айналуы ротор арқылы жүргізілмей-шөктіруші сатысында орналасқан шнек барабанының айналуымен атқарылады. Сол арқылы сусызданатын зат сүзуші бетке біркелкі болып таралады.

Кокстелінетін флотациялық көмір концентраттарын сусыздандыруда, шөктіруші центрифугалар, дискалы вакуум-сүзгіштерге қарағанда технологиялық көрсеткіштері төмен. Айталық, шөктіруші центрифугалардан алынған шөгіндінің ылғалдылығы, дискалы вакуум-сүзгіштермен салыстырғанда, 3–5 %-ға жоғары, сондай-ақ фугаттағы қаттының үлесі 2–2,5 есе жоғары келеді.

Өндірісте қолданылып жүрген НОГШ-1350 атты шөктіруші шнекті центрифуганың технологиялық көрсеткіштері: шөгірілген флотациялық концентраттардың ылғалдылығы 25–35 %; шламдардың ылғалдылығы 20–26%; фугатқа кеткен қаттының үлесі 25–35 %.

Шөктіруші шнекті және шөктіруші-сүзуші центрифугалардың техникалық сипаттамалары төмендегі кестеде келтірілген.

5.2 -кесте

Шнекті шөктіруші және шөктіруші-сүзуші центрифугалардың техникалық сипаттамалары

Түрлері	НОГШ-1350 НОГШ-1350И	НОГШ-1350 Ф
Өнімділік: пульпа бойынша , м ³ /сағ қатты зат бойынша , т/сағ	250 25–30	250 40
Ротор: ең үлкен диаметрі, мм жалпы ұзындығы, мм	1350 1987	1320 2000
Сатыларының конустық бұрышы, градус: шөктірушінің сүзушінің	15 -	15 15
Айналу жиілігі, мин ⁻¹	800	800
Бөліну факторы	500	500
Электрқозғалтқыш қуаты, кВт	160	160
Габариттері, мм	4100 x 3700 x 1830	42250 x 3655x x 1850
Массасы, т	12	15,8

6. КЕПТИРУ ҮРДІСІ

6.1. Негізгі түсініктемелер мен анықтамалар

Кептіру – деп ылғалды байыту өнімдерін жылу энергиясымен сусыздандыру арқылы, олардан суды бұға айналдыру негізінде қоршаған газ (ауа) ортасына бөліп шығару үрдісін атайды.

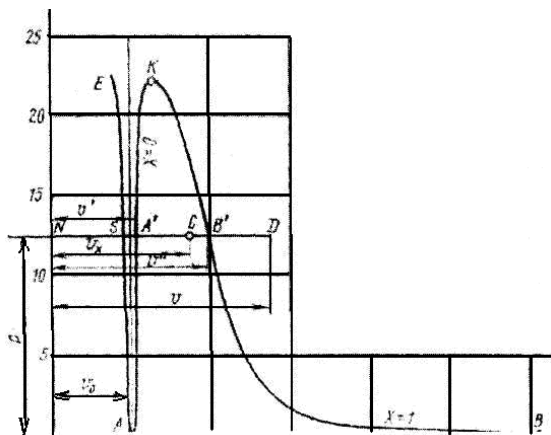
Термиялық кептіру үрдісін жылу-физикалық және физикалық-химиялық үрдісі деп қарастыруға болады, өйткені мұнда кептірілетін зат бетімен оны қоршаған газ (ауа) ортасы арасында жылу және ылғал алмасуы атқарылады. Затқа берілген жылу, оның ішкі қабаттарынан шыққан бумен алмасады. Бұл үрдістің атқарылуы су буының ортадағы және құрғатылған бетіндегі қысым айырмашылығына сонымен қоса зат бетіндегі және ішіндегі температура айырмашылығына негізделген.

Заттың сұйық күйден газ күйіне өту үрдісі *бу түзілу үрдісі* – деп аталады. Булану әр түрлі температураларда сұйық және қатты дененің еркін бетінде болады. Булану кезінде үлкен жылдамдыққа ие болатын жеке молекулалар көрші молекулалардың тартылысын жеңіп сыртқы кеңістікке шығады. Булану қарқындылығы сұйықтың температурасы жоғарылаған сайын артады.

6.1.1. Су буының p_v – диаграммасының ерекшеліктері

Жүйенің сұйықтан және будан тұратын, фазалық p_v – диаграммасы, (6.1-сурет) судың және будың меншікті көлемінің қысымға тәуелділік графигін көрсетеді [10]. Судың массасы 1 кг және температурасы 0°C болғанда p қысыммен v_0 көлемді алып жатады (кесінді NS). AE қисығы судың меншікті көлемінің 0°C температурадағы қысымға тәуелділігін көрсетеді. Су сығылмайтын зат болғандықтан AE қисығы ордината осіне параллель болады. Егер тұрақты қысымда суға жылу берілсе, оның температурасы көтеріледі де, меншікті көлемі ұлғаяды.

Белгілі бір температурада t_n су қайнайды, ал оның меншікті көлемі v^1 A' нүктесінде, максималды мәнге ие болады.



6.1-сурет. Су буының $p-v$ диаграммасы

Қысым көтерілгенде қайнау температурасы t_n және көлемі v^1 ұлғаяды. v^1 қысымға тәуелділігі графигі 6.1-суретте көрсетілген. АК қисығы *сұйықтың шекаралық қисығы* – деп аталады. АК қисығының сипатты дәрежесі $x=0$ болып табылады. Жылуды ары қарай тұрақты қысымда берсе, онда булану үрдісі басталады. Осы кезде судың мөлшері азаяды, ал будың мөлшері ұлғаяды. Булану үрдісі аяқталған кезде, B' нүктесінде бу құрғақ қаныққан болады. Құрғақ қаныққан будың меншікті көлемі v'' белгіленеді.

Егер булану үрдісі тұрақты қысымда болса, оның температурасы өзгермейді және $A'B'$ үрдісі бір мезетте изохоралық және изотермиялық болып табылады. A' және B' нүктесінде зат бірфазалық күйде болады. Аралық нүктелерде зат су мен будан тұрады. Осындай қоспаны *екіфазалық жүйе* деп атайды.

Меншікті көлемнің v'' қысымға тәуелділік графигінде KB қисығы будың шекаралық қисығы деп аталады және сипатты құрғақтық дәрежесі $x = 1$ болады. А нүктесі сұйықтың қайнау күйіне сәйкес ($t_0 = 0,01 \approx 0^\circ\text{C}$), ал изобара AB барлық үш фазаның тепе-теңдік күйіне сәйкес (pt – диаграммадағы үштік нүкте). Бұл изобара қисығы абсцисса осімен сәйкес келеді.

Егер құрғақ қаныққан буға, тұрақты қысымда, жылу берілсе, онда температура және көлем ұлғая бастайды және бу құрғақ қаныққан күйден аса қызған буға айналады (D нүктесі).

АК және ВК қисықтары диаграмманы үш бөлікке бөледі. Сұйықтың шекаралық қисығынан АК солға қарай нөлдік изотермаға дейін сұйық ауданы орналасады. АК және ВК қисығы арасында, су мен құрғақ бу қоспасынан тұратын, екіфазалық жүйе жайғасады. ВК-дан оңға қарай және жоғарыда К нүктесінен аса қызған бу ауданы немесе дененің газ тәріздес күйі болады. АК және ВК қисығы К нүктесінде қиылысады және ол *сындық нүкте* деп аталады. Сындық нүкте, үштік нүктеде басталатын, сұйық - бу фазалық өтудің соңғы нүктесі болып табылады. Сындық нүктеден жоғары екіфазалық жүйе бола алмайды. Ешқандай қысыммен газды сұйық күйге сындық нүктесінің температурасынан жоғары алуға болмайды. Судың сындық күйдегі параметрлері:

$$\begin{aligned}t_k &= 374,12^\circ\text{C}; \quad v_k = 0,003147 \text{ м}^3/\text{кг}; \\p_k &= 221,15 \text{ бар}; \quad i_k = 2095,2 \text{ кДж/кг}; \\S_k &= 4,424 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град}).\end{aligned}$$

6.1.2. Сұйық және құрғақ қаныққан будың негізгі параметрлері. **Булану жылуы**

Судың 0°C температурадағы және әр түрлі қысымдағы меншікті көлемін $v_0 \approx 0,001 \text{ м}^3/\text{кг}$ қабылдауға болады. Қайнаған судың меншікті көлемі v' қысымның көтерілуінен болады, яғни температурада артады және жоғары қысымда 0°C көлемнен едәуір

ерекшеленеді. Мысалы, $p = 50$ бар кезінде $v' = 0,0012859 \text{ м}^3/\text{кг}$,
 $p = 220$ бар кезінде $v' = 0,00269 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Суды 0°C температурадан қайнау температурасына дейін қыздыруға жұмсалатын жылу мөлшері, сәйкес қысымдағы келесідей анықталады:

$$q = t' - t'_0,$$

мұндағы t' – қайнаған сұйықтың энтальпиясы; $t'_0 = 0^\circ\text{C}$ кезіндегі су энтальпиясы.

Термодинамикада үштік нүктеге сәйкес су күйінің энтальпиясы мен энтропиясын, нөлге тең деп алады: $S'_0 = 0$; $t'_0 = 0$.

Судың үштік нүктедегі ішкі энергиясы $u'_0 = t'_0 - pv'_0$, бірақ $t'_0 = 0$ болғандықтан, $u'_0 = -p_0 v'_0$, осыдан $u'_0 = -0,00611 \cdot 0,001 \times 10^5 = -0,611 \text{ Дж/кг}$ - шама өте аз, сондықтан 0°C кезіндегі сұйықтың меншікті ішкі энергиясы

$u'_0 \approx 0$. Қайнаған сұйықтың энтальпиясы қысым немесе температура бойынша қаныққан су буының кестесінен алынады. Қайнаған судың ішкі энергиясы u' жалпы энтальпияның теңдеуімен есептеледі:

$$i = u + pv \text{ немесе } u' = i' - pv'$$

Қайнаудың құрғақ қаныққан буға дейінгі температурасы кезінде 1 кг судың булануына жұмсалған жылу мөлшері *буланудың меншікті жылуы* деп аталады және r әрпімен белгіленеді. Булану жылуы r қысыммен және температурамен анықталады. Температура және қысым өскенде r азаяды және соңында нөлге тең болады. Булану жылуы r потенциалдық ішкі энергияның өзгеруіне және жұмыстың дисегрегациясына p және кеңеюдің сыртқы жұмысына $p(v'' - v') = \psi$ жұмсалады. p шамасы буланудың ішкі, ал ψ -сыртқы жылуы болады. Булану жылуы тең:

$$r = p + p(v'' - v') = p + \psi$$

Құрғақ қаныққан бу энтальпиясы i'' теңдеумен анықталады:

$$i'' = i' + r$$

Құрғақ қаныққан будың ішкі энергиясы: $u'' = i'' - pv''$
Құрғақ қаныққан бу бір ғана параметрмен анықталады: температурамен немесе қысыммен.

i'', i', rv'', v' мәндері су буының кестесінен алынады.

6.1.3. Ылғалды ауа. Жалпы ұғымдар.

Абсолюттік ылғалдылық, ылғал-құрамдық және ауаның салыстырмалы ылғалдылығы

Құрғатылатын заттан шыққан ылғалдылықтың мөлшері оны қабылдайтын кептіргіш агенттігі су буының үлесіне, температурасына және газдың (ауаның) қысымына тәуелді болады. Ылғалды ауа өзінің физикалық күйі бойынша ол идеал газға жақын. Ылғалды ауа берілген қысым мен температурада су буының әр түрлі мөлшерінде бола алады. Құрғақ ауа мен қаныққан су буынан тұратын қоспа *қаныққан ылғалды ауа деп аталады*. Осы қоспадағы су буының парциалдық қысымы, берілген температурадағы қанығу қысымына тең болады. Мұндай ауаның әрбір m^3 -тағы бу мөлшері, құрғақ қаныққан будың тығыздығына тең ρ_n (kg/m^3). Ылғалды ауаның жалпы қысымы, Дальтонның заңы бойынша, құрғақ ауаның парциалдық қысымы мен су буының қосындысына тең:

$$p = p_a + p_{бу} \quad (6.1.1)$$

мұндағы p_a – құрғақ ауаның парциалдық қысымы; $p_{бу}$ – су буының парциалдық қысымы.

Кептіру үрдісін немесе ылғал газды (ауа) сипаттайтын көрсеткіштерге жататындар: абсолюттік және салыстырмалы ылғалдылық, газдық тұрақтылық, меншікті салмақ, жылу үлестігі мен жылу сиымдылығы.

$1m^3$ ылғалды ауадағы будың, сан жағынан бу тығыздығына ρ_n тең массасы, будың тығыздығы ρ_n , ал парциалдық қысымы p_n -ге тең болса, онда оны *абсолюттік ылғалдылық* – деп аталады. Егер тұрақты температурада ауаның ылғалдылығын

жоғарылатса, онда су буының тығыздығы өседі. Ал егерде ылғал ауаның температурасы қаныққан су буының температурасынан төмен болса, онда су буының шекті тығыздығы құрғақ қаныққан будың парциалдық қысымы бойынша қоспаның қысымынан аз болады. Осы жағдайда ылғалды ауа өзімен бірге құрғақ ауа қоспасымен құрғақ қаныққан су буынан тұратынын көрсетеді. Бірақ басқада жағдай болуы мүмкін, егер дымқыл ауаның температурасы жоғары болса немесе қаныққан су буына тең болуы мүмкін онда процесс қаныққан ылғалды ауа су буымен аяқталмайды, яғни бір құрғақ қаныққан су буынан құралған жағдайға дейін (егер $t_{cm}=t_n$) немесе өте ысытылған будан (егер $i_{cm}> t_n$). Ылғалды ауадағы бу массасының $m_{бу}$ құрғақ ауадағы массаға m_a қатынасы ауаның ылғал құрамы деп аталады және килограмның килограмға (кг/кг) немесе грамның килограмға (г/кг) қатынасымен өлшенеді:

$$d = \frac{m_i}{m_A} \quad \text{немесе} \quad d = \frac{p_i}{p_A}$$

d өлшемі будың массасын өлшейді, яғни 1кг құрғақ ауа құрамындағы немесе (1+d) кг ылғал ауа құрамындағы өлшейді. d -ның ылғал-құрамдас мөлшерін келесі жолдармен есептеуге болады:

$$p_g V = m_g R_g T \quad \text{және} \quad p_n V = m_n R_n T \quad (6.1.2)$$

мүшелі бөлсек: $p_g/p_n = m_g R_g / m_n R_n = (m_g \cdot 287,04) / (m_n \cdot 461,6) = 0,622/d$

Теңдеуге p_n мәнін алдыңғы теңдеуден қойып, ылғал-құрамның шамасын табамыз:

$$d = 0.622 p_n / (p - p_n) \quad (6.1.3)$$

Соңғы теңдеуден будың парциалдық қысымының жоғарылауымен $p_{бу}$ ылғалды құрамдылықтың d артатынын байқаймыз. Қанықпаған ауаның нағыз абсолюттік ылғалдылығының ауаның максимал мүмкіндікті абсолютті

ылғалдылығына қатынасы, сол температурадағы, салыстырмалы ылғалдылық деп аталады және φ белгіленеді:

$$\varphi = p_n / p_{\text{макс}} \quad (6.1.4)$$

Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы $\varphi=0$ -ден (кұрғақ ауа) $\varphi=1$ дейін (ылғалмен қаныққан ауа) өзгере алады. Клапейрон теңдеуінен шығады

$$p_n = K_n \rho_n T \quad (6.1.5)$$

$$p_{\text{макс}} = R_n \rho_{\text{макс}} T, \text{ осыдан } \varphi = p_n / p_{\text{макс}}$$

Теңдеулерден (6.13) және (6.14) ылғал-құрамдылықты салыстырмалы ылғалдылықпен байланыстыратын өрнекті алуға болады:

$$\varphi = [(d / 0,622 + d)](P / p_{\text{макс}}) \quad (6.1.6)$$

Шық нүктесінің температурасын және ауа температурасын біле отырып, су буы кестелері бойынша мына қысымдарды табуға болады p_n және $p_{\text{макс}}$ ал теңдеуден ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтаймыз:

$$\varphi = p_n / p_{\text{макс}}$$

Ылғалды газдың (ауаның) жылу үлестігі су буының салмақтық шамасымен (килограммен немесе граммен) анықталады [1 кг құрғақ газға (ауаға) шаққанда]:

$$d = G_{\text{в.п.}} / G_{\text{с.г.}(\theta)}, \quad (6.1.7)$$

мұндағы $G_{\text{в.п.}}$ – су буының ылғалды газдағы (ауадағы) салмағы; $G_{\text{с.г.}(\theta)}$ – ылғалды газдағы (ауадағы) құрғақ газдың (ауаның) салмағы.

Ылғалды газдың (ауаның) газдық тұрақтылығы төмендегі формуламен анықталады:

$$R = \frac{P}{\gamma T} \quad (6.1.8)$$

мұндағы P – ылғалды газдың (ауаның) қысымы, кг/м^2 ;
 γ – ылғалды газдың меншікті салмағы, кг/м^3 ; T – ылғалды
 ауаның температурасы, град.

Ылғалды ауаның жылу сыйымдылығы құрғақ ауаның
 және су буының, олардың ауадағы үлестік мөлшеріне
 пропорционалды жылу сиымдылықтарымен білдіріледі:

$$C_{\text{с. в.}} = C_{\text{с. в.}} + C_{\text{с. п.}} \frac{d}{1000} \text{ ккал/кг} \cdot \text{град}, \quad (6.1.9)$$

мұндағы $C_{\text{с. в.}}$ – құрғақ ауаның жылу сыйымдылығы;
 $C_{\text{с. п.}}$ – су буының жылу сыйымдылығы; d – ауаның ылғалды
 үлестігі.

6.1.4. Тығыздық, Ылғалды газдың меншікті газтұрақтысы мен меншікті энтальпиясы

Ылғалды ауаның тығыздығы, қоспа температурасымен
 және өзінің парциалдық қысымымен алынған бу мен құрғақ
 ауа тығыздықтарының қосындысына тең

$$\rho = \rho_a + \rho_v \quad (6.1.10)$$

Ылғалды ауа тығыздығы мына теңдеулермен анықталады

$$\rho = P / RT \quad \rho = \rho_{n,n} + \rho_{v,v} \quad (6.1.11)$$

Ылғалды ауаның газ тұрақтысын келесі теңдеулермен
 анықтайды:

$$\beta_T = 1 - \nu (\partial \nu / \partial p)_T, \quad (\alpha_p = 1 / \nu (\partial \nu / \partial T)_p, \\ (\gamma_T = 1 / p (\partial p / \partial T)_T : R = 8314,2 / \mu_{cm} = 8314,2 / (\mu_v r_v + \mu_n r_n)$$

Ылғалды ауаның энтальпиясы құрғақ ауа мен су буының энтальпияларының қосындысы ретінде анықталады. Ылғалды ауаның энтальпиясын 1 кг құрғақ ауаға немесе 1 кг (кгс) ылғалды ауаға жатқызған ыңғайлы, ол тең

$$i = i_g + di_n \quad (6.1.12)$$

(кдж/кг) берілетін 1 кг құрғақ ауаның энтальпиясы, сан мәнінде оның температурасына i °C тең, өйткені құрғақ ауаның жылу сыйымдылығы қысым тұрақты кезінде ~ 1 кдж/(кг-град) тең. 1 кг құрғақ қаныққан будың энтальпиясы, төменгі қысымдарда, эмпирикалық теңдеумен анықталады

$$i_n = 2490 + 1,97t_H \quad (6.1.13)$$

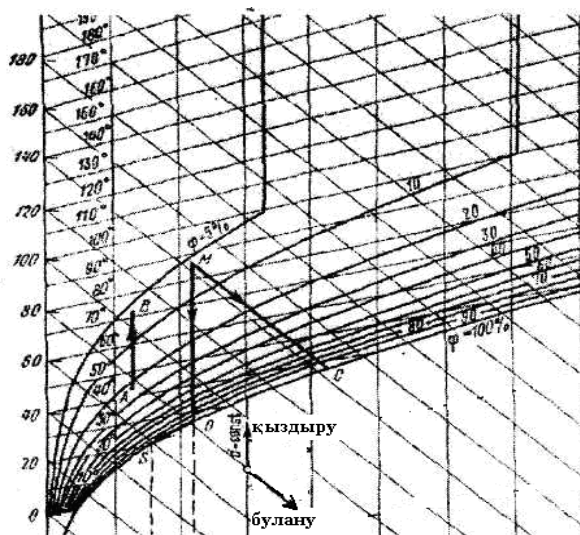
онда ылғалды ауаның энтальпиясы:

$$i = t + (2490 + 1,97t_H)d \quad (6.1.14)$$

6.1.5. Ылғалды ауаның id – диаграммасы

Ылғалды ауаның параметрлерін id – диаграммасы көмегімен графикалық жолмен анықтайды, бұл 1918 ж. (6.2-сурет) профессор Л.К. Рамзинмен ұсынылған [11].

Осы диаграммада ордината осі бойынша энтальпия i (кдж/кг) шамасы, ал абсциссаға — ылғал мөлшерлігі d (г/кг) салынады. Диаграммада әр түрлі сызықтар ыңғайлы орналасуы үшін координата осьтері 135° бұрышпен жайғасады және де ордината осі тік жүргізіледі.



6.2-сурет. Ылғалды ауаның id -диаграммасы

Сонымен, ылғал мөлшерлігі d сызығы тік, ал энтальпия i сызығы – *еңкіш түзулер* болады. Диаграммаға келесі сызықтар салынған: тұрақты энтальпия сызықтары (ордината осіне 45° түзу еңкішті); тұрақты ылғал мөлшерлігі сызығы (ордината осіне түзу, параллель); ылғалды ауаның тұрақты температуралар сызығы; ауаның салыстырмалы ылғалдылығының сызығы.

Ылғалды ауаның қыздыру үрдісі өзгермеген дымқыл құрамдастылық арқылы жүреді, яғни $d = \text{const}$ кезінде. Конденсация үрдістерін $\psi = 100\%$ сызығы арқылы өтеді деп есептеуге болады. Мысалы, 1 кг құрғақ ауаға 0 нүктесінен s нүктеге дейінгі конденсациялау нәтижесінде түзілген судың мөлшері, дымқыл құрамдастылықтың айырмасына тең $d_1 - d_2$.

Осы жағдайда ылғалдың булануына ылғал ауа берген жылудың мөлшері, бумен бірге қайтадан ылғал ауаға келеді, яғни үрдістегі жылу мөлшерінің жалпы балансы нөлге тең.

Ылғалдықтың булану үрдісі кезінде құрғақ ауаның мөлшері өзгермейді. Яғни ылғал ауаның энтальпиясы да өзгеріске ұшырамайды.

id – диаграмма көмегімен шық нүктесінің температурасын табуға болады. Ол үшін ауаның осы күйін сипаттайтын нүктеден $\psi=100\%$ сызығымен қиылысқанға дейін тік сызық жүргізу керек, нүкте арқылы өтетін изотерма шық нүктесінің температурасын анықтайды (0 нүкте).

id – диаграмма көмегімен шық нүктесінің температурасын табуға болады. Ол үшін ауаның осы күйін сипаттайтын нүктеден $\psi=100\%$ сызығымен қиылысқанға дейін тік сызық жүргізу керек, нүкте арқылы өтетін изотерма шық нүктесінің температурасын анықтайды (0 нүкте).

1950 ж. Г. А. Михайловский ылғалды ауаның *is* – диаграммасын ұсынды, бұл кейбір арнайы есептеулер кезінде қолданылады, мысалы газ турбиналарында, эжекторларда және т.б. *is*–диаграмма бойынша есептеулердің қателігі 4 – 6%.

6.2. Кептіру үрдісі және оның есептеулері

Құрғатылатын заттан (байыту өнімдері) буланып шыққан ылғалдылықты, өзіне қабылдайтын ортаны, *кептіргіш агент* деп атайды. Кептіргіш агент немесе жылу энергиясы көзі ретінде түтін газдары, қыздырылған ауа және тым ыстық бу қолданылады. Байыту өнімдерін кептіру үрдісінде түтін газдары пайдаланылады, олар әр түрлі отындарды жаққанда шығады. Отын ретінде табиғи газ, мазут не көмір шаңы қолданылады. Егер сұйықтың булануы шектелмеген кеңістікте болса, онда ол түгелімен бұға айналады. Ал, егер сұйықтың булануы жабық ыдыста болса (барабанды кептіргіш) онда сұйықтан ұшып шыққан молекулалар оның үстіндегі бос кеңістікті алады, және де оның бір бөлігі қайтадан сұйыққа оралады. Кейбір кезде ұшып шыққан молекулалармен қайтадан сұйыққа айналған молекулалар өзара теңеседі. Осы кезде сұйық кеңістігінде барынша максимал молекулалар болады. Осы күйдегі бу

берілген температурада максимал тығыздықта болады және ол қаныққан деп атайды.

Яғни, сұйық пен бу термиялық тепе-теңдік күйде болған кезде ол қаныққан деп аталады. Температура өзгерген кезде тепе-теңдік бұзылады да, қаныққан будың тығыздығы мен қысымы өзгереді. Сұйық фазаның қалқымалы жоғары дисперсті (майда) бөлшектері болмайтын қаныққан бу құрғақ қаныққан бу деп аталады. Құрғақ қаныққан будың күйі бір ғана параметрмен өлшенеді—қысыммен, немесе меншікті көлеммен немесе температурамен.

Қаныққан буда сұйық фазаның қалқымалы жоғары дисперсті бөлшектері болса, ылғалды қаныққан бу деп аталады.

Құрғақ қаныққан будың ылғалды қаныққан будағы массалық үлесі құрғақтық дәрежесі деп аталады және x әрпімен белгіленеді. Ылғалды буда қайнаған сұйықтың массалық үлесі $(1-x)$ -ке тең және ол ылғалдылық дәрежесі деп аталады. Қайнап жатқан сұйық үшін қанығу температурасы кезінде $x=0$ болады, ал құрғақ қаныққан бу үшін $x = 1$ тең болады, демек құрғақтық дәрежесі 0-ден 1 дейінгі шекте ғана өзгереді. Ылғалды будың күйі екі шамамен: температурамен және қысыммен немесе қандайда бір басқа параметрмен, мысалы будың құрғақтық дәрежесімен анықталады.

Егер құрғақ қаныққан буға тұрақты қысымда жылу берсек, онда оның температурасы жоғарылайды. Осы үрдісте алынатын бу аса қызған бу деп аталады. Аса қызған будың қысымы, температурасы және көлемі құрғақ қаныққан буға қарағанда үлкен болады. Аса қызған будың температурасы көлемнің және қысымның функциясы болып табылады. Аса қызған бу қанықпаған болып келеді.

Кептіру үрдісі шартты түрде үш кезеңге (6.3-сурет) бөлінеді: затты жылытудың бастапқы кезеңі, тұрақты жылдамдықпен кептірудің бірінші кезеңі, кептірудің жылдамдығы төмендейтін екінші кезеңі.

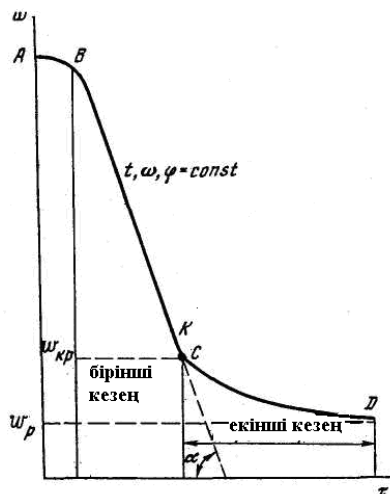
Бастапқы кезеңде (қисықтың АВ бөлігі) жылу кептірілетін материалға берілетін жылу көлемімен ылғалды буландыруға

кететін жылу көлемі арасында тепе-теңдік орнағанша кептірілетін материалды жылытуға шығындалады. Мұнда материал температурасы сулы термометр (t_m) температурасына дейін көтеріледі. Бұл кезең кептіру жылдамдығы ең үлкен шамасына дейін өсуімен сипатталады. Кептірудің бірінші кезеңінде тұрақты жылдамдықпен (қисықтың ВС бөлігі) ылғалдың булануы ашық беттен булануға ұқсас жүреді – ылғал құрғатылатын материалдың ішкі қабаттарынан бетке үздіксіз жүреді, сөйтіп буланған ылғалдың орнын толтырады. Бұл кезеңде құрғақ жылдамдығы тек сыртқы жағдайларға тәуелді – құрғатқыш агенттің күйіне (оның температурасы, ылғалдылығы, қозғалу жылдамдығы) және К нүктесіндегі материалдың аумалы ылғалдылығына жеткенше тұрақты қалады. Құрғатуда материал температурасы өзгермейді.

Кептірудің жылдамдығы төмендейтін екінші кезеңінде (қисықтың CD бөлімі) құрғатылатын материалдың ішкі қабаттарынан бетке диффузиялану жылдамдығы беттің ылғалмен қанығуына жеткіліксіз. Сондықтан, құрғау жылдамдығы төмендейді. Материалдың ылғалды сипаты асимптотикалы тепе-теңдік ылғалдылыққа жақындайды да, ылғалдың булануы тоқтайды. Материалдың температурасы бұл кезде қоршаған газ температурасына жақындап көтеріледі, демек құрғақ термометр (t_k) температурасына жақындайды.

Кептірудің бұл кезеңінде жылдамдық материал қабатының қалыңдығына, оның ылғалдылығына тәуелді және ылғалдық материалдың ішкі қабаттарынан бетіне шығуы ішкі диффузия жылдамдығымен анықталады.

Кептіру агентінің ағымдық қозғалысының жылдамдығы және оның ылғалдылығы құрғау жылдамдығына әсер етпейді. Сонымен, құрғау жылдамдығына тек құрғатылатын материалдың қасиеттері және ең бастысы су буының ішкі қабаттардан бетке өтуіне диффузия кедергісі әсер етеді.



6.3-сурет. Кептіру қисықтары

*AB-құрғатылатын затты жылытудың кезеңі;
BK-тұрақты жылдамдықпен кептірудің бірінші кезеңі;
KD-кептірудің жылдамдығы төмендейтін екінші кезеңі*

6.2.1. Ылғалдылық балансы және кептіруші агенттің шығыны

Кептіруші агент кептіргіш арқылы өткен кезде құрғақ агенттің массалық мөлшері өзгермейді (бұл кептіргіште ауаның сорылуы немесе кептіруші агенттің жылыстауы болмаған кезде әділ), осыған байланысты кептіргіштің жылулық есептеуін, оның жұмысын сипаттайтын барлық шамаларды 1 кг құрғақ агентке жатқыза отырып жүргізу ыңғайлы.

Кептіргішке кіретін және шығатын абсолютті құрғақ кептіруші агент немесе ауа мөлшерін L , кг/сағ белгілейік, онда кептіргіш камера үшін ылғалдылық балансы келесідей болады [3, 11].

	Кептіргішке кіреді	Кептіргіштен шығады
Кептірілетін материал мен келетін ылғалдылық	$M_1 \frac{\omega_1}{100}$	$M_2 \frac{\omega_2}{100}$
Кептіруші агентпен келетін ылғалдылық	$L \frac{d_1}{1000}$	$L \frac{d_2}{1000}$
Барлығы	$M_1 \frac{\omega_1}{100} + L \frac{d_1}{1000}$	$M_2 \frac{\omega_2}{100} + L \frac{d_2}{1000}$

Кептірудің қалыптанған үрдісі кезіндегі кептіргішке келетін ылғалдылық мөлшері кептіргіштен шығатын ылғалдылық мөлшеріне тең болуы қажет.

Яғни

$$M_1 \frac{\omega_1}{100} + L \frac{d_1}{1000} = M_2 \frac{\omega_2}{100} + L \frac{d_2}{1000}, \text{ осыдан:}$$

$$\frac{M_1 \omega_1}{100} - \frac{M_2 \omega_2}{100} = L \frac{d_2 - d_1}{1000} \text{ алынады.}$$

Демек, кептіруге шығындалатын абсолютті құрғақ кептіруші агенттің шығыны (кг/сағ) келесі шамаға тең болады:

$$L = \frac{1000}{d_2 - d_1} \quad (6.2.1)$$

Ылғалды агенттің шығыны (кг/сағ)

$$L = \left(1 + \frac{d}{1000} \right) L, \quad (6.2.2)$$

мұндағы M_1 – кептіруге түсетін заттың мөлшері, кг/сағ; M_2 – кептіруден кейінгі заттың мөлшері, кг/сағ; d – кептіруші агенттің ылғалды құрамы, құрғақ агенттің г/кг.

Құрғақ кептіруші агенттің шығыны (буланған ылғалдылықтың кг/кг) тең болады:

$$\frac{L}{W} = l = \frac{1000}{d_2 - d_1} \quad (6.2.3)$$

Калориферде ауаны қыздыру кезінде, оған кептіргішке жіберер алдында қайтарма кептіруші агентті қоспағанда, оның ылғалды мөлшерлігі өзгермейді, яғни $d_0 = d_1$, сондықтан:

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_1} \quad (6.2.4)$$

мұндағы l – құрғақ кептіруші агенттің шығыны, кг/кг буланған ылғалдың.

Теңдеулер (6.2.3) және (6.2.4) материалды кептіруге қажетті кептіруші агенттің (ауаның) мөлшерін есептеу үшін негізгі теңдеулер болады.

Материалды ауамен кептіру кезіндегі l үшін (6.2.4) теңдеуді қарастырайық. Атмосфералық ауаның ылғалды мөлшері төмен болатындықтан ($d_0 = 5 \div 10$ г/кг) оны ескермеуге болады, яғни $d_0 = 0$, онда (6.2.4) теңдеуді келесі түрде жазуға болады:

$$l = \frac{1000}{d_2}, \quad (6.2.5)$$

осыдан

$$d_2 = 622 \cdot \frac{p_{\text{ыл. а. б.}}}{p - p_{\text{ыл. а. б.}}},$$

мұндағы d_2 – ылғалды мөлшері, г/кг құрғақ ауаға; $p_{\text{ыл. а. б}}$ кептіргіштен кететін ауаның температурасы t_2 кезіндегі ылғалды ауадағы будың парциалды қысымы, $p_{\text{ыл. а. б}} = \varphi_2 p_H$ онда d_2 мәнін (6.2.5) теңдеуге қоя отырып l үшін келесі теңдеуді аламыз

$$l = \frac{1000}{622} \left(\frac{p}{p_{\text{ыл. а. б.}}} - 1 \right) = 1,6 \left(\frac{p}{\varphi_2 p_H} - 1 \right), \quad (6.2.6)$$

мұндағы l – құрғақ кептіруші агенттің шығыны, кг/кг буланған ылғалдың.

Бұл теңдеуден ауа шығынының келесі жағдайларда жоғарылайтыны байқалады:

– φ_2 – төмендеген кезде, яғни кептіргіштен шығатын ауаның су буымен қанығу дәрежесі;

– ауа қысымының (p) артуы кезінде;

– p_H төмендеуі кезінде – кептіргіштен шығар кездегі ауадағы қаныққан будың парциалды қысымы, яғни кептіргіштен кететін ауа температурасының t_2 төмендеуімен, өйткені p_H температураға пропорционал өзгереді.

Ауаның шығыны d_0 артуымен де жоғарылайды, яғни сыртқы ауаның ылғалды мөлшерлігімен де.

6.2.2. Теориялық кептіргіштің жылу балансы

Теориялық кептіргіш (адиабаттық) деп жылу жоғалымы және кептіргіштің өзінде қосымша жылу ағыны болмайтын кептіргішті атайды. Демек, теориялық кептіргішке кептіруші агентпен енетін жылу тек қана булануға және жұмысын өтеген агентпен кететін жылу жоғалымына шығындалады. Мұндай кептіргіш үшін $v_1 = v_2$ болады, яғни материал температурасы кептіру кезінде өзгермейді.

Келесідей белгілеулерді қабылдайық:

L – құрғақ кептіруші агенттің шығыны, кг/сағ;

W – буланатын ылғалдың мөлшері, кг/сағ;

Q – кептіруге кететін жылудың толық шығыны, кДж/сағ;

Q_k – кептіруші агентке арналған қыздырғыш құрылғыдағы (калорифердегі) жылу шығыны, кДж/сағ.

Кептіру үрдісінің қалыпты күйі кезінде (энтальпияны 0°C есептеген кезде):

$$Q = Q_k$$

Онда жылу балансының теңдеуі келесі түрде жазылады:

$$LI_0 + Q_k + Wv_1c_c = LI_2$$

мұндағы c_c – судың жылу сыйымдылығы, $c_c = 4,187$ кДж/(кг°С), ал МКГСС жүйесінде $c_c = 1$ ккал/(кг°С);

$$Q_k = Q = L(I_2 - I_0) - Wv_1c_c, \quad (6.2.7)$$

мұндағы Q_k – қыздырғыш құрылғыдағы жылу шығыны, кДж/сағ немесе 1 кг буланған ылғалдылыққа,

$$q_k = q = Q/W = l(I_2 - I_0) - v_1c_c, \quad (6.2.8)$$

мұндағы q_k – жылу шығыны, кДж/кг; I_0 – калорифер алдындағы ауа энтальпиясы, кДж/кг (ккал/кгс); I_2 – кептіруден кейінгі ауа энтальпиясы, кДж/кг (ккал/кгс); q_k – шамасын келесі теңдеумен де анықтауға болады:

$$Q_k = L(I_1 - I_0),$$

мұндағы Q_k өлшем бірлігі кДж/сағ немесе ккал/сағ, яғни:

$$q_k = l(I_2 - I_0), \quad (6.2.9)$$

мұндағы q_k өлшем бірлігі буланған ылғалдың кДж/сағ көрсетіледі.

Сондықтан

$$\begin{aligned} l(I_2 - I_0) - c_c v_1 &= l(I_1 - I_0), \quad \text{осыдан} \\ H_2 &= H_1 + c_c v_1 \quad \text{немесе} \\ l(I_2 - I_1) &= c_c v_1 \end{aligned} \quad (6.2.10)$$

Егер $v_1 = 0$ десек, онда $l \neq 0$ болғандықтан, $I_2 = I_1$ аламыз, яғни теориялық кептіргіш үшін келесі теңдеуді аламыз:

$$I_2 = \text{const} \quad (6.2.11)$$

Сонымен, теориялық кептіргіште кептіруші агенттің энтальпиясы өзгермеу керек.

Алынған нәтижені алдын ала болжауға да болар еді. Кептіргіште жоғалым болмаған жағдайда, кептіруші агенттің жылуы, $v_1 = 0$ шартында, материалдың ылғалдылығының булануына шығындалады, бұл агенттің сууын тудырады, бірақ буланған ылғалдылық кептірудің сол агентімен қайта қабылданады, сондықтан да агенттің қосынды энтальпиясы өзгермеуі керек.

Теориялық кептіргіштің жылулық балансының мәні келесі теңдеумен анықталады:

$$q = l(I_2 - I_0) - c_c v_1 ,$$

мұны келесі түрге келтіруге болады:

$$q = (i''_{\text{ыл,б}} - c_c v_1) + l [c_{\text{к,с}} (t_2 - t_0) + 0,6001 d_0 (i''_{\text{ыл,б}} - i^0_{\text{ыл,б}})] , \quad (6.2.12)$$

мұндағы q – жылу шығыны, кДж/кг.

Теңдеуден (6.2.12) жылудың q ылғалдылықты кептіруге $(i''_{\text{ыл,б}} - c_c v_1)$ және ауамен кететін жылу жоғалымының орнын толтыруға жұмсалатынын байқаймыз (екінші мүшенің бірінші қосындысы – құрғақ ауамен кететін жылу жоғалымы, екінші қосынды – кептіргішке ауамен енетін су буының энтальпиясын жоғарылатуға жұмсалатын жылу шығыны).

Кептіргіштің жылуын есептеу кезінде, деректер бойынша белгілі параметрлер арқылы кептіргіш құрылғының жұмысын сипаттайтын қалған белгісіз параметрлерді анықтауға тура келеді.

Әншейінде:

Берілген шамалар

Ізделетін шамалар

$$t_0, \varphi_0, t_1, \varphi_2$$

$$q, l, t_2$$

немесе

$$t_0, \varphi_0, t_1, t_2$$

$$q, l, \varphi_2$$

6.2.3. Тәжірибелік кептіргіштің жылу балансы

Тәжірибелік кептіргіштегі 1 кг буланған ылғалдылыққа жұмсалатын жылу шығынын (кДж/кг) келесі түрде жазуға болады:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5, \quad (6.2.13)$$

мұндағы q – кептіргішке жұмсалатын жалпы жылу шығыны; q_1 – ылғалдылықты буландыруға жұмсалатын жылу шығыны; q_2 – кептірілетін материалды қыздыруға жұмсалатын жылу шығыны; q_3 – кептіргіштің тасымалдаушы құрылғысын қыздыруға жұмсалатын жылу шығыны (тасымалдаушы құрылғы кептіргішке температурамен кіріп, t''_{TAC} температурамен шыққан кезде ескеріледі); q_4 – кептіргіштен кететін кептіруші агентпен шығатын жылу жоғалымы; q_5 – кептіргіш беттігі арқылы қоршаған ортаға кететін жылу жоғалымы.

$$q_1 = i''_{y,б} - c_v u_1, \quad (6.2.14)$$

мұндағы $i''_{y,б}$ – температура t_2 болғанда, кептіруші агенттегі 1 кг будың жылу мөлшерлігі,

$$i''_{y,б} = 2490 + 1,97t_2, \text{ кДж/кг};$$

u_1 – кептіргішке түсетін кептірілетін материалдың температурасы, °C; t_2 – кептіруші агенттің кептіргіштен шығар жердегі температурасы, °C.

$$q_2 = \frac{M_2}{W} c''_M (g_2 - g_1), \quad (6.2.15)$$

мұндағы M_2 – кептірілген материалдың мөлшері, кг; W – буланған ылғалдылықтың мөлшері, кг/сағ; C_M – кептірілген материалдың жылусыйымдылығы, кДж/(кг °C),

$$C_M'' = c_{k,м} \frac{100 - W_2}{100} + c_{cy} \frac{W_2}{100},$$

мұндағы $c_{к,м}$ – материалдың құрғақ массасының жылу-сыйымдылығы; ω_2 – кептірілген материалдың ылғалдылығы, %; ν_2 – кептірілген материалдың температурасы, °C; ν_1 – тиелетін материалдың температурасы, °C.

$$q_3 = \frac{M_{TAC}}{W} c_{TAC} (t'_{TAC} - t''_{TAC}), \quad (6.2.16)$$

мұндағы M_{TAC} – ылғалдылық бойынша кептіргіштің сағаттық өнімділігіне жатқызылған, оның тасымалдаушы және қосалқы құрылғыларының массасы, кг; c_{TAC} – тасымалдаушы құрылғы материалының жылу сыйымдылығы, кДж/(кг °C); t'_{TAC}, t''_{TAC} – тасымалдаушы құрылғының бастапқы және соңғы температуралары, °C.

$$q_4 = l \left(c''_{к,г} + \frac{d_0 1,97}{1000} \right) (t_2 - t_0), \quad (6.2.17)$$

мұндағы l – 1 кг буланған ылғалдылыққа жұмсалған кептіргіш агенттің шығыны, кг/кг; $c''_{к,г}$ – кептіргіштен шығар жердегі құрғақ кептіруші агенттің жылу сыйымдылығы, кДж/(кг °C); d_0 – сыртқы ауаның ылғалдылық мөлшерлігі, г/кг; t_2 – кептіргіштен шығар жердегі кептіруші агенттің температурасы, °C; t_0 – сыртқы ауаның температурасы, °C.

$$q_5 = \frac{\sum Fk(t_{i,ш} - t_{c,p})}{W} \quad (6.2.18)$$

мұндағы q_5 – кептіргіш беттігі арқылы қоршаған ортаға кететін жылу жоғалымы, Вт/кг немесе ккал/кгс; $\sum F$ – жылу жоғалатын кептіргіштің беттігі, м; $t_{i,ш}$ – кептіргіш ішіндегі орташа температура, °C; k – кептіргіш беттігі қабырғасының жылу беру коэффициенті, Вт/(м² °C); $t_{c,p}$ – сыртқы ауа температурасы, °C;

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

мұндағы α_1 – кептіргіш ішінде кептіруші агенттен қабырғаға жылудың берілу коэффициенті, Вт/(м² °С):

табиғи конвекция кезінде газдар үшін.....6–36

құбырдағы қозғалыс кезіндегі газдар үшін.....12–115

конденсатталушы бу үшін.....4500–17500

q_5 – мөлшерлігін кДж/кг алу үшін, СИ жүйесін қолданған кезде 3,6 көбейткішін енгізу қажет. Газ кептіргіштерін есептеу кезінде:

$$\alpha_1 = (6,14\omega^{0,78} + 4,6e^{-0,6\omega}), \text{ ккал} / \text{м}^2\text{°С} \cdot \text{са} \text{ з.}$$

немесе

$$\alpha_1 = (7,15\omega^{0,78} + 5,35e^{0,6\omega}), \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{°С}),$$

мұндағы

W – кептіруші агент қозғалысының жылдамдығы, м/с;
 e – натурал логарифмдер негізі; δ – кептіргіш қабырғасының біртекті бөлігінің қалыңдығы, м; λ – қабырғаның осы біртекті бөлігі материалының жылу өткізгіштік коэффициенті, Вт/(м²°С);
 α_2 – қабырғадан атмосфералық ауаға берілетін жылу беру коэффициенті;

$$\alpha_2 = 8,4 + 0,006 \Delta t, \text{ ккал} / (\text{м}^2 \text{°С сағ}) \text{ немесе}$$

$$\alpha_2 = 9,76 + 0,007 \Delta t, \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{°С}),$$

мұндағы Δt – қабырғаның сыртқы беті мен қоршаған орта арасындағы температуралар айырмасы.

Кептіргіш қабырғасының сыртқы бетін жылу оқшаулағышпен қаптау жолымен кептіру кезінде кептіргішпен қоршаған ортаға кететін жылу жоғалымын едәуір төмендетуге болады.

Қоршаған ортаға жылудың жоғалымы q_5 кептіруге жұмсалатын жылудың 3–5 % аспайды.

Кептіргішке келтірілетін жылу материалды кептіруге жұмсалатын және сонымен байланысты жылу жоғалымдарының шығынына тең болуы керек деп болжай отырып, 1 кг буланған ылғалдылыққа қатысты жылу балансының теңдеуін аламыз:

$$q_k + I_0 + C_c \vartheta_1 + \frac{M_2 c''_m \vartheta}{W} + q_k + \frac{M_{TAC} c_{TAC} \cdot t_{TAC}}{W} = I_2 \frac{M_2 c''_m \vartheta_2}{W} + \frac{M_{TAC} c_{TAC} \cdot t_{TAC}}{W} + q_5 \quad (6.2.19)$$

кДж/кг буланған ылғал,

мұндағы q_k – қыздырғыштағы кептіруші агентке келтірілген жылу; I – құрғақ кептіруші агенттің шығыны; q_k – тікелей кептіргіште кептіруші агентке келтірілген қосымша жылу мөлшері.

(6.2.19) теңдеуден аламыз:

$$q_k = I(I_2 - I_0) + \frac{M_2}{W} c''_m (\nu_2 - \nu_1) + \frac{M_{TAC}}{W} c_{TAC} (t''_{TAC} - t'_{TAC}) + q_5 - C_c \nu_1 - q_k$$

$$q_k = I(I_2 - I_0), \text{ демек } I(I_1 - I_0) = I(I_2 - I_0) + q_2 + q_3 + q_5 - C_c \nu_1 - q_k, \\ \text{осыдан } I(I_1 - I_2) = q_2 + q_3 + q_5 - C_c \nu_1 - q_k$$

немесе

$$I(I_2 - I_1) = C_c \nu_1 + q_k - (q_2 + q_3 + q_5) = C_c \nu_1 + q_k = \sum q_{2,3,5} = \Delta, \text{ кДж/кг} \quad (6.2.20)$$

буланған ылғалдылықтың немесе ккал/кгс.

Нақты кептіргіште үш жағдай байқалады:

1. $\Delta = 0$, яғни $C_c \nu_1 + q_k = \sum q_{2,3,5}$ яғни жылу жоғалымы қосымша келтірілген жылу мөлшерімен толықтырылады немесе кептірілетін материалдың температурасы соншалықты жоғары, сондықтан $q_k = 0$ кезінде $C_c \nu_1 = \sum q_{2,3,5}$ теңдігі орын алады.

Бұл жағдайда $I_2=I_1$, және кептіру процесі кептіруші агенттің тұрақты жылу мөлшерлігі кезінде өтеді: теориялық кептіргіште де солай;

2. $\Delta < 0$, яғни $c_v v_1 + q_k < \sum q_{2,3,5}$, онда $I_2 < I_1$;

3. $\Delta > 0$, яғни $c_v v_1 + q_k > \sum q_{2,3,5}$, онда $I_2 > I_1$.

Қысқы уақыттарда кейбір жағдайларда кептіруге түсетін материалды жібітуге кететін жылу шығынын ескеру қажет (мысалы, брикеттеуші фабрикаларда көмірді кептіру кезінде). Тәжірибе жүргізу арқылы, материал құрамындағы (еркін) ылғалдылықтың тек бір бөлігі мұзға айналатыны, ал ылғалдылықтың қалған мөлшері материалды қоршаушы ауаның тіпті төменгі температураларының өзінде суытылған күйде қалатыны белгіленген. Қатпаған ылғалдылықтың мөлшеріне сәйкес келетін ылғалдылық «қауіпсіз» деп аталады (қатудың пайда болуына қатысты).

Көмір үшін қауіпсіз ылғалдылық келесі мәндерде болады: тас көмір 4–8 %; ескі қоңыр көмір 18–22 %; жас қоңыр көмір 30–36 %; донецк көмірінің аралық өнімі 6–8 %.

Қатқан ылғалдылықты жібіту мен қауіпсіз ылғалдылықты 0 °C дейін қыздыруға кететін жылу балансының теңдеуіндегі қосымша жылу шығыны келесідей анықталады:

$$q = r \frac{\omega_1}{\varpi} - c_m \frac{\omega_1}{\omega} \vartheta_1 - c_{cy} \frac{\omega - \omega_1}{\omega} \vartheta_1 = 80 \frac{\omega_1}{\omega} - 0,5 \frac{\omega_1}{\omega} \vartheta \frac{\omega - \omega_1}{\varpi}, \text{ ккал/кгс}$$

мұндағы $\gamma = 80 \text{ ккал/кгс} = 335 \text{ кДж/кг}$ – мұздың еру жылуы;
 ω_1 – мұзға айналған ылғалдылық, %; ω – жалпы ылғалдылық, %;
 $c_m = 0,5 \text{ ккал/(кгс} \cdot 0^\circ\text{C)} = 2,094 \text{ кДж/(кг} \cdot 0^\circ\text{C)}$ – мұздың жылу сыйымдылығы; $c_{cy} = 1,0 \text{ ккал/(кгс} \cdot 0^\circ\text{C)} = 4,187 \text{ кДж/(кг} \cdot 0^\circ\text{C)}$ – судың жылу сыйымдылығы ϑ_1 – материал температурасы (минус), 0°C .

Бірінші мүше мұзды ерітуге, ал екінші – оны v_1 -дан 0°C дейін қыздыруға және үшінші мүше – қатпаған суды v_1 -дан 0°C дейін қыздыруға кеткен жылу шығынын есептейді. Материалды

жібіту кезінде жылу балансы теңдеулерінде q мен Δ анықтауда $v_1 = 0$ деп қабылданады.

6.2.4. Кептіру үрдісінің материалдық балансы (тепе-теңдігі)

Кептіруге берілетін ылғалды заттың материалдық балансы:

$$M_1 = M_2 + W, \quad (6.2.21)$$

мұндағы M_1 және M_2 – заттың кептіруге дейінгі және одан кейінгі массасы, кг; W – шығарылатын ылғалды массасы, кг.

Кептірілген құрғақ зат бойынша материалдық баланс

$$0,01M_1(100 - W_1) = 0,01M_2(100 - W_2) \quad (6.2.22)$$

мұндағы W_1 және W_2 – заттың кептіру алдында және соңындағы ылғалдылығы, %.

(6.2.22) теңдіктен алатынымыз

$$M_1 = M_2(100 - W_2) / (100 - W_1); \quad (6.2.23)$$

$$M_2 = M_1(100 - W_1) / (100 - W_2); \quad (6.2.24)$$

(6.2.21) теңдіктен заттан бөлінген ылғалды массасын анықтаймыз:

$$W = M_1 - M_2 \quad (6.2.25)$$

Соңғы теңдеуге (6.2.23) және (6.2.24) формуладағы M_1 және M_2 мәндерін енгізу арқылы алатынымыз:

$$W = M_2(W_1 - W_2) / (100 - W_1); \quad (6.2.26)$$

$$W = M_1(W_1 - W_2) / (100 - W_2). \quad (6.2.27)$$

(6.2.26) және (6.2.27) теңдеулер кептіру процесіндегі материалдық баланстың негізгі теңдеулері болып саналады [4].

1-мысал. Магнетит концентратының кептіру алдындағы массасы $M_1 = 50000$ кг, ылғалдылығы $W_1 = 2,5$ %. Бөлініп шығарылған ылғалдылық массасын W анықтау қажет.

Берілген көрсеткіштерді (6.2.27) формулаға енгізу арқылы анықтаймыз $W = 50000 \cdot (11 - 2,5) / (100 - 2,5) = 4329$ кг. Егерде кептіруден кейінгі заттың массасы M_2 белгілі болса, онда

бөлініп алынатын ылғалдылық массасында (6.2.26) формуланы қолдану арқылы анықтауға болады.

6.2.5. Ылғалдылық бойынша материалдық баланс

Кептіргішке кірер және шығар аумағындағы кептіргіш агенттегі ылғал үлесінің мөлшері кезегімен d_1 және d_2 (кг/кг) құрайды, ал абсолютті құрғақ кептіргіш агенттің массасы L (кг). Кептіргіштен буланып шығарылатын заттың ылғалдылық бойынша массасы W (кг). Онда ылғалдық бойынша материалдық баланс:

$$Ld_1 + W = Ld_2 \quad (6.2.28)$$

Бұл тепе-теңдік теңдеуінен кептіруге қажетті абсолютті құрғақ кептіргіш агенттің шығынын анықтаймыз:

$$L = W / (d_2 - d_1) \quad (6.2.29)$$

Кептіргіш агенттің 1 кг буландырып шығарылатын ылғалдылыққа қажетті үлесті шығыны:

$$I = L / W = 1 / (d_2 - d_1) \quad (6.2.30)$$

2-мысал. Ылғалдылық үлесі $d_2 = 0,151$ кг/кг; $W = 4350$ кг; $d_1 = 0,007$ кг/кг тең деп алынған. Кептіргіш агенттің массасын анықтау керек.

$$L = W / (d_2 - d_1) = 4350 / (0,151 - 0,007) = 30208 \text{ кг.}$$

$$\text{Үлестік шығын } I = L / W = 30208 / 4350 = 6,94 \text{ кг/кг}$$

$$\text{немесе } I = 1 / (d_2 - d_1) = 1 / (0,151 - 0,007) = 6,94 \text{ кг/кг}$$

3-мысал. Газдардың кептіргіштен шығатын жеріндегі температурасы $t_2 = 100^\circ\text{C}$; заттың құрғату алдындағы температурасы $t_1 = 10^\circ\text{C}$; құрғатылған зат массасы $M_2 = 45641$ кг; заттан бөлініп шығарылған ылғалдылық массасы $W = 4359$ кг; құрғатылған заттың жылу сыйымдылығы $c_m = 1,13$ кДж/(кг $^\circ\text{C}$); заттың құрғатудан кейінгі температурасы $t = 80^\circ\text{C}$, онда

$$\begin{aligned}q_1 &= 2493 + 1,97(100 - 10) = 2670 \text{ кДж/кг}; \\q_2 &= 45641 \cdot 1,13(80 - 10) = 828 \text{ кДж/кг}; \\q_3 &= 250 \text{ кДж/кг}\end{aligned}$$

1 кг буланып шыққан ылғалдылыққа сәйкес қосынды жылу шығыны

$$q = q_1 + q_2 + q_3 = 2670 + 828 + 250 = 3748 \text{ кДж/кг}.$$

Құрғатқыштың от жағатын жерінде жағылатын отын массасы B (кг), мынадай формуламен анықталады:

$$B = qW / (\eta - Q) \quad (6.2.31)$$

мұндағы W – бөлініп шығарылған ылғалдылық массасы, кг;
 η – от жанғыштың пайдалы әрекет коэффициенті; Q – отынның жану жылылығы, кДж/кг.

6.3. Кептіру құрылғылар

Құрғатылатын затқа жылуды тасымалдау келесі әдістермен жүргізіледі:

1. Конвекциялық кептіру – құрғатылатын заттарға жылу энергиясы тікелей беріледі.

2. Ұштасумен кептіру – құрғатылатын затқа жылу энергиясы тікелей берілмей ажырататын қабырға арқылы беріледі.

3. Радиациялық кептіру – инфрақызылды сәулелер арқылы жылу беру.

4. Жиілігі жоғары ток арқылы кептіру – ток өрісінде қыздырумен жылу беру.

5. Сублимациялық кептіру – терең вакуумде мұздатылған күйде құрғату.

Кейінгі кептірудің үш түрлі сирек қолданылады және кептірудің арнайы түрі болып есептелінеді.

Кептіргіш құрылғылардың конструкциялары әр түрлі өзгешеліктермен сипатталады: жылуды келтіру әдісімен (конвективті, ұштасумен және т.б.), жылутасығыштардың

түрлерімен (ауалы, газды, булы); кептіргіш камерадағы қысымның өлшемімен (атмосфералық және вакуумдық); конвективті кептіргіштердегі (тура ағын, қарама-қарсы ағын) материалдар мен құрғатқыш агенттердің өзара бағыттары және қозғалыстарымен; үрдісті ұйымдастыру әдісімен (үздікті және үздіксіз).

Үздікті жұмыс істейтін кептіргіштер төменгі өнімділігімен және үлкенділігімен өзгешеленеді. Оларда кептіру үрдісі қозғалмайтын жоғары қалыңдықта (вакуум-құрғатқыш шкафтарда, ауа-циркуляциялық кептіргіш шкафтарында) немесе затты араластырумен (қалақты вакуумдық кептіргіштерде) жүргізіледі.

Сондықтан өнімділігі төмен үздікті жұмыс істейтін кептіргіштердің орнына үздіксіз жұмыс істейтін кептіргіштер қолданылады. Оларда кептіру кезінде, кептіру уақыты қысқартылады, үрдістің сапалылығы жоғарылап, жұмыс істеуі жеңілденеді.

Отындық газдарды пайдаланып жұмыс істейтін кептіргіштер, ауалы кептіргіштермен салыстырғанда өнімділігі жоғары және тиімді болып келеді.

Әр түрлі іріліктегі және ылғалдағы заттарды құрғатуда барабанды кептіргіштер, ал ұсақ және өте майда заттарды құрғатуда қайнау қабатты кептіргіштер қолданылады.

Барабанды кептіргіш (6.4-сурет) көлбеу (4^0) орналасқан барабаннан (2) тұрады. Ол екі бандажбен (1) тірегіш роликтері (6) үстіне салынған. Оны айналдыру үшін сыртқы бетін орай тісті тәж (венец) (3) орнатылған. Ол редуктор (4) және электроқозғалтқыш (5) арқылы қозғалысқа келтіріледі. Ылғалды зат және жандырғыш камерада шығатын ыстық газ ағыны барабанның жоғарғы басына түсіріледі. Газ, түтін сорғыш - вентилятор күшімен барабан арқылы белгілі бір жылдамдықпен өтеді.

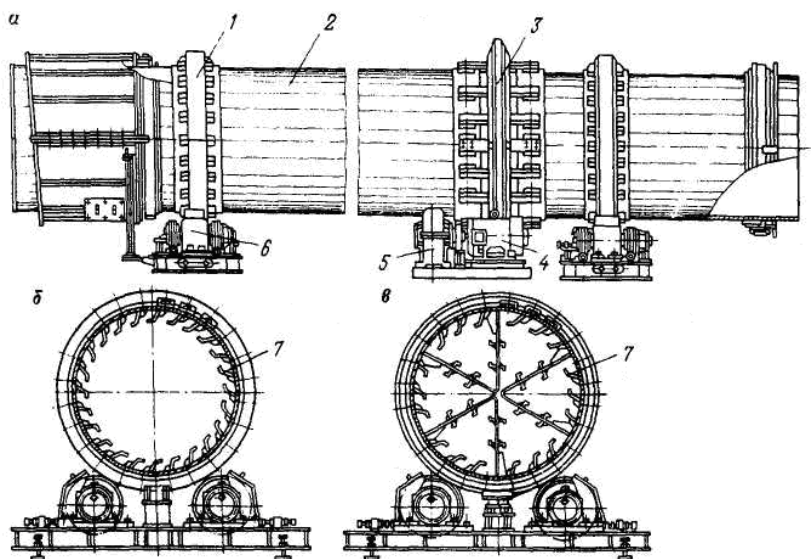
Зат газбен жақсы араласу үшін барабанның ішкі қабырғасына оны жоғары көтеріп шашатын әр түрлі пішінді

қондырғылар бекітілген. Барабанның ақырын айналу кезінде зат біртіндеп құрғатылып, жылжып, оның төменгі шетінен шығады.

Буға айналған су газбен бірге шығады. Газ ішіне заттың шаңды бөлігі де болады. Сондықтан, газ атмосфераға шығарылуы алдында міндетті түрде тазалануы қажет: біріншіден атмосфера былғанбауы керек, екіншіден шаңда бағалы заттың үлесі үлкен.

Газдың барабанға түсер алдындағы температурасы кейде 1000°C - ден асады. Ал шығу температурасы $70\text{--}150^{\circ}\text{C}$.

МЕСТ(ГОСТ) 1875–83 сәйкес құрғатқыш барабандар диаметрі 2,5–3,5 м, ұзындығы 14–27 м болып шығарылады. Сондай-ақ диаметрі 4–4,5 м және ұзындығы 28–35 м құрғатқыш барабандар бар.



6.4-сурет. Кептіргіш барабан:

а- жалпы түрі; б, в - араластырғыш қондырғылар түрлері;
1-бандаждар; 2-барабан ; 3- тісті тәж (венец); 4-редуктор;
5-электрқозғалтқыш; 6- тірегіш роликтер; 7-қондырғы

Буланған ылғалдылық бойынша барабанды кептіргіштерде жылудың үлестік шығыны 4000–6300 кДж/кг, ал электр қуат шығыны 20–75 кВт сағ/т құрайды.

Кептіргіштегі жылу жоғалымын азайту үшін оның сырт беті арнаулы қаптамамен (жұқа болат бетімен) жабылады. Қаптаманың іш жағы жылуды оқшалаушы затпен толтырылады. Осы жағдайда барабанның сыртқы қабырғасының температурасы 40 °С-дан аспау керек.

6.1-кесте

Кептіргіш барабандардың техникалық сипаттамасы

Параметрлері	СБ 2,8-14-ЛС	СБ 3,5-18-ЛС	СБ 3,5-22-ЛС	СБ 3,5-27-ЛС
Диаметрі, м	2,8	3,5	3,5	3,5
Ұзындығы, м	14	18	22	27
Қабырға қалыңдығы, мм	20	24	24	24
Габариттері (LxBxH), м	16,5 x 4,9 x 5,3	23 x 6,2 x 8,8	26 x 6,2 x 8,8	32 x 6,2 x 2,8
Толық массасы, т	102	244,7	243	267,4

Барабанды кептіргіштердің жұмыс істеу режимдері құрғатылатын зат ірілігіне тәуелді. Кептіргіш барабанның затпен толтырылу коэффициенті өзгермелі – 0,15-тен 0,25-дейін. Кептіргіш агенттің температурасын 1100 °С дейін қабылдауға болады. Агенттің қозғалу жылдамдығы: барабаннан шығар жерінде – 5м/сек аспайды, ал ұсақ заттарды құрғатуда, олардың газбен бірге ілесіп ұшып кетпеуі үшін – 0,5–1 м/с аралығында болады. Құрғатқыш агенттің барабаннан шыққан температурасы 70–150 °С, ал кептірудің ұзақтығы 15–40 мин құрайды. Барабанның айналу саны, кептіру процесінің ұзақтығына байланысты, демек оның саны минутына 1-ден 6-ға дейін қабылданады.

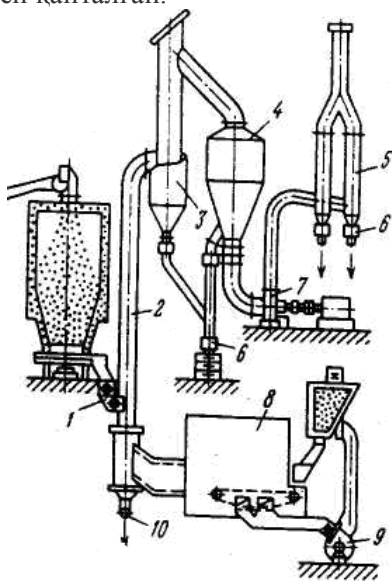
Барабанды газдық кептіргіштердің жұмыс істеу көрсеткіштері 6.2-кестеде келтірілген.

6.2-кесте

Келтірілген барабандардың жұмыс істеу көрсеткіштері

Концентрат	Барабандардың өлшемі, м		Ылғалдылық %		Өнімділік, т/сағ	Газдар температурасы, °C		Барабанның ылғалдылық бойынша көлемдік кернеуі, кг/(м²·сағ)	Ылғалдылықтың булануға қарасты үлесті шығыны	
	диа- метрі	ұзын- дығы	кіре берісте	шығар- дағы		кіре берісте	шығарда		Отын бойынша, кг/кг	Электроқуат бойынша, кВт сағ/кг
Магнетит	2,8-3,5	14-27	8-11	0,7-2,5	50-140	600-1100	70-120	30-60	0,14-0,25	0,04-0,08
Мыс	1,6-3,2	9-22	10-18	0-7	30-55	600-900	110-150	20-65	0,12-0,19	0,03-0,06
Мыс-никельді	3,2	14	18-20	8-10	35-40	1000	140-160	30-40	0,12-0,16	0,08-0,1
Пирит	2,8-3,2	14-12	10-14	3,8	45-55	600-800	110-150	15-40	0,15-0,17	0,05
Қорғасын	2,2	10	15-16	7-8	8-9	900-1000	130	15-20	0,12-0,17	0,15
Мырыш	1,6-3,2	10-22	11-17	6-7	25-30	700-1000	110-150	15-25	0,12-0,17	0,15
Барит	2,2	10	14	4-5	3-4	900-1000	130	10-11	0,175	0,148
Көмір (флотациялық)	2,8	14	24	10	33	800	110	60	-	-

Құбырлы кептіргіштер (6.5-сурет) көмір байыту фабрикаларында кеңінен қолданыс тапқан. Ол тік орналасқан құбырдан (2) тұрады. Оған зат бункерден арнаулы түсіргішпен (1) түсіріледі. Оның түпкі шеті ыстық газ шығаратын жандырғыш камерамен (8), ал жоғарғы шеті құрғатылған затты газдан бөлетін циклондармен (3,4) жалғасады. Оларда шөккен зат арнаулы қондырғы (6) арқылы шығарылады. Құбырдың төменгі жағы сыртынан асбест қабатымен, ал ішкі беті отқа төзімді кірпішпен қапталған.



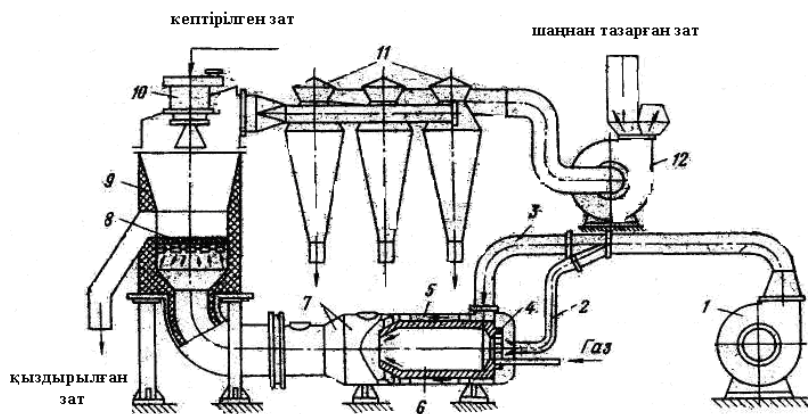
6.5-сурет. Газды құбырлы кептіргіш сұлбасының көрінісі:
 1-түсіргіш; 2-құбырлы кептіргіш; 3-циклон; 4-батареялы циклон;
 5-скруббер; 6-арнаулы қондырғы; 7-түтін сорғыш; 8-жандырғыш
 камера; 9 – вентилятор; 10 – бекітпе (затвор)

Құбырға түскен зат сорғыш-вентилятор (9) күшімен жоғары көтерілу кезінде құрғайды. Газ атмосфераға шығарылу алдында шаң ұстағыш қондырғыдан (скруббер) өтіп тазартылады.

Газ ағынымен көтерілмейтін тым ірі түйіршіктер құбырдың түбіне жиналып арнаулы бекітпе арқылы шығарылады. Құбырлы кептіргіштерге ірілігі 10–15 мм-ден аспайтын зат түседі. Кептіргіштердің диаметрлері 0,8–0,5 м, ал биіктігі 15–25 м аралығында өзгереді.

Көмір концентраттарын құрғатуға қайнау қабатты кептіргіштер қолданылады. Олардың құбырлы кептіргіштерден негізгі айырмашылығы сол, кептіру камерасына түскен зат газ ағыны күшімен тор үстінде қалқымалы күйде болады да кептіріледі. Заттың негізгі массасы біртіндеп арнаулы бекітпе арқылы шығарылады. Газбен бірге шыққан шаң циклондарда ұсталады.

Кокс газымен істейтін қайнау қабатты кептіргіштің сұлбалық көрінісі 6.6-суретте көрсетілген.



6.6-сурет. Қайнау қабатта кептіруге арналған кептіргіштің сұлбасы:
1-үрлеуші вентилятор; 2,3-ауа құбырлары; 4-жандырғыш (горелка);
5-от жағатын жер; 6-жандыру камерасы; 7-араластырғыш камера;
8-тор; 9-кептіру камерасы; 10-кептірілетін зат беруші құрылғы;
11-циклондар; 12-шаңсорғыш вентилятор

Қайнау қабатты құрғатқыштардың жұмыс істеу көрсеткіштері.

Көмірдің ылғалдылығы, %:

кептірудің алдында -----12–21,9

кептірудің аяғында -----8,2–13,5

тор бетінің ауданы, м^2 -----2,5–7

зат қабатының биіктігі, мм -----200–600

ылғалы шығару үлесі, $\text{т}/(\text{м}^2 \text{ сағ})$ -----1,8–2,2

Шығын:

1 кг буланған ылғалға шығындалатын жылу, кДж---3980–4300

жылу тасуға, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ сағ})$ -----9000–10000

1 т буландырылып шығарылатын ылғалдылыққа қажетті

электрқуат, кВт сағ-----30–35

Жылу алып жүргіштің (агенттің) температурасы, $^{\circ}\text{C}$ ---500–619

Кептіру кезінде газбен ұшып кететін көмір үлесі, %-----4,8–24

Қайнаған қабатты кептіргіштер жұмысының тұрақтылығы, бастапқы заттың ылғалдылығының тұрақтылығына тәуелді болады. Неғұрлым ылғалдылық мәні аз өзгерсе, соғұрлым кептіргіштің жұмысы тұрақты боп келеді. Тор бетінде қайнаған заттың биіктігі орташа 800–1000 мм шамасында болады. Құрғату кезінде түйіршіктердің зат қабатында қалқуы 14–15 сек құрайды.

7. ШАҢНАН ТАЗАРТУ ЖӘНЕ ШАҢҰСТАУ

7. 1. Өндірістік шаң. Жалпы түсініктер

Шаңнан тазарту қажеттігі әр түрлі себептерге байланысты [12]. Байыту фабрикаларына түсетін кендердің құрамында оларды қазып алу, ұсату үрдістерінде пайда болатын шаң болады. Егер кен ауамен байытуға түсетін болса, ол алдын ала шаңнан тазартылуы қажет. Бірақ кен ылғалдылығы 3-5%-тен асса ұнтақты шаң түрінде айыру қиын. Сондықтан кейінгі байыту үрдісі тек сулы ортада жүргізіледі, сондықтан ол ұнтақ шлам түрінде бөлінеді.

Шаң бөлу ортадан тепкіш күш пайда болатын камералы, жалюзді және басқа аппараттарда ауа ағыны күшімен жүргізіледі.

Шаң қандай мақсатпен бөлінсе де ол ауамен бірге атмосфераға шығып, оны былғамау керек. Сондықтан бөлінген шаң әрдайым ауадан бөлініп ұсталуы қажет. Шаң қандай құрамды болмасын адам организмiне өте зиянды. Көпшілігі организмнің әр жеріне жиналып ауыр ауру түрлеріне шалықтырады.

Байыту фабрикаларында түсетін кендердің құрамында оларды қазып алу үрдісінде пайда болатын шаң түрі болады. Ерекше үлкен шаңның үлесі ұсату ұнтақтау, елеу үрдістерінде, пайдалы қазбаларды пневматикалық байытуда және кенді тасымалдау кезінде пайда болады. Байыту өнімдердің кептіру кезінде шаң түтін газдармен шығарылады. Шаң кейінгі байыту үрдістеріне айтарлықтай кемшілік келтірмегеннің өзінде организмге зияны тимес үшін ұсталуы қажет. Сондай жерлер әдетте, әр түрлі әдіспен жұмыс істеу кезінде қауіпсіздендіріледі. Мысалы ұсатқыштар үстері, басқа да жерлер қалқалармен қоршалынып, шаң сорғыш вентилятормен жалғасады. Одан шыққан шанды ауа шаң ұстағыштарға түседі.

Құрғату үрдісінен шығатын шаң тек ауа тазарту үшін ғана емес онда бағалы зат үлесі жоғары болғандықтан (ол

концентраттан бөлінген шаң) концентратқа қайта қосу үшін ұсталады.

Өндірістік шаң – деп ауада ұзақ уақыт шөгетін әртүрлі көлемді қатты зат бөлшектерінен тұратын дисперсиялық жүйені атайды [13].

Шаң түйіршіктерінің көлемі 1-ден 100 мкм-ге дейін (0,001–0,1 мм) өзгереді. Бөлшектер ауада біркелкі жылдамдықпен Стокс заңымен шөгеді. Сондықтан, ауадағы шаңды аэрозоль десе болады, мұнда дисперсиялық орта ретінде ауа болады да, ал дисперсті фаза ретінде – шаңның ішіндегі қатты түйіршіктер.

Ауадағы шаң оның бір көлемінде (мг/м^3) бөлшектердің салмағымен, болмаса бөлшектердің 1см^3 ауадағы санымен өлшенеді. Шаңда химиялық белсенділік үлкен – атмосферадан газды адсорбциялау қабілеті бар. Шаң бөлшектерінің электрлі қасиеті бар. Органикалық шаң – көмір, графит т.б. және алюминий, магний шаңдары ауадағы оттеппен байланысқанда отталу және жарылыс болуы мүмкін.

Шаң қандай құрамды болмасын адам организмiне өте зиянды. Көпшілікте ол адам организмiне жиналып ауыр ауру түрлерiне шалықтырады. Адамға шаңның зияндылығы бөлшектердің химиялық құрамына байланысты. Әктас, тас көмір шаңы танау қабықтарын тітіктендіреді. Қорғасын, мырыш, сынап, күшәлә (мышьяк) минералдар шаңдарының улылығы бар. Өте ауыр аурулардың түрі *силикоз* – деп аталады, ол SiO_2 шаңымен демалу кезінде пайда болады.

Байыту фабрикаларында шаңмен күрес түрлері келесідей: пайдалы қазбаларға су себу, егер кен ауамен байытуға түсетін болса, ол алдын ала шаңнан тазартылуы қажет, ұсатқыштар үстері, басқа да жерлер қалқалармен қоршаланып, шаң сорғыш вентилятормен жалғасады. Одан шыққан шаң шаңұстағыштарға түседі. Өндірістік орындарда шаңның шектік шоғырлануы (ПДК – ШРШ) санитарлық мөлшермен шектеледі.

7.2. Шаңсыздандыру

Ұсақ шаңды түйіршіктерді бөліп алу екі әдіс арқылы жүргізіледі: ауа ағымындағы әдістері және сумен суландыру (шламсыздандыру) әдістерімен. Пайдалы қазындылардағы шаңның үлесі, сол пайдалы заттардың қасиеттеріне және қазып алу әдістеріне, өңдеуге және оларды тасымалдауға тәуелді болып келеді. Мысалы, көмірлерді комбайнсыз алуда, ондағы ірілігі 0–0,5 мм (шаң) кластық үлесі 10 % құрайды. Комбайнмен алынған көмірдегі бұл кластың үлесі 20 %-ке өседі. Ашық әдіспен алынған кенде шаңның үлесі жерасты қазуға қарағанда төмен. Магнетитті және гематитті темір кендерінде шаң үлесі төмен болады. Егерде темір кендерінде жұмсақ компоненттер бар болса, онда олар шаң құрамын жоғарылатады. Түсті металл кендері өздерінің мықтылығына қарай аз мөлшерде шаңды болады. Пневматикалық сепарациялауда (сұрыптауда) шаң көп шығады.

Құрғақ шаңсыздандыру үрдісі ауалы сұрыптағыштарды–шаңсыздандырғыштарда жүргізіледі. Мұнда шаңды бөліп алу ауа ағымында атқарылады. Ауа ағымы қозғалыстағы қопсыған зат қабатынан өту арқылы оны шаңсыздандырады. Осы кезде ауа ағымы шаң түйіршіктерін өзімен бірге ілестіріп, жол бойындағы шаңұстағыш құрылғыға жеткізеді. Ауа ағымынан түсіп бөлінген заттың ірі түйіршіктері шаңсызданған өнім ретінде арнаулы жинағышта жиналады. Жалпы шаңсыздандырғыштар төмендегідей болып бөлінеді: ортадан тепкішті, камералы, жалюзийлі, роликті, дірілді, тербелісті және тағы басқа түрдегідей.

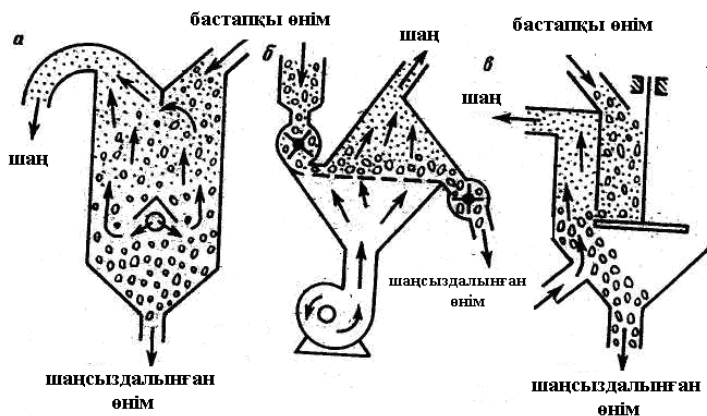
Пайдалы қазындыларды байыту тәжірибесінде неғұрлым көп қолданылатыны – ортадан тепкіш шаңсыздандырғыштар.

Шаңды судың ағымын бөлуде електер, гидроциклондар, әр түрлі сулы сұрыптағыштар қолданылады.

Ауада сұрыптау үрдісінде шаңды бөлу ағымдардың тік, тура (горизонтальді) бағыттарында (7.1-сурет) жүргізіледі. Шаңсыздандыру камерасына берілетін ауа мөлшері V (м³/с) газдың жылдамдығына U_T (м/с) және камераның кесіндісіне F_k (м²) тәуелді:

$$V = \mathcal{G}_r F_K. \quad (7.2.1)$$

$$F_K = \frac{V}{\mathcal{G}_r}. \quad (7.2.2)$$



7.1-сурет. Шаңсыздандыру сұлбалары:
а-тік ағын; б-тура ағын; в-аралас ағын

Газ (ауа) ағынының затты қиып өту кезіндегі жылдамдығы келесі формуламен анықталады:

$$\mathcal{G}_r = m \cdot \mathcal{G}_K, \quad (7.2.3)$$

мұндағы $\mathcal{G}_K$ – берілген шаң ірілігіне байланысты шаң түйіршіктерінің қалқу жылдамдығы, м/с; m – шаңның шаң газды қоспалардағы концентрациясына (n_k) тәуелді болатын коэффициент.

$$n_k = \frac{\sigma_n}{\sigma_g},$$

мұндағы σ_n – заттан бөлініп алынатын шаң массасы, кг/сағ;
 σ_k – шаңсыздандыру аппараттарына берілетін ауа (газ) массасы, кг/сағ.

Шаңның концентрациясына (n_k) қарай m коэффициенттің өзгеру дәрежесі:

n_k 1 дейін	1-2	2-10	10-15	>15
m 1,25-1,3	1,35-1,15	1,5-2,0	2-2,5	2,5-3,0

Шаңсыздандыру камераларын есептеу және шаңсыздандырғыштарды таңдау келесі ретпен жүргізіледі: бөлінетін шаңның мөлшері анықталады, елеуішті талдау кезінде n_k шамасы қабылданады, берілетін газдың салмақ мөлшері мен көлемі, газдың жылдамдығы Q_1 және шаңсыздандырушы камераның кесіндісі анықталады.

Шаңсыздандырушы қондырғының жұмысы шаңды бөліп алу дәрежесі және оның пайдалану коэффициентімен сипатталады. Бастапқы өнімдегі шаң мөлшерімен және одан шаңды өнімге бөлініп алынған шаң мөлшері арасындағы қатынасты шаңсыздандыру дәрежесі немесе шаңды бөліп алу дәрежесі деп атайды.

Шаңды бөліп алу дәрежесі ε_n төмендегі формуламен анықталады:

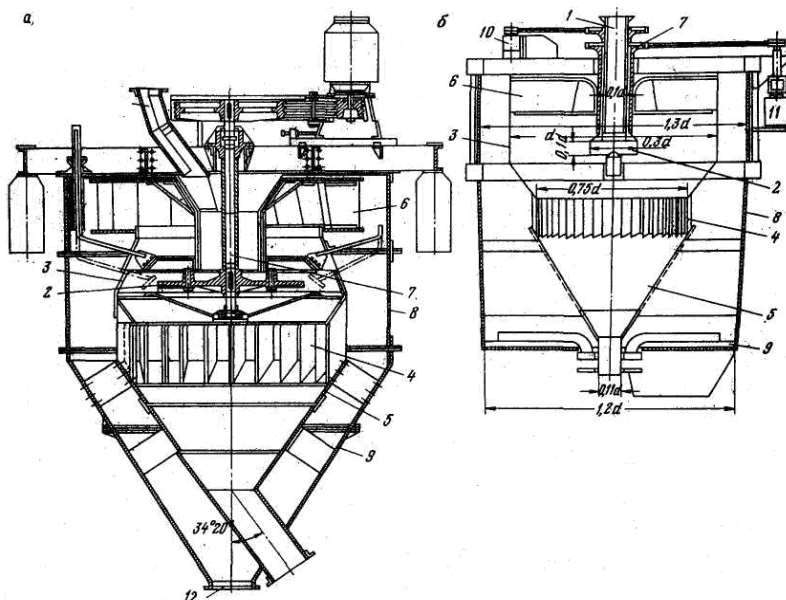
$$\varepsilon_n = \frac{\beta \cdot x}{100\alpha}, \text{ бірлік бөлшегі; } \quad (7.2.4)$$

$$\varepsilon_n = \frac{\beta \cdot x}{\alpha}, \%, \quad (7.2.5)$$

мұндағы α – бастапқы өнімдегі шаң мөлшері, %; β – шаңды өнімдегі шаң мөлшері, %; x – бастапқы өнімнен алынған шаңды өнім, %.

Байыту фабрикаларында көпшілік жағдайда шаңсыздандыру үшін ортадан тепкіш шаңсыздандырғыштар қолданылады. Олардың бір түрі

7.2-суретте келтірілген.



7.2-сурет. Ортадан тепкіш шаңсыздандырғыш:
а-ОЦ-3,5; б-ОЦ-7

ОЦ-3,5 аппараттарында шаңсыздалынатын бастапқы зат оймыш 1 арқылы айналып тұратын дискіге 2 түсіріледі және ортадан тепкіш күш әсерімен оның бетінен лақтырылып ішкі камераның 3 қабырғаларына келіп түседі. Одан төмен қарай жалюздер 4 арқылы конуска 5 төгіледі. Шашыратылған зат астыңғы жағынан ауа ағынымен үрлендіріледі. Ауа ағыны вентилятормен 6 іске асырылады, ал вентилятордың айналуы білік 7 арқылы беріледі. Ауа ағынымен көтерілген шаң түйіршіктері вентилятор роторының қалақшаларына түсіп, одан сыртқы цилиндрлі камераның 8 қабырғаларына лақтырылады. Осы жағдайда шаң түйіршіктері айналмалы қозғалыс алу негізінде осы камераның конустық бөлігіне 9 түсіп, одан сұғындырма 12 арқылы шаңсыздандырғыштан алып кетіледі. Шаңсызданған өнім шаңсыздандырғыштан конус 5 және

сұғындырма арқылы шығарылады. Шаңнан тазарған ауа жалюзийлер арқылы ішкі камераға қайта оралады да шаңсыздалынатын зат қабатынан өтіп вентиляторға қарай бағытталады. Демек, ауа шаңсыздандырғышта айналмалы қозғалыста болады. Бастапқы шаңсыздалынатын өнім қабатын реттеу конус арқылы жүргізіледі.

7.2 б-суретте жетілдірілген ортадан тепкіш шаңсыздандырғыш – ОЦ-7 келтірілген. Оның вентиляторға 6 және дискіге 2 арналған жеке жетектері 10, 11 бар. Сыртқы камераның 8 көлбеу бұрышы шамалы болып келеді және шанды аппараттан шығаруға арнаулы құрылғы 9 қарастырылған.

Ортадан тепкіш шаңсыздандырғыштар ықшамды, тиімді болып келеді. Олардың кемшілігі – ылғалды затты шаңсыздандыруда. Құрғақ заттардан шаң жақсы бөлінеді (шаңұстау әсерлігінің коэффициенті 70–80 %), ал ылғалды заттардан шанды ажырату нашар атқарылады (25–30 %).

7.3. Шаңұстау әдістері және шаңұстағыштар

Шаң бөлінетін және жиналатын орындарда вентиляциялық жабдықтармен (шатыр, жең, қаптау және т.б.) шаңдарды бөліп алу шаңұстау деп аталады. Шаңнан тазаланған ауа (газ) қайта айналып атмосфераға түгелдей немесе жартылай технологиялық үрдіске қайта қолдануға қайтарылады. Шаңұстаудың екі түрі бар:

- 1) өндірістік-технологиялық;
- 2) өндірістік-санитарлық.

Өндірістік-технологиялық жүйе ауа немесе газды шаңнан тазалауға одан кейін тазаланған шаң технологиялық үрдісте пайдалануда қолданылады. Мысалы, пневматикалық байытуда (көмір байыту фабрикаларында), байытылған өнімдерді кептіру, пайдалы қазбаларды тасымалдау және т.б. Аталған жүйенің ерекшелігі, онда көп ауа (газ) тазартылады, үлкен желдеткіштермен және өндірістік өнімділігі жоғарғы аппараттармен шаңұсталады.

Өндірістік – санитарлық жүйе ауадан шаңұстау үшін қолданылады, көп шаң шығарылатын жабдықтардан және пайдалы қазбаларды тиейтін жерлерде пайдаланылады. Бұл жүйе аз мөлшерде ауаны шаңнан тазартады.

Ауаны шаңнан тазалау механикалық және электрлік әдістермен жүргізіледі. Механикалық тазарту әдістері құрғақ және сулы болып бөлінеді.

Шаңдалған ауадан (газдан) шаңды бөліп алу және оны камераларда шөгілдіру немесе шлам түрінде ажырату әр түрлі әдістермен атқарылады: ауырлық және екпінді күш әсерімен, кеуекті қалқадан ауаны (газды) сүзумен шаңды ұстау, электрлік күштер әсерімен шаңды ионизациялаумен электродтарға шөктіру, шаң түйіршіктерін суландырумен оларды шламдар ретінде бөліп алу, майда шаң бөлшектерін коагуляциялау арқылы ірілендіріп, сонан ауырлық және екпінді күштер әсерімен шөгілдіру.

Шаңнан тазалау әдістерін таңдау шаңның бағаларына қарай, тазалау шамасына, тазаланатын ауаның температурасына және басқа факторларға байланысты қарастырылады.

Байыту фабрикаларында қолданылатын шаңұстағыштардың сипаттамалары 7.1-кестеде келтірілген.

7.1-кесте

Шаңұстаушы аппараттар

Шаң ұстау әдістері	Әсер құралы	Аппараттар
Механикалық, құрғақ	Жай қозғалатын ауадан (газдан) шаң бөлшектерінің шөгуі, ауырлық күш әсерімен	Шаң қондырғыш камералар
	Шектеулі ағынның бөлігінде шаңның шоғырлануы оның бөлшектерінің қозғалуындағы инерциялық күштің әсерімен	Инерциялық жалюзді шаңұстағыштар
	Айналмалы ауа ағынынан ортадан тепкіш күш әсерінен шаң бөлшектерінің шөгуі	Ортадан тепкіш шаңұстағыштар (жай және батареялі циклондар)

7.1-кестенің жалғасы

	Шаңдалған ауаны кеуекті қалқалардан сүзу	Құрғақ шаң сүзгіштер
Механикалық, сулы	Шаң бөлшектерін суландыру арқылы оларды ауадан бөліп алу	Сулы циклондар және циклонды шайғыштар
	Шаңдалған ауаны көпіршік және су қабатынан сүзу	Ортадан тепкіш скрубберлер. Қабыршақты шаңұстағыштар. Сұғындырмалы скрубберлер және т.б.
Электрлік	Кері электрлі зарядтармен шаң бөлшектерін зарядтау және оларды оң зарядталған электродтарға шөктіру	Электрсүзгіштер

7.3.1. Шаңұстағыштар

Шаңұстау көпшілік жағдайда бірнеше аппараттарды қолдану арқылы жүргізіледі. Әр аппаратта ірілігіне қарай шаңның әр түрлі ірілікті фракциялары ұсталады.

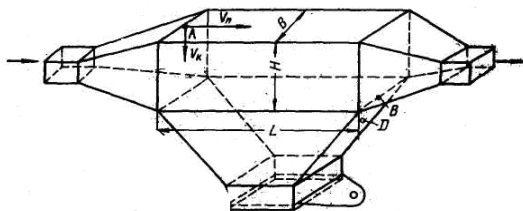
Жұмыс принциптеріне қарай механикалық және электрлік шаң ұстағыштарға бөлінеді. Механикалық шаң ұстағыштарда гравитациялық күш, ортадан тепкіш күш және сүзу қолданылады.

Ірілігі 0.1 мм-ден артық түйіршіктер ірі шаңға жатады. Олар шөгілдіргіш камераларда және циклондарда ұсталады. 0,1–1,0 мм ірілікті шаң сулы ұстағыштарда, бірнеше сатылы циклондарда, не сүзу арқылы ғана ұсталады. Шаң ірілігі 0,01 мм-ден аз болса, тек ұсақ саңлаулы матадан жасалған сүзгішпен, электрлі сүзгішпен не сулы ортадан өткізіп ұстауға болады. Ірілік 0,0001 мм-ден төмен болса, тек электрлі сүзгіш не сулы ұстағыштар ғана қолданылады. Көпшілік жағдайда шаңды

ауа алдымен шөгілдіргіш камерадан, одан кейін циклондардан, ақырында не маталы сүзгіштен, не электрлі сүзгіштен, кейде сулы ортадан өткізіледі.

7.3.2. Шаңұстағыш камералар

Камералық шаңұстағыштар ұсақ түйіршіктермен және ірі шаңда (>100 мкм) ұстауға қолданылады. Олар соңғы кездерде барабанды кептіргіштер және құбырлы кептіргіштердің өнімдерін шөгілдіруге қолданылады.



7.3-сурет. Камераларда түйіршік қозғалыстарын есептеуге қажетті өлшемдер

Камералық шаңұстағыштардың әрекет принципі камераның көлденең қиындысының оған түскен газ ағымының ламинарлық қозғалысқа түсуіне мүмкіндік беруінде. Ауырлық күшінің әсерінен ірі шаң бункерде шөгеді, ал шаңнан тазаланған ауа (газ) өте ұнтақ шаңмен бірге камерадан шығады. Мысалы, шекті өлшемді түйіршік А нүктесінде өте ыңғайсыз күйде тұр делік. Қозғалымдағы газ ағымынан түйіршіктің бөлініп шығу жеке бункерде шөгілу шарты көлденең бағытта L қашықтықта қозғалуында H биіктігінде құлауы болады.

Көлденең бағытта түйіршік жылдамдығының мөлшері ағымның жылдамдығына тең g_n , ал құлау жылдамдығын ақырғы құлау жылдамдығына g_k тең деп алуға болады. Түйіршіктің бункерге түсу шарты мынадай қатынаспен өрнектеледі:

$$t_k - \frac{H}{g_k} \leq Z_n = \frac{L}{g_n}.$$

Бұдан ақырғы шөгу жылдамдығы

$$g_k = \frac{H g_n}{L} \text{ және } g_n = \frac{L g_k}{H}.$$

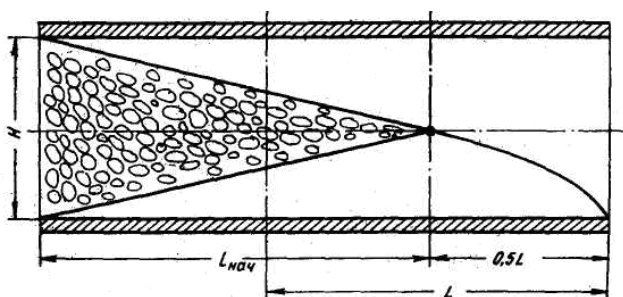
Камера өнімділігі (м³/с)

$$V = B H g_n = \frac{B H L g_k}{H} = F \cdot V_k.$$

Сағаттық өнімділік

$$V_c = 3600 F g_k,$$

мұндағы F – камераның көлденең бағыттағы ауданы, м².



7.4-сурет. Камерадағы түйіршіктер мен газ қозғалысының сұлбасы

Профессор С.Е. Бутаков камера басындағы турбуленттік қозғалыстың орталық өсіне жіңішкеруіне қарай ламинарлы қозғалысқа келетінін дәлелдеді.

Бастапқы ұзындық (м) проф. С.Е. Бутаковтың формуласымен анықталады:

$$L_H = \frac{0,115 H^2 g_n}{v},$$

мұндағы v – кинематикалық тұтқырлық, м²/с.

$$\begin{array}{llll} \text{Түйіршіктердің} & \text{шөгуіне} & \text{кажетті} & \text{ұзындық} \\ L_0 = 0,5L = 0,5 \times \frac{V}{B \cdot g_k} \end{array}$$

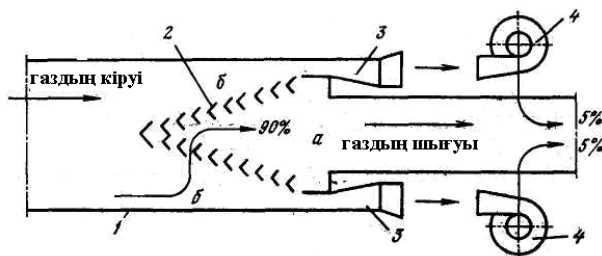
$$\text{Камераның жалпы ұзындығы (м)} \quad L_k = 0,115 \frac{H^2 g_n}{v} + 0,5 \times \frac{V}{B \cdot g_k}.$$

$$H = \frac{V}{B g_n} \text{ болғандықтан,}$$

$$L_k = 0,115 \frac{V^2}{B^2 g_n v} + 0,5 \times \frac{V}{B \cdot g_k}.$$

7.3.3. Екпінді жалюзді шаңұстағыштар

Жалюзді шаңұстағыштарда газдың шаңдалған ағымы қозғалыс бағытын өзгертеді, ал шаң түйіршіктері тығыздықтары үлкен болғандықтан екпіндерімен сол бағытта қозғалады. 7.5-суретте жалюзді шаңұстағыштың жұмыс сұлбасы көрсетілген. Шаңды газ ағымы шаңұстағышқа түскеннен кейін қозғалу жолында көлбеу орнатылған пластинкаға (қалқаншаларға) соғылады. Газ ағымы пластинка араларындағы кеңістікке бұрылады да «а» аймағына түседі, ал шаң түйіршіктері пластинкаларға соғылады да, оларда ырғып ыршып аз көлемді газбен «б» аймағына ауысады. Осы аймақта аз көлемді газбен (5–10 %) араласып жинақталады. Шаң жинақталған ауа ағымы «б» аймағынан тиімділігі жоғары шаңұстағышқа (циклон не сүзгіш) бағытталады. Жалюзді шаңұстағыштардың газды тазалау тиімділігі төмен: бұларда негізінен размерлері $>0,1\text{ мм}$ түйіршіктер ұсталады. Байыту фабрикаларында олар қолдану тапқан жоқ.



7.5-сурет. Жалюзді шаңұстағыштың сұлбасы

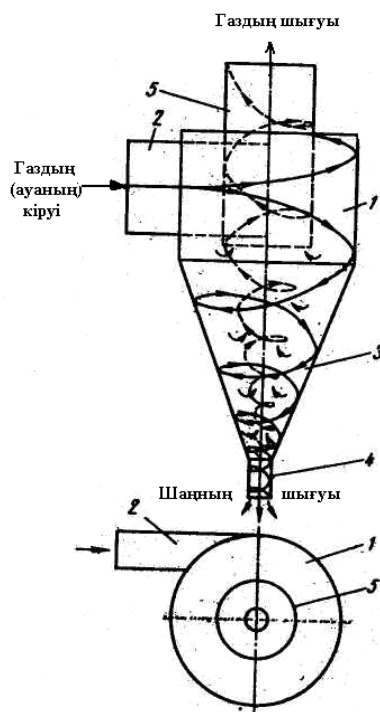
7.3.4. Шаң ұстауда қолданылатын циклондар

Циклондар кен байыту фабрикаларында ауаны және газды ұнтақ шаңды заттан ортадан тепкіш күш әсерімен тазалау үшін қолданылатын аппараттар болып саналады.

Циклондарды есептеу олардың негізгі өлшемдерін және кедергілерін немесе циклонның өнімділігін анықтау үшін жүргізіледі.

Циклондар – ауада (газда) ірілігі 10–30 мк шаңдарды ұстайды. Циклондар *қарапайым* (7.6-сурет) және *батареялі* болып екіге бөлінеді. Қарапайым циклондарды басқа шаңұстағыш аппараттарға қарағанда жұмысшы элементтің үлкендігіне байланысты ажыратуға болады. Осы қасиетін пайдаланып ірі шаң-тозаңды ұстауға пайдаланылады. Ал батареялі циклондар бір топ кіші диаметрлі қарапайым циклондардан тұрады.

Циклондарда түйіршіктер салмақ әсерімен және ортадан тепкіш күштер әсерімен шөгіледі. Циклон екі бөліктен – *цилиндрлі және конустан* тұрады. Ауа цилиндрлі бөлікке жанама орнатылған құбырмен түседі. Соған байланысты ауа айналмалы қозғалысқа келеді де түйіршік салмақ және ортадан тепкіш күш әсерімен ішкі қабырға бетіне жабыса жылжып конусты бөлектің түбіне түседі. Ауа цилиндрлі бөлектің беткі қақпағының ортасындағы тесікке орнатылған сұғындырма арқылы шығарылады.



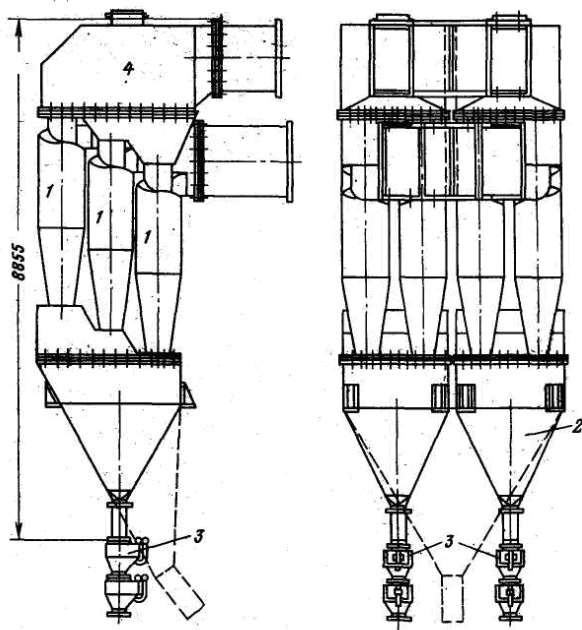
7.6-сурет. Циклонның жұмыс істеу сұлбасы:
1-цилиндрлі бөлек; 2-құбыр; 3-конустық бөлек; 4-сұғындырма;
5-ішкі құбыр

Түйіршікке әсер ететін ортадан тепкіш күштің өлшемін төмендегі формула арқылы анықтауға болады: $p = mv^2/r$, кг, мұндағы m – шаң түйіршіктерінің массасы, кг сек²/см; v – циклондағы шеңбер арқылы қозғалу жылдамдығы м/сек; r – түйіршіктердің айналу радиусы, м.

Циклондарда шөгілдіру тиімділігі оның диаметріне байланысты. Мысалы, диаметр – 0.3 метрден 3 метрге дейін өзгереді. Кіші диаметрлі циклондарда шөгу дәрежесі 92–95 %

болса, ал үлкен диаметрлерінде – ол 60–70 % ғана. Бірақ кіші диаметрлілерінің өнімділігі төмен. Сондықтан практикада көбінде параллельді жұмыс істейтін кіші диаметрлі екі, үш, төрт, алты және сегіз циклондар қатар колданылады (батарейлі циклондар).

Батарейлі циклондар (7.7-сурет) құрамына 8, 12 және одан көп кіші диаметрлі циклондар кіреді. Шаңды ауа барлық циклондарға бөлініп бірдей түседі. Батареядағы циклон саны тазартылатын ауаның көлеміне байланысты анықталады. Барлық циклондар қатар бір қаптама (кожух) ішінде орналасады. Ұсталынған шаң қаптаманың төменгі конусты бункеріне түседі, ал тазаланған ауа оның жоғарғы қақпасындағы тесіктен шығады.



7.7-сурет. Батарейлі шаңұстағыш БП-75:

1- циклондар блоктары; 2 – бункер ; 3- шаң шығарғыш құрылғы;
4 –коллектор

7.7-суретте батерейлі циклон – шаңұстағыш БП–75 көрсеткен, оның техникалық сипаттамасы 7.2-кестеде келтірілген.

Батерейлі циклон екі бірдей құрастырылған секциялардан тұрады, оның әр біреуіне циклондар блоктары 1, бункер 2, шаң шығарғыш құрылғы 3 және тазаланған ауа шығарушы коллектор 4 кіреді. Шаңдалған ауа әр циклонға жеке түсіріледі, шаңнан тазаланады және газды ауаны бөлетін құбырлармен жалпы коллектор арқылы циклоннан шығарылады. Циклондардағы шаң жалпы бункерге шөгіп және одан арнаулы шаң шығарушы құрылғымен шығарылады.

7.2- кесте

Батерейлі шаңұстағыштардың техникалық сипаттамалары

параметрлері	Шаңұстағыштар					
	БП-3	БП-15	БП-35	БП-50	БП-75	БП-100
Өнімділігі, м ³ /сағ	300	1500	35000	50000	75000	100000
Қондырғыдағы циклон саны	8	8	8	8	12	16
Циклондардың диаметрі, мм	200	450	700	800	800	800
Аэродинамикалық кедергі, н/м ²	70	70	85	85	65-70	65-70
Аппарат массасы, кг	524	1719	3979	9881	10384	13780

7.3.5. Циклонның негізгі өлшемдерін және кедергілерін анықтау

Есептеуге берілген шамалар болып саналатындар:

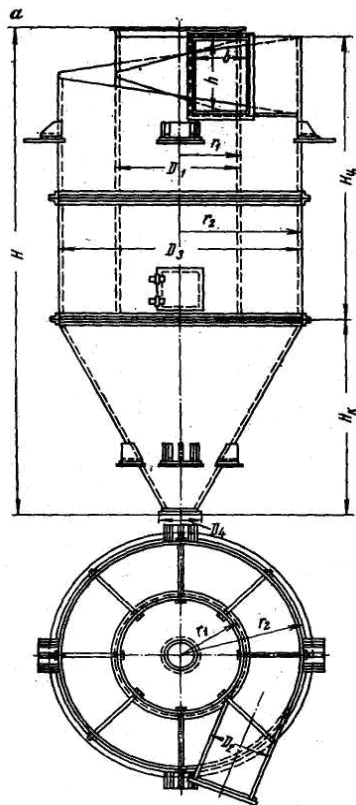
Q – циклонның шаңды ауа (газ) бойынша өнімділігі, м³/сағ;

ω_1 – циклонға кіре берістегі ауа (газ) ағынының жылдамдығы (18–25 м/сек);

ω_2 – ауа шығатын сұғындырма (патрубок) құбырындағы ауа (газ) ағынының жылдамдығы (6 м/сек);

η – ауаның (газдың) тазарту дәрежесі, %.

Циклонды есептеу сұлбасы 7.8-суретте берілген.



7.8-сурет. Циклонды есептеу сұлбасы

Циклонға кіре берістегі сұғындырма диаметрі D_1 келесі қатынастан анықталады:

$$Q = 3600 \frac{\pi D_1}{4} \omega_1, \quad (7.2.6)$$

бұдан:
$$D_1 = \sqrt{\frac{Q}{900\pi\omega_1}}, \text{ м} \quad (7.2.7)$$

Сұғындырманың дөңгелек кесіндісі циклонға кірерде төртбұрыштыға айналады, егерде кесіндінің ұзындығымен оның ені арасындағы қатынасты мынаған тең деп алса $\frac{h}{b} = 2,5$, онда:

$Q = 3600 \cdot 2,5b^2 \cdot \omega_1$,
бұдан:
$$b = \sqrt{\frac{Q}{3600 \cdot 2,5\omega_1}} \approx 0,01 \sqrt{\frac{Q}{\omega_1}}, \text{ м} \quad (7.2.8)$$

Циклоннан ауа (газ) шығарылатын құбыр диаметрі – D_1 төменгі теңдеуден табылады:

$$Q = 3600 \frac{\pi D_2^2}{4} \omega_2,$$

ал бұдан:
$$D_2 = \sqrt{\frac{Q}{900\pi\omega_2}}, \text{ м}.$$

Циклон диаметрі D келесі қатынастан табылады:

$$b = r - r_2 = \frac{D}{2} - \frac{D_2}{2}$$

бұдан:
$$D = D_2 + 2b \sqrt{\frac{Q}{900\pi\omega_2}} + 0,02 \sqrt{\frac{Q}{\omega_1}}, \text{ м}$$

Кейбір циклондардың ені тең болады:

$$b = \frac{D - D_2}{2m}, \text{ мұндағы } m - \text{тұтас сан, көбінде 2-ге тең.}$$

Осындай жағдайда $D = D_2 = 2mb$, м

Циклонның гидравликалық кедергісі $h_{\text{гидр}}$ мына формула арқылы есептелінеді:

$$h_{\text{гидр}} = \varphi \frac{\omega_1^2}{2g} q_{a(a)} \text{ мм су бағ.},$$

мұндағы φ – циклонның құрылымына тәуелді гидравликалық кедергі коэффициенті; ω_1 – циклонның кіре

берістегі ауа (газ) ағынының жылдамдығы, м/сек; $q_{a(a)}$ – ауа (газдың) жұмыс күйіндегі меншікті салмағы, кг/м³; g – ауырлық күштің үдеуі, м/сек²

Газдың жұмыс күйіндегі меншікті салмағын (γ_r) келесі формуламен анықтайды:

$$\gamma_r = p \frac{(1+d)}{760s}, \text{ кг/м}^3$$

мұндағы p – қысым, мм сын. бағ.; d – газдың ылғал үлестігі, кг/кг; s – газдың үлестік көлемі; $s = 0,763 + 0,0028t (1,22 + 0,0045t)$, м³/кг кебу газ бойынша; 0,763 – қалыпты жағдайда кебу газдың үлесті көлемі, м³/кг.

Ауаның үлесті салмағы оның температурасына және қысымына байланысты мына формуламен есептеледі:

$$\gamma_a = \frac{1,293p}{\left(1 + \frac{t}{273}\right)}, \text{ кг/м}^3$$

7.3.6. Циклонның өнімділігін анықтау

Циклонның өнімділігін анықтау үшін алдымен оның ауа (газ) шығаратын құбыр диаметрін (D_2) анықтау қажет. Содан төмендегі формула арқылы өнімділікті есептеуге болады.

$$Q = 3600\pi D_2^2 / 4 \cdot W_2, \text{ м}^3/\text{сағ}$$

$$\text{немесе } Q = 3600bh \cdot W_1, \text{ м}^3/\text{сағ}$$

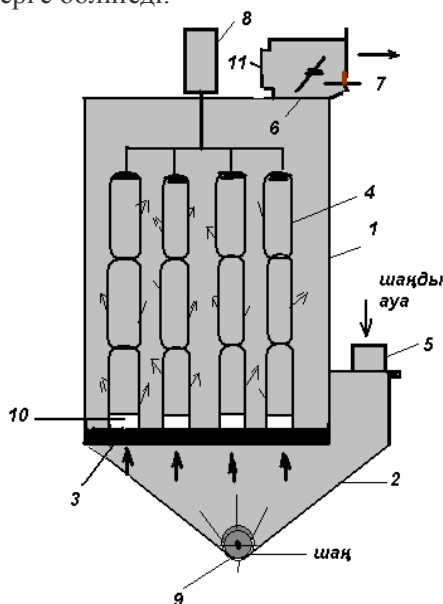
мұндағы D_2 – ауа шығатын құбыр диаметрі, м;
 W_2 – құбырдан шыққан ауа (газ) ағынының жылдамдығы, м/сек;
 W_1 – циклонға кіре берістегі ауа (газ) ағынының жылдамдығы, м/сек.

7.4. Сүзгішті шаңұстағыштар

Шаңды құрғақ сүзгіштер (филтрлер) – шаңды ауаны сүзгіш қалқалардан сүзу принципі арқылы жұмыс істейді. Сүзгіш шаңұстағыштарда шаңды ауа (газ) сүзгіш қалқалардан

өткізіледі. Сүзгі ретінде көптеген ұсақ саңлаулы заттар, мата, мақта-мата және жүнді мата сондай-ақ синтетикалық мата түрлері, кеуекті пластмасса, керамика және тағы басқалары қолданылады. Олар көбінде циклондардан кейін ақырғы тазалау сатысында қойылады. Жиі қолданылатын маталы сүзгіштер. Маталы сүзгіштер жоғарғы температуралы газдарды тазалауға қолданылмайды.

Маталы сүзгіштерді қолданған кезде берілетін ауаның температурасы $60 - 65^{\circ}\text{C}$, ал жүнділерінде $80 - 90^{\circ}\text{C}$. Синтетикалық маталар өте үлкен температуралы ауаны тазалау үрдісінде қолданылады. Жиі қолданылатын маталы сүзгіштер орындалуына қарай каркасты, құндақты (кассетный) және ұяшықты түрлерге бөлінеді.



7.9-сурет. Жәнді шаңұстағыштың сұлбалы көрінісі:

1-корпус; 2-бункер; 3-тесікті плита; 4-маталы сүзгіштер; 5-түсіргіш патрубок; 6-сору патрубогы; 7-клапан; 8-сілкіндіргіш; 9- шнек;
10, 11-патрубоктар

Жеңді сүзгіш (7.9-сурет) тік орналасқан цилиндр не төртбұрыш пішінді түбі шаң жиналатын бункермен 2 біткен корпуста 1 тұрады. Бункер беті тесікті плитамен 3 жабылған. Тесіктерге патрубоктар 10 орнатылған. Маталы сүзгіштер 4 жең пішінді жасалған. Олардың төменгі ашық шеті плита патрубоктарына кигізіліп бекітілген. Жоғарғы тұйық шеттері сілкіндіргіш механизмге 8 ілінген. Шаңды ауа патрубок 5 арқылы бункер кеңістігіне түседі. Корпустың жоғарғы қақпағына орнатылған патрубок 6 шаң сорғыш вентилятормен жалғасқан. Шаңды ауа жеңді ұстағыш ішімен көтеріледі.

Шаң мата бетінде қалып, тазарған ауа жоғарғы патрубоктан шығады. Белгілі бір уақыт өткенде патрубок клапанмен 7 жабылып, сүзгіштер сілкіндіреді. Мата бетіндегі шаң бункерге түсіп, шнекпен 9 шығарылады. Сол кезде патрубок 11 арқылы корпус ішіне қарсы бағытта қысыммен ауа беріліп сүзгіш саңлаулары тазаланады.

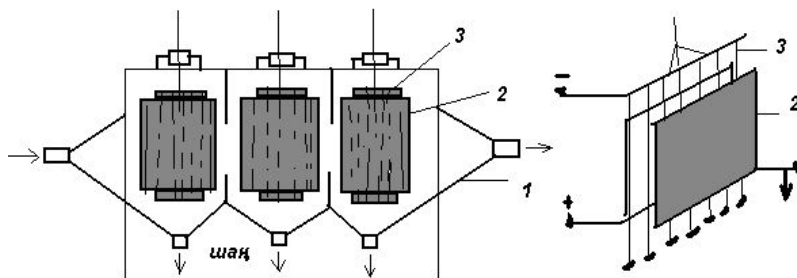
Жеңді сүзгіш ұзындығы 2,2–9 м, ал диаметрлері 150–500 мм аралығында өзгереді.

7.4.1. Электрсүзгішті шаңұстағыштар

Оларда шаңды ауа ионизацияланады. Иондардың адсорбциялану нәтижесінде түйіршік беттерінде электр заряды пайда болады. Олар қарама-қарсы зарядтанған электрод бетіне тартылып, артынан сілкіндіру арқылы түсіріліп жиналады. Ауаны ионизациялау, оны әркелкі электр өрісті екі электрод жүйелерінің арасынан өткізу арқылы жүргізіледі. Шөгіндіргіш электрод түріне қарай түтікті және пластинкалы болып бөлінеді.

Пластинкалы электрсүзгіште (7.10-сурет) темірбетоннан не болаттан жасалған камера 1 ішінде пластинкалы шөгіндіргіш 2 электродтар орналасқан. Екі пластина аралығына рамаға жіңішке сымнан жасалған бірнеше тәжді электродтар 3 орнатылған. Оларға жоғары кернеулі (60 мың вольтке дейін) тұрақты ток көзі қосылған. Шөгіндіргіш электродтар жермен жалғастырылған. Электродтар айналасында өріс пайда болады

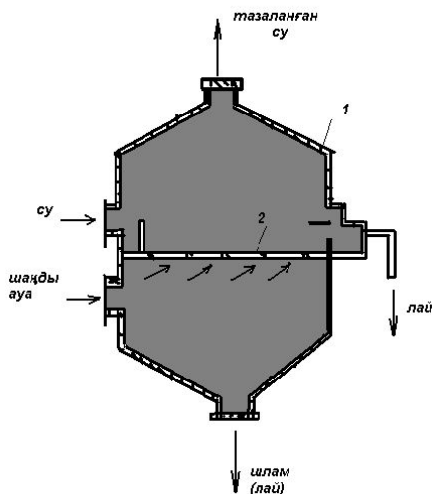
да екі электрод арасында тәжді разряд жүреді. Соның әсерінен молекулалары ионданады да түйіршік беттері теріс зарядтанып оң зарядты шөгілдіргіш электрод бетіне тартылады. Сілкіндіру кезінде шаң салмағымен камера түбіне түседі. Тазарған ауа сорғыш вентилятордың күшімен камераның екінші шетінен шығады.



7.10-сурет. Электрсүзгіш шаңұстағыштың сұлбалы көрінісі:
1-камера; 2-пластинкалы шөгілдіргіштер; 3-электродтар

Бұл сүзгіштерде шаңның ұсталу дәрежесі 99–100 %-ке тең. Тазалану тиімділігі камерадан өту кезінде ауа қысымына тәуелді емес. Бірақ басқа әдістермен салыстырғанда ең жоғары шығынды үрдіс.

Сулы көбікті шаңұстағыштарда шанды газ не су қабаты арқылы, не су тамшыларымен араластырыла өткізіледі. Суда ұсталған шаң шлам түрінде бөлінеді. Бұл әдіспен ең ұнтақты шаң ұсталады және түсетін газ температурасының еш зияны жоқ. Бұл шаң ұстағыштарда әр түрлі жұмыс принциптері қолданылады. Соның бірі – көбікті шаң ұстағыштың сұлбалы көрінісі 7.11-суретте келтірілген.



7.11-сурет. Сулы көбікті шаңұстағыштың сұлбалы көрінісі:
1-корпус; 2-тор

Көбікті шаң ұстағыш корпусы 1 көлденең бағытта ұсақ тесікті тормен екіге бөлінген. Шаңды газ корпустың астыңғы бөлігіндегі бүйір қабырғасынан тор астына түсіп, тесіктер арқылы жоғары көтеріледі. Корпустың үстіңгі бөлігіне тор үстіне су түседі. Оның шығыны тор үстінде қалыңдығы 20–50 мм су қабаты боларлықтай шамада болуы керек. Су корпустың екінші жағындағы тесіктен шығады. Газ ішіндегі шаң төмен аққан сумен араласып ұсталып корпус түбінен шығады. Тор үстінде су қабаты бетінде көпіршіктерден көбік қабаты пайда болады. Тор астында ұсталмаған шаң сол қабатта ұсталады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Справочник по обогащению руд: основные и вспомогательные процессы. М.: Недра 1974.
2. Фридман С.Э., Щербаков О.К., Комлев А.М. Обезвоживание продуктов обогащения. М.: Недра, 1988.
3. Руденко К.Г., Шемаханов М.М. Обезвоживание и пылеулавливание.- М.: Недра, 1981.
4. Белоусов А.М., Бергер Г.С. Обратное водоснабжение на обогатительных фабриках. М.: Недра, 1977.
5. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. М.: Недра, 1984.
6. Сусыздандыру және шаңұстау оқу әдістемелік кешені / Шәутинов М.Р. – Алматы.: ҚазҰТУ, 2008.
7. Процессы и оборудования для обезвоживания руд /Ю.С.Гольдберг, А.А.Гонтаренко, В.Т. Боришполец, Б.В. Гришук. М.: Недра, 1977.
8. Байыту өнімдерін сусыздандыру және шаңұстау. Практикалық сабақтарға арналған әдістемелік нұсқаулар / Шәутинов М.Р. – Алматы.: ҚазҰТУ, 2005.
9. Скобеев И.К. Фильтрующие материалы. М.: Недра, 1978.
10. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия , 1968.
11. Филиппов В.А. Конструкция, расчеты и эксплуатация устройств и оборудования для сушки минерального сырья. М.: Недра, 1979.
12. Очистка воздуха от пыли на горнорудных предприятиях / Г.А. Жовтюк, В.И. Стуканов, А.П. Янов. М.: Техника, 1977.
13. Руденко К.Г., Калмыков А.В. Обеспыливание и пылеулавливание при обработке полезных ископаемых. М.: Недра, 1973.
14. Шилов В.П. Основы обогащения полезных ископаемых. М.: Недра, 1986.
15. Көшербаев Қ. Кен байыту негіздері. – Алматы: Республикалық баспа кабинеті, 1977.

16. Батаногов А.П. Водовоздушное хозяйство обога-
тельных фабрик. М.: Недра, 1984

17. Справочник по обогащению руд. Специальные и вспо-
могательные процессы. М.: Недра, 1983.

18. Байыту өнімдерін сусыздандыру және шаңұстау.
Лабораториялық сабақтарға арналған әдістемелік нұсқаулар
/ Шәутенов М.Р. – Алматы: ҚазҰТУ, 2001.

19. Машинажасау - орысша-қазақша түсіндірме сөздік.
– Алматы: Рауан баспасы, 2000 ж.

МАЗМҰНЫ

Алғы сөз.....	3
1. Кен байыту операцияларында қатты-сұйық жүйелері	4
1.1. Байыту өнімдерін сусыздандыру және оның қажеттілігі	4
1.2. Судың физикалық қасиеті	8
2. Дренаждау үрдісімен сусыздандыру.....	20
2.1. Жалпы түсініктер	20
2.2. Дренаждау үрдісін сипаттайтын көрсеткіштер	20
2.3. Дренаждау үрдісінде қолданылатын құрал-жабдықтар	23
2.3.1. Бункерлерде сусыздандыру	23
2.3.2. Сусыздандыру бункерлерді есептеу	24
2.3.3. Дренажды қоймаларда сусыздандыру	25
2.3.4. Електерде және сусыздандырушы конвейерлерде сусыздандыру	27
2.3.5. Классификаторларда және шөмішті элеваторларда сусыздандыру	31
2.3.6. Классификаторларда сусыздандыру	33
3. Қойылдыру үрдісімен сусыздандыру	34
3.1. Қойылдыру үрдісінің теориялық негізі	35
3.2. Қойылдыру үрдісін қарқындату	43
3.2.1. Суспензияларды коагуляциялау және флокуляциялау	43
3.3. Қойылдыру үрдісінде қолданылатын аппараттар	46
3.3.1. Цилиндрлі қойылдырғыштарда қойылдыру	46
3.3.2. Цилиндрлі қойылдырғыштарды есептеу	51
3.3.3. Гидроциклондарда қойылдыру	53
3.3.4. Тақташалы (пластинчатый) қойылдырғышта сусыздандыру	57
4. Сүзу үрдісімен сусыздандыру.....	59
4.1. Сүзу үрдісінің негізі	59
4.2. Сүзу үрдісінің тиімділігін анықтайтын факторлар	64

4.3. Сүзгіш маталардың негізгі түрлері	66
4.4. Сүзу үрдісінде қолданылатын сүзгіштер	67
4.4.1. Вакуум-сүзгіштерде сүзу	67
4.4.2. Пресс-сүзгіштерде сүзу.....	73
4.5. Вакуум-сүзгіштерді есептеу.....	77
4.6. Сүзу үрдісіндегі қосалқы құрал-жабдықтар.....	80
4.6.1. Рессивер және ылғал ұстағыштар.....	80
4.7. Сүзу сұлбаларының негізгі түрлері және сүзу қондырғыларын орналастыру принциптері.....	82

5. Ортадан тепкіш күш өрісінде ұнтақты заттарды сусыздандыру.....	86
5.1. Центрифугалау үрдісі.....	86
5.2. Центрифугалау үрдісінің теориялық негіздері.....	88
5.3. Центрифугалар үрдісінде қолданылатын аппараттар.....	89

6. Кептіру үрдісі	96
6.1. Негізгі түсініктемелер мен анықтамалар.....	96
6.1.1. Су буының рv-диаграммасының ерекшеліктері.....	96
6.1.2. Сұйық және құрғақ қаныққан будың негізгі параметрлері. Булану жылуы.....	98
6.1.3. Ылғалды ауа. Жалпы ұғымдар. Абсолюттік ылғалдылық, ылғал-құрамдық және ауаның салыстырмалы ылғалдылығы.....	100
6.1.4. Тығыздық. Ылғалды газдың меншікті газтұрақтысы мен меншікті энтальпиясы.	103
6.1.5. Ылғалды ауаның id –диаграммасы	104
6.2. Кептіру үрдісі және оның есептеулері.....	106
6.2.1. Ылғалдылық балансы және кептіруші агенттің шығыны... ..	109
6.2.2. Теориялық кептіргіштің жылу балансы.....	112
6.2.3. Тәжірибелік кептіргіштің жылу балансы.....	115
6.2.4. Кептіру үрдісінің материалдық балансы (тепе-теңдігі) ..	120
6.2.5. Ылғалдылық бойынша материалдық баланс	121
6.3. Кептіру құрылғылар	122

7. Шаңнан тазарту және шаңұстау.....	130
7.1. Өндірістік шаң. Жалпы түсініктер.....	130
7.2. Шаңсыздандыру.....	132
7.3. Шаңұстау әдістері және шаңұстағыштар.....	136
7.3.1. Шаңұстағыштар.....	138
7.3.2. Шаңұстағыш камералар.....	139
7.3.3. Екпінді жалюзді шаңұстағыштар.....	141
7.3.4. Шаң ұстауда қолданылатын циклондар.....	142
7.3.5. Циклонның негізгі өлшемдерін және кедергілерін анықтау.....	145
7.3.6. Циклонның өнімділігін анықтау.....	148
7.4. Сүзгішті шаңұстағыштар.....	148
7.4.1.Электрсүзгішті шаңұстағыштар.....	150
ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....	153

Оқулық басылым

Мэлс Рахымұлы Шәутенов

СУСЫЗДАНДЫРУ ЖӘНЕ ШАҢҚСТАУ

Оқу құралы

РБ бастығы

З.А. Ғубайдулина

Редакторы

А.И. Бейсебаева

Компьютерлік беттеу

Л.Т. Қасжанова

Басуға қол қойылды 18.05.2011 ж.

Баспаханалық қағаз №1. Шартты баспа табағы 9,1.

Көлемі 9,8 есепті-баспа табақ. Таралымы 500 дана. Тапсырыс №196.

Пішімі 60 x 84 1/16. Бағасы келісім бойынша.

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті,

Ғылыми-техникалық баспа орталығы.

Алматы қ., Ладыгин көшесі, 32

ISBN 978-601-228-289-4



9 786012 282894