ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті

М. Р. Шаутенов

ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУ ӘДІСТЕРІ

Университеттің Ғылыми-әдістемелік кеңесі
оқу құралы ретінде ұсынған

Алматы 2016

ӘОЖ 622.75/77 (075.8)
КБЖ 33.4 я73
Ш 29

Пікір жазғандар:

Тусупбаев Н.К.,	ҚР БжҒМ «Жер туралы ғылымдар, металлургия және кен байыту орталығы» АҚ, зертхана меңгерушісі, техн. ғыл. д-ры.
Наурызбаев М.К.,	РМК әл-Фараби атындағы ҚазҰУ професоры, техн. ғыл. д-ры.
Ниязов А.А.,	МК «ЭМҒОБ» Қазмеханобр институты директорының ғылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары, техн. ғыл. канд.
Алыбаев Ж.А.,	техн. ғыл. д-ры, профессор, ҚазҰТЗУ.

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2016 жылғы басылым жоспары бойынша басылды.

Шаутенов М.Р.

Ш 29 Гравитациялық байыту әдістері: Оқу құралы. / *М.Р. Шаутенов.* – Алматы: ҚазҰТЗУ, 2016. – 197 б. Сурет 58. Кесте 16. Библиогр. –17 атау.
ISBN 978–601–228–967–1

Ұсынылып отырған оқу құралында кең байыту үрдістерінің ішінде кеңінен пайдаланатын гравитациялық байыту әдістері баяндалған. Қазіргі кездегі кең байыту өндірісінде қолданылатын гравитациялық үрдістердің теориялық негіздері, қолданылатын аппараттар мен жабдықтар сондай-ақ олардың конструкциялық құрылымдары және оларды есептеу реті келтірілген. Гравитациялық аппараттардың параметрлері және олардың жұмыс істеудегі технологиялық режимдері жан-жақты қаралған.

Оқу құралы «Пайдалы қазбаларды байыту» мамандығы бойынша, сонымен қатар тау-кен және металлургия институтының студенттері мен магистраттарының білімдерін жетілдіруге ықпал етеді.

ӘОЖ 622.75/77 (075.8)
КБЖ 33.4 я73

ISBN 978–601–228–967–1

© Шаутенов М. Р., 2016
© ҚазҰТЗУ, 2016

КІРІСПЕ

Қазақстан Республикасының жер қойнауындағы қоры мол, минералды шикізаттарды ел мүддесіне жарату жолында оларды өңдеу әдістерін меңгеру мен жетілдіру болашақ мамандардың алдындағы басты мәселенің бірі.

Көпшілік минералды шикізаттар құрамы күрделі келеді. Сондықтан олардың құрамындағы пайдалы заттарды тиімді пайдалану үшін бір-бірінен ажыратып бөлу қажет. Демек, қазіргі кезде барлық дерлік пайдалы қазбалар байыту үрдістерінен өткізіледі.

Пайдалы қазбаларды өңдеуде гравитациялық байыту әдістері ең бір негізгілеріне жатады. Осы байыту әдісімен сирек кездесетін металдар кендерін, алтынды, қара металдар кендерін және металл емес пайдалы қазбаларды байытуға болады.

Оқу құралының мақсаты болашақ ұлттық техникалық мамандарды, оның ішіндегі кен байыту саласында оқитын, гравитациялық үрдістердің теориялық негізімен, әртүрлі кендерді байыту технологияларымен және қолданылатын гравитациялық аппараттардың конструкцияларымен таныстырып, жеткілікті білім беру.

Автор оқу құралын құрастыруда өзінің осы пәннен көп жыл дәріс беру тәжірибесінде ойға тұтқан жайларды және орыс тілінде жазылып келген оқулықтардың ұтымды жерлерін мүмкіншілігінше талдап баяндауға тырысты.

Оқу құралы «Гравитациялық байыту әдістері» пәнінің оқу бағдарламасына сай бірінші рет қазақ (мемлекеттік) тілінде жазылып отыр.

Осыған байланысты ондағы көзге түсер кемшіліктер жайында оқырмандар өз көзқарастарын білдіріп, оны келешекте жетілдіру мақсатында ұсыныстар білдірсе, олар қабыл алынып, қаралып келешекте қайта басу мүмкіншілігі болғанда ескеріледі.

1. ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУ ҮРДІСТЕРІ ТУРАЛЫ ЖАЛПЫ ТҮСІНІКТЕР. БАСТАПҚЫ БАЙЫТЫЛАТЫН ЗАТТАРДЫҢ ЖӘНЕ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУ ОРТАЛАРЫНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ

1.1. Гравитациялық үрдістер және олардың басқа байыту әдістері ішіндегі орны

Минералдық түйіршіктердің (кесектердің) өздерінің тығыздықтары, өлшемі немесе пішіндері арасындағы айырмашылықтарына қарай белгілі ортада (су, ауа) әртүрлі бағыттағы қозғалыс жылдамдықтарында ауырлық немесе ортадан тепкіш және кедергі күштер әсерінен бөлінуін – *гравитациялық байыту әдісі* деп аталады.

Пайдалы қазындыларды гравитациялық байытуда орта ретінде: су, ауа, ауыр сұйықтар, ауыр суспензиялар, сұйық электролит қолданылады. Минералдардың орташа қозғалу жылдамдығы олардың массасына байланысты. Массаны анықтайтын параметрлер (өлшемдер): минералдардың тығыздығы және түйіршіктердің диаметрлеріне байланысты көлемі. Кейінгі параметр өзгермелі өлшем, ал тығыздық әр минералға тәуелді өзгермейтін қасиет. Осыған байланысты гравитациялық байыту әдісі минералдардың тығыздық қасиетіне негізделген.

Іс жүзінде кенді гравитациялық байыту әртүрлі үрдістерді қолдану арқылы жүргізіледі. Оларға жататындар: шөктіру (отсадка), ауыр ортада байыту (негізінде минералдық суспензияларында), жинағыш (концентрациялау), столдарда байыту, шлюздерде және бұрама (винтті) сепараторларда, науаларда байыту, бөлшекті ағымды концентраторларда байыту, пневматикалық байыту, жуып-шаю. Олардың барлығы минералдар тығыздықтарының арасындағы айырмашылыққа негізделгенмен әртүрлі жағдайларда және әртүрлі аппараттарда жүргізіледі.

Гравитациялық байытуда көптеген үрдістердің қолдануына себеп болатын негізгі жай байытуға түсетін қазбаның ірілі-ұсақтығының кең шекте өзгеруі. Мысалы, түйіршіктердің диаметрлері 0,1 мм-ден 300 мм-ге дейін жетеді. Ал ұсақ және ірі кесектердің барлығын тек бір ғана үрдіспен жоғарғы

өнімділікпен байыту мүмкін емес. Соған байланысты гравитациялық әдістің эволюциялық дамуында әртүрлі үрдістер табылып іске қосылып отырды.

1.2. Гравитациялық үрдістердің даму тарихы, қазіргі жағдайы және даму болашағы

Гравитациялық байыту әдісімен бірінші болып алынған металдардың біріне жататын ол *алтын*. Алтын кендерден және құмдардан жуып-шаю арқылы бөлініп алынған. Жуып-шаю үрдісі гравитациялық байыту әдістерінің ішіндегі ең көнесі деп айтуға болады.

Шашыранды алтынның өзен құмдарында жинақталуы табиғи гравитациялық үрдістердің жүруінің себебіне негізделген. Тарихи дәуірлерде тау-жыныстары қирап, сумен шайылып, соның нәтижесінде тығыздықтары бойынша жіктелген. Осыған сәйкес ауыр минералдар өзен ағындарының астыңғы қабаттарында жинақталған.

Қазіргі заманда жуып-шаю үрдісі байыту әдістерінің ескісіне жатады, бірақта сонымен қатар, бұл әдіс марганец, тотықты темір кендерін, сирек металдарды, фосфориттерді қалайы кендерін және басқаларды байытуда кеңінен қолданылады.

Жуып-шаю үрдісінен кейінірек минералдық қоспаларды көлбеу ағатын ағын сұйықтықтарында бөлу ісі қолданыла бастады. Бұл әдісте минералдар түйіршіктері (кесектері) су ағынының күші және ауырлық күштің әсерлерінен өздерінің тығыздықтарына қарай бөлінеді. Егерде бөліну үрдісі стол бетінде ағатын су ағынында атқарылса, онда су өзімен жеңіл ұсақ түйіршіктерді алып кетеді де, ал одан ауырлары стол бетінде қалып, сонан пайдалы өнім ретінде алынады. Осылай гравитациялық байыту әдісінің бірі – жинағыш (концентрациялау) столда байыту әдісі ашылды. Соңынан, пайдалы компоненттердің жоғалуын азайту ретінде механикалық қозғалмалы құрылғылар ұсынылды, оларды ваннер немесе жинағыш столдар деп атады. 19 ғасырдың соңына қарай, А.Р. Вильфлеем тербелмелі жинағыш столын ойлап тапты, ол арқылы байыту операциясы тоқтаусыз атқарылатын болды.

Кейінірек белгілі болғаны, түйіршікті заттардың байытылуын, кезеңмен суға енгізілетін елек бетінде жүргізуге болатыны. Осы жағдайда елек бетіндегі заттар тығыздықтарына қарай қабаттарға бөліне бастайды, яғни астында ауырлары, үстінде жеңілдері. Електің суда ары-бері қозғалуы қолмен атқарылды. Осындай құрылғы – шөктіру машинасы деп, ал әдіс – шөктіру (отсадкалау) деп аталынды. Бұл әдіс кеңінен рудниктерде қолданылды. Кейінірек, механикалық жетегі бар шөктіру машиналары кен байытуда үлкен рөл атқарды, әсіресе көмір және тотықты темір кендерін байытуда. Поршеньсіз шөктіру машинасын Ф. Баум 1891 жылы ойлап тапты.

Ал, 1858 жылы бірінші рет хлорлы темір және хлорлы кальций тұздарының ерітіндісінде байыту үрдісі ұсынылды. Бірақ бұл әдіс өндірісте қолданыс таппады, өйткені қолданылатын ерітіндінің жоғалу шығыны жоғары болғандықтан және оның регенерациялау қиындығына байланысты.

Өткен ғасырдың 20-жылдарында келесі байыту әдістері қолданыла бастады, олар су-құмды және магнетит суспензияларында байыту.

Көмірді құмды суспензияда байытуды 1917 ж. американдық инженер Чанс ұсынды. Осы кезеңмен бірге, көмірді суспензияда байытуға арналған сепаратор жасалынды, ол Чанс конусы деп аталынды. Чанс әдісімен істейтін бірінші өндірістік құрылғы (антрациттерді байытуға) 1921 жылы жасалынды.

Көмірдің тұрақты суспензияда байытылу әдісін 1926 ж. инженер Слепцов ойлап тапқан. Ал, 1932 жылы «Тромп» сепараторы жасалынған, оны қолдану арқылы ірі түйіршікті тұрақсыз суспензияда көмірді үш өнімге бөлу мүмкіндігі туды. 1934 жылы Чапмен және Литлфорд өздерінің жаңа ашылған қиылысты байыту үрдісіне – флотогравитацияға патент алды.

Кен өңдеу технологиясының және техникасының дамуына баға жетпес үлес қосқан, ол орыс ғалымы М.В. Ломоносов болды. Оның «Первые основания металлургии или рудных тел» атты еңбегі тау-кен ісін және гравитациялық байыту әдістерін бір-біріне үйлестіріп оларға тиісті қорытынды берген Ресейдегі бірінші еңбек боп саналды.

Гравитациялық байыту үрдістерінің теориясын қалыптастыру 19-ғасырдың ортасына келеді. Осы кезеңде, ірі мөлшерлі шардың сұйықтықта қозғалу кезінде, оған әсер ететін динамикалық кедергіні және шардың қозғалу жылдамдығын анықтауға арналған Риттингердің жұмыстары басылған. Соңынан Стокс дененің сұйықтықта қозғалу кезінде, оған әсер ететін сұйықтың тұтқырлық кедергісіне байланысты заңдылықты анықтады. Осы заңдылықтың негізінде кіші мөлшерлі шардың сұйықтықта қозғалу жылдамдығын есептеуге арналған формуланы ұсынды.

XIX ғасырдың соңында орыс ғалымдары Г.Я. Дорошенко, С.Г. Войслав, И.А. Корзухин және В.А. Гуськов гравитациялық байыту әдістеріне қатысты минералдық түйіршіктердің суда қозғалу заңдылығы теориясын дамытты. Соңынан профессор Г.О. Чечотт гидравликалық сұрыптаудың теориялық негіздерін анықтады.

Профессор П.В.Лященко 20-шы ғасырдың 40-шы жылдарында «Гравитационные методы обогащения» атты бірінші оқулықты жарыққа шығарды.

Гравитациялық байыту әдістердің теориясын дамытуда қомақты үлес қосқандарға жататындар: И.М. Верховский, И.Н. Плаксин, В.И. Классен,

М.Г. Акопов, Я.И. Фомин, М.Д. Минц, М.В. Циперович.

Ақырғы жылдары гравитациялық байыту әдістеріне байланысты, ірі теориялық зерттеулер жүргізілді, оларға жетекші болғандар: Н.Н. Виноградов, Л.С. Зарубин, А.И. Поваров, Б.В. Кизевальтер, В.В. Ревнивцев, Г.Д. Краснов, Э.Э. Рафалес-Ламарк, М.Д. Барский.

Орталардың қозғалу заңдылықтарын анықтауға көп еңбек сіңірген шетелдік ғалымдарға жататындар: Р. Ричардс (1907 ж), А. Эйнштейн (1920 ж), А. Херст және Р. Ханкок (1937ж), М. Дриссен, Г. Тарьян, Е. Херкенхоф, Е. Лилдж, Ф. Брин және басқалары.

Гравитациялық байыту әдістері соңғы 5–10 жылдары өте жоғары дамыды, оның ішінде ауыр ортада байыту. Кендерді ауыр суспензияларда байыту әртүрлі елдердің 250-ден астам байыту фабрикаларында қолданылады. Оның ішінде 100-ден астам байыту фабрикаларында, түсті және сирек металды

кендерді өңдеуде суспензиялық байыту үрдісі қолданылады. Жыл сайын 500 млн тоннадан астам әртүрлі пайдалы қазбалар суспензия арқылы байытылады, оның ішінде түсті және сирек металдардың үлесі 30 млн тоннаға жақын, 50 млн тонна темір және марганец кендері.

Қазіргі уақытта гравитациялық байыту әдістері Ресей, Украина және Қазақстандағы байыту фабрикаларында қолданылады. Олардағы жұмыс істеп тұрған фабрикалар саны 150-ге жетеді. Гравитациялық байыту әдістерінің қазіргі кезде ары қарай дамуы жаңадан салынған кен байыту комбинаттарының іске қосылуына байланысты. Мысалы, Қазақстанда гравитациялық байыту әдістерін қолдану арқылы марганец, хром және тотықты темірмен түсті металдар кенорындары өңделінеді. Былай айтқанда, гравитациялық байыту әдістері әртүрлі кендерді өңдеуде, әсіресе көмір, алтынқұрамды, вольфрам, молибден кендерін және қара түсті металдар мен металдық емес пайдалы қазбаларды байытуда бас рөл атқарады.

1.3. Гравитациялық байыту әдістерін сұрыптау

Гравитациялық байыту әдістері күрделі көпкомпонентті және көпфазалық жүзгілерде атқарылады. Минералдық түйіршіктердің жіктелуі бөлінудің бір белгісімен гидро- және аэродинамикалық әрекетімен атқарылады. Бөліну белгілері ретінде қызмет атқаратын: бөлуші ортаның реологиялық параметрлері; ортаның реологиялық параметрлеріне бірдей әсерін тигізетін электрлік және магниттік өрістер; өзгермелі сұйық ағынындағы түйіршіктердің қозғалу жылдамдығы; көлбеу бетпен ағатын сұйық ағынындағы түйіршіктердің жылдамдығы; тік бағытта ағатын сұйық ағынындағы түйіршіктердің жылдамдығы; жуып-шаю және т.б.

Гравитациялық байыту әдістері бөліну белгілердің түрлеріне байланысты келесідей боп сұрыпталады:

1. Гравитациялық байыту орталарында жіктелу:
   - гидравликалық, пневматикалық;
   - ауырсұйықтықты;
   - суспензиялық (гидравликалық және пневматикалық);
   - электролиттік (магнитогидродинамикалық сепарация).

2. Бөлуші ортаның іркілмелі ағынында түйіршіктердің жіктелуі:

- гидравликалық және пневматикалық шөктіру;
- дірілді науаларда байыту;
- пневматикалық сепарация;
- пульсаторларда байыту.

3. Көлбеу бетпен ағатын су ағынында түйіршіктердің жіктелуі:

- науаларда байыту;
- шлюздерде байыту;
- бөлшекті ағымды концентраторларда байыту;
- бұрама сепараторларда байыту;
- жинағыш столдарда байыту.

4. Қисық бағытты ағымдар орталарында түйіршіктердің жіктелуі:

- гидроциклондарда байыту;
- центрифугаларда байыту.

5. Тік бағытталған ағындар орталарында түйіршіктердің жіктелуі:

- гидравликалық және пневматикалық сұрыптау.

6. Түйіршіктердің орталарда шөгіу:

- қойылдыру.

7. Жуып-шаю.

Пайдалы қазбаларды байыту тәжірибесінде гравитациялық әдістерді қолдану келесі көрсеткіштермен анықталады: байытылатын өнімнің заттық құрамымен; түйіршіктердің бөліну ірілігімен; байытылатын пайдалы қазбалардың сипаттамаларымен; аймақтардың климаттық жағдайларымен; техника-экономикалық көрсеткіштермен.

1.4. Минералдардың қасиеттері

Жер қыртысында 3000-дай минералдар бар. Гравитациялық байыту үрдістерінің технологиясында 250-дей минералдар қатысады. Кен байытуда, яғни минералдарды бір-бірінен бөлуде, олардың қасиеттерінің айырмашылықтары пайдаланылады. Оларға жататындар: минералдардың химиялық

құрамы, физика-химиялық және физика-механикалық қасиеттері. Минералдардың физикалық қасиетіне жататындар: тығыздық немесе меншікті салмақ, ток өткізу, жылу өткізгіштік, магниттілік, кристалдар пішіні, түсі, жылтырлық, қаттылық, радиоактивтілік.

Химиялық немесе физика-химиялық қасиеттеріне минералдардың су жұқтыруы, суда, әртүрлі ерітінділерде еруі, су ішіндегі заттарды өз бетіне жинауы (адсорбция) жатады.

Гравитациялық үрдістерде минералдардың келесі айырмашылықтары пайдаланылады: тығыздығы, пішіні, қаттылығы, түсі, жылтырлығы, ток өткізгіштігі, су жұқтыру, магниттілігі.

Минералдың тығыздығы кен кесегіндегі минералдық түйіршіктің массасының оның көлеміне V қатынасы:

$$\rho = m/v, \qquad (1.1)$$

мұндағы ρ – минерал тығыздығы, кг/м^3;

m – түйіршік массасы, кг;

v – түйіршіктің көлемі, м^3.

(1.1) кестеде кейбір минералдар тығыздықтарының шамасы келтірілген. Минералдар тығыздықтарының абсолюттік мөлшерлері 1300-ден 19300 кг/м^3-дейін өзгереді.

Кенді өңдеу операцияларында заттың ірілігіне көп көңіл аударады, өйткені осы операциялардың өнімділігіне және тиімділігіне заттың ірілігі көп әсер етеді. Соған байланысты кеннің жеке кесектерінің және олардың аралас қоспасының ірілігін бағалау қажет. Пайдалы қазбаның жеке кесектері (түйіршіктері) әдетте дұрыс пішінді (мысалы куб, домалақ) болмайды. Сондықтан кесектің ірілігі оның орта диаметрін табу арқылы бағаланады. Егер кесектің массасы және кеннің не минералдың тығыздығы белгілі болса, онда орта диаметр (кесектің орта эквивалентті диаметрі), демек пішіні дұрыс кесектің көлеміне тең шардың диаметрі ретінде табылады.

$$V = \frac{\pi d_э^3}{6}. \qquad (1.2)$$

$$d_э = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6m}{\pi\rho}} = 1{,}24\sqrt[3]{\frac{m}{\rho}}. \qquad (1.3)$$

1.1-кесте

Минералдарды тығыздық бойынша сипаттау

Минерал	Химиялық формула	Тығыздық, кг/м^3	Пайдалы компонент	Минералдағы пайдалы компоненттің үлесі, %
Сап алтын	Au	19300 дейін	Алтын	100 дейін
Галенит	PbS	7400-7600	Қорғасын	86,6
Молибденит	MoS_2	4300-5000	Молибден	59,94
Пирит	FeS_2	4900-5200	Темір	46,55
Сфалерит	ZnS	3900-4100	Мырыш	67,10
Халькопирит	$CuFeS_2$	4100-4300	Мыс	34,36
Касситерит	SnO_2	6100-7300	Қалайы	78,8
Кварц	SiO_2	2650	Кремний	46,7
Ильменит	$(Mg,Fe)TiO_3$	4400-5000	Титан	31,6
Магнетит	Fe_3O_4	4500-5300	Темір	72,4
Хромит	$(Mg,Fe)Cr_2O_4$,	4000-4800	Екі тотықты хром	68,0
Кальцит	$CaCO_3$	2700-2730	Кальций тотығы	56,0
Магнезит	$MgCO_3$	3000	Магний тотығы	47,6
Сидерит	$FeCO_3$	3500-3900	Темір	48,3
Барит	$BaSO_4$	4300-4500	Барий тотығы	65,7
Шеелит	$CaWO_4$	6000	Вольфрамның үштотығы	80,6
Гематит	Fe_2O_3	5000-5200	Темір	70,0
Пиролюзит	MnO_2	4820	Марганец	63,2
Көмір	C	1300-1800	-	-

Түйіршіктердің пішіні минералдардың табиғатына тәуелді. Шашыранды кенорындарының минералдық түйіршіктер пішіні өзендердің ағын сулары әсерінен доғалдау боп келеді.

Түпкі кенорындарындағы минералдар түйіршіктерінің пішіні, дұрыс пішінді болмайды, кейбірде кристалдардың пішініне сәйкес боп келеді. Көмірдің пішіні қырлы, жанартастың – қатпарлы, асбестікі – инелі, магнетиттікі – кубқа жақын.

Түйіршіктердің пішіні, оның пішін коэффициентімен сипатталады, ол дұрыс пішінді шар бетіне теңестірілген (түйіршіктің эквивалентті диаметрі) түйіршік бетімен пішіні

дұрыс емес түйіршік беті (пішіні дұрыс емес түйіршік мөлшері) арасындағы қатынасқа тең:

$$\varphi = \frac{S_ш}{S} = \frac{4{,}87V^{2/3}}{S}, \qquad (1.4)$$

мұндағы φ – пішін коэффициенті; $S_ш$ – шар беті;

S – пішіні дұрыс емес түйіршіктің беті.

Төменде пішін коэффициентінің (φ) шамалары келтірілген:

шар түрлі ---------- 1,0;
доғаланған ----------0,8–0,9;
қырлы ----------0,7–0,8;
қатпарлы ----------0,6–0,7.

1.5. Гравитациялық байыту орталарының реологиялық қасиеттері

Пайдалы қазбаларды гравитациялық байытуда орта ретінде: су, ауа, ауыр сұйықтықтар, суспензиялар, сұйық электролит қолданылады.

Орталар келесі реологиялық параметрлермен сипатталады: тығыздықпен, тұтқырлықпен, қозғалудың шектік кедергісімен, тұрақтылықпен және басқалармен.

Ортаның аталынған қасиеттері бөлінетін бөлшектердің қозғалу жылдамдығына, бөліну тиімділігіне әсерін тигізеді және олар байыту аппараттардың технологиялық есептеулерінде қолданылады.

Ортаның массасымен m оның алып жатқан көлемі V арасындағы қатынасты – ортаның тығыздығы дейді:

$$\Delta = m/V, \qquad (1.5)$$

мұндағы Δ – ортаның тығыздығы, кг/м^3

Егерде ортаның салмағын G көлеміне бөлсек меншікті салмағы шығады:

$$\rho = \frac{G}{V}, \qquad (1.6)$$

мұндағы ρ – меншікті салмақ, кг/м^3.

Ортаның салмағымен және оның массасы арасында белгілі қатынасты пайдаланып келесі теңдеуді жазуға болады:

$$m \cdot g = G, \qquad (1.7)$$

мұндағы g – бос құлаудың үдеуі.

Теңдеудің (1.7) сол жағымен оңжағын V-ға бөлсек, онда үлесті салмақпен тығыздық арасындағы тәуелділікті аламыз:

$$\Delta g = \rho. \qquad (1.8)$$

Атмосфералық қысым $1{,}01 \cdot 10^5$ Па, ал температура 20^0C көрсеткіштерінде судың тығыздығы 1000 кг/м^3 тең болады. Ауаның тығыздығы – 1,23 кг/м^3.

Пайдалы қазбалардың байытылуын зерттеуде қолданылатын ауыр сұйықтардың сипаттамалары 1.2-кестеде келтірілген.

1.2 -кесте

Ауыр сұйықтардың сипаттамалары

Сұйық	Химиялық формуласы	Тығыздық, кг/м^3; түсі	Суда еруі
Хлорлы мырыш	$ZnCl_2$	2500; түссіз	Ериді
Хлорлы кальций	$CaCl_2$	2500; түссіз	Ериді
Бромоформ	$CHBr_3$	2890; түссіз	Ериді
Тетрабромэтан	$C_2H_2Br_4$	2960; түссіз	Ериді
Туле сұйығы	HgJ_2+KJ	3170; сары	Ериді
Иодтық метилен	CH_2J_2	3320; түссіз	Ерімейді
Рорбах сұйығы	BaJ_2+HgJ_2	3500; сары	Ериді
Клеричи сұйығы	$CH_2(COOTl)_2HCOOTl$	4250; сары	Ериді

Келтірілген сұйықтардың ішінде неғұрлым көп тарағаны: хлорлы мырыш, хлорлы кальций, бромоформ, Туле сұйығы және Клеричи сұйығы, олар суда жақсы ериді. Олардың негізінде әртүрлі тығыздықтағы ерітінділерді дайындауға

болады, олармен фракциялық талдау және байыту үрдістерін жүргізуге болады.

Ерітушідегі ауыр сұйықтың көлемдік үлесіне қарай аралық тығыздықтағы ерітінділерді алуға болады. Мысалы, бромоформды спиртпен үйдегі температурада араластырса, онда келесі ерітінділерді алуға болады:

бромоформның көлемдік үлесі, % ------100 75 50 25

ерітіндінің тығыздығы, кг/м^3----------2890 2430 1860 1320

Туле сұйықтығын сумен араластыру арқылы аралық тығыздықтары 1500 ден 3100 кг/м^3-дейінгі ерітінділерді алуға болады:

Туле сұйықтығының көлемдік үлесі, % ---100 75 50 25

ерітіндінің тығыздығы, кг/м^3----------3170 2700 2100 1560

Байыту үрдісінің тиімді және өнімді жүруі ауыр суспензияның қасиеттеріне тікелей байланысты. Оларға жататындар: тығыздық, тұтқырлық және тұрақтылық. Бұлардың ішіндегі ең маңызды қасиет, әрине, тығыздық.

Суспензияның тығыздығы қандай болу керектегі байытылатын кеннің қасиеттерімен және оларға қойылатын мақсатпен байланысты. Ол, алдын ала ғылыми-зерттеу жүргізу нәтижесінде анықталады. Сонымен қатар суспензойд (яғни ауырлатқыш) ретінде қолданылатын минерал (зат) таңдалынады. Осыдан кейін су ішінде белгілі көлемді суспензия жасау үшін қанша суспензойд қосу керектігі төмендегі формуламен есептелінеді:

$$Q = W \cdot V_T \cdot \delta = W \cdot \frac{\Delta - 1000}{\delta - 1000}\delta, \qquad (1.9)$$

мұндағы Q – қосылатын суспензойдтың массасы, кг;

W –суспензия көлемі, м^3;

$V_т$ – көлемі бойынша ауырлатқыштың суспензиядағы үлесі, бірлік өлшем

$$\left(V_T = \frac{\Delta - 1000}{\delta - 1000}\right);$$

мұндағы Δ – суспензия тығыздығы, кг/м^3;

δ – суспензиядағы ауырлатқыштың тығыздығы, кг/м^3;

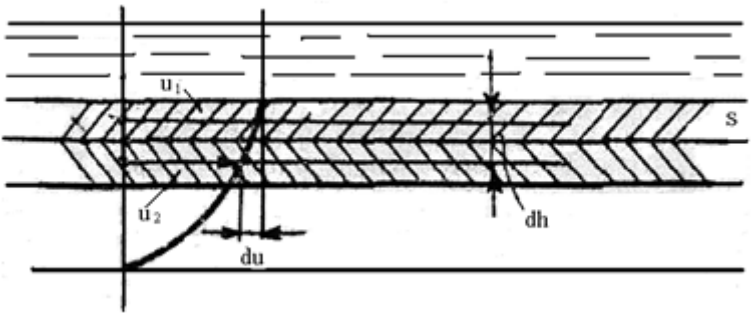
Δ_c =1000 кг/м^3 – судың тығыздығы.

Ауырлатқыштың суспензиядағы массалық концентрациясы мына формула арқылы анықталады:

$$q = V_T \frac{\delta}{\Delta} = \frac{(\Delta - 1000)/\delta}{(\delta - 1000)/\Delta}. \qquad (1.10)$$

Тұтқырлық. Сұйықтардың қозғалысында, оның бір қабаты екінші қабатымен салыстырғанда орын ауыстырады, онда ішкі үйкеліс күші пайда болады, олар қабаттар бетіне жүргізілген жанама бойынша бағытталады да, шамасы сұйық ағысының жылдамдығы бір қабаттан екінші қабатқа көшкенде қаншалықты шапшаң өзгеретіндігіне, сұйық қабаты бетінің ауданына тәуелді болады. Сондықтан осындай сұйықтардың бір қабаты екінші қабатына қозғалыс кезінде кедергі келтіруін *тұтқырлық* дейді.

Ішкі үйкелісі байқалатын орталарды, тұтқырлы орта деп атайды. Тұтқырлық орталардағы ішкі үйкеліс күші негізінде жанама кернеулер пайда болады (1.1-сурет), олар ішкі үйкеліс күшін, жанасқан қабаттардың ауданына бөлумен анықталынады:



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

$$\tau = T / S = \mu \frac{du}{dh}, \qquad (1.11)$$

мұндағы T – ішкі үйкеліс күші;

S – жанасқан қабаттардың ауданы;

μ – тұтқырлық коэффициенті (ішкі үйкеліс коэффициенті немесе динамикалық);

$\frac{du}{dh}$ – жылдамдық градиенті;

du – көршілес жанасқан элементарлық қабаттар жылдамдықтарының айырылымы;

dh – көршілес элементарлық қабаттардың өзара қашықтығы.

Жүйедегі тұтқырлық коэффициентінің бірлігі 1Па·с=1Н·с/м^2, немесе пуаз, дин·с/см^2. Гидравликалық есептеулерде (тұтқырлықтың) жиі кинематикалық коэффициенті υ пайдаланады:

$$\upsilon=\mu/\Delta,\ м^2/с\ , \qquad (1.12)$$

мұндағы μ – тұтқырлықтың динамикалық коэффициенті;

Δ – ортаның тығыздығы.

Коэффициенттің кинематикалық деп аталғаны, ондағы өлшемдер тек қана кинематикалық элементтерден тұрады: ұзындық және уақыт. 1.3-кестеде тұтқырлықтың кейбір ортадағы динамикалық коэффициенті келтірілген.

1.3-кесте

Тұтқырлықтың ортадағы динамикалық коэффициенті

Орта	Температура, ^{0}C	μ, Па·с
Ауа	20	0,00002 (0,0002 П)
Су	20	0,00101 (0,0101 П)
Керосин	18	0,0025 (0,025 П)
Жеңіл мұнай	18	0,025 (0,25 П)
Ауыр мұнай	18	0,14 (1,4 П)
Майлайтын май	20	0,172 (1,72 П)
Глицерин	20	0,87 (8,7 П)

Табиғатта Ньютон заңына бағынатын орталардың қатарынан басқа орталар бар, әсіресе екіфазды жүйелер (суспензиялар), коллоидтық ерітінділер, эмульсиялар, олар жылдамдықтар айырмашылығы жоқ болса да тіркесуін

сақтайды. Бұндай орталар, құрылымданбаған ньютондықтарға қарағанда, құрылымданған деп аталады.

Бұндай орталардағы жанама кернеу Шведов-Бингамдар ұсынған аса күрделі формуламен көрсетіледі:

$$\tau = \eta du / dh + \tau_0, \qquad (1.13)$$

мұндағы τ_o – қозғалудың шектік кернеуі, немесе жүйені орнынан қозғалтуға қажетті күш (ортаның қозғалу бастамасы);

η – құрылымданған тұтқырлық коэффициенті, П.



1.2-сурет. Ньютон және Шведов-Бингам заңдарының графикалық көрінісі

1, 2 – бұрыштық коэффициенттер

Құрылымданбаған орталарда $\tau_o = 0$, онда $\mu = \eta$ және (1.13) теңдеу (1.11) теңдеуге өрнектеледі. Реалды (нақтылы) жағдайда τ_o жоғары шекте өзгереді. Мысал ретінде, сазды ерітінділерді алсақ, олар құрылымданған тұтқырлықты орталарға жатады және олардың қозғалу τ_o мөлшері 3–4 Н/м^2 (30–40 дин/см^2) шектікте өзгереді. Ал, 0,5 % желатинның судағы ерітіндісінде τ_o = 0,05Н/м^2 (0,535 дин/см^2), эмульсиялық мұнайларда τ_o = 0,8–1,3 Н/м^2 (8,7–13,0 дин/см^2). Мұндай шама есептеуде ескерілмейді. Ортаның реологиялық зерттеулері

өндірістердің гомогенді және гетерогенді құрамды орталарға сұранысының өсуіне байланысты жүргізіледі. Тұтқырлы сазды суспензиялардың, битумдардың және басқада тұтқырлы созылымды заттардың қасиеттерін жан-жақты зерттеген – М.П. Воларович болады. Зерттеулермен анықталғаны, көрсетілген реологиялық параметрлердің (тұтқырлық және шекті қозғалу кернеуі) ішінде әртүрлі дисперстік жүйелерге негізгі рөл атқаратыны тек қана біреуі. Жоғары тұтқырлы заттарда (мысалы, тығыздығы 10^2 Па·с астам битумдарда) негізгі параметр боп саналатын – тұтқырлық, ал тұтқырлығы шамалы сулы суспензияларда – шекті қозғалу кернеуі.

Тәжірибелер негізінде анықталғаны, ол құрылымданған суспензияларға қарасты шекті қозғалу кернеуі τ_o және құрылымды тұтқырлық коэффициенті η төмендегілерге тәуелді болады:

- ауырлатқыштың үлесті бетіне және көлемдік концентрациясына (олардың көбеюінде τ_o және η көбейеді);
- ауырлатқыштың химиялық табиғатына және түйіршіктердің пішініне;
- пульпадағы актив бетті заттардың барлығына (оларда τ_o айтарлықтай жоғарлайды, ал η шамалы);
- пульпадағы реагент – пептизаторлардың барлығына (оларда τ_o - төмендейді, ал η -тың төмендеуі шамалы).

Байыту тәжірибесінде құрылымданған суспензиялар екі түрге бөлінеді:

- шамалы құрылымданған, $\tau_o < 30$Н/м^2;
- толық құрылымдалынған, $\tau_o > 30$ Н/м^2.

Ауырлатқышты таңдау кезінде оның гранулометриялық құрамы суспензияның оңтайлы тұтқырлығын қамтамасыз етуі қажет, ол үшін көлемдік концентрациясы 40 %-дан аспауы керек.

Тұрақтылық – суспензияның тұрақтылығы деп оның бүкіл көлемінің барлық жерінде үрдіс кезінде бірдей тығыздықтың сақталуын айтады. Ол ауырлатқыш түйіршіктерінің ірілігіне,

оның суспензия ішіндегі үлесіне және қозғалу режиміне байланысты. Құрылымданбаған суспензиялар тұрақсыздарға жатады. Құрылымдану суспензияның тұрақтылығын үлкейтуге әсерін тигізеді.

Суспензияның тұрақтылығын өсіру үшін оған топырақ, ұсақ түйіршікті ауырлатқыштар қосылады. Егерде пульпа құрамында кен шламдарының үлесі неғұрлым жоғары болса, соғұрлым суспензияның тұрақтылығы өседі. Берілген қосылыстар суспензияның құрылымдануын күрт жоғарлатып жібереді. Сондықтан пептизаторлар (сұйық шыны, сульфидті шелок, алюминаттар) қолданылады, олардың суспензиядағы үлесі, ауырлатқыштың массасына шаққанда, 0,001–0,5 %-дан аспауы керек.

1.6. Фракциялық талдау

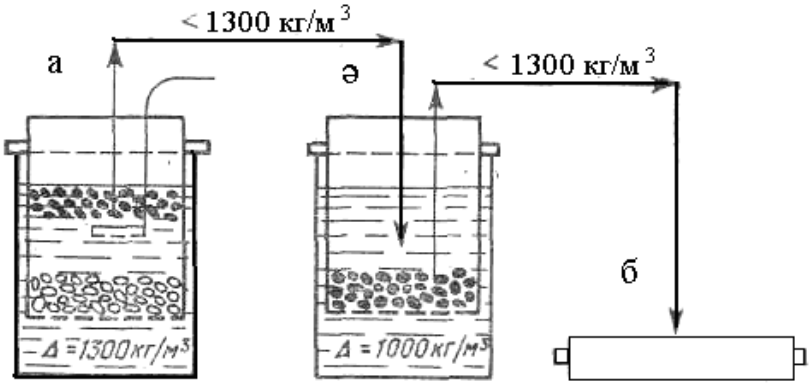
Фракциялық талдау деп – пайдалы қазындыны тығыздығына қарай әртүрлі фракцияларға бөлу арқылы оның байытылу сипаттамасын анықтауды айтады. Байытылу сипаттамасы, ол пайдалы қазындыдағы әртүрлі тығыздықтағы фракциялардың сандық және сапалық қатынастары.

Фракциялық талдауға әртүрлі іріліктегі кластар түседі. Бөліну орта ретінде: минералдық тұздардың су ерітінділері, органикалық сұйықтар, суспензиялар қолданылады.

Ірілігі 1мм-ге дейінгі пайдалы қазындыларды талдау статикалық, ал одан кішілері динамикалық жағдайда (центрифугада) жүргізіледі.

Фракциялық талдауды жүргізу сұлбасы төмендегі 1.3-суретте көрсетілген.

Алдын ала тығыздықтары белгіленген сұйықтықтарға немесе суспензияларға салмағы 10 кг-нан аспайтын сынама салынған торлы ыдыс кезегімен түсіріліп, содан оның бетіне қалқып шыққан жеңіл фракция тесікті қалақпен алынып отырылады. Алынған фракциялар саны n+1 тең, мұнда n-тығыздықтары әртүрлі сұйықтар немесе суспензиялар саны. Фракциялар сумен шайылады, құрғатылады, өлшенеді, сонан өңделініп химиялық талдауға жіберіледі. Химиялық талдаумен көмірдің құндылығы немесе кендегі пайдалы компонент үлесі анықталады.



1.3-сурет. Фракциялық талдаудың жүргізілу сұлбасы:
1 – тығыздығы 1300 кг/м^3 сұйықтықтың сыйымдылығы; 2 – судың сыйымдылығы; 3 – тығыздығы <1300 кг/м^3 қалқып шыққан фракцияны қабылдайтын сыйымдылық

Фракциялардың массасы мен сапасы анықталынған соң кесте құралып, оның нәтижелері негізінде байытылу қисықтары салынады.

Фракциялық талдау негізінде екі мақсатпен жүргізіледі:

1) кенді алдын ала байыту мүмкіндігін анықтау;

2) кенді гравитациялық және магниттік әдіспен байытуда алынатын технологиялық көрсеткіштерге болжам жасау.

Кен кедейленген сайын технологиялық көрсеткіштердің төмендей беретіні белгілі. Осыған байланысты оны алдын ала байытудың айтарлықтай маңызы бар. Оның тиімділігінің бірінші себебі – байыту алдында ұнтақтау жүргізілмейді, кен белгілі ірілікке дейін тек ұсатылады да, байытуға түседі. Бұлай байытуда кеннен екі өнім алынады: ауыр және жеңіл фракциялар. Кейінгі фракция ақырғы қалдық түрінде алынуы тиіс. Оның шығымы кеннің қасиетіне байланысты кең шекте өзгеруі мүмкін, мысалы, 15-40% шамасында. Жеңіл фракцияны қалдық түрінде алудың шарты – ондағы бағалы компоненттің пайздық үлесі егер кен алдын ала байытусыз, дәстүрлі түрде байытылғанда алынатын қалдықтағы компоненттің пайыздық үлесінен жоғары болмау керек.

Екінші себебі – дәстүрлі байытуға түсетін ауыр фракцияда компоненттің пайыздық үлесі артуы нәтижесінде технологиялық көрсеткіштерде өседі.

Үшінші себебі – ұнтақтауға және байытуға түсетін кен массасы азаяды да, оларда қолданылатын жабдықтардың саны азаяды, демек түпкілікті шығындар азаяды. Не болмаса, бөлінетін жеңіл фракцияның массасына сәйкес байыту фабрикасының өнімділігін арттыруға болады.

Алдын ала байытуда бөлінетін жеңіл фракция кеннен неғұрлым ірілік ұсатудан кейін жүргізілсе және оның шығымы неғұрлым жоғары болса оның тиімдігі жоғарылайды. Осы жайды анықтау тек фракциялық талдау жүргізу нәтижесінде іске асады.

Фракциялық талдау жүргізу бірсыпыра уақыт және еңбек етуді кажет етеді. Осыған байланысты оны жүргізу не жүргізбеуді анықтаудың бір жолы бар. Ол кеннің қасиетімен байланысты. Кеннен жеткілікті түрде жеңіл фракцияның алынуы ондағы бағалы компоненттің орналасуының біркелкілігімен байланысты: егер орналасуының біркелкілігі өте жоғары болса, онда жеңіл фракцияның шығымы өте мардымсыз болады және керісінше. Сондықтан микроскопиялық талдаумен алдын ала кеннің осы қасиетін анықтау жөн.

Фракциялық талдауда сынама кенді белгілі ірілікке дейін ұсатқаннан кейін алынады да, әртүрлі фракцияларға бөлініп бағалы компоненттің әр фракцияларға бөлінуі және олардағы бағалы компоненттің пайыздық үлестері анықталады. Осы деректерден алынған нәтижелер негізінде байытылу сызықтары сызылып, одан жеңіл фракцияның шығымы табылады. Толығырақ немесе дәлірек дерек алу үшін фракциялық талдауда кенді бірнеше ұсақтыққа дейін жеткізіп, әр вариантта алынған нәтижелерді салыстыру жөн.

Әрине, фракциялық талдауға неғұрлым ұсақталған кен түскен сайын алынатын жеңіл фракцияның шығымы арта түседі. Себебі пайдалы компонентсіз кесектер немесе өте кедей кесектер саны көбейе бастайды.

Фракциялық талдауда кенді неше фракцияға бөлу керектігі кен қасиетіне және қойылған мақсатқа байланысты. Көпшілік

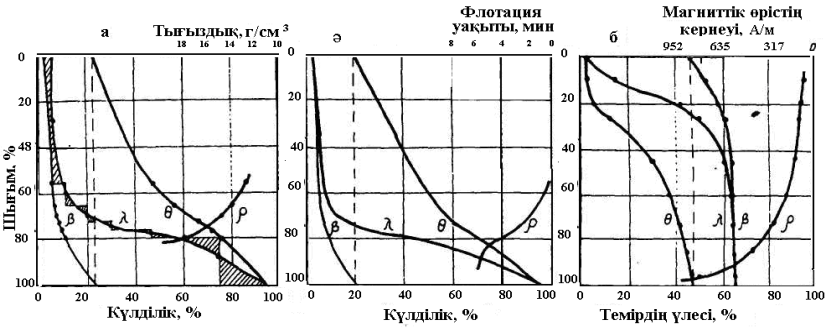
жағдайда төрт фракцияға бөлінеді. Егер фракциялық талдау тығыздыққа негізделсе, бастапқы сынама әртүрлі тығыздықты сұйықтардан өткізіледі. Талдау алдымен не аз тығыздықты (мысалы, көмір байытылса 1300 кг/м^3, металдық кен 2700 кг/м^3), не ең үлкен тығыздықты (мысалы, 3500 кг/м3) сұйықтан өткізіліп, біртіндеп одан кейінгі тұрған тығыздықты сұйықтықтан өткізіледі. Алынған әр фракцияның шығымы есептеліп, ондағы компоненттің пайыздық үлесі анықталып, әр фракцияларға бөлінулері есептеледі. Егер кен магнитті қасиетіне қарай фракцияларға бөлінсе, сынама кезек-кезек әртүрлі кернеулі магнитті өрістен өткізіледі.

Фракциялық талдау жүргізудің екінші мақсаты – гравитациялық не магнитті байыту әдістерімен дәстүрлі байытуда алынатын технологиялық көрсеткіштерге болжам жасау. Бұл мақсат қойылғанда кен фракциялық талдауға түсер алдында пайдалы минералдар жеткілікті ажыраған ша ұсатылады, демек одан ақырғы өнімдер – концентрат және қалдық алу максаты қойылады. Осы мақсатқа сай кенді қандай фракцияларға бөлу қажеттігі анықталады. Алынған деректер нәтижесінде концентрат сапасы, оған компоненттің бөліну дәрежесі және ақырғы қалдықта жоғалым мөлшері айқындалады.

1.6.1.Фракциялық талдау негізінде пайдалы қазындылардың байытылуын бағалау

Фракциялық талдаудан алынған деректер негізінде графикалық әдістер арқылы байытылу сызықтары сызылады (байытылу қисықтары).

Мысал ретінде 1.4-кестеде фракциялық талдаудан алынған деректер келтірілген (көмірді талдау), сондай-ақ олардың гравитациялық, флотациялық, магниттік өңдеудегі байытылу қисықтары 1.4-суретте көрсетілген.



1.4-сурет. Байыту қисықтары:
а – ірілігі -100+13 мм көмірді гравитациялық байытуда;
ə – ірілігі -0,5+0 мм көмірді флотациямен байытуда;
б – темір кенін магнитті сұрыптаумен байытуда

Байыту қисықтары шартты түрде төмендегідей болып белгіленеді:

- α – ортаның әртүрлі тығыздығында, магнитті өрістің кернеуінде немесе флотация уақытында күлдің немесе металдың фракцияларға бөлінудің элементарлық қисығы. Оны сызудың алдында диаграммаға түзу бұрыштар салынады, олардың ординаталары – шығымдарды, ал абсциссалары – күлдің немесе металдың жеке фракциялардағы үлесін анықтайды. Салынған түзу бұрыштар ординаталарын екіге тең бөліп, сонан ординаталардың ортасындағы нүктелер арқылы қисық жүргізіледі. Қисықты жүргізу кезінде құрылған үшбұрыштардың аудандары әрбір фракция аумағында тең болулары керек (1.4,а-сурет).
- β – магнитті бөлумен не фракциялаумен бөлгенде қалқып шыққан фракцияның қосынды шығымымен олардағы күл не темірдің үлестері арасындағы тәуелділік;
- θ – магнитті бөлумен не флотациялауда алынған батқан фракцияның қосынды шығымымен және ондағы темірдің үлесі арасындағы тәуелділік;
- ρ – магнитті бөлумен не флотациямен бөлгенде қалқып шыққан фракцияның қосынды шығымы мен бөлу шарттары – тығыздығы, магниттік өрістің кернеуі не флотациялау уақыты арасындағы тәуелділік;

1.4-кесте

Көмірдің фракциялық талдауының нәтижелері

Фракция тығыздығы, кг/м^3	Фракция шығымы γ,%	Фракция күлділігі, A^c, %	Қалқып шыққан фракциялардың қосындысы		Батып кеткен фракциялардың қосындысы	
			γ,%	A^c, %	γ,%	A^c, %
1300	55,9	4,8	55,9	4,8	100	23
1300-1400	9,4	10,1	65,3	5,6	44,1	46,1
1400-1500	7,6	18,6	72,9	6,9	34,7	55,9
1500-1600	3,3	30	76,2	7,9	27,1	66,3
1600-1800	3,1	45,9	79,3	9,4	23,8	71,4
1800	20,7	75,2	100	23	20,7	75,2
Жалпы	100	22	-	-	-	-
ρ - қисығының абсциссасы	-	λ - қисығының абсциссасы	ρ, β, λ - қисықтарының абсциссасы	β - Қисығының абсциссасы	θ - қисығының абсциссасы	

Байыту қисықтарының дұрыс салынуында β қисығының шеттік нүктесімен θ қисығының бастапқы нүктесі бір түзуде орналасады, оның бағыты ордината осіне параллельді және абсцисса осінде орналасқан нүктеден өтеді. Нүкте көрсеткіші сынамадағы заттың күлділігін немесе металл үлесін анықтайды; β және λ қисықтарының бастапқы нүктелері, және θ мен λ қисықтарының ақырғы нүктелері бір-бірімен түйіседі.

2. ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ҮРДІСТЕРДІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

2.1. Тығыздық бойынша бөлінудің теориялық негіздері

Гравитациялық байыту әдістерінің өздеріне тән бірыңғай жалпы қабылданған теориясы жоқ деп есептеуге болады. Қазіргі кезге дейін гравитациялық байытумен бөлу үрдістерін теориялық тұрғыдан қарастыру гипотездеулер (жорамалдау) арқылы жүргізіледі.

Теориялық зерттеулерде екі ғылыми бағыт қалыптасқан: детерминистік және ықтималдық-статистикалық.

Бірінші ағымдағы зерттеулердің негізі ол орталардағы жеке түйіршіктің және іріліктері мен тығыздықтары шектелген жеке ірілік кластар түйіршіктерінің қозғалу заңдылықтары жеке қарастырылады: алдымен бос жағдайда, сонан соң қысылымды қозғалу жағдайында. Мұнда бос жағдай деп тек жеке бір түйіршіктің ортада қозғалуын, ал қысылымды деп көп түйіршіктердің бір-біріне соқтығыса кедергі жасап қозғалуын (шөгуін) атайды. Түйіршіктердің қозғалу заңдылықтарын түсіндіру үшін механиканың, гидравликаның, физиканың классикалық заңдылықтары, сонымен қоса гидро- және аэродинамиканың негізгі заңдылықтары қолданылады.

Екіншіде, яғни ықтималдық-статистикалық ғылыми ағым зерттеулерінде түйіршіктер мен ортаның қозғалу заңдылықтары бірге қаралып, олардың кездейсоқ, стохастикалық жағдайларда атқарылатыны және тиісті константаларымен сипатталатыны көрсетілген. Зерттелінген ортаның әсерлерінің жеке компонеттерінің қозғалу заңдылықтарын анықтауда ықтималдық теориясы және статикалық физиканың қағидалары қолданылған.

Екі анықталынған ғылыми ағымдардағы теориялық зерттеулер жұмыстары қатар дамып, бір-бірін толықтырып гравитациялық байытудағы бөліну үрдістердің физикалық мәнін білуге ықпалын тигізді.

Жүргізілген зерттеулердің аясында физикалық құбылыстардың жаңа мәндері анықталынып, соның негізінде минералдық түйіршіктердің бөліну механизімін математикалық

түрде талдау үшін атқарылатын үрдістердің модельдері жасалынды. Зерттеулердің негізінде жетік машиналар мен аппараттар, байытудың технологиялық сұлбалары құрастырылды. Алынған жетістіктер ғылыми тұрғыда өндіріс үрдістерін автоматтық түрде реттеумен, сапасы жоғары өнімдерді алуға, кендегі пайдалы компоненттердің қалдық өнімдеріне өтуін төмендетуге және пайдаланатын шикізатты кешенді түрде өңдеуге мүмкіндік берді.

2.2. Денелердің ортада қозғалу заңдылықтары. Ортаның кедергілері

Қатты дене ортада шөгу кезінде, ортаның кедергі күштерінің динамикалық және тұтқырлық әсерінде болады. Бірінші кедергі күш инерциядан (екпін), ал екінші тұтқырлық күш үйкеліс әсерінен пайда болады.

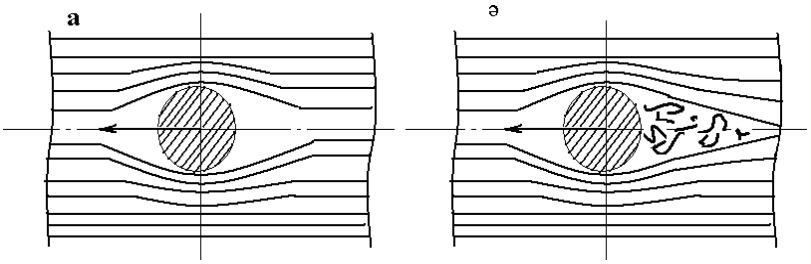
Минералдық түйіршіктер бөліну орталарында қозғалу кезінде (аппараттарда) әртүрлі қозғалыс жылдамдықтарының әсерінде болады, оған ықпал ететін бөлінетін түйіршіктердің ірілігі, тығыздығы, пішіні және ортаның реологиялық параметрлері. Олардың қозғалу уақыттары секундтармен саналады (ортадан тепкіш гравитациялық аппараттарда), ал кейбірде минуттармен (шөктіруде және т.б.) түйіршіктердің қозғалу аумағы оншақты сантиметр (гидравликалық сұрыптағыштарда), немесе барболғаны бірнеше миллиметр ғана құрайды (шлюздерде, жинағыш столдарда ж.т.б.).

Түйіршіктерге ортадан қозғалу кезінде негізінде келесі күштер әсер етеді: ауырлық күші, архимед күші және ортаның кедергі күші. Түйіршіктің қозғалысының жылдамдығы осы үш күштің теңесуінен шығатын күштің әсерімен анықталады. Түйіршіктердің ортадағы қозғалысы бос немесе қысылмалы жағдайда атқарылады. Егер белгілі ортада тек бір ғана түйіршік қозғалыста болса, мысалы шөксе, демек онымен соқтығысатын басқа түйіршіктер болмаса, ол бос шөгеді. Ал іс жүзінде түйіршіктер бір-біріне соқтығыса, кедергі жасай шөгеді, демек қысыла шөгеді. Осы екі жағдайда түйіршіктің шөгу жылдамдығы әртүрлі болады: бос шөгу жылдамдығы қысыла шөгу жылдамдығынан бірсыпыра үлкен келеді.

Түйіршіктердің ортада қозғалуында жоғарыда аталған күштерден басқа, оларға әсер етуші кездейсоқ күштер. Бұл күштер орта ағындарының турбуленттігінен, кездейсоқ соқтығудан, түйіршіктердің пішіндерінен, үрдісте қолданылатын аппараттардың бет қабаты әсерінен, ағын қимасындағы жылдамдықтың бірдей еместігінен пайда болады.

Ортаның кедергі күштері ағын режимдерінің түріне тәуелді. Ламинарлы (жайдақ тура ағын) ағындарда ортаның кедергі күші үйкеліс күшімен анықталады, яғни ағын қабаттарының әртүрлі жылдамдықта қозғалуына байланысты бір біріне кедергі жасауынан тудырылады.

Ламинарлы ағын режимінде ағын қабаттары денені, шағын қозғалу жылдамдығында, жанама ағып, соған сәйкес иірім қабаттары дененің соңында жайдақ ағын болып қосылады (2.1,а-сурет).



2.1-сурет. Ламинарлы (а) және турбулентті (ә) ағын режимдерінде дененің қозғалуын көрсететін сипаттама

Бұл жағдайда ортаның кедергі күші Стокс заңымен анықталады.

$$P_в = 3\pi \cdot \mu \cdot \upsilon \cdot d \,, \qquad (2.1)$$

мұндағы $P_в$ – сұйық қабаттарының үйкелісіне негізделген күш немесе тұтқырлық кедергісінің күші;

3π – тұтқырлық кедергі коэффициенті;

μ – ортаның тұтқырлығы;

υ – дененің (түйіршіктің) қозғалу жылдамдығы;

d – дененің размері (диаметрі).

Турбуленттік (иірімді) режим ағындардың жоғары жылдамдықпен қозғалуында байқалады және мұнда дененің соңында иірімдер тудырылады (2.1,ә-сурет). Егерде денені жанама ағып өтетін ағынның жылдамдығы неғұрлым үлкен болса, дененің бітімі күрделі және беті кедір-бұдырлы болса, соғұрлым дененің соңында иірімдену өсе түседі. Турбуленттік қозғалыстағы иірім аумағындағы пайда болған кіші қысым әсерінен шыққан қысым айырмашылығы дененің орта ішінде қозғалу кезінде оған әсер ететін динамикалық кедергі күшімен анықталынып, Ньютон заңымен өзгереді

$$P_g = kF\frac{1}{2}\upsilon^2\Delta, \qquad (2.2)$$

мұндағы P_g – динамикалық кедергі;

k – пропорционалдық коэффициент;

$k = \frac{1}{2}$ – Риттингер бойынша;

$k = \frac{2}{3}$ – Финкей бойынша;

F – дененің проекциялық ауданы, м^2 ($F = \frac{\pi d^2}{4}$ шарға сәйкес).

Егерде 2.2- формулада $k = \frac{1}{2}$ тең десек, онда

$$P_g = \frac{1}{2}\frac{\pi d^2}{4}\cdot\frac{\upsilon^2\cdot\Delta}{2} = \frac{\pi}{16}\upsilon^2\cdot d^2\cdot\Delta, \qquad (2.3)$$

мұндағы $\frac{\pi}{16}$ – динамикалық кедергі коэффициенті.

Ағылшын ғалымы Рейнольдс ағындардың ағуын зерттеп, оларға сипаттама берген және ламинарлы режимнің турбулентті режимге ауысу шартын анықтаған, сондықтан сұйықтардың ағу режімдерін анықтайтын параметрді Рейнольдс параметрі (Re) деп атайды:

$$\mathrm{Re} = \upsilon\cdot d\cdot\Delta/\mu\ , \qquad (2.4)$$

мұндағы Δ – ортаның тығыздығы.

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.

Ал, екіаралық аумақтағы Рейнольдс параметрі (1–1000), ірілігі 0,1–2мм түйіршіктердің қозғалу жылдамдығына сәйкесті кедергіні анықтауға Аллен келесі формуланы ұсынды:

$$P_A = \frac{10}{\sqrt{\mathrm{Re}}} Pg = \frac{10\pi}{\sqrt{\mathrm{Re}16}} \upsilon^2 \cdot d^2 \cdot \Delta = \frac{5\pi}{8\sqrt{\mathrm{Re}}} \upsilon^2 \cdot d^2 \cdot \Delta . \qquad (2.5)$$

Егерде ортада қозғалып баратқан түйіршік неғұрлым ұсақ болсадемек салмағы азайған сайын, кедергі күш ортаның тұтқырлығымен (үйкеліс күшімен) анықталады да, ол қозғалу жылдамдығына тура пропорционал болады. Осы жағдайда ортаның кедергі күшін анықтауда (2.1) формула қолданылады. Аталған формулаға Рейнольдс параметрін анықтайтын (2.4) формуладағы μ шамасын $\left(\mu = \frac{\upsilon \cdot d \cdot \Delta}{\mathrm{Re}} \right)$ кіргізу арқылы (2.1) формуланы келесі түрге келтіруге болады:

$$P_B = \frac{3\pi \cdot \upsilon \cdot d \cdot \upsilon \cdot d \cdot \Delta}{\mathrm{Re}} = \frac{3\pi}{\mathrm{Re}} \upsilon^2 \cdot d^2 \cdot \Delta , \qquad (2.6)$$

Түйіршіктің салмағы артқан сайын (яғни іріленген сайын) кедергі күш екпінді күшпен (динамикалық) анықталып, қозғалу жылдамдығының квадратына пропорционал болады, бұндайда (2.2) формула қолданылады.

Дененің орта ішінде қозғалу кезінде, қай кедергі күштің басым екенін білу үшін келесі қатынасты қарастырады: $\frac{Pg}{Pв} = \frac{\pi d^2 \cdot \upsilon^2 \cdot \Delta}{16} \cdot \frac{1}{3\pi\mu \cdot \upsilon \cdot d} = \frac{\upsilon \cdot d \cdot \Delta}{48\mu}$. Бұл қатынас Рейнольдс параметрін анықтайтыны белгілі. Ол қайсы кедергінің көбірек екенін сипаттай алады.

Егерде $\frac{\upsilon \cdot d \cdot \Delta}{\mu} \succ 48$, онда Pg>Pв;

$\frac{\upsilon \cdot d \cdot \Delta}{\mu} \prec 48$, онда Pg<Pв;

$\frac{\upsilon \cdot d \cdot \Delta}{\mu} = 48$, онда Pg=Pв.

Гидродинамикалық ұқсастыққа сәйкес жалпы кедергі заңдылығы келесі формуламен көрсетіледі.

$$P = \psi \upsilon^2 \cdot d^2 \cdot \Delta, \qquad (2.7)$$

мұндағы ψ – кедергі коэффициенті;

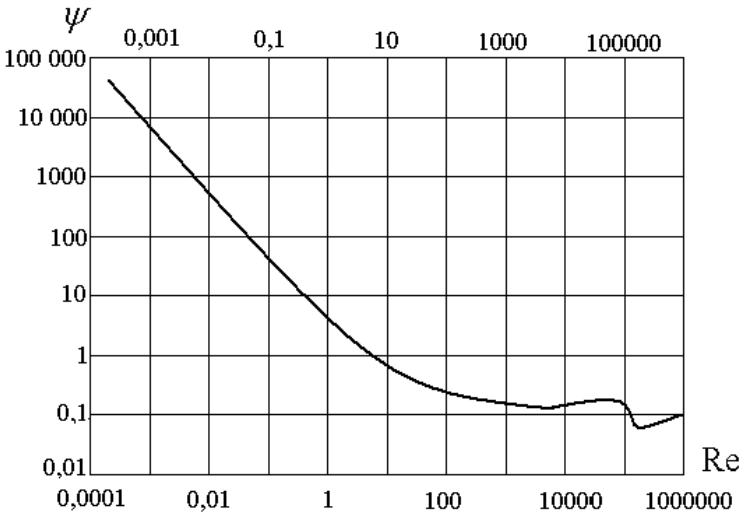
$\psi = \frac{\pi}{16}$ (динамикалық кедергі коэффициенті);

$\psi = \frac{3\pi}{\mathrm{Re}}$ (тұтқырлық кедергі коэффициенті);

$\psi = \frac{5\pi}{8\sqrt{\mathrm{Re}}}$ (екі кедергі күштердің әсерін ескеретін кедергі коэффициенті).

Рейнольдстың параметрімен дененің ортада қозғалған кезінде оған әсер ететін кедергінің арасында біршама тәуелділік бар. Оны Рейлей тәжірибе арқылы анықтаған. Ол тәуелділік кедергі коэффициенті деп аталады $\psi = \frac{P}{\upsilon^2 \cdot d^2 \cdot \Delta}$ немесе $\psi = f(\mathrm{Re})$

Рейнольдс параметрі мен кедергі коэффициентінің арасындағы тәуелділікті диаграмма арқылы өрнектеуге болады (2.2-сурет). Диаграмма бойынша сұйықтың қозғалысының бір режімнен, екінші режімге өту сатысын айқындауға болады.



2.2-сурет. Реелей диаграммасы

2.3. Қозғалыссыз ортадағы денелердің негізгі қозғалу заңдылықтары

Гравитациялық байыту аппараттарында минералдар түйіршіктерінің бөлінуі келесідей боп атқарылады: текқана тығыздықпен және массамен; және бірдей тығыздықпен массамен. Бірінші және үшінші жағдай полиминералды қоспаларға қарасты, екінші – мономинералды полидисперсті қоспаларды жеке ірілік кластарға бөлуге қарасты қолданылады.

Ортада қозғалу кезінде денелерге (түйіршіктерге) келесі күштер әсер етеді: ауырлық күші, көтеру (архимед) күші және ортаның кедергі күші.

Төменге бағытталған ауырлық күш G тең болады:

$$G = V \cdot \rho \cdot g, \qquad (2.8)$$

мұндағы V – дененің көлемі (шар үшін $V = \frac{\pi d^3}{6}$);

ρ – дененің тығыздығы;

g – бос құлау үдеуі.

Көтеру, жоғары бағытталған, күш G_1 тең:

$$G_1 = V \cdot \Delta \cdot g \ . \qquad (2.9)$$

Архимед заңына сәйкес дененің ортадағы салмағын (гравитациялық күш) төмендегідей түрде көрсетуге болады:

$$G_0 = G - G_1 = V \cdot \rho \cdot g - V \cdot \Delta \cdot g = \frac{\pi d^3}{6}(\rho - \Delta)g \ . \qquad (2.10)$$

Денеге әсер ететін ортаның кедергі күші (2.7) формуламен сарапталады.

Дененің қозғалыссыз ортадағы қозғалысының бастапқы уақытында қозғалу жылдамдығы аз, ал үдеуі үлкен болады. Біртіндеп қозғалыс жылдамдығы өсіп, соның нәтижесінде кедергі күш молайып, үдеу азая бастайды. Бір сәтте ауырлық күшпен кедергі күш теңеледі де, дене бір қалыпты жылдамдықпен қозғала бастайды. Оны *ақырғы жылдамдық* деп атайды.

Әр кезде денелердің ортада қозғалу жылдамдықтарын табу үшін ашылған заңдылықтар бос шөгу негізінде табылған. Дененің ақырғы жылдамдықта шөгуінде: υ_0-const, $\frac{d\upsilon}{dt} = 0$ тең. Осы жағдайда $G - G_1 - P = 0$ немесе $P = G - G_1$, онда $\frac{\pi d^3}{6}\rho g - \frac{\pi d^3}{6}\Delta g = \psi \upsilon^2 \cdot d^2 \cdot \Delta$ осыдан

$$\upsilon_0 = \sqrt{\frac{\pi d(\rho - \Delta)g}{6\psi\Delta}} \ , \qquad (2.11)$$

мұндағы υ_0 – ақырғы шөгу жылдамдығы.

Түйіршіктің ламинарлы ағындағы ақырғы жылдамдығын төмендегі теңдеуден анықтауға болады.

$$\frac{\pi d^3}{6}(\rho - \Delta)g = 3\pi\mu\upsilon_0 d$$

$$\upsilon_0 = d^2(\rho - \Delta) \cdot g / 18\mu \qquad \text{(Стокс заңы)} \qquad (2.12)$$

Турбуленттік ағында

$$\frac{\pi d^3}{6}(\rho-\Delta)q = \pi/16\upsilon_0^2 \cdot d^2 \cdot \Delta$$

$$\upsilon_0 = 1{,}63\sqrt{d(\rho-\Delta)g/\Delta} \quad \text{(Риттингер заңы)} \qquad (2.13)$$

Ауыспалы ағында

$$\frac{\pi d^3}{6}(\rho-\Delta)\mathrm{g} = \frac{5\pi}{8\sqrt{\mathrm{Re}}}\upsilon^2 \cdot d^2 \cdot \Delta$$

$$\upsilon_0 = 0{,}89d\sqrt[3]{(\rho-\Delta)^2/\mu\cdot\Delta} \quad \text{Аллен заңы} \qquad (2.14)$$

Егерде денелер (түйіршіктер) суда шөксе, онда (2.12), (2.13) және (2.14) формулаларды келесі түрге келтіруге болады:

1. Ламинарлы режимде

$$\upsilon_0 = k_1 d^2(\rho - 1000)\text{, мұнда} \quad k_1 = 554$$

2. Турбулентті режимде

$$\upsilon_0 = k_2\sqrt{d(\rho-1000)}\text{, мұнда} \quad k_2 = 0{,}16$$

3. Ауыспалы режимде

$$\upsilon_0 = k_3 \cdot d\sqrt[3]{(\rho-1000)^2}\text{, мұнда} \quad k_3 = 0{,}89$$

Жоғарыда келтірілген формулалар пішіні әртүрлі болып келетін түйіршіктердің шөгу жылдамдығы, шар пішінді түйіршіктердің шөгу жылдамдығының заңына бағынышты екенін көрсетеді. Айырмашылығы тек түзету коэффициенттерінде (к). Кез келген минералдың түзету коэффициентін оның диаметріне, тығыздығына, пішініне және бет бұдырлығына байланысты анықтауға болады. Ақырғы жылдамдықты анықтайтын барлық формулалардан байқағанымыздай, дененің диаметрі мен тығыздығы жоғары болған сайын оның ақырғы жылдамдығы да жоғары болады.

Есептеуде қабылданған: $g=9{,}81 м/с^2$, $\Delta=1000 кг/м^3$, $\mu=0{,}001 Н\cdot с/м^2$.

Бұл келтірілген теңдеулердің басты кемшіліктері әрқайсысында кедергі күштердің тек бір түрі ғана есепке алынады. Бос шөгу жылдамдығын есептеуге графикалық әдістерде қолданылады. Соның бірі – П.В. Лященкенің графикалық әдісі. Лященко (2.4) және (2.7) формулаларды ескере отырып келесі теңдеулер жүйесін құрастыруды ұсынды:

$$\left.\begin{aligned} \upsilon d &= \mathrm{Re}\,\mu/\Delta \\ \upsilon^2 d^2 &= P/\psi\Delta \end{aligned}\right\}$$

Оларды бірге есептеу негізінде келесі параметрі $\mathrm{Re}^2\psi$ табылады. Бұл параметр Лященко параметрі деп аталады:

$$\mathrm{Re}^2\psi = \frac{P\Delta}{\mu^2}; \qquad (2.15)$$

Тұрақталынған қозғалыста $P = G_0$, сондықтан (2.15) формулаға P орнына (2.10) формуладағы P мәнін қойып табатынымыз:

$$\mathrm{Re}^2\psi = \frac{\pi d^3}{6}(\rho - \Delta)g\frac{\Delta}{\mu^2}; \qquad (2.16)$$

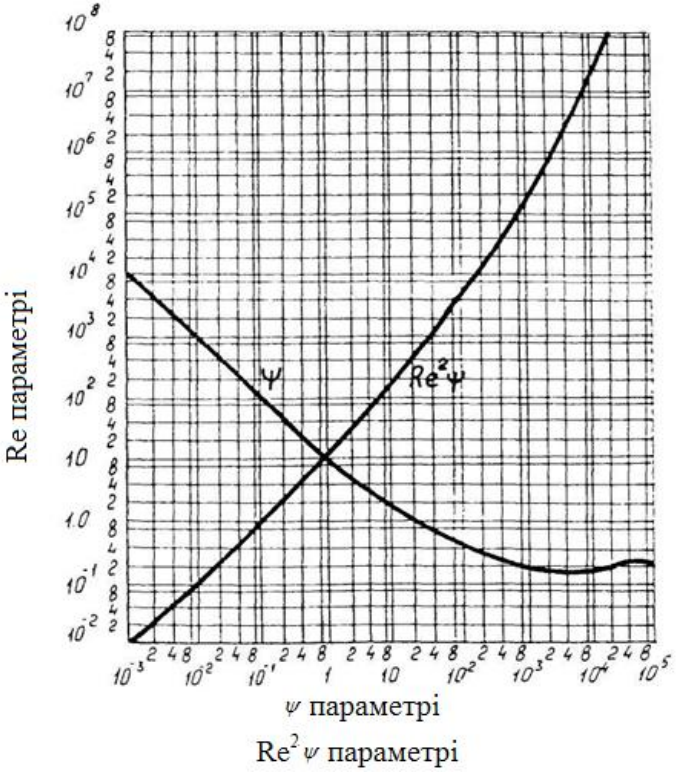
Түйіршіктің және ортаның белгілі параметрлерінің негізінде (2.16) теңдеуден $\mathrm{Re}^2\psi$ параметрінің мәнін оңай анықтауға болады. Соңғыны қолдана отырып, Рейлей диаграммасы негізінде $\mathrm{Re}^2\psi = \psi(\mathrm{Re})$ Рейнольдс параметрін (Re) келесі суреттен анықтауға болады:

Осыдан кейін дененің (түйіршіктің) ақырғы шөгу жылдамдығын анықтауға болады. Ол үшін Re параметрін анықтайтын формулаға (2.4) оның табылған шамасын немесе 2.3-суреттегі Реелей диаграммасы арқылы анықталған Re параметріне қарасты ψ мәнін (2.11) формулаға енгізу қажет.

Мысал 1. Төменгі деректер негізінде көмір түйіршігінің суда ақырғы шөгу жылдамдығын анықтау. Түйіршіктің мөлшері d=25 мм (0,025 м), тығыздығы $\rho = 1350$ кг/м^3, судың динамикалық тұтқырлық коэффициенті $\mu = 0{,}001 Н\cdot с/м^2$

(судың температурасы 293 К-тең) судың тығыздығы $\Delta = 1000$ кг/м^3, g=9,81 м/с^2.

(2.16) формула бойынша $\mathrm{Re}^2\psi$ мәні $2807 \cdot 10^4$ тең. Осы шамаға диаграммадағы $Re^2\psi = f(Re)$ (2.3-суретті қара) көрсеткішке сәйкес келетін Re=12400. (2.4) формуласы бойынша $\upsilon = \upsilon_0 = 0{,}496$ м/с. Жылдамдықты (2.11) формуласы арқылы есептесек, оған табылған Рейнольдс санына (Re=12400) сәйкес келетін ψ шамасын (ψ=0,183) қолдансақ, онда есептелінген жылдамдық көрсеткіші алдыңғымен бірдей болады.



2.3-сурет. Кедергі коэффициентін ψ және $\mathrm{Re}^2\psi$ параметрінің Рейнольдс санына (Re) қарасты тәуелділігі

Мысал 2. Диаметрі d=мм (0,001м), тығыздығы $\rho = 2500$ кг/м3 кварц түйіршігінің ауада ақырғы шөгу жылдамдығын анықтау. Мұнда ауаның динамикалық тұтқырлық коэффициенті $\mu = 0{,}00002 H \cdot с / м^2$ тұтқырлығы $\Delta = 1{,}23$ кг/м^3.

$\mathrm{Re}^2 \psi$ шамасын (2.16) формуласы арқылы анықтап табамыз $\mathrm{Re}^2 \psi$ =39447. Диаграммадан (2.3-сурет) осы көрсеткішке сәйкес келетін Рейнольдс саны Re=400. Кварц түйіршігінің ауадағы ақырғы шөгу жылдамдығы – (2.4) формуласы бойынша $\upsilon = \upsilon_0 = 7{,}18$ м/с тең.

Сонымен, ақырғы қозғалу жылдамдыққа бірсыпыра жағдайлар әсер етеді: дене неғұрлым ірі болса, тығыздылығы үлкен болса, ортаның тұтқырлығы аз болса және дененің пішіні домалақ келсе, соғұрлым ақырғы жылдамдық өседі. Денелердің ортадағы ақырғы қозғалу жылдамдықтарының айырмашылығы, бөліну үрдісін анықтайды.

2.4. Денелердің бірдей шөгуі. Бірдей шөгу коэффициенті

Егер ірілігі және тығыздығы әртүрлі түйіршіктер қоспасын су толтырылған шыны түтікшеге салса, онда жеңіл минералдың ірі түйіршіктерінің бір бөлігінің шөгу жылдамдығы, ауыр минералдың майда түйіршіктерінің шөгу жылдамдығымен бірдей, яғни бұл түйіршіктердің ақырғы шөгу жылдамдықтары бірдей. Бұндай түйіршіктердің гравитациялық аппараттарда бөлінуі өте қиын болады.

Диаметрлері және тығыздықтары әртүрлі, бірақ бірдей жылдамдықпен шөгетін минерал түйіршіктерін *бірдей шөгушілер* деп атайды.

Мысалы, диаметрі d=10 мм, тығыздығы ρ_1=2650 кг/м^3 болатын кварц (SiO_2) түйіршігінің шөгу жылдамдығы

$$\upsilon_{SiO_2} = \upsilon_1 = k_1 \sqrt{d_1 (\rho_1 - 1000)} = 0{,}16 \sqrt{1(2650 - 1000)} = 0{,}65 м / с$$

Тығыздығы ρ_2=7500 кг/м^3 болатын галенит (PbS) түйіршігі де осындай жылдамдықпен шөгеді. Оның диаметрін келесі формула арқылы табуға болады.

$$\upsilon_{PbS} = \upsilon_2 = k_2\sqrt{d_2(\rho_2 - 1000)} = 0{,}65 м/с$$

Бұдан $\sqrt{d_2} = \dfrac{\upsilon_2}{K_2\sqrt{\rho_2 - 1000}}$ немесе

$$d_2 = \frac{\upsilon_2^2}{k_2^2(\rho_2 - 1000)} \approx 0{,}002 м = 2 мм .$$

Тығыздықтары әртүрлі, бірақ бірдей жылдамдықпен шөгетін екі минерал түйіршіктерінің диаметрлерінің қатынасы *бірдей шөгу коэффициенті* (е) деп аталады. Оны жоғарыда келтірілген формулалардан табуға болады. Мысалы, Ньютон-Риттингер формуласы бойынша бірдей шөгетін екі минерал түйіршіктерінің жылдамдығы,

$$\upsilon_1 = k_1\sqrt{d_1(\rho_1 - \Delta)} \quad \text{және} \quad \upsilon_2 = k_2\sqrt{d_2(\rho_2 - \Delta)}$$

$$\upsilon_1 = \upsilon_2 \quad \text{болса} \quad k_1\sqrt{d_1(\rho_1 - \Delta)} = k_2\sqrt{d_2(\rho_2 - \Delta)}$$

$$\text{яғни} \quad k^2 d_1(\rho_1 - \Delta) = k_2^2 d_2(\rho_2 - \Delta)$$

$$\text{бұдан} \quad e = \frac{d_1}{d_2} = \frac{(\rho_2 - \Delta)}{(\rho_1 - \Delta)}\frac{k_2^2}{k_1^2} .$$

k_2 және k_1 арасындағы айырмашылықтың өте аз екенін еске алсақ, яғни $k_1 \approx k_2$ онда бірдей шөгу коэффициенті:

$$e = \frac{d_1}{d_2} = \frac{(\rho_2 - \Delta)}{(\rho_1 - \Delta)} , \qquad (2.17)$$

мұндағы e – бірдей шөгу коэффициенті;

d_1 – жеңіл минералдың өлшемі (размері);

d_2 – ауыр минералдың өлшемі;

ρ_1 – жеңіл минералдың тығыздығы;

ρ_2 – ауыр минералдың тығыздығы.

Бірдей шөгу коэффициенті бөлінетін түйіршіктер диаметрлеріне тікелей пропорционалды, ал тығыздықтары мен орта тығыздығының айырмашылығына кері пропорционалды.

Мысалы, галенитпен кварцтың суда бірдей шөгу коэффициентін келесі қатынастан табамыз:

$$e = \frac{d_1}{d_2} = \frac{7500 - 1000}{2650 - 1000} \approx 4,$$

Осы жолмен бірдей шөгу коэффициентін Стокс формуласы арқылы тапсақ (ламинарлы қозғалыс режимін):

$$e = \frac{d_1}{d_2} = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}\frac{(\rho_2 - \Delta)}{(\rho_1 - \Delta)}}. \qquad (2.18)$$

Егерде $k_1=k_2$

$$e = \frac{d_1}{d_2} = \sqrt{\frac{(\rho_2 - 1000)}{(\rho_1 - 1000)}}.$$

Ауыспалы қозғалыс режимінде Аллен формуласы бойынша

$$e = \frac{d_1}{d_2} = \frac{k_2}{k_1}\sqrt[3]{\left(\frac{\rho_2 - \Delta}{\rho_1 - \Delta}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_2 - \Delta}{\rho_1 - \Delta}\right)^2}. \qquad (2.19)$$

Турбуленттік қозғалу режимінде Ньютон-Риттингер формуласы бойынша

$$e = \frac{d_1}{d_2} = \frac{k_2}{k_1}\frac{(\rho_2 - \Delta)}{(\rho_1 - \Delta)} = \frac{\rho_2 - \Delta}{\rho_1 - \Delta}. \qquad (2.20)$$

Бірдей шөгу коэффициенті қысыла шөгу жағдайында әрдайым бос шөгу жағдайындағыдан үлкен келеді.

Байыту алдында кен қоспасындағы бірдей шөгетін түйіршіктердің үлесін азайту негізінде байытылатын затты (жоғарыдағы кварц және галенит қоспасын) анықталған бірдей шөгу коэффициентінің мәніне сәйкес ірілік кластарына сұрыптайды. Егерде осы аталған қоспаның гранулометриялық

құрамы -80+0 мм құраса, онда оны байыту алдында келесі ірілік кластарға сұрыптау қажет: -80+20; -20+5; -5+1,25; -1,25+0,3мм ж.т.с. Алынған әр ірілік класс жеке байыту аппараттарына беріліп өңделінеді. Демек бірдей шөгу коэффициенті кенді жинағыш столдарда және шөктіру үрдістерімен байыту алдында қандай ірілік кластарға бөлу қажет екенін табу үшін қолданылады.

2.5. Денелердің қысыла қозғалуының жылдамдығы

Жоғарыда қарастырылған минерал түйіршіктерінің суда қозғалу заңдарын тек олардың еркін шөгу жағдайында ғана толық қолдануға болады. Бұл заңдар гидравликалық әрекеттесу үрдісін жан-жақты сипаттай алмайды. Себебі, минерал түйіршіктерінің шөгуі қысылысты жағдайда және шектелген кеңістікте болады. Минерал түйіршіктерінің жаппай қозғалысы кезінде (жүзінді түйіршіктер қосылып), кейбір түйіршіктерге басқа түйіршіктер әсер етеді. Сонымен бірге, ортаға әр түйіршік жекелей және минералдық түйіршіктердің толық массасы динамикалық әсерін тигізеді.

Тәжірибе жолымен дәлелденгендей, қысылысты шөгу жылдамдығы еркін шөгу жылдамдығымен салыстырғанда едәуір төмен, мысалы: кварц үшін 2,76 есе, ал галенит үшін 3,47 есе. Түйіршіктердің қысылыс жағдайда шөгуін олардың сумен салыстырғанда тығыздығы жоғары сұйықтықта тұтастай бір дене түрінде шөгуімен теңестіруге болады.

Түйіршіктердің қысылысты жағдайдағы шөгу жылдамдығын анықтау, олардың бос шөгуіндегі жылдамдықты анықтаудағыдай жүргізіледі. Соған сәйкес келесі теңдеуді құрастыру негізінде түйіршіктердің ортадағы қысылысты шөгу жылдамдығын анықтаймыз:

$$\frac{\pi d_э^3}{6}(\rho - \Delta) = \psi_к \upsilon_к^2 \mathrm{d}_э \Delta, \text{ одан}$$

$$\upsilon_к = \sqrt{\frac{\pi \mathrm{d}_э (\rho - \Delta)\mathrm{g}}{6\psi_к \cdot \Delta}}, \qquad (2.21)$$

мұндағы $\upsilon_к$ – қысылысты шөгудің ақырғы жылдамдығы;

$d_э$ – қоспадағы түйіршіктердің эквивалентті диаметрі;

$\psi_к$ – қысылысты қозғалыстың кедергі коэффициенті $(\psi_к = \frac{\psi}{\theta^n})$; түйіршіктердің ірілігі <0,1мм болса, онда n = 1-1,5, түйіршіктердің ірілігі >2мм, онда n = 6.

Осыдан

$$\upsilon_к = \sqrt{\frac{\pi d_э (\rho - \Delta) g \cdot \theta^n}{6\psi \cdot \Delta}}, \qquad (2.22)$$

θ – қопсу коэффициенті;

n – пульпадағы минералдар қоспасының ірілігінің азаюына қарай қопсу дәрежесінің көрсеткіші:

Түйіршіктердің қысылысты жағдайда қозғалу жылдамдығын анықтайтын бірнеше формулалар ұсынылған. Соның ішінде түйіршіктердің қысылысты жағдайда шөгу жылдамдығын анықтау үшін Ричардс, Риттингердің біршама өзгертілген формуласын пайдалануды ұсынады

$$\upsilon_k = k\sqrt{d(\rho - \delta)}, \qquad (2.23)$$

мұндағы k – Риттингер формуласындағы коэффициент;

δ – ортаның тығыздығы (сұйық тығыздығымен минералдық түйіршіктердің арасындағы орташа тығыздық $\delta > \Delta$).

Осы формула арқылы есептелген түйіршіктердің қысылысты жағдайда шөгу жылдамдығы біршама жоғары және жұмыс тәжірибесіне толықтай сәйкес келмейді. Жүргізілген тәжірибелер мен теориялық жұмыстардың көрсеткені: түйіршіктердің қысылысты шөгу жылдамдығы суспензияның тұтқырлығына байланысты. Тұтқырлық ортадағы қатты заттың көбеюіне қарай өсіп отырады.

Сондай-ақ, суспензияның немесе пульпаның тұтқырлығы минерал түйіршіктерінің қопсу дәрежесіне немесе судың өрлеу ағындысындағы жүзгінділігіне байланысты.

Қопсу коэффициенті судың өрлеу ағындағы жылдамдығына байланысты. Ол жылдамдық қопсу басында еркін шөгу жылдамдығының 1/20 шамасында болу керек.

Жалпы қысыла шөгу жылдамдылығы бос шөгу жылдамдылығынан бірнеше рет аз болады. Оның мөлшері ортаның белгілі көлемінде түйіршіктер саны азайған сайын, қопсу дәрежесі жоғарылаған сайын, бос шөгу жылдамдығына жақындай түседі. Әдетте ол тәжірибе жүргізу арқылы анықталады. Осы жай негізінде қысыла шөгу жағдайында ақырғы жылдамдықты табу П.В. Лященко мынадай теңдеу ұсынды:

$$\upsilon_k = \upsilon_o \sqrt{\theta^n}\ , \qquad (2.24)$$

мұндағы υ_o – еркін шөгудің ақырғы жылдамдығы;

Қопсу коэффициентінің шамасы пульпадағы минерал түйіршіктерінің арасындағы ортаның көлемі және пульпаның жалпы көлемі ара қатынасы мен анықталады. Түйіршіктердің көлемін $V_к$ деп, ал пульпаның жалпы көлемін V деп белгілесек:

$$\theta = \frac{V - V_к}{V} = \frac{\mathrm{V_с}}{\mathrm{V_с} + V_к}\,. \qquad (2.25)$$

мұндағы $\mathrm{V_с}$ – сұйық фазасының көлемі.

2.5.1. Қысыла қозғалу жағдайындағы бірдей шөгу

Түйіршіктердің бос және қысыла қозғалу жылдамдықтарының айырмашылығы бірдей шөгу үрдісіне нақтылы әсерін тигізеді. Сондықтан осы жағдай минералдық түйіршіктердің гравитациялық байыту үрдістеріндегі бөліну заңдылықтарына ішінара түзету енгізеді. Түйіршіктердің қысылмалы жағдайда қозғалу жылдамдығының азаюы бірдей шөгу коэффициентінің шамасын өзгертеді және мұнда оның абсолюттік мәні түйіршіктің бос қозғалуындағы бірдей шөгу коэффициентіне қарағанда әлдеқайда жоғары болады.

Ірілігі 2 мм-ден жоғары түйіршіктердің бірдей шөгу коэффициенті келесі формуламен өрнектеледі:

$$e = d_1 / d_2 = \left(\rho_2 - \sigma / \rho_1 - \sigma\right), \qquad (2.26)$$

мұндағы σ – ортаның шартты тығыздығы.

Р. Ричардстың зерттеулерінің негізінде анықталғаны: бірдей шөгу коэффициенті қысыла шөгу жағдайында әрдайым бос жағдайындағыдан үлкен келетіні.

Қысылысты жағдайда бірдей шөгу коэффициенттің өсуі байыту тәжірибесіне жақсы әсер етеді, өйткені ол сұрыптау шкаласын ұлғайтады, соның арқасында елеу операциясы жеңілдетіледі, байыту операциялар саны азайтылады, яғни аса экономикалық технологиялық байыту схемасын жасауға ыңғайлайды.

А.М. Годен бойынша түйіршіктердің қысылысты қозғалудағы бірдей шөгу коэффициентін анықтайтын формула:

$$e = \left(\rho_2 - \sigma / \rho_1 - \sigma\right)^n , \qquad (2.27)$$

мұндағы n – түйіршіктердің ірілігіне сәйкес өзгеретін шама дәрежесі

(n=0,5–1).

Түйіршіктер ірілігі <0,1 мм болса (Стокс заңы), онда (n) шамасы үлкен, ал >2 мм болса (Ньютон заңы), онда кіші.

3. ГИДРАВЛИКАЛЫҚ СҰРЫПТАУ (КЛАССИФИКАЦИЯ)

3.1. Сұрыптау үрдісінің сипаттамасы және оның қолдану орны

Гидравликалық сұрыптау – кенді немесе минерал түйіршіктерінің аралас қоспасын суда шөгу жылдамдықтарының негізінде ірілік кластарға бөлу болып табылады. Егерде бөліну орта ретінде ауа қолданылатын болса, онда сұрыптауды пневматикалық немесе ауамен сұрыптау деп атайды.

Сұрыптау негізінен заттарды ірілік бойынша бөлуге қолданылады. Бұл үрдіс тығыздығы және пішіндері біркелкі қоспаларды бөлуде қолданылуы мүмкін. Егерде қоспа құрамындағы компоненттердің тығыздықтар бойынша айырмашылығы айтарлықтай жоғары болса немесе олардың түйіршіктер пішіндері бір-біріне қарағанда өте әртүрлі болса, онда қоспаны сұрыптау кезінде гравитациялық байыту үрдісіде бірге атқарылуы мүмкін.

Гидравликалық сұрыптауда зат екі немесе бірнеше ірілік кластарға бөлінеді. Заттың – ірілік кластарға бөлінуі, ондағы түйіршіктердің ортада бірдей шөгуіне негізделген, яғни гидравликалық сұрыптау нәтижесінде алынған әр кластың құрамында, бірдей жылдамдықпен шөгетін жеңіл минералдардың ірі түйіршіктері және ауыр минералдардың майда түйіршіктері бар. Гидравликалық сұрыптаудың елеу (грохочение) үрдісінен айырмашылығын осымен түсіндіруге болады.

Байыту фабрикаларында сұрыптау үрдісі кеңінен тараған. Ол негізінде мынадай мақсаттармен қолданылады:

1) ұнтақтау схемаларында көмекші үрдіс ретінде диірменнен шыққан заттан ұнтақтығы жеткен бөлегін құмды бөлектен бөліп алуға;

2) бірдей шөгу принципіне байланысты сұрыптау дайындау үрдісі ретінде кенді жинағыш столдарда байыту алдында жүргізіледі;

3) пульпадан судың негізгі бөлегін, не керісінше, қатты заттың негізгі бөлегін бөліп алу үшін, демек сусыздандыру үрдісі ретінде жүргізіледі.

Гидравликалық сұрыптау жеке операция ретінде темір, жез, алтын, вольфрам, қалайы т.б. құрамында сазды және лайлы түйіршіктер бар кендерді байыту алдында жуып, тазарту үшін қолданылады.

Гидравликалық сұрыптау үрдісі түйіршіктердің диаметрі 5–4 мм-ден аспағанда ғана тиімді қолданылады. Іс жүзінде сұрыптау үрдісінде қолданылатын аппараттың конструкциясына байланысты су әртүрлі бағыттарда қозғалады. Соған сәйкес, сол бағыттарда ағу жылдамдықтары пайда болады. Егер су бір аппараттарда екі бағытта қозғалса түйіршікке сол екі бағытта туатын жылдамдыққа тең әсерлі жылдамдық әрекетін тигізеді. Ақырында түйіршіктің құмға түсуі не ағызындыға кетуі тең әсерлі жылдамдықпен оның шөгу жылдамдығының арасына тәуелді. Шөгу жылдамдық басым болса түйіршік құмға түседі де, ал судың ағызу жылдамдығы басым болса ол ағызындыға кетеді. Демек түйіршіктердің сұрыптау үрдісінде белгілі ірілік класына түсуі сол үрдістегі судың мол не аздығына байланысты.

Кейбір классификаторларда үрдістің тиімділігін арттыру үшін, атап айтсақ, ұсақ түйіршіктердің шөгуін жылдамдату үшін қосымша ортадан тепкіш күш тудырылады. Ол үшін арнаулы әдіспен пульпа айналмалы қозғалысқа келтіріледі (гидроциклондарда).

Сұрыптауда түйіршіктер елеу үрдісіндегідей әртүрлі кластарға дәл бөлінбейді. Ұсақ класқа кетуге тиіс түйіршіктердің біразы ірі класта, ал ірі түйіршіктердің біразы ұсақ кластарға түседі. Тек камералы гидроклассификаторларда ғана үрдіс дәл жүргізіледі.

Түйіршіктердің ірілік кластарға бөлінуінің дәлдік дәрежесіне көп әсер ететін жай – пульпаның тығыздығы. Неғұрлым пульпаның бірлік көлемінде түйіршіктер саны аз болса, яғни бос шөгу жағдайы артса, соғұрлым сұрыптаудың дәлдік дәрежесі өседі. Бірақ көпшілік жағдайда пульпа тығыздығы сұрыптау мақсатымен емес байыту технологияларының қажетіне байланысты реттеледі.

Гравитациялық сұрыптаудың теориялық негізін жасау XIX-ғасырдың ортасында басталады. Елеулі ғылыми-зерттеу жұмыстар жүргізген Ресей ғалымдары Г.Я. Дорошенко, В.А. Гуськов, Г.О.Чечотт т.б.

Алыс шетел ғалымдары Риттингер, Стокс, Аллен, Ричардс, Рейнольдс т.б. бұл мәселеге көп еңбек сіңірген. Аталған ғалымдар гидравликалық сұрыптау үрдісінің теориялық негіздерін қалыптастырған. Олардың ашқан заңдылықтары оқулықтың II тарауында берілген.

3.2. Гравитациялық сұрыптауда қолданылатын аппараттар

Гидравликалық сұрыптау, сұрыптағыштар (классификаторы) деп аталатын аппараттарда жүргізіледі.

Пайдалы қазбаларды байытқанда төмендегідей сұрыптағыштар қолданылады:

1. Механикалық сұрыптағыштар ұнтақталған кенді құм және ағызынды етіп бөлу үшін қолданылады. Құм қайтадан диірменге жіберіледі де, ал ағызынды дайын зат есебінде байытуға (флотацияға) түседі.

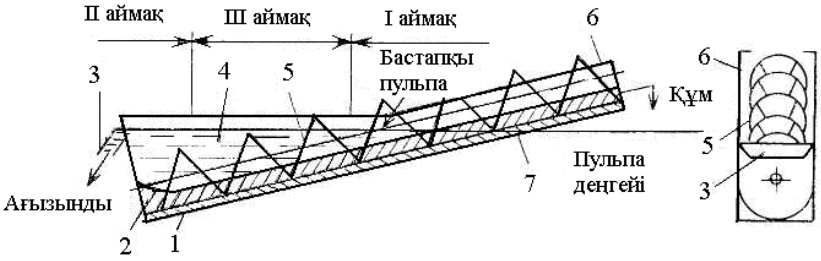
2. Конусты сұрыптағыштар майда ұнтақталған затты сусыздандыру үшін, сондай-ақ ірілігіне қарай құм және ағызынды түрінде бөлу үшін қолданылады.

3. Гидравликалық камералы сұрыптағыштар ұнтақталған кенді кейбір гравитациялық үрдістермен (мысалы, жинағыш столдарында) байыту алдында бірдей шөгу принципімен бірнеше кластарға бөлуге қолданылады.

4. Ортадан тепкіш сұрыптағыштарда (гидроциклондар) пульпа құмға және ағызындыға бөлінеді. Кейде олар басқада мақсаттармен қолданылады. Қазіргі кезде олар ең көп тараған сұрыптағыш болып отыр.

3.2.1. Механикалық сұрыптағыштардың жұмыс істеу принципі мен құрылымдары

Механикалық спиралды сұрыптағыш науасындағы затты шартты түрде бірнеше қабаттарға бөлуге болады және ондағы зат өздеріне сай тығыздықпен, ірілікпен сипатталады (3.1-сурет).



3.1-сурет. Механикалық сұрыптағыштың жұмыс істеу сұлбасы:
1 – төсеніш; 2 – құм; 3 – ағызынды табалдырығы;
4 – пульпа сыйымдылығы; 5 – спираль (шнек); 6 – науа;
7 – сұрыптағыш түбі

1 қабат – тығыздалынған, қозғалмайтын зат қабаты (сұрыптағыш төсеніші), ол науа түбін механикалық желінуден сақтайды. Бұл қабатта металдық скрап, ауыр минералдардың бос түйіршіктері жиналады, мысалы ұнтақтаудың тұйық циклында алтынқұрамды кендерді және өнімдерді өңдеу кезінде.

2 қабат – шөгілген құмдық қабаты, ол үзіліссіз спираль арқылы сұрыптағыштың жоғарғы шет жағына тасымалданып диірменге қайта түсіріледі.

3 қабат – үзіліссіз араласып 2 және 4 қабаттарға бөлінетін тығыздалынған түйіршіктер жүзгіні.

4 қабат – жоғары және тура бағытталынған ағындар әсерінен сұрыптағыш табалдырығынан ағып шығытын зат қабаты.

Сұрыптағыш науасының ұзын бойында пульпаның тереңдігі бірдей болмауына қарай, оның әр жеріндегі заттың қозғалуы да бірдей болмайды (3.1-суретте).

1 аймақ – бастапқы затты түсіру жеріне жақын орналасқан және оның тереңдігінің таяз болуына байланысты, мұнда пульпа жақсы араласуда болады. Түйіршіктердің тереңдік бойында таралуы біркелкі болып келеді.

2 аймақ – ағызынды шығарылатын табалдырыққа жақын орналасқан, мұнда өрлеу ағындармен түйіршіктер ағызындыға шығарылады.

3 аймақ – пульпа толтырылған науаның негізгі бөлімі. Осы зонада түйіршіктердің сұрыпталуы жүреді. Мұнда пульпаның араласуы шамалы болады.

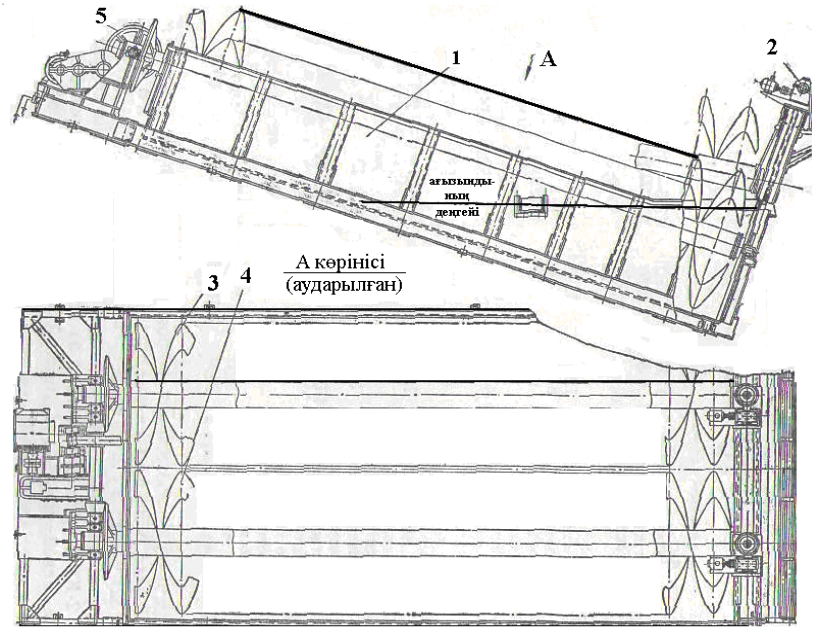
Сұрыптағыштағы зат ағызынды табалдырығына қарай қозғалуында оның гранулометриялық құрамы және ірі түйіршіктердің науа түбіне шөгілуіне байланысты түйіршіктердің көлемдік үлесі өзгере бастайды. Осы жағдайда түйіршіктердің ақырғы шөгу жылдамдықтары біртіндеп өсіп, соған сәйкес ағызындының ірі түйіршіктерден тазалануына жақсы жағдай жасалынады.

Қазіргі кезде өндірісте спиральді сұрыптағыштар мен қатар, гидроосцилляторлар және гидросұрыптағыштар қолданылады. Соңғы кездері салынған фабрикаларда түгелдей спиральді сұрыптағыштар орнатылуда. Механикалық сұрыптағыштардың бәрінің жұмыс істеу принципі бірдей. Олар әдетте, майда ұнтақтау циклінде қолданылады. Нәтижесінде екі өнім алынады: майда ұнтақтауға қайта түсетін құм және байыту үрдісіне жөнелтілетін ағызынды. Спиральды сұрыптағышты пайдаланғанда ағызынды құрамындағы түйіршіктер ірілігі 0,1–0,074 мм және онан да майда. Спиральді сұрыптағыш көлбей орнатылған жартылай цилиндр пішінді науа (1) болып табылады (3.2-сурет). Науаның түбімен қатарласа орнатылған спиральді білік (біреу немесе екеу) айналып тұрады. Пульпа науаның төменгі жағына беріледі. Құм төмен шөгеді де, айналып тұрған спиралдармен (3, 4) науаның жоғарғы спираль қозғалтқышы (5) жағына жеткізіледі, көлбей орнатылған науашықтың бойымен диірменге түсетін кенмен бірге ұнтақтауға беріледі.

Майда түйіршіктер ағызынды түрінде байыту үрдістеріне жөнелтіледі.

Сұрыптағыштың науасы жазық болаттан жасалып, болаттан дайындалған рамаға отырғызылады. Науаның төменгі қапталында диірменнен ұнтақталып шыққан зат түсетін тесік бар. Спираль қуыс білікке айнала бекітілген екі адымды бұрамадан тұрады. Біліктер спиралдармен бірге мойынтіректерде (подшиптиктерде) орнатылған. Біліктің жоғарғы жағындағы мойынтірек тіреуіш мойынтіректің цапфаларына бекітіледі, бұл спираль орнатылған біліктің

төменгі жағын көтеруге мүмкіндік береді және осы жағдайда оның қозғалтқыш жүйесімен ілінісі сақталады. Біліктің төменгі жағы, пульпаға батырылған және оған қатты зат түйіршіктері түспейтін етіп, мұқият жабылған мойынтіректерде орнатылған. Спираль қалақшалары болаттан жасалып, болат таяқшаларға бұрандалармен бекітілген. Істен тез шығып отыратын спираль шеті ақ шойыннан жасалған пластинкалармен қапталады. Олар тозуына қарай ауыстырылып отырады.



3.2-сурет. Екі спиралды биік өткелді сұрыптағыш (2-КСН):
1 – науа; 2 – спиралды көтеретін механизм; 3,4 – спиралдар;
5 – спираль қозғалтқышы

Сұрыптағыштың спиралды білігі науаның жоғарғы жағында орналасқан тісті беріліс арқылы электрқозғалтқыш (5) көмегімен айналады. Қозғалтқыш жүйесі білікті оның қандай жағдайда болуына қарамастан, қозғалысқа келтіре алады.

Сұрыптағышты тоқтатқанда пульпаны науадан шығарып тастаудың қажеті жоқ, науаның төменгі жағында металдан жасалған рамаға орнатылған арнайы көтергіш механизмнің (2) көмегімен спиралды білікті көтерсе жеткілікті. Сұрыптағыш іске қосылғаннан кейін, оны аз-аздан түсіре отырып, тоқтатар алдында бастапқы қалпына келтіру қажет.

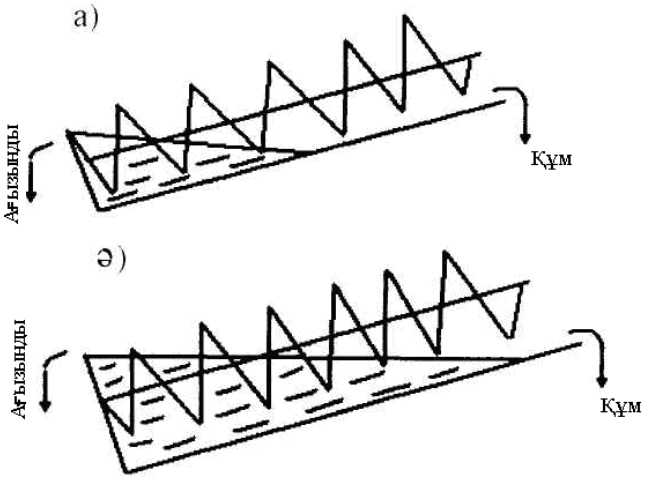
Спиралды сұрыптағыш жұмысын реттеп отыратын параметрлер: пульпа тығыздығы, пульпа бетінің ауданы және спиралдың айналу жылдамдығы. Пульпа бетінің ауданы науаның мөлшері мен көлбеу бұрышына байланысты. Науаның көлбеу бұрышы 12–18^{o} аралығында. Спиралдың айналу жылдамдығы ағызындыдағы түйіршіктердің қажетті ірілігіне сәйкес болу қажет. Ағызындыдағы түйіршіктер ірілеу болу үшін спиралдың айналу жылдамдығы жоғары болу керек.

Спиральды сұрыптағыштардың тағы бір ерекшелігі бар. Ағызындыға шығатын заттың ұнтақтығы науа ішіндегі пульпаның тереңдігіне байланысты, ал ол науаның төменгі басының биіктігімен анықталады: неғұрлым ол биік болса тереңдік артады да, ал аласа болса, керісінше таяздайды (3.3-сурет).

Пульпаның тереңдігі артқан сайын ағызындыға шығатын заттың ұнтақтығы молаяды. Осыған байланысты спиральді сұрыптағыштар екі түрде жасалады: төменгі басы аласа болса олар батпаған спиральді (спиральдің төменгі ақырғы орамы пульпаға тек жартылай батқан) болып (3.3, а-сурет), ал төменгі басы батқан болса батқан спиральді сұрыптағыш (3.3, ә-сурет) болып аталады.

Спиралы пульпаға батқан (3.3,ә) сұрыптағыштың спиралы, оның төменгі бөлігі толықтай пульпа деңгейінің астында, сондықтан жоғары шөгу аймағы біршама тұнық қалпында болады, демек, ағызындыдағы түйіршіктер майда болып келеді. Мұндай сұрыптағыштар ағызындыға ірілігі 0,15 мм-ден төмен түйіршіктерді бөлу үшін қолданылады.

Спиралі батпаған (3.3, а-сурет) сұрыптағыштар ірілігі жоғары ағызынды (бөліну ірілігі 0,2 мм) алуға қолданылады, сондықтан олар ұнтақтау үрдісінің бірінші сатыларында қолданылады.



3.3- сурет. Батпаған (а) және батқан (ә) спиральді сұрыптағыштың схемалық көрінісі

Сұрыптағыш науасындағы түйіршіктерге салмақ күшінен басқа жоғары көтерілетін ағын күші және горизонталь жазықтықтағы ағызу күштер әсер етеді. Түйіршіктердің науа түбіне шөгіп құмға кетуі келтірілген үш күштің ара-қатынастарына байланысты. Шешуші роль атқаратындар: салмақ күшімен жоғары көтерілетін ағын күші.

Егер салмақ күші басым болса түйіршік құмға кетеді де, ал жоғары көтеретін ағын күші басым болса ол ағызындыға кетеді. Іс жүзінде түйіршіктердің құмға не ағызындыға кетуі жоғары көтеретін ағын күшін өзгерту арқылы реттеледі. Ол үшін классификаторға түсетін су көлемі өзгертілмейді: неғұрлым су көп берілсе соғұрлым жоғары көтерілу ағын күші және горизонталь жазықтықта ағызу күші өседі де ағызындыға кететін түйіршіктердің диаметрі үлкейеді. Егер диірменнен шыққан пульпаның тығыздығы орташа 75% болса, сұрыптағышқа түсетін пульпаның тығыздығы қосымша су беру нәтижесінде 40-50%-ға дейін төмендейді. Пульпаның жіктелуі нәтижесінде бөлінетін құмның тығыздығы 75-85% болса, ағызындының тығыздығы қосылатын судың көлеміне байланысты 20-40% мөлшерінде өзгереді.

Спиралды сұрыптағыштың басқа механикалық сұрыптағыштармен салыстырғанда бірқатар артықшылықтары бар: сұрыптау үрдісі тынық аймақта өтеді, құм құрамында ылғал аз, сұрыптау үрдісінің тиімділігі жоғары, сондай-ақ, пульпа тығыздығының жоғары болуына қарамастан, алынған өнім ірілігі біркелкі. Науаның көлбеу бұрышы үлкен болғандықтан, құмды дйірменге арнайы құралсыз-ақ, аздаған қысымы бар судың көмегімен беруге болады. Спиралды сұрыптағыштың өнімділігі бастапқы заттың гранулометриялық құрамына, тығыздығына, ағызындының ірілігіне және тығыздығына сонымен қатар, пульпадағы ерітінді тұздар мен реагенттерге байланысты.

Сұрыптағыштың өнімділігін төмендегідей формуламен анықтауға болады:

спиралы пульпаға батпаған сұрыптағыш үшін

$$Q=mk_1k_2(94D^2+16D), \qquad (3.1)$$

спиралы батырылған сұрыптағыш үшін

$$Q=mk_1k_2(75D^2+10D), \qquad (3.2)$$

мұндағы Q – ағызындыдағы қатты зат бойынша өнімділік, т/тәулік;

m – сұрыптағыштың спираль саны;

k_1 – ағызындының ірілігін ескеретін коэффициент (биік өткелді сұ-рыптағыш үшін $k_1=0,46\div1,95$; спиралы батырылған сұрыптағыш үшін

$$k_1 =0,36\div2,9);$$

k_2 – ағызындының тығыздығын ескеретін коэффициент ($k_2=1,9\div1$);

D – спираль диаметрі, м.

Механикалық спиралды сұрыптағыштардың техникалық параметрлері 3.1 кестеде келтірілген.

3.1-кесте

Спиралы пульпаға батырылмаған және батырылған сұрыптағыштардың басты параметрлері

Сұрыптағыш түрі	Спиралдың размерлері, мм:		Спираль саны	Спиралдардың айналу жылдамдығы, а/мин	Науаның көлбеу бұрышы, градус	Спиралдарды айналдыратын электрқозғалтқыш қуаты, квт		Сұрыптағыштың электрқозғалтқышсыз массасы, т
	диаметрі	ұзындығы				Спиралдың жетегі	Спиралды көтеруге	
Спиралы пульпаға батырылмаған сұрыптағыштар								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1КСН-3	300	3000	1	25	14-18	1,1	-	0,8
1КСН-5	500	4500	1	12	14-18	1,1	-	1,5
1КСН-7,5	750	5500	1	7,8	14-18	3,0	-	3,0
1КСН-10	1000	6500	1	5,0	14-18	5,5	-	5,0
1КСН-12	1200	6500	1	4,1; 8,3	14-18	5,5	1,7	7,0
1КСН-15	1500	8200	1	3,4; 6,8	15-18,5	7,5	1,7	13,0
1КСН-17	1700	8400	1	2,5; 5,0	17	10,0	1,7	17,0
1КСН-20	2000	8400	1	2,0; 4,0	17	13,0	2,8	19,0
1КСН-24	2400	9200	1	1,8; 3,5	17	13,0	2,8	23,0
2КСН-24	2400	9200	2	1,8; 3,5	17	22,0	2,8	37,0
1КСН-30	3000	12500	1	1,5; 3,0	18,5	30,0	2,8	42,0
2КСН-30	3000	12500	2	1,5; 3,0	18,5	40,0	2,8	72,0
Спиралы пульпаға батырылған сұрыптағыштар								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1КСП-12	1200	8400	1	4,1; 8,3	15-18	5,5	1,7	10,5
2КСП-12	1200	8400	2	4,1; 8,3	15-18	10,0	1,7	17,0
1КСП-12	1500	10100	1	3,4; 6,8	15-18	7,5	2,8	19,0
2КСП-12	1500	10100	2	3,4; 6,8	15-18	10,0	2,8	32,0
1КСП-12	1700	10100	1	2,5; 5,0	15-18	10,0	2,8	25,0
1КСП-12	2000	13000	1	2,5; 5,0	15	13,0	4,5	31,0
2КСП-12	2000	13000	2	2,5; 5,0	15	22,0	4,5	56,0
1КСП-12	2400	14000	1	2,0; 4,0	15	13,0	4,5	35,0
2КСП-12	2400	14000	2	2,0; 4,0	15	30,0	4,5	63,0
1КСП-12	3000	15500	1	1,5; 3,0	15	30,0	4,5	60,0

Сұрыптағыштың спиралының диаметрін өнімділік арқылы табуға болады. Биік өткелді сұрыптағыш үшін

$$D = 0{,}103\sqrt{\frac{Q}{mk_1k_2}} - 0{,}08. \qquad (3.3)$$

Спиралы батырылған сұрыптағыш үшін

$$D = 0{,}115\sqrt{\frac{Q}{mk_1k_2}} - 0{,}07. \qquad (3.4)$$

Спиралды сұрыптағыштың өнімділігін құм арқылы есептеп табуға болады

$$Q=135mk_2nD^3, \qquad (3.5)$$

мұндағы Q – құм бойынша өнімділік, т/тәулік;

n – спиралдың айналу жылдамдығы, а/мин.

Спиралды-қалақшалы сұрыптағыш (гидросұрыптағыш).

Ірілігі 0,5–0,074 мм болатын затты кластарға бөлу үшін, сондай-ақ құм құрамынан өте майда кластарды бөліп тастау үшін *гидросұрыптағыштар* қолданылады. Гидросұрыптағыш көлбеу орналасқан, түбінде жай айналып тұратын жинағышы 3 бар цилиндр пішінді күбіден (чаннан) 1 тұрады (3.4-сурет).

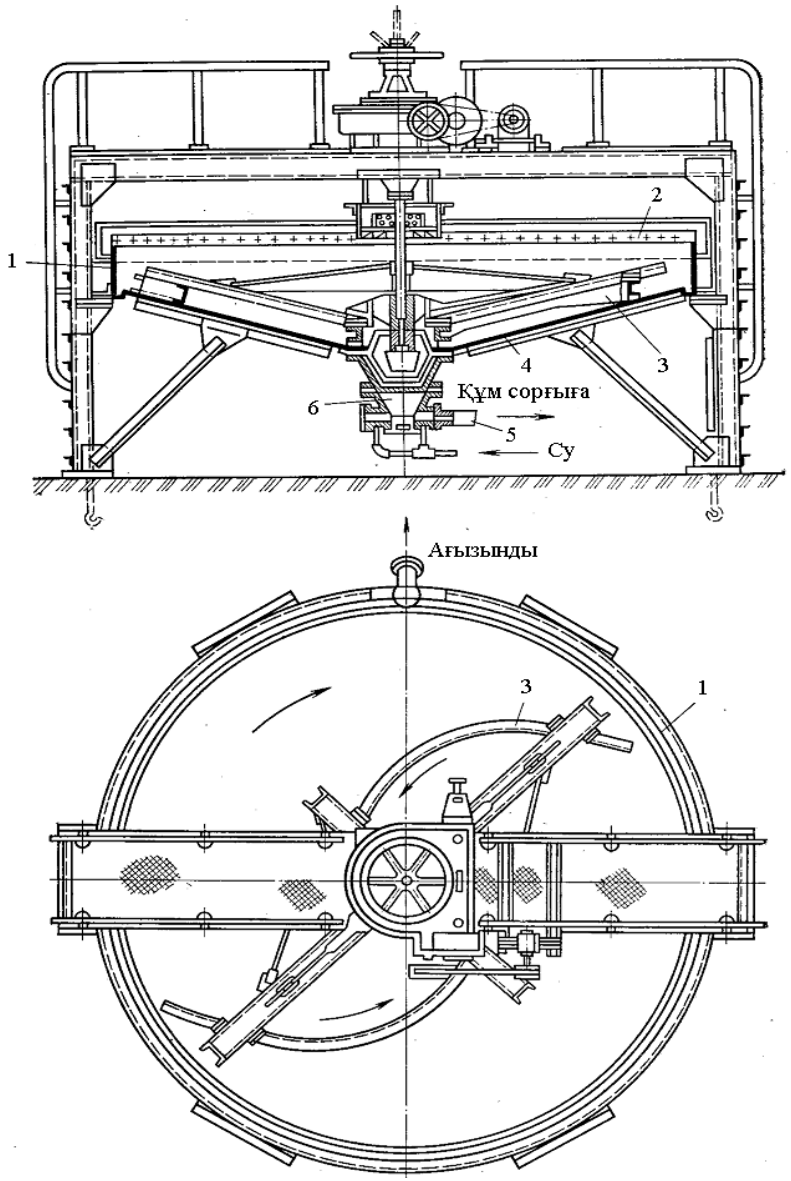
Жинағыш 3 айнала қозғалып тұратын сыдырғыштармен жабдықталған. Шөккен зат сол арқылы сұрыптағыштың түп ортасындағы тесікке 6 түсіріліп, одан ары қарай құбыр 5 арқылы сұрыптағыштан шығарылады. Сұрыпталына-тын зат (пульпа) құбыр арқылы жоғары жақтан күбінің ортасына беріледі. Конус ойынқысына жағалай орналасқан құбырлар арқылы су беріліп өрлеу ағындарында шөккен құм жақсы шайылып, бөлініп шыққан майда шлам ағызындының сақиналы науасына 2 түсіп сұрыптағыштан шығарылады.

Гидросұрыптағыштың негізгі техникалық параметрлері 3.2-кестеде келтірілген.

3.2-кесте

Гидросұрыптағыштың негізгі параметрлері

Күбі диаметрі, мм	Жинағыш білігі		Электрқозғалт-қыштың қуаты, квт	Массасы, т
	айналу жылдамдығы, а/мин	көтерілу биіктігі, мм		
4200	1,16	0-250	2,7	5,40
5000	1,16	0-250	2,7	6,90
6000	0,78	0-350	2,7	12,42

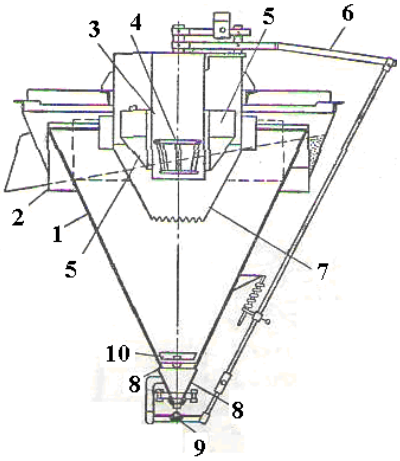


3.4-сурет. Спиралды қалақшалы сұрыптағыш
(гидросұрыптағыш)

3.2.2. Конусты сұрыптағыштар

Конусты сұрыптағыштар заттың ірілігіне қарай құм және шлам сұрыптағыштары болып бөлінеді.

Құмдық конусты сұрыптағыштар (ҚКС) ірілігі 1,6 мм-ден аспайтын құмды заттарды екі ірілік кластарға бөлуде қолданылады (3.5-сурет).



3.5-сурет. Конусты құм сұрыптағышы

Сұрыптағыш корпусының 1 пішіні төңкерілген кесінді конусқа ұқсас. Оның табанының шет бойында шеңберлі ағызынды науасы 2 орнатылған. Конустың ось бойында бастапқы пульпаны қабылдайтын цилиндр 3, ал оның іш жағында ағымдарды қақ жаратын құрылғы 4 орнатылған. Конус қабырғаларының көлбеулігі 60^0 құрайды. Конустың астынғы бөлігінде саптамаларды қосатын фланец басы бекітілген. Саптамалардың шығару тесіктерінің диаметрі сұрыпталынатын заттың сапасына қарай қабылданады.

Шөккен құмдарды шығару үшін конус басының 8 астында шарикті бекіткіш 9 орнатылған, оның ашылып-жабылуы қалқыма құрылғысымен 5 жүргізіледі, ал қалқыманы қозғалысқа келтіру арнаулы иіндер жүйесі 6 арқылы атқарылады. Қалқыма құрылғысы ішкі конуста 7 орналасқан.

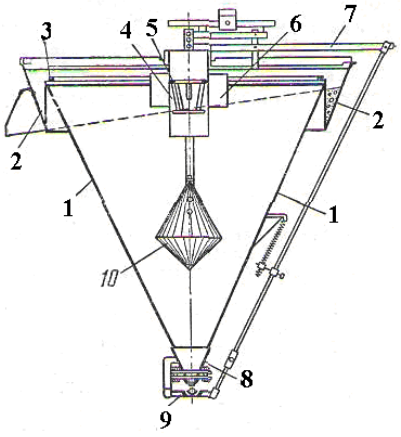
Конустың астыңғы ішкі бөлігінде диафрагма 10 орнатылған, сол арқылы құм сұрыптағыштан шығады.

Сұрыптағышқа бастапқы пульпа цилиндр 3 арқылы түсіріліп сонан құрылғы 4 арқылы жеке ағындарға бөлінеді. Цилиндрдегі пульпа деңгейі ағызынды деңгейінен төмен болады. Конустағы түйіршікті зат (құмдар) шөгіп, ал өте майдалары жоғары бағытталған су ағындарымен конустың жоғары жағына қалқып шығып ағызынды науасына 2 түсіп сұрыптағыштан шығарылады.

Шөгілген зат ішкі конустың төменгі жиегіне жеткенде пульпа қалқымамен бірге көтеріледі. Осы кезде иіндердің 6 барлық жүйесі қозғалысқа түсіп, шарикты бекіткіш көмегімен өнім шығатын тесік ашылып, шөккен өнім сыртқа шығарылады. Құмның шығарылуы, ішкі конус бастапқы пульпамен толғанша жалғаса береді.

Ағызындыға кететін түйіршікттердің ірілігі судың өрлеу ағынының жылдамдығын реттеумен жүргізіледі.

Ірілігі 0,7 мм-ден аспайтын заттарды сұрыптауда *конусты шлам сұрыптағыштар* (КШС) қолданылады (3.6-сурет).



3.6-сурет. Конусты шлам сұрыптағышы:
1 – конус; 2 – ағызынды науасы; 3 – ағызынды табалдырығы; 4 – пульпа қабылдайтын орталық цилиндр; 5 – бөлгіш; 6 – сақина; 7 – иінділер; 8 – конустық бас; 9 – шарикті бекіткіш; 10 – қалқыма; 11 – жүк; 12 – серіппе

Олардың жоғарыда көрсетілген сұрыптағыштан айырмашылығы қалқыманың орындалуында. Шламды сұрыптағышта қалқыма табандары қосылған екі қиынды конус ретінде жасалынған.

Қалқыма 10 қойылтудың төменгі аймағындағы тартқышқа орнатылған. Сұрыптағышқа пульпа орталық цилиндр арқылы 4 бөлгішке 5 түседі; бөлгіш пульпаның шектен тыс лайлануына кедергі жасайды. Заттың шөгіп, тығыздығы ұлғайған кезде қалқыма көтеріледі, соның әсерінен иіндердің 7 барлық жүйесі қозғалысқа түсіп, шарикті бекіткіш 9 көмегімен өнім шығатын тесік ашылады да, шөгілген өнім сыртқа шығарылады. Қалқыманың тепе-теңдігі жүк 11 арқылы реттеледі. Конусты сұрыптағыштың негізгі артықшылығы – үрдістер жақсы автоматтандырылған және қозғалмалы механизмдері жоқ. Кемшіліктері: өнім үзіліссіз шығарылмайды, биіктігі біршама үлкен, конустың ішкі қабырғасына құм көп жиналатындықтан сұрыптау үрдісі жақсы жүрмейді.

Конусты сұрыптағыштардың техникалық сипаттамалары 3.3-кестеде келтірілген.

3.3-кесте

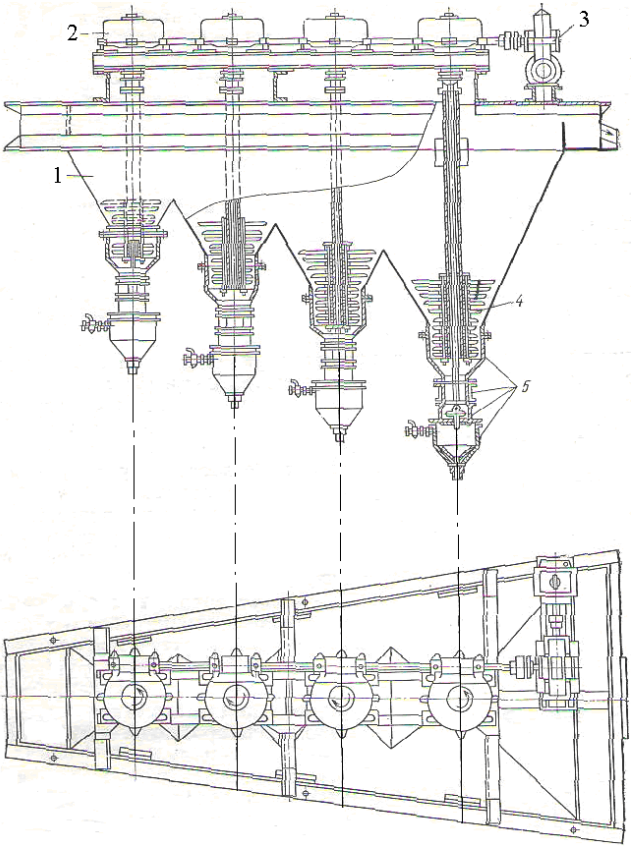
Конусты сұрыптағыштардың техникалық сипаттамасы

Көрсеткіштері	Сұрыптағыш түрлері				
	ККП-1	ККП-1,5	ККП-1,8	ККП-2,4	ККШ-2,4
Өнімділігі, т/сағ	1,6-4	3,6-9	5-12	9-22	4,45-11
Диаметрі, мм	1000	1500	1800	2400	2400
ағызынды өткелі	9,5;11;13;14;	16;17,5;19;	25;28;32;35;	25;28;32;35;	25;28;32;35;
құм шығатын тесік	16	22;24;25,5	38;42;45	38;42;45	38;42;45
Бетінің ауданы, м^2	0,6	1,57	1,8	3,22	4,24
Конус көлемі, м^3	0,26	0,92	1,625	4,15	4,15
Түсетін зат ірілігі, мм	10	10	10	10	10
Сырт өлшемдері, мм					
ұзындығы	1480	2005	2700	3350	3210
ені	1270	1880	2274	2962	2900
биіктігі	1552	2065	2902	3110	2830
Сұрыптағыш массасы, кг	161,5	241	680	1267	880

3.2.3. Камералы гидросұрыптағыштар

Гидравликалық сұрыптағыштар бірге шөгу принципімен сұрыптау арқылы алынған минералдық кластарды гравитациялық байыту үрдісіне дайындауға негізделген.

Камералы гидросұрыптағыштар (КГ) негізінде 4–6 камерадан тұрады (3.7-сурет).



3.7-сурет. Камералы гидравликалық сұрыптағыш КГ-6:
1 – сырты; 2 –білік қозғалтқышы; 3 – редуктор;
4 – сұрыптағыш құрылым; 5 – араластырғыш;
6 – бөлгіш қалқалама; 7 – жапқыш

Бұл сұрыптағыш көлемдік мөлшері бастапқы зат түсетін жерден ағызынды шығатын жағына қарай өсіп отыратын, алты пирамидалық камерадан тұрады. Камералар сатылы ретпен орналасқан. Әр камераның төменгі бөлігі үш бөлімнен тұрады:

1-пульпа араластырылатын цилиндрлік бөлігі. Оның төменгі жағы қима конусқа ұласқан. Сондықтан түйіршіктер қысылысты жағдайда құлайды. 2-сұрыптау үрдісін қадағалап және реттеп отыру үшін шыныдан жасалған цилиндр пішінді камера. 3-ішкі жағы спираль пішінді сорғыш құбыр. Сорғыш құбырдың төменгі жағында тұнған зат түсетін қабылдағыш бар. Өнім таяқшаға орнатылған қақпақша арқылы шығарылып отырады. Таяқша тіке орнатылған қуыс білік арқылы өтеді.

Таяқшаның жоғарғы жағында дискіге орнатылған жұдырықша бар. Диск айналып тұратын тісті доңғалақ арқылы қозғалады. Дискіге орнатылған жұдырықшалар саны бірден төртке дейін болады. Ірілігі жоғары кластар үшін олардың саны төртеу, ал майда зат үшін – біреу.

Тісті доңғалақтың айналу жылдамдығы 1,2 а/мин. Шарикті қақпақша көтерілгенде зат төменгі жағы салмалы конус болып келетін цилиндр пішінді кабылдағышка өтеді. Қабылдағыштан зат төлке (втулка) арқылы шығарылады. Қуыс білік көлденең орнатылған қозғалтқыш білік арқылы, оған бекітілген араластырғышпен бірге, 1,2 а/мин. жылдамдықпен айналады. Араластырғыш заттың қойылып, тұнуына кедергі жасайды. Әр камераға түсетін судың мөлшері шкалалы қакпақша аркылы реттеліп отырады. Секциялардағы судың өрлеу ағындағы жылдамдығы ағызынды шығатын жағына қарай кем-кемнен азайып отырады.

Бұл сұрыптағыштың артықшылығы-шөгіндірілген затты, шарикті қақпақшасы бар таяқшаны автоматты көтеру арқылы шығарып отыру.

Бұл құрамында қатты зат мөлшері жоғары өнімді шығаруға мүмкіндік береді, сондықтан судың шығынын азайтады, сонымен бірге, камераның цилиндрлік бөлігін тығылып қалудан сақтайды. Зат жыйналатын қабылдағыштың болуы пульпаның төмен қысым жасауына жол бермейді. Сондықтан, заттың шығарылуы кезінде сұрыптау үрдісі бұзылмайды.

Гидравликалық сұрыптағыштардың техникалық сипаттамасы 3.4-кестеде келтірілген.

3.4-кесте

Гидравликалық сұрыптағыштардың техникалық сипаттамасы

Көрсеткіштері	Сұрыптағыш түрлері		
	КГ-4	КГ-6	КГ-8
Өнімділігі, т/сағ	15-25	15-25	15-25
Секция саны	4	6	8
Түсетін зат ірілігі, мм	1,65	2,5	2,5
Араластырғыштың айналу жылдамдығы, а/мин	1,2	1,26	1,26
Қақпақшаның минут сайын көтерілу саны	-	1,26-5	1,26-5
Судың шығыны, л/мин	30-80	50-120	70-160
Түрі	А41-4	АО-51-6	АО-51-6
Қуаты, кВт	1,7	2,8	2,8
Сырт өлшемдері, мм:			
ұзындығы	3660	5435	7359
ені	1752	2307	2884
биіктігі	2844	3632	4172
Сұрыптағыш массасы, кг	2000	3320	4770

Әр камераның түбінен берілетін (құбырға) су шығыны сол камерада алынатын кластың ірілігіне байланысты алдын-ала есептелінеді. Ол үшін алдымен бірдей шөгу коэффициенті анықталып, алынатын класс іріліктері белгіленеді. Мысалы, алғашқы заттың ірілігі -3+0 мм болсын. Сонда алынатын кластардың ірілігі былай табылады: 3:2=1,5, 1-класс ірілігі 3+1,5 мм; 1,5:2=0,75, 2-класс ірілігі -1,5+0,75 мм; 0,75:2=0,375, 3-класс ірілігі-0,75+0,375 мм.

Осыдан кейін әр класс үшін шөгу жылдамдығы (яғни судың көтерілу жылдамдығы) есептеледі. 1-класс үшін 1,5 мм, 2-класс үшін 0,75 мм және тағы сол сияқты әр кластағы ең кіші диаметр есепке алынады. Табылған жылдамдықтарды (υ) және су түсетін құбырлардың диаметрлерін біле отырып әр камераға жіберілетін су шығыны есептеледі:

$$Q=\upsilon \cdot S \text{ л/мин,}$$

мұндағы $S=\pi d^2/4$-құбырдың қимасының ауданы, м^2.

Әр камерада шөгу жылдамдықтары судың көтерілу жылдамдығынан аз түйіршіктер ағып келесі камераға түссе, шөгу жылдамдықтары басым түйіршіктер батып камера түбіне түседі.

Бірге шөгу принципімен сұрыптау арқылы алынған кластардың ерекшеліктері ол – әр класс ішінде тығыздығы үлкен минералдың барлық түйіршіктерінің диаметрлері тығыздығы төмен минералдың барлық түйіршіктерінің диаметрлерінен кіші болады. Осылай сұрыптаудың, мысалы, кенді жинағыш столдарында байыту үшін маңызы зор.

3.2.4. Ортадан тепкіш өрістерде сұрыптау. Гидроциклондар

Ортадан тепкіш күш өрісінде жұмыс істейтін сұрыптағыштар негізінде ірілігі 100-ден 5 мкм дейінгі майда түйіршіктерді бөліп алуға қолданылады.

Қазіргі кезде бұл сұрыптағыштар байыту фабрикаларында кеңінен қолданылады. Сұрыптаумен қатар, майда ұнтақталған алтынқұрамды шикізатты сулы ортада гравитациялық байытуда қолданылады. Ауыр суспензияларда байытуда ауыр орталы гидроциклондар қолданыс тапқан.

Олар байыту фабрикаларында ең көп тараған және жиі қолданылатын сұрыптағыш аппараттардың бірі болып табылады. Гидроциклондарда сұрыптау үрдісі әлдеқайда тез жүреді. Себебі, түйіршіктерді шөгіндіру үшін, олардың ауырлық күшінен әлденеше рет жоғары болатын ортадан тепкіш күш әсер етеді. Сондықтан гидроциклондар сұрыптағыштардың ортадан тепкіш түріне жатады.

Байыту саласында гидроциклондар майда ұнтақталған затты құм ағызындыға бөлу үшін, кейде сусыздандыру мен шламсыздандыру сондай-ақ, кейбір кендерді ауыр ортада байыту үшін де қолданылады.

Гидроциклон цилиндр және конус пішінді бөліктерден тұратын аппарат болып табылады (3.8-сурет). Цилиндр пішінді бөлігінде пульпа келіп түсетін құбыршық орнатылған. Гидроцилклонға пульпа ішкі бетіне жанай, қысыммен

беріледі. Соның нәтижесінде пульпа айналмалы қозғалысқа келеді, ол ортадан тепкіш күшті пайда етеді.

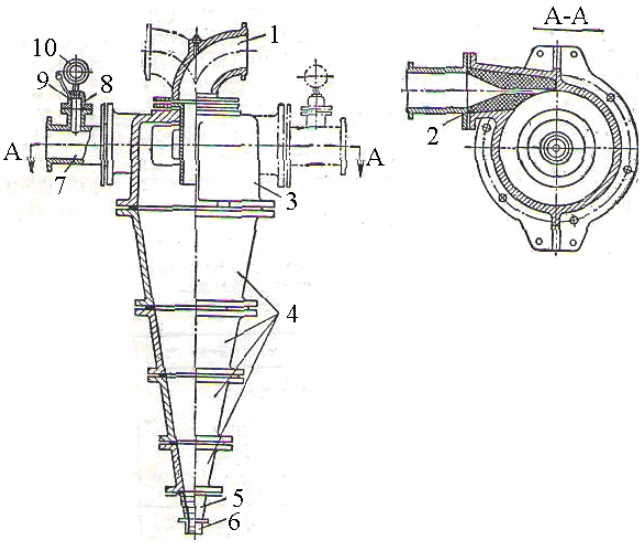
Құбыршық орнатылған тесік, оған түсетін пульпаның ағыны гидроциклон корпусының ішкі бетімен айналып жүретіндей етіп жасалған. Пульпа түсетін құбыршықтың қима ауданын қажетті мөлшерде өзгертіп отыру үшін, оның ішіне ауыспалы астарлар орнатылған. Гидроциклонның цилиндрлік бөлігінің жоғарғы жағында ағызынды құбыршығы бар, ол құбыр желісінің орналасуына сәйкес өз осі арқылы әр 90^0-қа айналып тұра алады.

Гидроциклонның конустық бөлігі алмалы-салмалы конустардан тұрады. Гидроциклонның ішкі беті тозуға төзімді тас қаптамамен қапталады. Конустың табанының диаметрі гидроциклонның түріне сәйкес болып келеді. Конустық бөлігінің төбесінде құм шығатын тесік бар, оның мөлшері белгілі бір диаметрі бар салмаларды ауыстыру арқылы реттеліп отырады.

Гидроциклонға пульпа қысыммен сорғы арқылы беріледі (3.8-сурет). Қысым пульпа түсетін құбыршыққа орнатылған манометрдің көмегімен өлшенеді. Гидроциклондар жоғары және төмен қысымды болып екіге бөлінеді. Біріншілерінде, түсетін пульпа қысымы мөлшері 0,25–0,35МПа болса, екіншілерінде ол 0,03–0,05 МПа-ға тең.

Пульпаның гидроциклонға жанай бағытта берілуі және құм мен ағызындының орталықта орналасқан тесіктері арқылы шығуы нәтижесінде, пульпаның бұрыштық айналу жылдамдығы өте жоғары. Айналымдағы пульпа ағызындысы конустың төменгі жағында екі ағындыға бөлінеді. Ірі және ауыр түиіршіктер гидроциклоннын ішкі бетіне жиналып, қойылтылған құм түрінде құм салмағы арқылы сыртқа шығып кетеді. Майда түйіршіктер сумен бірге ішкі ағынды құрайды да, жоғары көтеріліп, ағызынды құбыршасына өтіп кетеді.

Ағызынды құбыршықтары, әдетте ауыспалы етіп жасалады. Олар өздерінің фланецтері арқылы гидроциклонның жоғарғы түбіне бекітіледі. Құм салмалары алмалы-салмалы етіп дайындалған конус пішінді тетіктер болып келеді.



3.8-сурет. Гидроциклон:
1 – ағызынды құбыршығы; 2 – ауыспалы астарлар; 3 – цилиндрлік бөлік; 4 – конустар; 5 – сақиналы конус; 6 – құм салмасы; 7 – пульпа түсетін құбыршық; 8 – резиналы диафрагма; 9 – бөлгіш камера; 10 – манометр

Олар ақталған шойыннан немесе тозуға төзімді резинадан жасалады. Гидроциклонның өнімділігі мен сұрыптау тиімділігі пульпаның гранулометриялық құрамына, тығыздығына, шламдар мөлшеріне, гидроциклонның диаметріне, пульпа түсетін және ағызынды құбыршығының диаметріне, құм салмасының диаметріне, конустың бұрышына, пульпа түсетін құбыршықтағы қысымға т.б. тікелей байланысты. Осылардың ішіндегі ең үлкен әсер ететін факторларды қарастыралық.

Ағызынды құбыршығы мен құм салмасынын диаметрін дұрыс таңдай білу гидроциклон жұмысының тиімділігін көтеруге үлкен ықпал етеді. Ағызынды құбыршығының ең оңтайлы диаметрі гидроциклон диаметрінің 0,2–0,4 болуы керек. Құм салмасының диаметрі азайған сайын ағызынды ірілігі, құмдағы қатты зат мөлшері және ағызынды шығымы өседі. Бұл жағдайда сұрыптау тиімділігі әуелі ең жоғарғы шегіне дейін өседі де, кейін төмендейді.

Құм салмасының диаметрі ағызынды құбыршығының диаметріне теңелген жағдайда, сұрыптау үрдісі толық бұзылады. Құм салмасының диаметрінің ағызынды құбыршағының диаметріне оңтайлы қатынасы 0,5–0,6.

Кенді ірілігіне қарай сұрыптағанда гироциклонның конустық көлбеу бұрышы 20^0 шамасында болады. Көлбеу бұрышы өскен сайын ағызындының ірілігі ұлғая түседі. Гидроциклонға түсетін зат құрамында қатты зат мөлшері көбейсе құм салмасының жұмысы ауырлайды және гидроциклондағы пульпаның тығыздығы ұлғаяды. Соның нәтижесінде құмдағы қатты зат мөлшері мен ағызындының ірілігі артады.

Кенде майда түйіршіктердің, көп болуы да ағызындының ірілігінің өсуіне әсер етеді.

Гидроциклонды орнатып, жұмысқа дайындағаннан кейін, сорғылар дұрыс істеген жағдайда, оның жұмысын реттеп отыру үшін құм салмалары белгілі бір уақыт өткен сайын ауыстырылып, гидроциклонға түсетін пульпаның тығыздығы қажетті деңгейде ұсталынады.

Байыту фабрикаларында диірменмен тұйық циклде істеп, ұнтақталған кенді сұрыптау үшін қолданылатын гидроциклондардың конустық бұрышы 20° және олар ГЦ болып белгіленеді. Алдын ала қойылту және шламсыздандыру үшін қолданылатын гидроциклондардың конустық бұрышы 10^0 және олар ГЦС (3.5-кесте) болып белгіленеді.

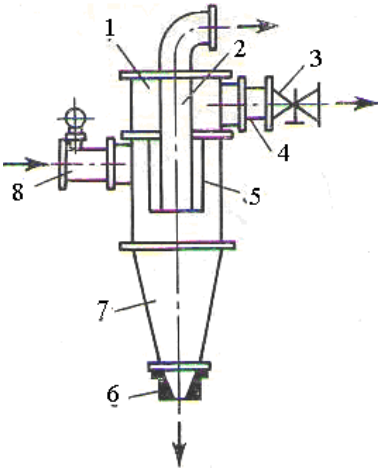
3.5-кесте

Гидроциклондардың техникалық сипаттамасы

Көрсеткіштері	Гидроциклон түрі							
	ГЦ-5	ГЦ-7,5	ГЦ-15	ГЦ-25	ГЦ-36	ГЦ-50	ГЦ-71	ГЦ-100
Қысым $9,8 \cdot 10^4$ Па болғандағы өнімділігі, $м^3$/сағ	1-5	2-12	9-25	18-55	32-100	55-200	215-500	325-1200
Гидроциклон диаметрі, мм	50	75	150	250	360	500	750	1000
Пульпа түсетін тесік диаметрі, мм	10-20	15-30	24-40	40-60	50-70	60-100	155-175	175-320
Ағызынды тесігі, мм	10-25	15-38	40-70	50-100	70-150	100-215	150-300	200-400
Құм шығатын тесік	6-12	8-17	12-50	17-75	24-100	34-150	48-150	60-150

Жоғарыда қарастырылған екі өнімді гидроциклондардан басқа, кенбайыту саласында, сондай-ақ, үшөнімді және батареялы гидроциклондар қолданылады. Үшөнімді гидроциклон бірінің үстіне бірі орналасқан екі цилиндрден және коңустық бөліктен тұрады.

Кенді ауыр ортада байытқанда үшөнімді гидроциклонда (3.9-сурет) суспензия және кен тығыздығына және көлемдік массаларына қарай, қабаттанып бөлінеді. Тығыздығы жоғары суспензия және ауыр фракция құм тесігі арқылы, ал сұйықтау суспензия мен жеңіл фракция ағызынды және аралық өнім тесігі арқылы шығарылады.



3.9-сурет. Үш өнімді гидроциклон:
1 – цилиндр бөлігі; 2 – ағызынды салмасы; 3 – ысырма; 4 – құбыр; 5 – аралық өнім құбыршасы; 6 – құм салмасы; 7 – конустық бөлігі; 8 – пульпа түсетін құбырша

Батареялы гидроциклондар (3.10-сурет) ірілігі 0,1 мм-ден аспайтын майда ағызынды алу үшін және шламсыздандыру үшін қолданылады. Олар бір-бірінен батареядағы гидроциклондардың санымен, олардың өлшемдерімен, құрылымдарымен, орналасуымен және өңдеуге берілетін затты кіргізу мен шығаруына қарай бөлінеді.

Түсетін пульпа бойынша гидроциклондардың өнімділігін төмендегідей формула арқылы анықтауға болады

$$Q = 3k_{\alpha} \cdot k_D \cdot d_n \cdot d\sqrt{p_0}, \qquad (3.6)$$

мұндағы Q – гидроциклонның бастапқы пульпа бойынша көлемдік өнімділігі, м^3/сағ;

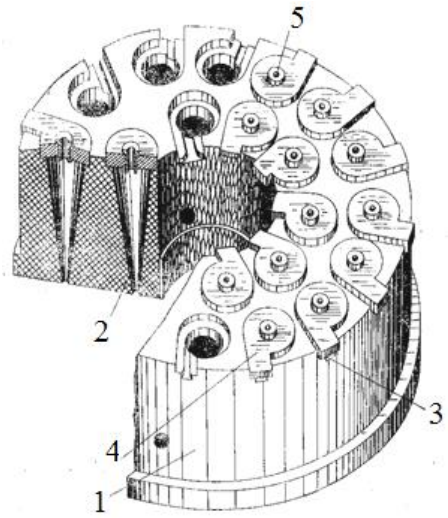
d_n , d – кезегімен пульпа түсетін құбыршаның және ағызынды құбыршаның диаметрі, см;

p_0 – пульпаның гидроциклонға түсіргендегі қысымы, МПа;

k_D, k_{α} – гидроциклонның диаметрі мен конус бұрышын ескеретін эмпирикалық коэфициенттер [k_D=0,8+1,2/(1+0,1D);

D_{α} =0,79+0,044/k(0,0379 + $tg\frac{\alpha}{2}$)].

Мысал. Диаметрі D=25 см, конус бұрышы $\alpha = 20^0$ тең гидроциклонның өнімділігін анықтау қажет. Пульпа гидроциклонға 0,3 МПа қысыммен беріледі. d_n/d және d/D қатынастарын кезегімен 0,9 және 0,22 тең деп аламыз. Өйткені тәжірибеде гидроциклонның d_n/d және d/D қатынастарын кезегімен 0,5–1 және 0,2–0,4 аралығында болады деп қабылдайды.



3.10-сурет. Батареялы гидроциклонның жалпы көрінісі:
1–тұрқы; 2-конус; 3-пульпа түсетін құбырша; 4-қақпақ; 5-ағызынды құбыршасы

Берілген шамаларға қарай есептеу жүргіземіз:

d=0,22 *D=0,22·25=5,5 см;*

d_n=0,9*d=0,9·5,5=5 см.*

Жоғарыда көрсетілген эмпирикалық коэфициенттердің мәндерін анықтаймыз:

k_D =0,8+1,2/(1+0,1·25)=1,14; егерде $\alpha = 20^0$ тең болса, онда

k_α =1 тең.

3.6 формулаға сәйкес гидроциклонның көлемдік өнімділігін анықтаймыз:

$$Q = 3k_a \cdot k_D \cdot d_n d\sqrt{p_0} = 3 \cdot 1 \cdot 1{,}14 \cdot 5 \cdot 5{,}5\sqrt{0{,}3} = 52 \text{ м}^3/\text{сағ}.$$

4. АУЫР ОРТАДА БАЙЫТУ

4.1. Жалпы мәліметтер

Ауыр ортада байыту үрдісі әртүрлі тығыздықты минералдар (не кен) кесектерінің екі аралық тығыздықты ортада бірінің батып, екіншісінің қалқуына негізделген. Мысалы, тығыздығы 1000 кг/м^3-ден үлкен зат түйіршігі және тығыздығы 1000 кг/м^3-ден кіші (органикалық зат) кесегі суға салынса түйіршік дереу батады да, ал органикалық кесек су бетінде қалқыйды. Яғни заттың суда батуы не батпауы олардың салмағына емес, тек тығыздығына тәуелді. Осы принциппен тек таза минералдар кесектері емес, тығыздықтарында айырмашылық бар кен кесектерінде бөлуге болады. Ол үшін тығыздығы екі аралықты орта болуы керек.

Кендерде өте көп кездесетін ең жеңіл минералдардың бірі – кварц (шақпақ тас). Оның тығыздығы 2650 кг/м^3. Басқа, құрамына металдар кіретін барлық минералдардың тығыздығы кварц тығыздығынан көп үлкен. Сондықтан, ауыр ортада байыту үшін ол ортаның тығыздығы кварц тығыздығынан үлкен болуы қажет. Сонда ғана тау-жыныс минералдарының кесектері қалқиды да, ал құрамында бағалы зат бар кен кесектері батады.

Ауыр орта ретінде тығыздығы жоғары кейбір органикалық сұйық заттар, неорганикалық тұздардың су ерітінділері және суспензиялар қолданылады. *Ауыр суспензия* деп су мен ұнтақталынған (ірілігі 100–150 мкм дейінгі) қатты зат түйіршіктерінің механикалық араластығын атайды.

Органикалық ауыр сұйықтардың сипаттамалары бірінші тарауда келтірілген. Олардың бағаларының өте жоғары және улы болуына байланысты өндірісте қолданудың мүмкіншілігі жоқ. Тұздардың су ерітінділерінде өндірістік мөлшерде қолдану тиімсіз. Себебі үрдіс кезінде олардың шығыны жоғары. Сондықтан, егер қолданылса, шығындалған бөлегінің қасиеттеріне қарай әр түрлі әдіспен қайта орнына келтіріп (регенерация), үрдіске қайтару қажеті туады. Ол үшін қосымша қондырғылар, қаражат шығару керек. Демек, оларда өндіріске өте тиімсіз. Сондықтан, бұл орта түрлері тек зертханаларда ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізгенде ғана қолданылады.

Байыту фабрикаларында кеңінен қолданылып келе жатқан ауыр орта – ауыр суспензиялар.

4.2. Ауыр суспензиялар. Оларды дайындау және регенерациялау

Сумен араластырылатын қатты зат (ауырлатқыш) ретінде көптеген минералдарды қолдануға болады. Олардың су ішіндегі үлесін өзгерте отырып суспензияның тығыздығын үлкен шек аралықта реттеуге болады. Мысалы, кварц құмын (2650 кг/м^3) сумен (1000 кг/м^3) араластыру нәтижесінде тығыздығы 1400–1600 кг/м^3 суспензия жасалса онда көмірді байытуға болады. Көмірдің тығыздығы 1200-1400 кг/м^3, ал ондағы минералды заттардың көпшілігінің тығыздығы 2650 кг/м^3-ден үлкен. Көмір қалқыйды да, ал басқалары батып кетеді. Егер кен байытылса суспензияның тығыздығы 2700 кг/м^3-ден кем болмауы керек. Сонда тау-жыныс минерал кесектері қалқыйды да, ал бағалы зат минерал кесектері батады. Осы мақсатпен іс жүзінде қолданылатын минералдар: кварц құмы (2650 кг/м^3), магнетит (5000 кг/м^3), галенит (7500 кг/м^3). Олардан басқа жиі қолданылатын жасанды қорытпа ферросилиций (6400–7000 кг/м^3).

Байыту фабрикаларына ауырлатқыштар ірілігі 300-ден 25 мм-ге дейін кесек заттар түрінде немесе пайдалануға дайын зат түрінде түседі. Ірі кесекті ауырлатқыштар бір немесе екі сатыда ұсатылып сонан соң шарлы диірмендерде ұнтақталып сұрыптағыштардан шығарылады. Кесекті ауырлатқыштарға жататындар: чушқалы ферросилиций (300 мм дейін); штуфты қорғасын концентраты; ірілігі 25 мм-ге дейінгі магнетит кені; ірілігі 25 мм-ден жоғары агломерацияланған кен.

Магнетит концентраты – ұнтақ түрінде темір байытатын фабрикалардан алынады, сондықтан ол ұнтақтауды қажет етпейді.

Қазіргі кезде ферроқорытпа зауыттарында балқытылған ферросилициді грануляциялайды (түйіршіктейді). Ферросилиций қорытпасы 1550–1650^{o}C дейін қыздырылып, сонан қысыммен үрлеп шашыратын аппаратқа түсіріледі. Үрлеп шашырату ысытылған қысымды ауа немесе бумен арнаулы атқарылады. Шашыраған қорытпа түйіршіктерінің размерін сақтап қалу үшін камера ішіне жаңбыр түрінде су

беріледі. Осылай алынған түйіршіктелінген ферросилиций сұрыптауға жіберіледі.

Грануляцияланған ферросилиций түйіршіктерінің ірілігі – 0,15 мм, пішіні шар тәріздес және беті тегіс келеді. Ферросилиций түйіршіктерінің қаттылығы жоғары және коррозияға төзімді. Ұнтақталған ферросилицийдің коррозиядан (тоттану) шығындалуы 10–15 % құрайды, ал грануляцияланған түрлерінікі өте төмен, сонымен қоса ұнтақталған ферросилицийдің байыту өнімдерімен бірге кетіп қалу шығыны, грануляцияланғанға қарағанда 20–60 %-ға жоғары.

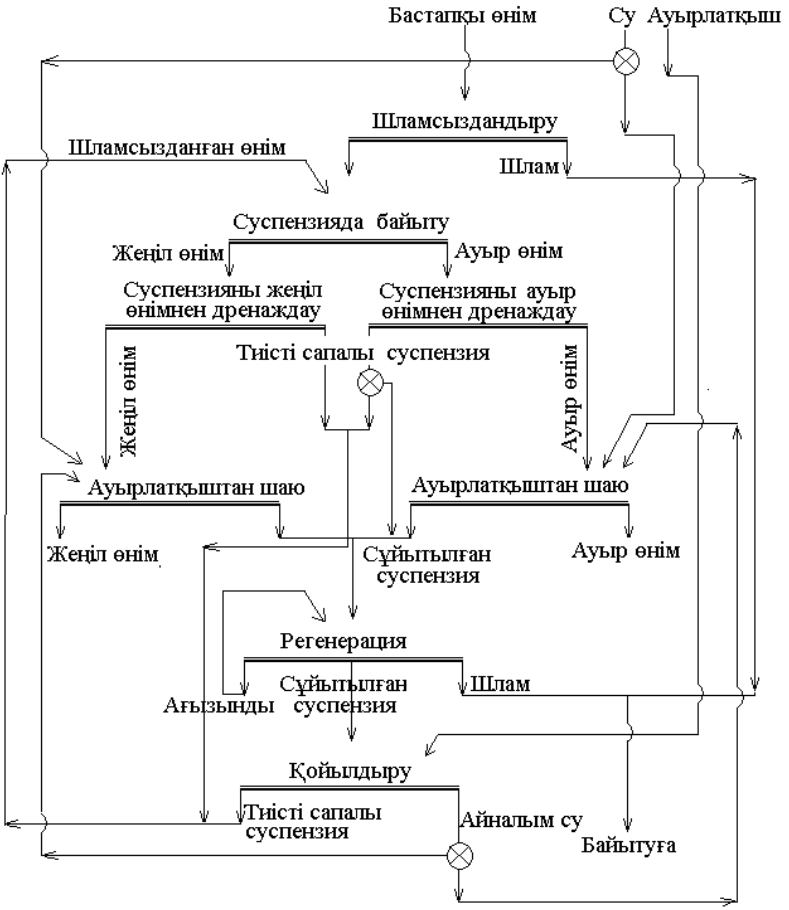
Өндірісте кеңінен тараған түйіршіктелінген ферросилиций құрамында 15 % кремний болады, өйткені кремний үлесі 15 % артып кетсе, онда оның мықтылығы төмендейді , ал 15 %-дан төмен болса оның тотықтануы күрт өседі.

Тотықтану үрдістері ауырлатқыш түйіршіктерінің ауамен ұштасуында және суспензияның сұйық фазасының төмен сілтілігінде жетіле бастайды.

Сондықтан оны төмендету үшін ортаның сілтілігін ақ кіріш, соданы беру арқылы (pH-ты) 6,8-ден 9,0-ға дейін көтеріп тұру қажет. Осы жағдайда темір тотықтарының гидраттарынан түзелген сақтаушы қабаттың еруі төмендейді. Соның әсерінен тоттану азаяды.

Кенді ауыр суспензияда бөлгенде ол жеңіл және ауыр фракцияларға бөлінеді. Сол өнімдермен бірге суспензияның (дәлірек айтсақ ауырлатқыштың – қатты заттың) біразы бірге шығады.

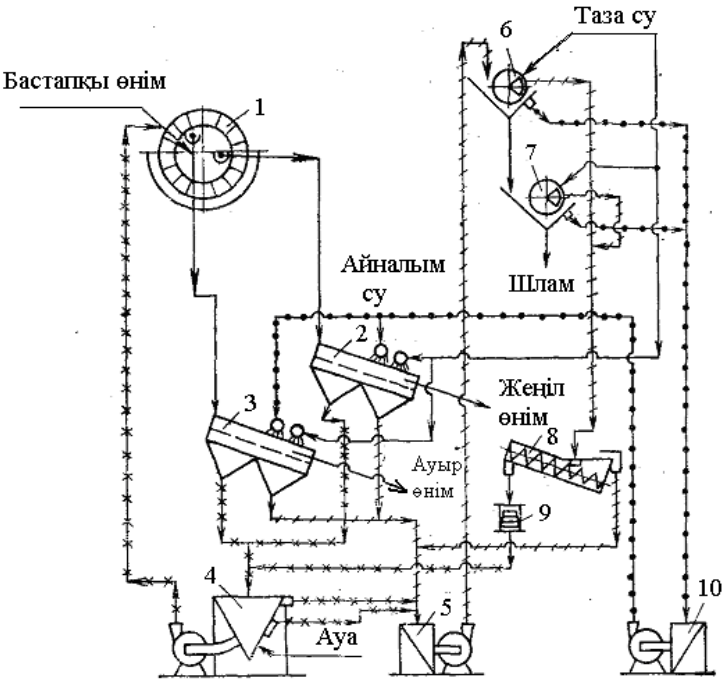
Олардың жалпы шығынын азайту үшін сол өнімдермен бірге шығатын ауырлатқыштың бөлегін белгілі бір әдіспен фракциялардан бөліп, үрдіске қайтару (регенерациялау) қажет. Ол үшін ауырлатқыштың белгілі бір қасиеттері болуы керек. Мысалы, магнетитті оның магнитті қасиетін пайдаланып, галенитті флотациялау арқылы, ферросилицидді де оның магнитті қасиетін пайдалану арқылы бөлуге болады.



4.1-сурет. Суспензияны регенерациялаудың үлгілік нұсқасы

Суспензияны регенерациялау дренаждаудан басталады (суспензияны байыту өнімдерден айыру) және ауырлатқышты байыту өнімдерден жуып-шаю. Регенерациялау үрдісінің үлгілік нұсқасы 4.1-суретте, ал регенерациялауда қолданылатын аппараттар тізбегінің сызба нұсқасы 4.2-суретте келтірілген.

Дренаждалған суспензия қайтадан байыту үрдісіне қайтарылады, ал жуылып-шайылған ауырлатқыш сумен бірге (сұйытылған суспензия) кемелі жетпеген суспензия шанына (бак) жіберіледі, сонан регенерациялауға.



4.2-сурет. Суспензияны регенерациялауда қолданылатын аппараттар тізбегінің сызба-нұсқасы:
1 – доңғалақ сепаратор; 2 – суспензияны бөлуге және ауырлатқыштан жеңіл өнімді жуып айыруға арналған елек (грохот); 4 – кемелі жеткен суспензия шаны; 5 – кемелі жетпеген суспензия шаны; 6,7 – магнитті сепараторлар; 8 – тығыздаушы сұрыптағыш; 9 – магнитсіздендіруші катушка; 10 – айналмалы су зумпфы

Тазаланған ауырлатқыш тығыздаушы сұрыптағышқа немесе қойылдыру аппаратына түсіріліп, автоматты реттегіштер арқылы қажетті тығыздыққа жеткізіліп сонан соң айналымға (циркуляция) жіберіледі.

Егерде регенерациялау магнитті әдіспен атқарылса, онда суспензияны айналымға беру алдында оны магнитсіздейді.

Магнетитті немесе ферросилиций суспензияларын регенерациялауда электрмагнитті барабанды сепараторлар ЭБМ–8/170, ЭБМ–80/250, таспалы ЭЛС–12, магнитті барабанды сепараторлар ПБМ–2 қолданылады.

Регенерациялаудың бірінші сатысында (магнитті сепарация) 97% темір, ал екіншісінде – 3% темір бөлініп алынады. Көмірді ауыр суспензияларда байытуда келесі сепараторлар қолданылады: ЭБМ–80/170 және ЭБМ–80/250. Олардың өнімділігі (суспензия бойынша) 210–310м^3/сағ құрайды.

4.3. Ауыр суспензиялардың сипаттамалары

Байыту үрдісінің тиімді және өнімді жүруі ауыр суспензияның қасиеттеріне тікелей байланысты. Оларға жататындар: тығыздық, тұтқырлық және тұрақтылық.

Суспензияның тығыздығы қандай болу керектігі байытылатын кеннің қасиеттерімен және алға қойылатын мақсатпен байланысты. Ол алдын ала ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу нәтижесінде анықталады. Сонымен қатар ауырлатқыш ретінде қолданылатын минерал (зат) таңдалынады. Осыдан кейін су ішінде белгілі көлемді суспензия жасау үшін қанша ауырлатқыш қосу керектігі төмендегі формуламен есептелінеді:

$$G = V \cdot \rho \frac{\Delta - 1000}{\rho - 1000}, \qquad (4.1)$$

мұндағы G – қосылатын ауырлатқыштың массасы, кг;

V – суспензияның көлемі, м^3;

Δ – суспензияның тығыздығы, кг/м^3;

ρ – ауырлатқыштың тығыздығы, кг/м^3.

Суспензияның қажетті тығыздығы келесі формуламен анықталады

$$\Delta = C(\rho_a - \rho_c) + \rho_c, \qquad (4.2)$$

мұндағы С – ауырлатқыштың көлемдік концентрациясы, бірлік өлшемі;

ρ_a – ауырлатқыштың тығыздығы, кг/м^3;

ρ_c – судың тығыздығы, кг/м^3.

Ауыр суспензияда заттың тиімді байытылуына оның тұрақтылығы зор әсерін тигізеді. Суспензияның тұрақтылығы

деп оның бүкіл көлемінің барлық жерінде үрдіс кезінде бірдей тығыздықтың сақталуын айтады. Ол ауырлатқыш түйіршіктерінің ірілігіне, оның суспензия ішіндегі үлесіне және қозғалу режиміне байланысты. Әдетте, түйіршік ірілігі 0,1–0,15 миллиметрден, ал ауырлатқыштың көлемді үлес мөлшері 20–25%-тен аспайды. Түйіршіктер бүкіл суспензия көлеміне біркелкі жайылып тұру үшін белгілі бір әдіспен ол үнемі қозғалысқа келтіріліп отырады.

Сипатталған қасиеттермен тығыз байланысты суспензия қасиеті – *тұтқырлық*. Ол түйіршіктердің өзара әсерінен пайда болады. Суспензиядағы ауырлатқыштың үлесі артқан сайын, демек белгілі бір көлемде түйіршіктер саны көбейген сайын олардың соқтығысуы артады. Соның нәтижесінде бір-біріне әсер етуі (жабысуы, агрегат құруы) ұлғаяды, қозғалыс режимі өзгереді. Бұл жай үшін тек үлес шамасы емес түйіршіктердің ірілігінің де маңызы зор. Түйіршік диаметрі іріленген сайын (үлес бір шамадан өзгермегеннің өзінде) тұтқырлық азаяды, қозғалыс дәрежесі және шөгу жылдамдығы өседі. Мұның өзі суспензияның тұрақтылығын төмендетеді. Оған керісінше, түйіршіктердің ұнтақтығы өскен сайын тұтқырлық, молайып, бататын кен кесектерінің шөгу жылдамдығы төмендейді. Демек, суспензия тұтқырлығы тек бір шамада болуы қажет. Ол үшін ауырлатқыш материалының гранулометриялық құрамы дұрыс таңдалуы қажет. Түйіршіктер қозғалымы неғұрлым олар бір-бірімен аз әрекеттессе соғұрлым жеңіл болады. Осындай жағдай тудыру үшін суспензияға белгілі бір химиялық қосылыстарды қосу кеңінен қолданылады. Олардың молекулалары түйіршік беттерімен әрекеттесіп, түйіршіктердің өз ара байланысуын және шөгу жылдамдығын төмендетеді.

Ауырлатқыштың гранулометриялық құрамы оны пайдалану кезінде біртіндеп ұнтақталуы нәтижесінде өзгереді және оған кен кесектерінің беттерінің үйкелуінен пайда болатын ұнтақ қосылады. Сол себептермен суспензия қасиеттеріде өзгереді. Сондықтан, белгілі бір уақыт өткен сайын суспензия тазаланып, оның бастапқы қасиеті орнына келтіріліп отырылуы қажет, демек регенерация жүргізілуі керек. Ол үшін суспензия ішінен тек ауырлатқыш түйіршіктері белгілі әдістермен бөлініп алынады. Мысалы, магнитті суспензия магнитті бөлгіштерден

өткізіледі, галенит суспензиядан флотация әдісімен бөлінеді. Содан кейін белгілі су көлемімен қайта араластырылып, үрдісіне түсіріледі.

Ауыр суспензияда байыту алдында ұсақталған кеннен ұсақ класс (көбінде -5+0 мм) елеумен бөлініп алынады. Әйтпесе ол класс суспензиямен араласып, оның тығыздығы және басқа қасиеттерін бірден өзгертіп жібереді де минералдарды бөлу мүмкіндігі жойылады және ұсақ кен түйіршіктерінің шөгу жылдамдығы аз болғандықтан үрдісінің өнімділігі төмендейді. Жалпы әртүрлі тығыздықты кен кесектерінің бөліну тиімділігі олардың ірілігі артқан сайын өсе түседі.

Ауыр суспензияда ұсақ ұнтақталған, мысалы 0,2–0,5мм-ге дейін затты да байытуға да болады. Бірақ ол үшін бататын минерал түйіршіктерінің шөгу жылдамдығын арттыру қажет, демек гравитациялық күшке қосымша күш тудыру қажет. Ондай күш ретінде, мысалы, ортадан тепкіш күш әсері пайдаланылады. Ол үшін әдетте үрдіс гидроциклондарда жүргізіледі.

уыр суспензияда байыту өндірісте әртүрлі мақсатпен жүргізіледі. Егер көмір байытылса, онда ақырғы өнім ретінде даяр концентрат алынады. Ал мысалы, түсті металл кендерін алсақ, олар негізінде не өте ұсақ сеппелі болады да, минералдарды ажырату үшін өте майда күйге дейін ұнтақталады. Әрине, мұндағы ұнтақ затты ауыр суспензияда байыту мүмкін емес. Дегенмен көпшілік түсті металл кендеріне бұл үрдісті қолдануға болады. Бірақ мұнда одан ақырғы өнімдер алу мақсат емес, тек алдын ала байыту мақсаты қойылады. Кен, мысалы, мөлшері 10–50 мм-ге дейін ұсатылады. Минералдар әлі ажырамаған күйде қалады. Бірақ ұсатылған кенде негізгі массасы тау-жыныс минералдарынан тұратын, не құрамында бағалы минералдар өте аз кездесетін (бастапқы кенмен салыстырғанда) кесектер пайда болады. Егер сол кесектер бастапқы кеннен бөлініп шығарылса, оның қалған бөлігінде бағалы зат мөлшері өседі, демек кен байыйды. Кейінгі үрдістерге (ұнтақтау, байыту) кеннің байытылған бөлегі ғана түседі де ол тиімді өңделеді. Байытудың осы түрін *алдын ала байыту* деп атайды.

Сонымен бұл үрдісті кендерді байыту үшін қолданғанда байытылған кен (ауыр фракция) және даяр қалдық (жеңіл фракция) алынады. Жеңіл фракцияның шығымы неғұрлым үлкен болса, үрдістің тиімділігі арта түседі. Әдетте, оның шығымы 15–20%- тен кем болмауы керек. Үрдістің тиімділігін мынадай факторлармен дәлелдеуге болады:

1) ақырғы өнімдер алу үшін жүргізілетін кейінгі үрдістерге құрамында бағалы зат мөлшері арттырылған кен түседі;

2) кеннен қалдық ретінде шығарылған бөлегі кесек түрінде алынады, ол ұнтақтау және басқа үрдістерге түспейді, энергия және басқа шығындар қажет етілмейді;

3) жеңіл фракцияның шығымына сәйкес байыту фабрикаға қосымша кен түсіріліп, соның нәтижесінде фабриканың өнімділігін арттыруға болады және т.б.

4.4. Ауыр суспензияда байытуда қолданылатын құрал-жабдықтар

Пайдалы қазындылардың құрамына қарай және ауыр суспензиядағы ауырлатқыштардың физикалық, механикалық қасиеттеріне сәйкес, сонымен қоса кен минералдарының бөліну дәрежесін қажетті мөлшерде қамтамасыз ете алатын құрылымдары әртүрлі сепараторлар жасалынған.

Сепараторлар конструкциялық орындалуына қарай төмендегідей боп бөлінеді:

1. Қолданылатын суспензиялардың түріне қарай: гидросуспензиялық; аэросуспензиялық.

2. Қолданылатын суспензиялардың гравитациялық тұрақтылық дәрежесіне сәйкес:

- құрылымданбаған тұрақтылығы төмен суспензиялар сепараторлары;

- құрылымданған тұрақты суспензиялар сепараторлары.

3. Минерал түйіршіктерінің сепараторларда бөліну сипаттамаларына сәйкес: статикалық жағдайларда бөліну; динамикалық жағдайларда бөліну.

4. Сепараторларда суспензия ағынының қозғалу сипаттамасына сәйкес:

- суспензия ағыны ламинарлы;

- суспензия ағыны турбулентті (иірімді);
- ортадан тепкіш ағынында;
- дірілді ағынында.

5. Сепараторларда суспензияны тұрақтандыру әдістеріне қарай:

- суспензияны механикалық араластыру;
- суспензияға сыртқы әсер беру арқылы (көлденең, тік, иірімді, дірілді, қиыстырылған ағымдарды туғызумен);
- беттік-активті заттарды (реагенттерді) қолданумен.

6. Шығарылатын байыту өнімдер санымен:

- екі өнімді;
- үш өнімді.

7. Жеңіл байыту өнімді тасымалдау әдісімен :

- жеңіл өнімді өзінің ағуымен шығару;
- жеңіл өнімді әрекетпен шығару.

8. Ауыр байыту өнімді тасымалдау әдісімен:

- элеваторлы доңғалақтармен;
- аэролифтік шығарумен (ішкі және сыртқы эрлифтер);
- таспалы конвейерлермен;
- бұрама конвейерлермен;
- қырма конвейерлермен;
- ішкі орамамен және т.б.

9. Сепаратор ваннасының тереңдігімен және пішінімен:

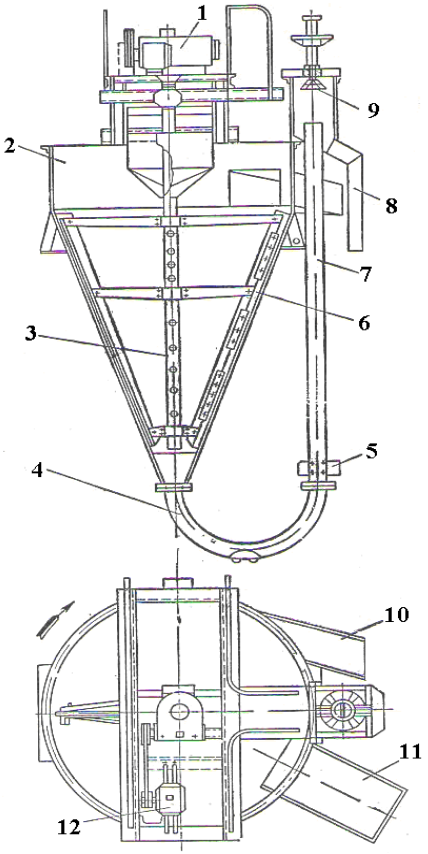
- терең (конусты және пирамидалды);
- таяз (барабанды, науалы, цилиндрконусты, сақиналы).

Сепараторлардың сұрыптамаларына қарай қажеттісін таңдауға болады. Мысалы, ірілігі 6 мм-ден жоғары ірі түйіршікті заттарды байытуда, статикалық жағдайда бөліну үрдісін атқаратын сепараторды таңдау қажет. Оның пішіні конусты немесе науалы, ауыр өнімнің шығарылуы элеваторлық, байыту өнімдердің суспензиядан бөлінуі дренаждық електермен атқарылады, суспензияны тұрақтандыру сыртқы берілетін әсермен (қиыстырылған ағындарда) жүргізіледі.

Ірі және орта ұсатылған кендер, тек гравитациялық күш әсер ету принципімен жұмыс істейтін аппараттарда байытылады. Оларға жататындар: конусты, барабанды және доңғалақты сепараторлар. Ұсақ ұнтақталған кендерді байытуда ауыр орталы гидроциклондар қолданылады.

4.4.1. Аэролифтілі конусты сепараторлар

Конусты сепараторлар (диаметрі 6м-ге және ұзындығы 12 м-ге дейін) металдық кендерді және металды емес пайдалы қазындыларды байытуда қолданылады. Олардың өнімділігі 700т/сағ дейін жетеді. Сепараторлар ішкі және сыртқы аэролифтілі болып бөлінеді. Ішкі аэролифтілі конусты сепаратор, сырттыға қарағанда аз биіктікті қажет етеді, ал бірақ оны пайдалану экономикалық тұрғыдан қарағанда тиімсіз болады, сондықтан өндірісте кеңінен тараған сыртқы аэролифтпен істейтін конусты сепараторлар (4.3-сурет).



4.3-сурет. Конусты сепаратор СК-3

Конусты сепаратор СК-3 металдан жасалған корпустан 2, рамалық араластырғыштан 6, қуыс біліктен 3, иінді қостырғыштан 4, форсункадан 5, аэролифтік құбырдан 7, аэролифтің шығарушы камерасынан 8, тойтарушы зонттан 9, жеңіл фракцияны шығарушы наушықтан 10, бастапқы өнімді шығарушы наушықтан 11, жетектен 12 және бұрамдық бәсендеткіштен (редуктор) 1 тұрады.

Оның суспензия тұратын корпусы 2 жоғарғы жағы биіктігі аз цилиндр пішінді, ал төменгі жағы конус пішінді. Корпус ортасына ақырын айналып тұратын білік орнатылған. Біліктің бойында суспензияны араластыратын араластырғыш орнатылған. Бастапқы затты сепараторға түсіру және одан ағызындымен бірге қалқып шыққан жеңіл өнімді шығаратын наушықтар, корпустың цилиндрлі жағына түсіріліп орнатылған. Корпустың төменгі жағы аэролифтік құбырға ернемек (фланец) және иінді қостырғыш арқылы жалғасқан. Аэролифт конусқа батқан ауыр өнімді көтеріп шығаруға арналған. Аэролифтік құбырдың астынғы жағынан форсункамен қысымды ауа беріледі. Аэролифтің бас жағында реттеуші тойтарушы зонт орнатылған, оны орнықтау арнаулы бұрандамен атқарылады.

Конустың ішінде ауырлатқышты жүзгінді қалыпта және суспензияны тұрақты тығыздықта ұстап тұруға арналған рамалық араластырғыш орнатылған.

Конустың ішкі бетін оған қонған ауырлатқыш түйіршіктерінен тазалап отыруға, араластырғыш қалақшаларына резиналы қырғыштар орнатылған.

Конусқа келіп түскен кен ауыр ортада жеңіл (қалқып шыққан) өнімге және ауыр (батқан) өнімге бөлінеді. Қалқыған өнім қабаты қысыммен цилиндрдің шетіне біртіндеп ығыстырылып, айналдыра шетінен наушық 10 арқылы шығарылады.

Ауыр өнім аэролифтік құбырмен көтеріліп шығарушы камераға 8 түсіріледі.

Конусты сепаратор СК–3-тің техникалық сипаттамасы

Өнімділігі, т/сағ.....40–195
Конустың ең жоғарғы жұмысшы диаметрі, мм 3000
Араластырғыштың айналу жылдамдығы, айн/мин.....6,0
Аэролифтіге берілетін ауа қысымы, 10^5 Па.....3,0
Аэролифтідегі ауа шығымы, $м^3$/мин.....4,5

Электрқозғалтқыш жетегінің:
қуаты, кВт.....4,5
айналу жылдамдығы, айн/мин.....950
Габариттік өлшемдері, мм:
ұзындығы.....3960
ені.....3195
биіктігі.....7450
Сепаратор массасы, кг.....5126

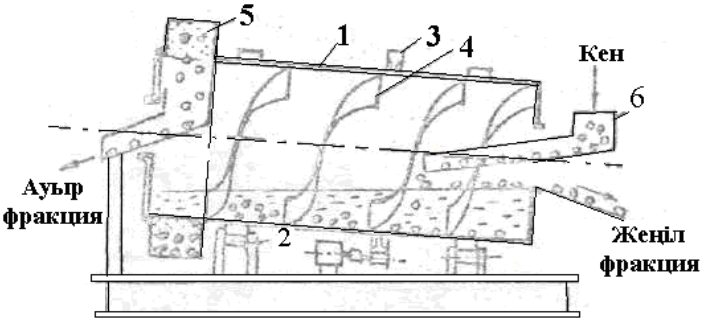
4.4.2. Барабанды сепараторлар

Барабанды сепараторлар орама және элеваторлы болып бөлінеді. Олардың осындай бөлінуі байыту өнімдерді сепаратордан шығаруға негізделген. Өндірісте кеңінен қолданылатындарға жататындар: Механобр институтының СБС сепараторы, «Вемко» және «Гардинг» (АҚШ), «Крупп» (Германия) сепараторлары.

Орамалы барабанды сепараторлар (СБС). Олар цилиндрлі пішінді барабаннан тұрады (4.4-сурет).

Корпус екі жерден тірегіш аунақшалар(2) үстінде айнала алады. Оның айналуы диірмендердің айналуына ұқсас: барабанның бір шетіне жақын тісті тәж орнатылған. Ол электрқозғалтқыштан айналыс алатын тістегерішпен (тісті шестернямен) жалғасады. Барабан ішіне суспензия құйылады, оған қақпақ ортасындағы тесік арқыла науамен (6) кен түсіріледі. Барабан сәл көлбеу орнатылған. Соған сәйкес ішіндегі суспензия кен түсетін шетке қарай ығыс орналасады. Қалқыған кесектер (женіл фракция) бастапқы кен кесектерінің ығыстыруы нәтижесінде барабанның сол шетіндегі тесіктен асып шығып өз науасына түсіп жатады. Батқан кесектер (ауыр фракция) барабан түбіне шөгеді. Оларды үздіксіз шығарып отыру үшін барабанның ішкі бетіне белгілі жалпақтығы бар орамалы таспа (4) орнатылған. Ол барабан айналғанда сонымен бірге қозғалады. Соның демеуінен батқан кесектер барабанның екінші (жоғарғы) басына жылжып барып, көтергіш доңғалақ элеваторға (5) барып түседі. Доңғалақ ішіне радиальді көп тесікті қабырғалар орналасқан. Кен кесектері осындай қабырғалардың екі аралығындағы ұяларға (ячейка)

түсіп, барабан айналғанда бірге көтеріледі. Сол кезде суспензия тесіктерден өтіп, ұяларда негізінде тек кен кесектері қалады. Ұялар белгілі бір биіктікке көтерілгенде, кесектер төмен жылжып құлап, барабанның орта тесігіне орналасқан науаға түсіп шығарылады.



4.4-сурет. Барабанды ауыр орталы сепаратордың сызба нұсқасы:
1 – барабан; 2 – тірегіш аунақша; 3 – тісті тәж; 4 – орамалы таспа; 5 – доңғалақ элеватор; 6 – кен түсіргіш науа

Барабанды сепараторларда ірілігі 150 мм-ге жететін кенді байытуға болады. Барабанның диаметрі ең үлкендерінде 3000 мм, ал ұзындығы 6000 мм-ге жетеді. Бұл сепараторларда пайдалы қазбалардың барлық түрін байытуға болады.

Барабанды сепараторлардың техникалық сипаттамалары 4.1-кестеде келтірілген.

4.1-кесте

Барабанды сепараторлардың техникалық сипаттамалары

Параметрлері	СБС-1,8	СБС-2,5	СБС-3
Барабан өлшемдері, мм:			
диаметрі	1800	2500	3000
ұзындығы	3600	5000	6000
Барабанның айналу жиілігі, айн/мин	3; 4; 6	3; 4; 6	3; 4; 6
Өнімділігі, т/сағ	18-90	32-160	50-250
Байытылатын заттың ірілігі, мм	4-150	4-150	4-150
Электрқозғалтқыштың қуаты, кВт	7	10	14

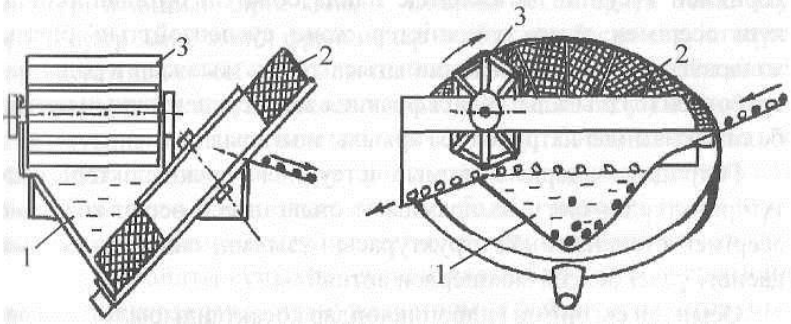
4.1-ші кестенің жалғасы

Габариттік өлшемдері, мм:			
ұзындығы	6567	7942	9050
ені	2532	2532	4032
биіктігі	3136	4100	4620
Массасы, кг	14660	22290	29140

4.4.3. Доңғалақты сепараторлар (СК)

Доңғалақты сепараторлар (4.5-сурет) көмірлер мен антрацититтерді магнетитті суспензияда байытуда қолданылады.

Кен науашық аркылы суспензияға толған ваннаға (1) түседі. Қалқыған жеңіл фракция айналмалы құлақты ескіш (3) әсерімен ығыстырылып науашыққа түсіріледі. Ескіш орнаған ванна шетіне қалқыған кесектердің ығысуына бастапқы түсетін кеннің де әсері тиеді. Ванна түбіне шөккен кен кесектері ваннаның бір қабырғасына жабыстыра көлбеу орналасқан элеваторлы доңғалаққа (2) түседі. Оның құрылысы да барабанды сепаратордағы элеваторлы доңғалақтың құрылысындай. Элеватор ақырын айналып тұрады. Оны ұяларға бөлетін қабырғалары тесікті болып келеді. Солар арқылы суспензия төмен ағып бөлініп, ваннаға қайтарылып отырады. Ұялар белгілі биіктікке көтерілгенде ондағы жатқан кесектер сырғып құлап доңғалақтың ортасына көлбеу орналасқан науашыққа түседі.



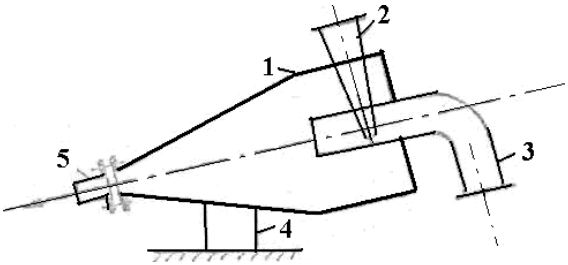
4.5-сурет. Доңғалақты ауыр орталы сепараторлардың сызба-нұсқасы:
1 – ванна; 2 – доңғалақ элеватор; 3 – құлақты ескіш

Қазіргі кезде екі өнім (ауыр және жеңіл фракциялар) емес, үш өнім (концентрат, қалдық және екіаралық өнім) беретін доңғалақты сепараторларда (СТТ) қолданылады. Демек, екі өнімді екі бөлгіш бір агрегатта біріктірілген. Бұл сепараторлар көмір байытуда кеңінен тарауда. Бастапқы көмір алдымен тығыздығы төмен суспензияға түсіп жеңіл фракция (таза көмір концентраты) бөлінеді. Одан шыққан ауырлау фракция екінші секцияда тығыздығы жоғарылау суспензияға түсіп, одан ауыр фракция (қалдық ретінде), екі аралық өнім алынады. Ақырғы өнім қосымша ұсатылғаннан кейін қайтадан байытуға түседі.

Доңғалақты сепараторлар көбінде көмір байытуда қолданылады. Оның кесектігі 300 мм-ге дейін болса олар тиімді жұмыс істей алады.

4.4.4. Ауыр орталы гидроциклондар (КГ, ГТ)

Олардың құрылымдары сұрыптау мақсатымен қолданылатын гидроциклондардан айырмашылығы жоқ, тек көлбеу орнатылады (20º-тай). Бұл аппараттарда байытылатын кен түйіршіктерінің диаметрі 0,2–0,5 мм-ге дейін темендеуі мүмкін. Бататын түйіршіктердің шөгу жылдамдығы ортадан тепкіш күш әсерімен арттырылады. Гидроциклонның орнатылу көрінісі 4.6-суретте келтірілген.



4.6-сурет. Ауыр ортада бөлгіш гидроциклон:
1 – корпус; 2 – түсіргіш науашық; 3 – ағызынды науашығы; 4 – тіреу; 5 – құм науашығы

Суспензия байытылатын кенмен бірге гидроциклонның цилиндрлі бөлегіне (1) тангенциалды (жанама) орнатылған

науашық (2) арқылы түседі. Заттың қысыммен айналма қозғалысты траекториямен түсуінің нәтижесінде пайда болатын ортадан тепкіш күш әсерімен ауыр түйіршіктер және суспензойдтың (ауырлатқыштың) біразы аппараттың ішкі қабырғасына ығыса төмен жылжып құмды науашықпен (5) шығады. Жеңіл фракция және суспензияның негізгі бөлігі ағызынды науашығы (3) арқылы шығарылады.

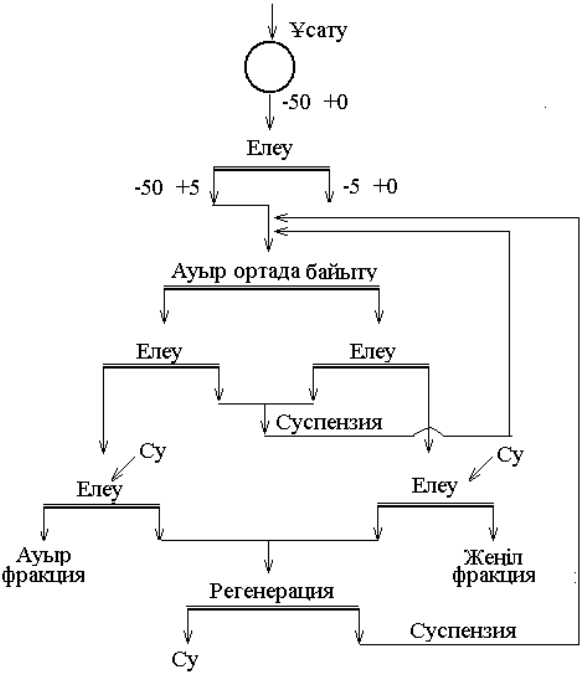
Гидроциклондардың жұмыс істеуіндегі ерекшеліктері сол түйіршіктердің шөгу жылдамдығы ондаған есе өседі, қозғалыс әсерімен суспензияның құрылымы бұзылып оның тұтқырлық қасиетінің үлесі белгілі мөлшерден артпайды.

Осындай екі өнімді гидроциклондар қосақтандырыла бір агрегат түрінде жасалса, онда оларды ауыр орталы үш өнімді гидроциклондар деп атайды. Демек, концентрат және қалдықтан (ауыр және жеңіл фракциялар) басқа екі аралықты өнім алынады. Соның нәтижесінде ауыр және жеңіл фракциялардың тазалығы артады.

Енді кенді ауыр суспензияда баяыту үрдісінде ауыр және жеңіл фракциялармен бірге шығатын ауырлатқыш олардан қалай бөлініп алынатынын, соның нәтижесінде үрдіске қайта қайтарылатынын қарастырайық.

Ауырлатқыштың ұсақ түйіршіктері ауыр және жеңіл фракциялармен бірге шығатын сумен аралас шығады. Оларды бөліп алу үшін тор тесіктерінің диаметрі ауырлатқыш түйіршіктерінің диаметрінен үлкен, ал кен түйіршіктерінің (кесектерінің) диаметрінен кіші електерге түседі.

Ол електерден өткен суспензия сорғымен ваннаға қайтарылады. Елек торларының үстінде қалған кен кесектерінде әлі де болса олардың бетіне ауырлатқыш түйіршіктері жабысып бірге қалады. Оларды кесектерден бөліп алу үшін ауыр және жеңіл фракциялар екінші рет басқа електерге түсіп, үстінен су себу арқылы шайылып бөлінеді. Осылай екінші електерден алынған суспензияның тығыздығы қосылған сумен сұйылуының нәтижесінде көп төмендейді. Оның тығыздығын бұрыңғы қалпына келтіру үшін суспензиядан ауырлатқышты белгілі әдіспен бөліп алып, оны тек белгілі көлемді ғана (есептелініп табылатын) сумен араластырып, үрдіске қайтару қажет.



4.7-сурет. Ауыр ортада бөлу технологиясында қолданылатын операциялар тізбегі

Ауырлатқышты сұйылған суспензиядан бөлу әдісі оның қандай минералдардан (заттан) жасалғанына байланысты. Егер, мысалы, ауырлатқыш ретінде магнитті ферросилиций қолданылса, онда олардың түйіршіктері суспензиядан магнитті бөлгіштерді қолдану аркылы бөлінеді. Егер галенит қолданылса, оны суспензияны флотациялау арқылы бөліп алуға болады. Осы үрдістерді *регенерациялау үрдістері* деп атайды. 4.7-суретте кенді ауыр суспензияда байытуда қолданылатын операциялардың тізбегі сызба-нұсқа түрінде келтірілген.

4.5. Пайдалы қазындыларды ауыр ортада байыту технологиясы

Кендерді ауыр суспензияда алдын-ала байыту арқылы қалдыққа шығарылатын зат үлесін 25-тен 80 %-ға дейін

жеткізуге болады, осыған сәйкес байыту фабрикаларының өнімділігін 1,5–2 есе көтеруге болады. Бұл жағдайда капиталдық шығын 1,0–1,5 жылда ақталады, кеннің өңделу құны 25–30 %-ға төмендейді.

Үрдістің жоғарғы дәлдігі және технологиялық тиімділігі суспензияларда қалдыққа кеткен өнімдерді және құнсыз кендерді байытуға мүмкіндік береді. Осы әдіспен кейбір гравитациялық байыту фабрикаларының қалдықтарын өңдеуге болады.

Суспензиялық үрдіс көбінде қиын байытылатын ірілігі 0,8 (0,2) мм-дейінгі пайдалы қазындыларды өңдеуде қолданылады.

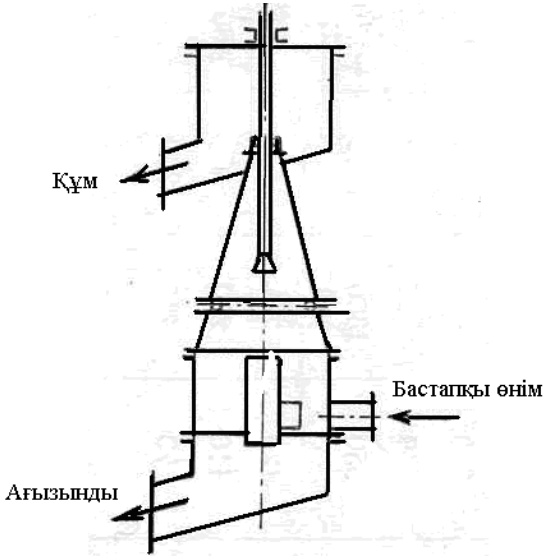
Технологиялық тізбектерде суспензиялық үрдіс көмекші немесе дайын өнім беретін үрдістер ретінде қолданылуы мүмкін. Көмекші үрдіс ретінде полиметалл кендерін байыту тәжірибесінде кеңінен қолданыс тапқан. Осында, технологиялық тізбектің басында кеннен 35 % дейін бос жыныcты заттар алдын-ала бөлініп алынады (Зырян байыту фабрикасы; Италиядағы кен байыту фабрикалар ж.т.б.).

Негізгі үрдіс ретінде суспензиялық үрдіс көмір байыту фабрикаларында, хром, марганец, темір және тағы басқа кен байыту фабрикаларында кеңінен қолданылады. Байыту үрдісінің тереңдігіне қарай суспензиялық үрдіс шөктіру әдісімен, магниттік сепарациямен, флотациямен және жинағыш столдарда байытумен бірге қолданылады.

Ауыр ортада байытудың басқа түріне ірі түйіршікті затты тербелісті науада бөлу жатады (Стрип үрдісі). Үрдіс ірілігі -75+6 мм темір кендерін байытуда қолданылады. Ауырлатқыш ретінде құрамында 15 % +2 мм және 3,0 % -0,1 мм іріліктер бар темір концентраты пайдаланылады. Науада тығыздығы 2,15 г/см^3 суспензия қабаттарға бөлінеді. Онда тығыздығы 2,95 г/см^3 төменгі қабат пайда болады. Сонда материал ауыр және жеңіл фракцияларға бөлінеді.

Ұсақ түйіршікті затты (ірілігі 10-15мм) байыту ортадан тепкіш сепараторларында – гидроциклондарда және центрифугаларда – жүргізіледі. Ірілігі -25+0,5 мм затты байыту үшін құйынды (иірімді) гидроциклондар қолданылады. (4.8-суретті қара). Олардың ерекшелігі – конусты бөлігінің төбесі жоғарғы жағына орналасқан. Құм сұғындырмасының диаметрі үлкен; оның ортасында атмосфералы ауамен

жалғастыратын іші қуыс құбыр бар. Цилиндрлі типті аппаратта орындалатын «құйынды Дайна үрдісінің» ерекшелігі сол – ірілігі -50+0,2 мм бастапқы материал (цилиндрдің түсіру шеті арқылы) және ауыр суспензия (тангенциальды сұғындырма арқылы қысыммен түсірілетін) жеке енгізіледі. Бұл аппараттарда ортадан тебу өрісі болғандықтан ауырлатқыштың арзан түрін қабылдап тығыздығы аз суспензияны қолдануға болады. Ортадан тебу өрісінде суспензия тығыздығы 0,5-0,6г/см^3-ке өседі.

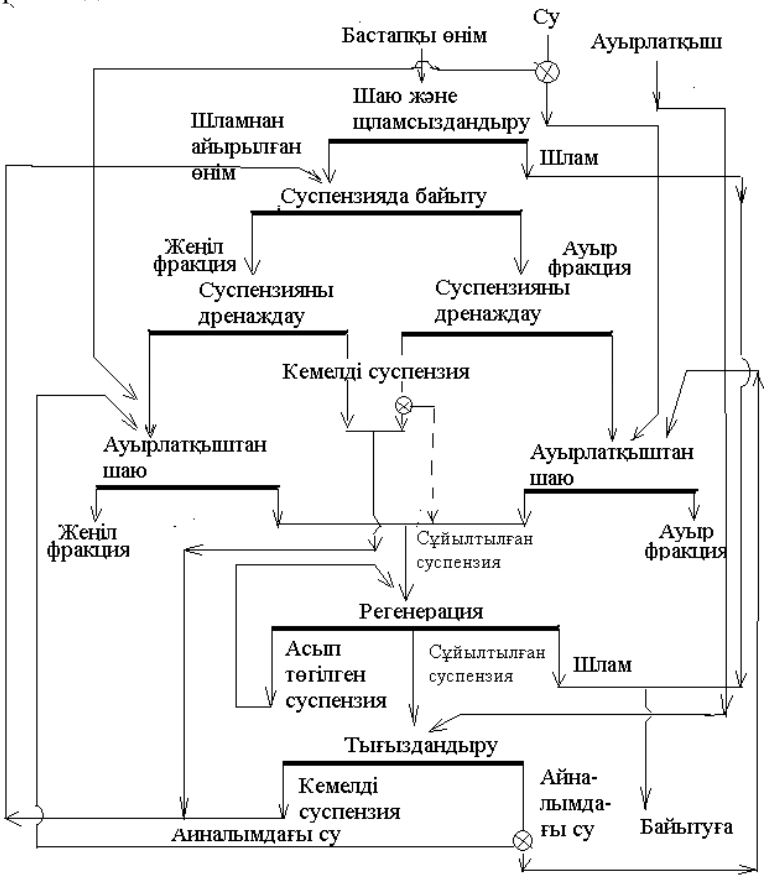


4.8-сурет. Құйынды гидроциклонның сұлбалық көрінісі

Ауыр суспензияда ортадан тебу өрісінде байытудың артықшылығы сол– ұсақ затты дәлірек бөлу мүмкіншілігі бар. Себебі ағымның жоғары жылдамдығы құрылымды тұтқырлықты бұзады және суспензияның тұрақтылығын тығыздықты 0,0025 г/см^3-ге дейін дәл реттеуге болады. Сондықтан ауыр орталы гидроциклондарда байытуда заттың ірілігі 0,5 мм-ге дейін төмендетуге болады, «құйынды Дайна үрдісінде» 0,2 мм-ге, ауыр орталы центрифугаларда – 50 мкм-ге дейін.

Ауыр орталарда байытудың технологиялық сұлбалары типті деуге болады. Оған жататын операциялар (4.9-сурет): елеу

және бастапқы затты жуу, ауыр ортада ауыр және жеңіл фракцияларға бөлу, дренаж, ауыр суспензияны байыту өнімдерінен шаю, ауырлатқышты регенерациялау (бастапқы қалыпқа келтіру). Жуу және елеу операциялары бір електе жүргізіледі.



4.9-сурет. Ауыр суспензияда байытудың технологиялық сұлбасы

Ірі зат үшін әдетте жазық өзіне-өзі теңгерілетін електе, ал ұсақ зат аз амплитудамен дірілдейтін жоғары (3600 мин$^{-1}$) електер қолданылады. Ұнтақтармен шламдардың кері әсері – ұсақ түйіршіктер ортаның тұтқырлығын арттыру нәтижесінде қабаттарға бөлініп үлгермейдіде байыту өнімдерінің сапасын

төмендетеді. Жуудың тиімділігін арттыру үшін циклонды типті шашыратқыштар қолданылады. Су шығыны 0,2 де 0,9 $м^3/т$ жетеді.

Жұмысқа жарамды суспензияның бөлінуі електің бірінші жартысында жүреді (өзі теңгерілетін дірілді електе). Суспензия зупфта жиналады да үрдіске қайтарылады. Електің екінші жартысында (ұзын бойындағы) заттың бетінен ауырлатқыш 0,3-1,5 $м^3/т$ су шығынымен шайылады. Сумен сұйытылған суспензияда да ұнтақ минералды түйіршіктер бірсыпыра мөлшерде болады, сондықтан ол регенерацияға (бастапқы тығыздыққа жеткізу) түседі. Шаю толық жүргізілмегендіктен ауырлатқыштың жоғалымы 100-750 г/т-ға жетеді. Олардың жоғалымын реагент–пептизатор қолданып 25-40 %-ға азайтуға болады.

Регенерациялау әдісі ауырлатқыштың және байытылатын заттың қасиеттерімен анықталады. Магнитсіз материалдарды байытқанда ферросилицийді, магнетитті және пирротинді регенерациялауға магнитті бөлгіш (онда ауырлатқышты бөлу 99,5-99,9 %-ға дейін жетеді), галенитті және арсенопиритті бөлуге флотация, ал баритті регенерациялауға жинағыш столдар қолданылады. Регенерацияланған ауырлатқыш жаңа суспензия жасауға түседі де, үрдіске қайтарылады. Ауыр суспензияның тығыздығын оны дайындау және байыту кезінде бақылау және реттеу суды не ауырлатқышты автоматикалық жолмен беру арқылы іске асырылады.

Ауыр суспензияда байытудың басқа гравитациялық әдістермен салыстырғанда артықшылықтары:

• қарапайым конструкциялы және техникалық оңай реттелетін аппараттарда бөлу дәлдігінің жоғарылығы;

• кең шекті ірілікте, бөлінетін материалдардың тығыздықтарының айырмашылығы аз болғанда ($\pm 0{,}003 г/см^3$) үлкен көлемді минералды шикі затты тиімді бөлу мүмкіншілігі;

• электроэнергия, су, ауырлатқыштардың шығындарының аздығына байланысты түпкілікті және күнделікті шығындардың жоғары еместігі;

• технологиялық үрдістің оңай автоматизациялануы.

Ауыр ортада байыту үрдісі әсіресе пайдалы қазбаларды алдын-ала байыту мақсатымен жиі қолданылады.

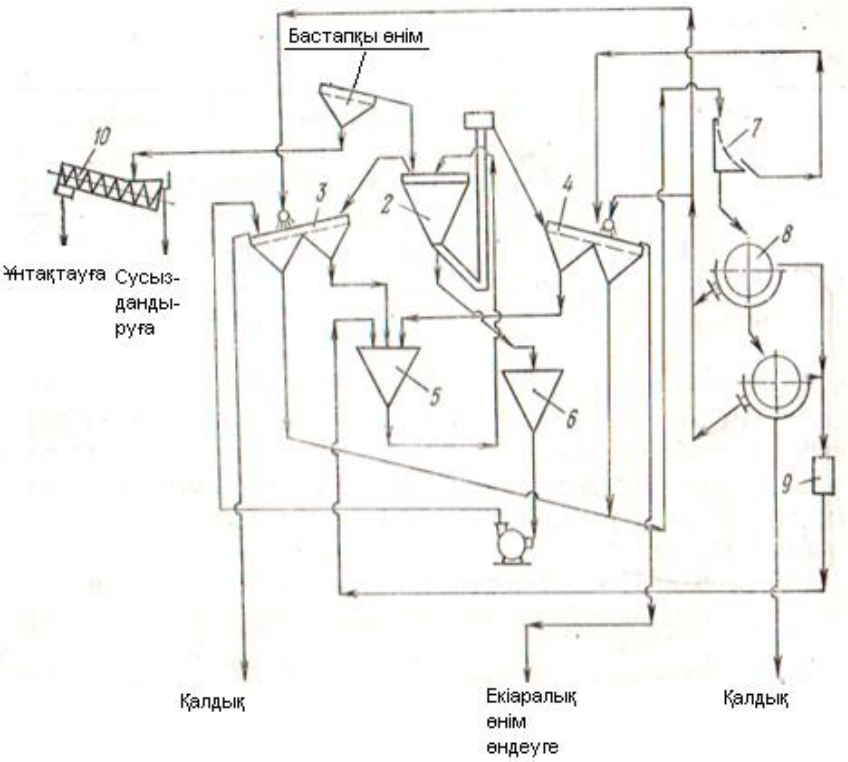
Полиметалл кендерін байыту

Полиметалл кендерін суспензияда байыту Қазақстанда Зырян, Риддер және Ақжал кен байыту фабрикаларында қолданылады. Суспензиялық байыту үрдісі полиметалл кендерін өңдеуде кенді алдын-ала байыту мақсатымен қолданылады. Бұл әдіс байытылатын кеннің ірілігі -80+4; -50+8; -25+3 мм шамасында болғанда және кеннен бөлінген жеңіл фракцияның шығымы 25–30 %-ға кем болғанда ғана тиімді болып саналады.

Зырян байыту фабрикаларындағы өңделінетін кеннің құрамында қорғасын, мырыш, мыс, күкірт кездеседі және олардың негізгі минералдарының (сфалерит, пирит, галенит, халькопирит) сепкілдігі 0,005 тен 2мм дейін жетеді. Кен ұсатудан кейін електерде сумен шайылып, сонан келесі ірілік кластарына бөлінеді -50+8 және -8 мм. Әр класс жеке өңделінеді. Ірілігі -8 мм класс ұнтақтауға, соңынан флотация үрдісіне түсіріледі, ал -50+8 мм класс суспензияда байытуға. Ірілігі -8 мм кластың шығымы 25–30 % құрайды. Суспензияның тығыздығы – 2650–2680 кг/м^3. ауырлатқыш ретінде ферросилициймен магнетит концентратының (50 % массасы бойынша) қоспасы қолданылады.

Полиметалл кенінің суспензияда байыту сұлбасы 4.10-суретте көрсетілген. Байыту конусты сепараторда (СК-6) жүргізіледі, оның диаметрі 6м және өнімділігі 6,5–8,2 т/м^2 (сепаратор бет айнасының ауданына қарай). Ауыр фракцияның сепаратордан шығарылуы аэролифт әсерімен жүргізіледі. Жеңіл және ауыр өнімдер беті қалқамен екі бөлімшеге бөлінген елекке түсіріледі. Онда алдымен суспензия дренаждалынып содан кейін үрдіске қайтарылады. Өнімдердің елек бетімен қозғалу кезінде ауырлатқыш өнімдерден бөліне бастайды. Ферросилицийдің шығыны 150–165 г/т құрайды, ал магнетиттің – 150–200г/т. ауырлатқышты регенерациялау екі сатыда жүргізіледі: алдымен ЭМБС-12 барабанды сепараторында (магнит өрісінің кернеуі 1400А/м), сонан магнит өрісінің кернеуі 1100А/м тең ЭЛС-12 таспалы магнитті сепараторында.

Қалдыққа жіберілетін жеңіл өнімнің шығымы 34–37 %-ға жуық. Ауыр фракция 16мм дейін ұнтақталынып, бастапқы кендегі ұсақ класқа қосылып және бірге ұнтақталынып флотацияға түсіріледі.



4.10 – сурет. Полиметалл кенін суспензияда байытудың сұлбасы:

1– ГРС-А елегі; 2– СК-6 конусты сепараторы; 3– дренаждауға және ауырлатқышты жеңіл өнімнен бөліп шаюға қолданылатын ГРС-Б елегі; 4– дренаждауға және ауырлатқышты ауыр өнімнен бөліп шаюға қолданылатын ГРС-Б елегі; 5– кемелді суспензияның жинағы; 6– авариялық сыйымдылық; 7– доғалы елек; 8– ЭМБС-12 барабанды сепаратор; 9– магнитсіздендіретін аппарат; 10– сұрыптағыш

Хром кендерін байыту

Хромның негізгі минералдары: хромит ($FeO_2Cr_2O_3$), және магнохромит ($Mg_2Fe)Cr_2O_4$).

Кенде Cr_2O_3 үлесі 45 %-дан көп болса байытуды қажет етпейді. Олар тек ұсатылып, әртүрлі ірілік кластарға бөлінеді де, металлургиялық өңдеуге түседі.

Хром кендері гравитациялық әдіспен байытылады. Ірі кластар ауыр ортада байыту үрдісіне, ал ұсақтаулары шөктірумен столдарда, шлюздерде және басқа аппараттарда байытылады.

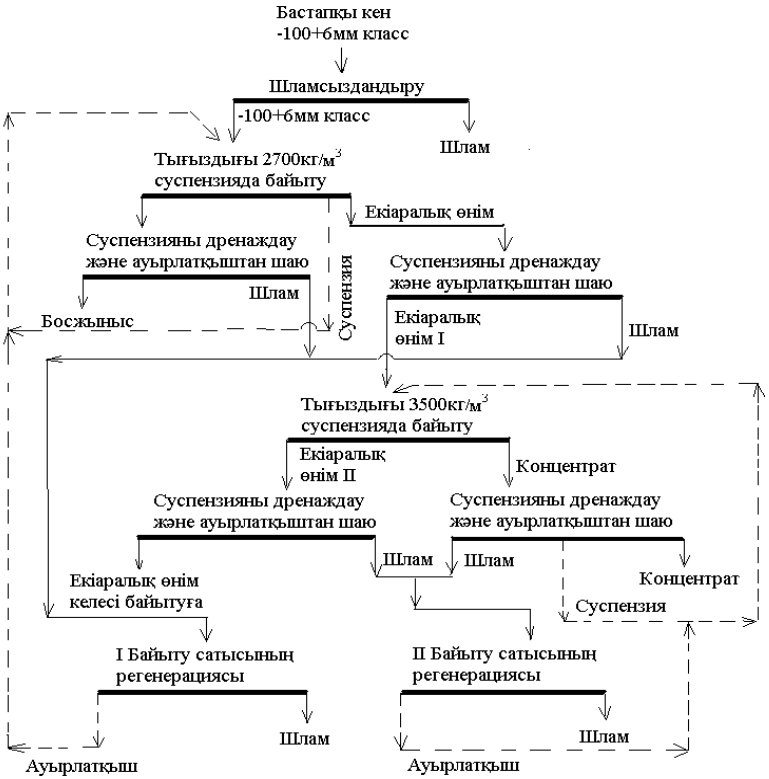
Ірілігі -100+6 мм хром кені, алдын-ала шламдардан айырылған соң, екі доңғалақты сепараторларда байытылады. Байытудың бірінші сатысында тығыздығы 2700 кг/м^3 құрайтын ферросилиций суспензиясы қолданылады, ал екінші сатысында – 3500 кг/м^3. Ауырлатқыш ретінде тығыздығы 6800 кг/м^3 түйіршіктелінген ферросилиций пайдаланылады. Айналымдағы суспензия мөлшері, 1т/сағ кен көлеміне шаққанда, 1м^3 немесе 150м^3/сағ тең. Суспензия тұтқырлығы 0,012 Н·с/м^2. Ауырлатқыштың үрдістегі жоғалымы 400г/т құрайды.

4.11-суретте хром кенін суспензияда байытудағы санды-сапалы сұлбасы берілген, ал 4.2-кестеде осы кеннің байыту нәтижелері келтірілген.

4.2-кесте

Хром кенінің суспензияда байытудың нәтижелері

Өнім	Шығым, %	Өнімділік, т/сағ	Екі тотық хромның үлесі, %	Екі тотық хромды бөліп алу дәрежесі, %
Концентрат	52,2	78,4	54,2	64,3
Екіаралық өнім	30,8	46,3	43,7	30,61
Бос жыныстар	13,9	20,9	5,8	1,83
Шламдар (байытудан кейінгі)	1,5	2,0	46,0	1,57
Шламдар (-6мм класс)	1,6	2,4	46,5	1,69



4.11-сурет. Хром кенін байытудың санды-сапалы сұлбасы

4.5.1. Ауалы суспензияда байыту

Ауалы суспензия дегеніміз тік бағытта қозғалатын ауа ағымының әрекетімен ауырлатқыштың «қайнау» қабаты. Қабаттың «қайнау»дәрежесі және оның ішкі құрылымы ауа ағымының жылдамдығымен (0,093-0,140м/с) және ауырлатқыштың түйіршіктерінің ірілігіне қарай орналасуымен байланысты.

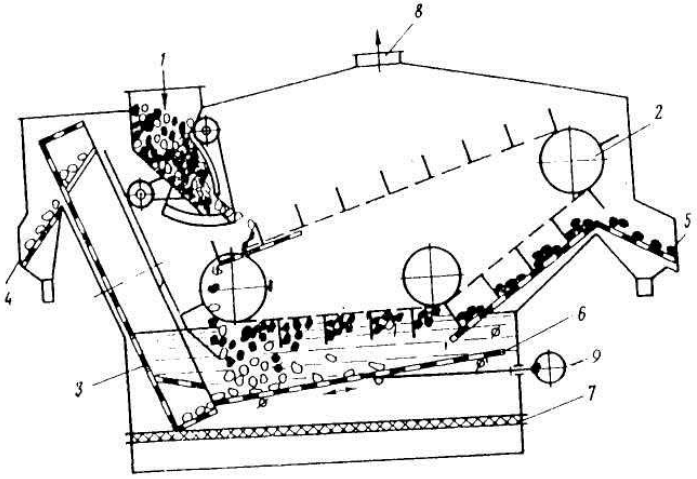
Ауалы суспензия жасауда ауырлатқыш ретінде құм, магнетит, ферросилиций, басқада материалдар және минералдар араласы қолданылады. Ауырлатқыш ретінде ірілігі -0,15+0,05 мм үш компонентті аралас (құм, магнетит, ферросилиций) қолданылғанда көмірді, сланецті және басқа кендерді (мысалы

асбест) байытуға жарайтын тығыздығы 1100-ден 1300 кг/м^3-ге жететін ауалы суспензия жасауға мүмкіндік туады.

Ауалы суспензияны дайындау үшін алдын-ала шкаласы 2-ге тең сұрыптағыштан өткізілген ауырлатқыш қолданылады. Егер сұрыптау шкаласы екіден үлкен болса ауалы суспензияның тік бағыттағы қабатында ауырлатқыш қабаттарға бөліне бастайды. Бұдан басқа шартты жағдай – жеңіл фракция және ауырлатқыш түйіршіктерінің диаметрлерінің (d_1 және d_2), олардың тығыздықтарының арасында (δ_1 және δ_2) мысалы көмірді байытқанда белгілі қатынас сақталу қажет:

$$\lg(d_1 / d_2) = 3/2 \lg(\delta_1 / \delta_2)$$

Ауалы суспензиялы бөлгіш, мысалы СКС-1 (4.12-сурет) жабық зонтпен 8 жабылған кеуекті қалқаны 7 бар төрт бұрышты науадан тұрады. Соның ішінде ауыр фракцияны шығаруға арналған элеваторлы елек 4, ауыр фракцияны элеваторлы дөңгелекке жақындататын эксцентрикті қозғалтқышы бар қозғалмалы тор 6, жеңіл фракцияны дренаждау елекке 5 апаратын тырнағыш конвейер 2 және секторлы түсіргіші бар бункер тәрізді 1 қабылдағыш қондырғы орнатылған.



4.12-сурет. Аэросуспензиялық сепаратор (СКС-1)

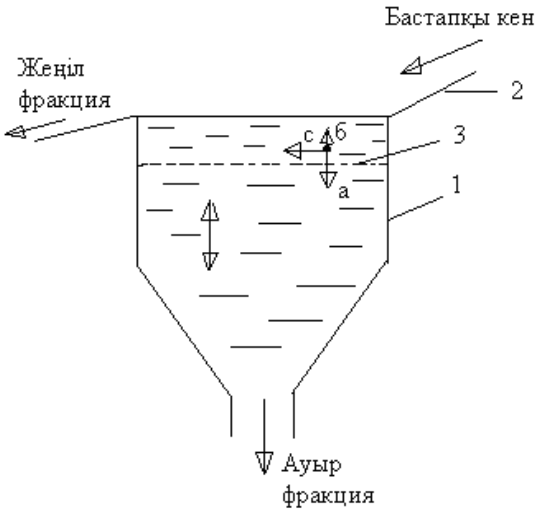
Ауалы суспензияда байыту көбінде су жеткіліксіз және ауа райы қолайсыз аймақтарда көмірді байыту үшін қолданылады. Үрдіс қолданылуға ыңғайлығымен, суды тазалауға қажет етпейтіндігімен, байыту өнімдерін сусыздандыруды және құрғатуды қажет етпейтіндігімен, ауырлатқышты регенерациялаудың қарапайымдылығымен сипатталады, бірақ ауыр суспензиямен салыстырғанда бөлу дәлдігі төменірек.

5. ШӨКТІРУМЕН БАЙЫТУ

5.1. Жалпы түсініктемелер

Шөктіру (отсадка) деп әртүрлі минералдар түйіршіктерінің (кесектерінің) тік бағытта жоғары-төмен қозғалатын су не ауа әсерімен тығыздықтарына қарай бөліну үрдісін атайды. Гравитациялық байыту үрдісінің ішінде осы байыту әдісі ең жиі қолданылатын және ең өнімдісі болып саналады. Егер кен байытылса шөктіру үрдісін 0,2–50мм аралығында, ал көмір байытылса 0,5–200 мм аралығында қолдануға болады.

Шөктіруде қолданылатын машиналардың қай түрі болмасын ішінде су тұратын камерадан тұрады. Камера ішінде тор орналасқан. Су арнаулы қондырғымен тік бағытта жоғары-төмен шайқалмалы қозғалысқа келтіріледі. Бастапқы зат (кен) сумен араласа тор бетіне түседі. Осы жағдайда минерал түйіршіктеріне қандай күштер әсер ететіні сұлбалық түрде 5.1–суретте көрсетілген.

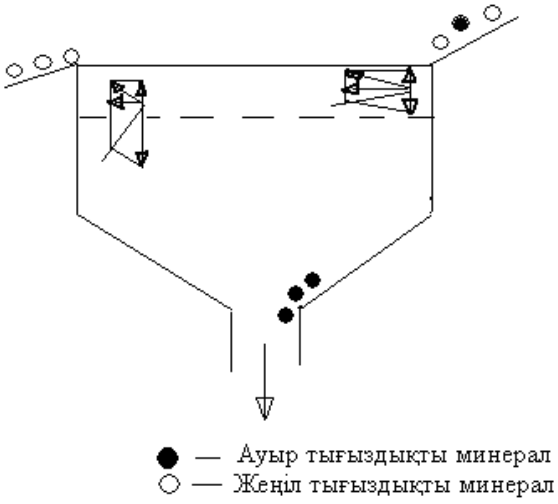


5.1–сурет. Шөктіру үрдісінде әрекет ететін күштер бағыты:
1–камера; 2–түсіргіш науа; 3–тор; а– салмақ күші; б–судың көтері күші; с–судың ағызу күші

Шөктіру үрдісінің (сол сияқты барлық байыту үрдістерінің) негізін түсіну үшін қажетті жай – сол үрдісте минерал түйіршіктеріне қандай күштер әсер ететінін білу керек. Әр түрлі минералдар түйіршіктерінің бір-бірінен жақсы бөлінуі соларға әсерлерін тигізетін күштердің айырмашылығына байланысты.

Неғұрлым олардың айырмашылығы үлкен болса, соғұрлым минералдар түйіршіктері жақсы бөлінеді. Енді шөктіру үрдісінде қандай күштердің және басқада факторлардың түйіршіктерге тигізетін әсерін таңдайық.

Бірінші күш – салмақ күші (5.1–сурет «а»). Ол минерал түйіршігінің тығыздығымен көлемі (диаметріне байланысты) және Архимед заңымен анықталатыны белгілі. Екінші күш судың жоғары бағытта қозғалысынан туатын оның көтеру күші «б». Үшінші күш–бастапқы затпен бірге түсетін судың көлденең бағытта ағызу күші «с». Сонда түйіршіктің тор үстінде қозғалу бағыты осы үш күшке тең әсерлі күштің бағытына сай болады (5.2-сурет).



5.2–сурет. Шөктіруде әртүрлі тығыздықтағы минерал түйіршіктеріне күштердің әрекет ету сұлбасы:
● *–ауыр тығыздықты минерал;* ○ *–жеңіл тығыздықты минерал.*

Жеңіл түйіршіктер (кесектер) төмен шөкпейтін бет (жоғарғы) қабаттарда жиналады да, ал ауырлары төмен бағытта жылжып, астыңғы қабатқа жиналады. Міне, осылай екі қабатқа бөлініп жиналған әртүрлі минералдар түйіршіктерін камерадан үздіксіз шығарып отыру қажет. Жеңіл минерал жиналған үстіңгі қабат шөктіру машиналарының барлық түрлерінде бастапқы затпен бірге түсетін судың ағызу күшімен камераның екінші басынан асып шығады.

Төменгі қабатта жиналған ауыр минерал түйіршіктері (кесектері) бастапқы заттың ірілігіне байланысты екі түрлі әдіспен камераның түбіне түседі. Егер түйіршік 5 мм-ден артпаса онда олар тордың тесігі арқылы өтеді де, ал одан ірі зат байытылса төменгі қабат тор тесігінен емес, әдейі жасалған үлкен жарықша тесіктен өтіп жиналады. Камера түбіне жиналған зат көбінде шөмішті элеватор арқылы үздіксіз шығарылып отырады.

Төменгі қабатқа жиналып шығатын өнім *ауыр фракция*, ал үстіңгі қабатқа жиналатын өнім *жеңіл фракция* деп аталады. Егер кен байытылса ауыр фракция концентрат ретінде алынады. Себебі құрамында бағалы зат бар минералдардың көбінің тығыздығы тау-жыныс минералдарының тығыздығынан артық болады. Егер көмір байытылса жеңіл фракция концентрат ретінде алынады. Себебі көмірдің тығыздығы (1,2–1,4 т/м^3) барлық минералдардың тығыздығынан аз.

Шөктіру үрдісінің (сол сияқты басқада барлық байыту үрдістерінің) тиімділігі концентратқа шығатын бағалы заттың шығынымен ғана емес, сонымен бірге оған «бөтен» минералдар көп не аз шығуымен анықталады. Шөктірудің тиімділігіне бірден-бір әсер ететін фактор – оған түсетін бастапқы заттың (кен не көмір) ірілігі. Әдетте, бастапқы заттың ірілігі артқан сайын үрдістің тиімділігі өседі. Керісінше- оның ірілігі төмендеген сайын үрдістің тиімділігі төмендейді. Сондықтан ұсақ зат шөктірілгенде үрдістің тиімділігін жоғарлату үшін арнаулы жағдай жасалынады: тордың үстіне тығыздығы бастапқы зат ішіндегі ауыр минералдардың тығыздығынан аз, ал жеңіл минералдың тығыздығынан жоғары арнаулы зат түйіршектері салынады. Ол зат *жасанды төсеніш* деп аталады. Оның түйіршіктерінің диаметрі тордың тесіктерінің диаметрінен

үлкен болуы керек. Енді оның атқаратын ролін қарастырайық. Төсеніш түйіршіктеріне де жоғарыда келтірілген күштер әсер етеді. Соның нәтижесінде төсеніш түйіршіктері тығыздықтарына сәйкес жеке қабат жасайды. Ол қабат ауыр және жеңіл фракциялар жасайтын қабаттардың аралығына орналасады. Соның нәтижесінде жоғарғы қабаттағы (жеңіл фракция) түйіршіктердің төменгі қабатқа өтуі қиындайды да ауыр фракция (концентрат) сапасы артады. Астыңғы қабатқа төсеніш арқылы тек ауыр түйіршіктер ғана өтеді. Жасанды төсеніш ретінде әртүрлі заттар қолданылады.

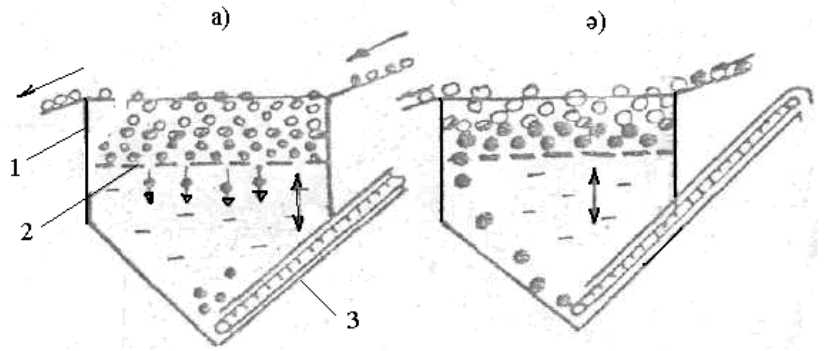
Олар минералдар, табиғи және жасанды заттар болуы мүмкін. Тек ол заттың тығыздығы байытылатын кен құрамындағы минералдардың тығыздығынан айырықша болса болды.

Ірі кесекті зат байытылғанда жасанды төсеніш қолданылмайды, ол кен кесектерінің өзінен пайда болады. Оның мәнісі мынада. Ірі кесекті кен байытылғанда көпшілік жағдайда бірден даяр концентрат алу мақсаты емес, тек кеннен тау-жыныс минералдарының негізгі массасын бөліп шығару мақсаты қойылады. Ол үшін кен құрамындағы минералдарды бірінен бірін толық ажыратудың қажеті жоқ. Кен тек тау-жыныс минералдарының денінің ажырап босауына мүмкіндік беретін ірілікке дейін ғана ұсатылады. Бұл жағдайда бағалы минералдар толық ажырамай, бірсыпырасы тау-жыныс минералдарымен біртұтас күйде қалады. Демек, үрдіске түсетін кенде таза тау-жыныс минералдарынан тұратын кесектер, тек бағалы минералдардан тұратын кесектер және әлі де ажарамай тұтасқан күйде қалған кесектерде кездеседі. Ондай кесектердің тығыздығы құрамындағы бағалы (ауыр) минералдың мөлшеріне қарай өзгереді: неғұрлым көп болса соғұрлым кесектің тығыздығы артады және керісінше. Осының нәтижесінде тор үстінде кесектер тығыздығына қарай үш қабатқа жіктеледі. Ең астында ауыр минералдар кесектері, ең үстіне жеңіл минерал кесектері, ал ол екеуінен де тұратын кесектердің тығыздығы екі аралықта болғандықтан олар ортаншы қабатқа орналасып, төсеніш ролін атқарады.

Жоғарыда ұсақ кен байытылғанда үстіңгі және астыңғы қабаттардың машинадан үздіксіз қалай шығарылатыны

көрсетілді. Мұнда жасанды төсеніш еш қайда кетпей үнемі тордың үстінде қалады. Ал ірі кесекті кен байытылғанда ортадағы қабат орнында қалмайды, олда үздіксіз шығарылып отырады. Ол жеке шығарылу үшін көпшілік жағдайда екі не үш камерадан тұратын шөктіруші машиналар қолданылады. Бірінші камерада тек астыңғы қабат бөлініп, жоғарғы қабаттар екінші камераға түседі. Мұнда орта тығыздықты кен кесектері астыңғы қабатқа жиналып, жеңіл кесектер үстіңгі қабатта болып, екі қабат жоғарыда көрсетілгендей (5.3-сурет, а, ә) түрде бөлінеді.

Соның нәтижесінде бастапқы кеннен үш өнім алынады: ауыр фракция (концентрат), жеңіл фракция (қалдық) және орта тығыздықты фракция. Кейінгі фракцияны одан әрі құрамындағы минералдар ажыратылғанша ұсақтау не ұнтақтау қажет. Содан кейін байыту үрдісіне қайта түседі. Ал ауыр фракция даяр концентрат түрінде алынуы мүмкін. Егер оның сапасы төмен болса (тау жыныс минералдар құрамында көп болып) онда ұсақтап барып қайта байыту қажет.



5.3-сурет. Ұсақ (а) және ірі кесекті (ә) кенді шөктіруде
ауыр фракцияның тор астына түсу жолдары
1 – камера; 2 – тор; 3 – сусыздандырушы элеватор

Бастапқы кеннен үш өнімді бір камералық машиналарды қолданып алуға да болады. Ол үшін мысалы, алдымен кеннен тек ауыр фракция бөлініп, ал орта тығыздықты кесектерді жеңіл

фракциямен бірге алады, бұл фракция екінші бір камералы машинада қайта байытылып жеңіл және орта тығыздықты фракцияларға бөлінеді. Не болмаса басында кеннен тек жеңіл фракция жеке бөлініп, ал ауыр фракциямен орта тығыздықты бір өнім түрінде алынады да екінші машинада қайта байытылып өзара белінеді. Бұл вариант өте тиімді. Себебі кенде тау-жыныс минералдар басым болады. Оларды ал дегенде бірден жеңіл фракция түрінде бөліп, қалдық ретінде шығарып тастағанда екінші фракцияның шығымы азаяды. Демек, кейінгі қосымша ұсатуға аз материал түседі. Ол үшін қолданылатын аппараттар саны азаяды, жалпы жұмсалатын шығын көлемі темендейді.

Технологиялық үрдісті жүргізгенде қойылатын мақсат неғұрлым бағалы затты концентратқа толығырақ бөлу және оның сапасының жоғары болуы, демек концентратта тау-жыныс минералдарының аз қалуы қажет. Бұл мақсат негізінде концентраттың шығымын реттеу арқылы іске асады. Неғұрлым концентраттың шығымы көп болса, соғұрлым, әрине, бағалы зат көбірек алынады, бірақ оған керексіз минералдарда көбірек шығады, сапа төмендейді және керісінше. Сондықтан концентрат шығымы қандай дәрежеде болуы қажеттігі тәжірибе жүргізу арқылы анықтау керек. Анықталған шығым мөлшерін үрдісті жүргізу кезінде дәл реттеп отыру қажет. Ол мақсат сол үрдіске әсер ететін барлық факторларды дұрыс реттеу арқылы орындалады. Енді қысқаша соларды талдайық.

Жоғарыда әр түйіршікке (кесекке) үш күш әсер ететіні керсетілді. Бірінші күш – кесектердің салмағы. Неғұрлым кіші және үлкен тығыздықты минералдар кесектерінің салмақтарының арасындағы айырмашылық үлкен болса соғұрлым олар бір бірінен жақсы бөлінетіні сөзсіз. Ол үшін әртүрлі минералдар кесектерінің диаметрі (яғни көлемі) бірдейлікке жақын болуы қажет. Сонда ғана олардың тығыздықтарының арасындағы айырмашылықтың ролі арта түседі. Осы шартқа қалай жетуге болады? Ол үшін бастапқы белгілі ірілікке дейін ұсатылған кен електер қолдану арқылы әртүрлі ірілік кластарға бөлінеді. Сонда әр класс ішіндегі кесектердің диаметрлерінің арасындағы айырмашылық азая түседі де, олардың массаларының айырмашылығы арта түседі. Демек, ауырлық күші осылай реттеледі. Шөктіру

алдында жүргізілетін грохочение (елеу) үрдісі кенді байытуға дайындау үрдісі ретінде жүргізіледі.

Екінші фактор – судың жоғары бағыта қозғалу кезіндегі көтеру күші. Ол күш су қозғалғанда қандай қашықтыққа кетерілуі және бір минутта неше рет сондай қозғалысқа келетінімен анықталады. Осы екі жайдың өзара байланысы бар: неғұрлым үлкен қашықтыққа қозғалса, соғұрлым оның көтерілу жиілігі төмендейді. Көтерілу қашықтығы артқан сайын бұл күш артады, соның нәтижесінде пайда болатын тең әсерлі күштің бағыты горизонталь бағытқа жақындай түседі. Оның өзі астыңғы қабатка негізінен тек ауыр минералдар кесектері өтіп, жеңіл минералдар кесектерінің өтуіне мүмкіншілік азаяды. Қорыта айтсақ: фракцияның шығымы сонымен бірге бағалы зат шығымыда азаяды, бірақ оның сапасы артады және керісінше. Бұл факторды машинадағы арнаулы қондырғы арқылы реттеуге болады.

Үшінші фактор – кенмен бірге түсетін судың ағызу күші. Су шығыны артқан сайын ағызу күші өсіп кесектердің жылжуы қиындайды. Соның нәтижесінде тең әсерлі күштің бағыты көлденең бағытқа жақындап ауыр фракцияның шығымы, оған бөлінетін бағалы зат шығымы азайып, ал сапасы артады. Егер су шығыны азайтылса онда барлығы керісінше өзгереді. Барлық машиналарда камера ішіне үнемі қосымша су беріліп отырады.

Төртінші фактор – жасанды төсеніш қабатының қалыңдығы. Оның қалыңдығы артқан сайын минерал түйіршіктерінің төменгі бағытта қозғалуына кедергі молаяды. Соның нәтижесінде төменгі қабатқа тек ең ауыр минералдар түйіршіктері ғана өтеді. Яғни, ауыр фракция және бағалы зат шығымы азаяды, ал сапа көтеріледі.

Бесінші фактор – ауыр не жеңіл фракциялардың шығымын олардың камерадан шығу жолдарын өзгерту арқыла көбейту не азайту. Ұсақ кен байытылса, әдетте, фракциялардың шығымы камерадан жеңіл фракция шығатын жерге орнатылған табалдырықтың биіктігін жоғарылату не төмендету арқылы реттеледі. Ол жоғарылатылса тор үстіндегі зат қабатының жалпы қалыңдығы артады. Түйіршіктердің көлденең бағытта жылжу жылдамдығы азаяды да олардың төменгі қабатка түсуіне мүмкіншілік артады. Соның салдарынан жеңіл

фракция шығымы азайып, ал ауыр фракция шығымы молаяды. Жеңіл фракция таза алынады да, ал ауыр фракцияға бағалы зат шығымы артады. Бірақ оның сапасы төмендейді.

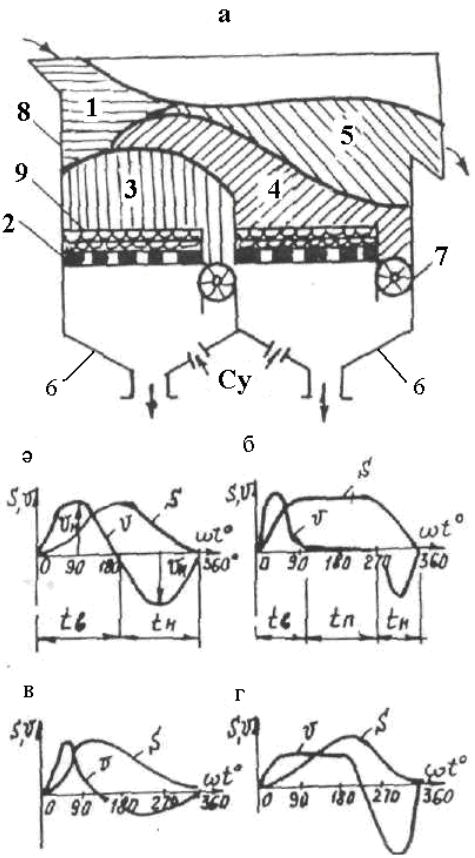
Міне, технологиялық үрдістің көрсеткіштерін бірсыпыра факторларды өзгерту арқылы ретттеуге болады екен. Сондықтан олардың әр қайсысының мәнін жете білу керек. Іс жүзінде олардың бірнешеуін бірақ, не болмаса кейбіреуін ғана өзгерту арылы мақсатқа жетуге болады. Көбінде үрдіс үстінде үшінші және бесінші факторлар өзгертіледі. Себебі: оларды үрдісті тоқтатпай-ақ өзгертуге болады.

5.2. Шөктіру үрдісіндегі материалдың қопсытылуы және бөліну заңдылығы

Шөктіру үрдісі минералды түйіршіктердің шайқалмалы бөлу ортада жылдамдық қозғалыстарының әртүрлі болуына негізделген. Орта ретінде негізінде су, өте сирек ауа пайдаланылады.

Бастапқы зат 1 әдетте екі сатылы 8 шөктіруші машинасының (5.4 а сурет) торының 2 үстіне түседі де біркелкі қабатты болып жайылады. Тордың тесіктері арқылы ортаның ағыны жоғары және төмен бағытта шайқалып тұрады. Соның нәтижесінде ауыр 3, жеңіл 5 және олардың қауышпаларынан 4 тұратын түйіршіктердің қабаттары пайда болады. Сатылардағы 6 қабаттар жеке бөлініп шығарылады. Ауыр фракция арнаулы қақпақты қондырғы 7 (олар көлденең немесе жырықты әртүрлі құрылымды бекітпелер) және тор 2 арқылы, жеңілдері машинаның шетіндегі табалдырығы арқылы шығарылады. Режим бойынша 3,4 қабаттар өздеріне сәйкес камералардан тыс шықпауы көзделінген.

Материалдың тығыздығына байланысты қысылымды жағдайда бөліну заңдылығы шөктіруде тек түйіршіктердің жүзгінді қабатта бөлінуімен ғана емес, сол сияқты екшелену нәтижесіменде анықталады. Минерал түйіршіктерінің қозғалысына бөлгіш ортаның салмағы, ортаның гидростатикалық кедергі күші және екпінді күші, минералдардың бір-бірімен үйкелу және соғылуына және аппараттың қабырғасымен соғылуынан шығатын механикалық күштерде әсер етеді.



5.4-сурет. Шөктіру үрдісінің сұлбасы (а) және оның циклдері
ə – гармоникалық; б – Майердікі; в – Барданікі; г – Томастікі;
s – ортаның жылжуы; υ – жылжу жылдамдығы

Ортаның жоғары көтерілу ағынын әсерімен бөлінетін түйіршіктердің қоспасы қопсиды және шөгу жылдамдығы ағымның жылдамдығынан кіші жеңіл түйіршіктер жоғары жылжиды да, ал ауыр түйіршіктер жүзгін түрінде қалады. Ағын төмен қарай бағытталғанда, керісінше, ауыр түйіршіктер жеңілдерге қарағанда ағынмен бірге үлкен жылдамдықпен төмен қозғалады да, минерал түйіршіктер қабаты тор үстінде нығызданады. Жоғары-төменгі ағымның көп рет әрекетімен

материал қабаттарға бөлінеді: жеңіл минералды түйіршіктері жоғарғы қабатқа жиналады да, ал ауыр түйіршіктер ортаның кедергісін жеңе отырып астыңғы қабатқа түседі. Ауыр тығыздықты минералдардың ұсақ түйіршіктері төмен бағытталған ағымның сору күшімен ауыр ірі түйіршіктердің арасындағы саңлаулар арқылы қозғалады да, олардың астына түсіп, машинаның торы арқылы өтеді.

Жеңіл минералдардың ұсақтарыда олардың ірілерінің арасымен төмен түседі, бірақ ауыр минерал ірі түйіршіктерінің арасынан ол қабаттың тығыздығына байланысты өте алмайды. Осының нәтижесінде минерал түйіршіктері тор үстінде мынадай кезекпен орналасады: ауыр минералдардың ұсақтары, оның үстінде ірілері, одан кейінгі үстінгі қабаттарда жеңіл минералдардың ұсақтары, одан кейін ірілері. Түйіршіктердің осылай орналасуына судың шайқалуынан туатын материалдың екшеленуі үлкен әсер етеді.

Ірі материалды шөктіруде тор үстіндегі материал қабаты 9 (кен байытылғанда 3–5 мм, ал көмір үшін 10–13 мм) *табиғи төсеніш* деп аталады (5.4-сурет, а). Оның оңтайлы қалындығы түсетін материалдың ішіндегі ең ірілерінің диаметрлерінен 5–10 рет үлкен болуы керек. Төсеніштің қалындығы артқан сайын минералдардың бөліну дәлдігінің төмендеуі қабаттың қопсуының аздығына байланысты (гидростатикалық кедергі жоғарлап кетеді), ал төсеніш қалындығы аз болғанда қабаттың тұрақсыздығын тудырады. Оған себеп болатын ағымның әр жерінде жылдамдықтың өсуі, материалдың араластырылуы және байыту өнімдерінің өзара бір-біріне өтуі. Ұсақ кенді материалды (3–5 мм төмен) және көмірді (10–13 мм төмен) байытуда тор үстіне жасанды төсеніш 9 салынады. Ол үшін әртүрлі материалдар пайдаланылады (ұсақ металды бытыра, ферросилиций және т.б.).

Олардың тығыздықтары жеңіл минералдікінен үлкен, ауыр минералдікінен кіші, ал ірілігі бөлінетін түйіршіктердің ең ірілерінен 2,5–6 есе үлкен болуы қажет. Жасанды төсеніш «тор» ролін ойнайды деуге болады. Ол ауыр түйіршіктерді өткізеді де жеңілдерін өткізбейді. Жасанды төсеніштің қалындығы және тығыздығы артқан сайын, және түйіршіктердің пішіні әр түрлі болған сайын оның өткізу қабілеті төмендейді, әсіресе ірі

түйіршіктерді. Төсеніш биіктігі бастапқы зат ішінде ауыр түйіршіктер көп болған сайын аз, ал көп болған сайын жоғары болуы керек. Әдетте, төсеніш биіктігі оның түйіршіктерінің ең үлкен диаметрінен үш есе артық болуы керек, ал төсеніш үстіндегі қабаттың қалындығы бастапқы зат ішіндегі ең ірі түйіршіктің диаметрінен 20 есе үлкен болуы қажет.

Ортаның тік бағытта қозғалуының (S) заңдылықтары және оның жылдамдығының υ әр уақытта өзгеруі *шөктіру циклімен* сипатталады (5.4-сурет, ә-г). Оны анықтайтындар көтерілу ($t_в$) , үзіліс ($t_ү$) және ортаның төмен түсуі ($t_н$). Тәжірибе жүзінде негізгі циклдер көтерілу жылдамдығының ($\upsilon_в$), төмен ағу жылдамдығының ($\upsilon_н$) - гармоникалық (5.4-сурет, ә) теңдігімен және олардың әрекет ету уақытымен ($t_в=t_н$) сипатталады; Майер циклы (5.4-сурет, в) – ортаның көтерілу, төмен түсуінің тездігімен және үзілістің ұзақтығымен; Берд циклі (5.4-сурет,в) көтерілу жылдамдығының жоғарылығымен, төмен түсу жылдамдығының аздығымен және үзілістің жоқшылығымен ; Томас циклі (5.4-сурет, г) көтерілуінің аз жылдамдығымен, ал төмен түсуінің үлкен жылдамдығымен сипатталады. Цикл элементтерінің ұзақтықтарын өзгерту материалдың тығыздық бойынша бөліну үрдісін реттеуге мүмкіндік береді.

Мысалы, ұсақ жеңіл түйіршіктер, сұрыпталмаған көмірді байытқанда ауыр фракцияға кетпес үшін төмен бағытта қозғалатын ортаның ағымын қысқа мерзімде әрекет ететін циклы қолданылады. Цикл сипаты шөктіру үрдісіне тек ірі материалды шөктіруде қолданылатын ортаның шайқалу жиілігі – 100 мин$^{-1}$ ден төмен болғанда ғана айтарлықтай нәтиже береді.

Ортаның шайқалуының жиілігі мен амплитудасы шөктіруде тек ірілігімен ғана емес, байытылатын заттың тығыздығымен анықталады. Түйіршіктердің максималды диаметрлері мен тығыздығы артқан сайын амплитуда жоғары болуы керекте, ал ортаның шайқалу саны төмен болуы қажет. Шайқалу саны азайған сайын жоғары ағатын ағым жылдамдығы қамтамасыз етіледі, шайқалу амплитудасы, төсеніштің жоғары көтерілуі және оның қопсу дәрежесі өседі. Бірақ шөктіру үрдісінің тұрақтылығы төмендейді, үрдіс өнімділігінің бастапқы заттың ірілігі мен фракциялық құрамының өзгеруіне тәуелділігі

артады. Шайқалу саны өскенде үрдістің тұрақтылығы артады, бірақ төсеніштің қопсу дәрежесі төмендейді. Шайқалу санының қажетті мөлшері қоспадағы ең ірі ауыр түйіршіктердің, қысылысты жағдайда, жоғары бағытталған ағымның жылдамдығында жүзінді түрінде болуымен анықталады. Осы жағдайда ортаның үдеуі ауырлық салмақтың үдеуінен аспайды.

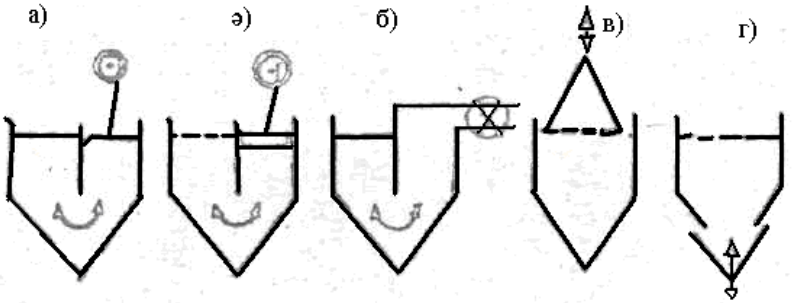
Шөктіру үрдісін сулы ортада реттейтін факторға тор астына берілетін су мөлшері жатады. Ол жоғары ағымның жылдамдығын және төсеніштің қопсуын өсіреді, төменгі ағымның жылдамдығын және ұсақ кластардың тор астына түсуін азайтады, жеңіл фракцияның машинаның шығару табалдырығына қарай қозғалуына көмектеседі. Тор астына берілетін судың шығынын өсіру әдетте, тор астына түсетін өнімнің шығымын азайтады және оның сапасын арттырады, бірақ ауыр минерал түйіршіктерінің ағызындыға кетуін өсіреді; судың шығынын азайту кері нәтижеге әкеледі. Материалдың ірілігі өскен сайын тор астына берілетін судың жылдамдығы өседі, бірақ 0,6 см/с-нен аспауы қажет.

Бастапқы түсетін пульпаның сұйықтығы С:Қ=2:1 ден (массасы бойынша) аспауы керек. Олай болмағанда үлкен жылдамдықты жазық ағын төсеніш үстіндегі қабатты қопсытып түйіршіктердің тығыздығына қарай бөлінуін қиындатады. Судың жалпы шығыны байытылатын зат ірілігі өскен сайын жоғарлайды: кен байытылғанда 3,5-тен 8,0 $м^3$/т дейін, көмір байытылғанда 2,3-тен 6,0 $м^3$/т дейін өседі. Тор астына берілетін су үлесі жалпы шығынның 40–70% құрайды. Оны бермей қою қанағатты нәтиже алуды қиындатады.

5.3. Шөктіру машиналары

Шөктіру машиналарының көп түрі белгілі. Бірақ барлығының жұмыс істеу принципі бірдей. Олардың негізгі айырмашылығы камерадағы су әр қайсысында әртүрлі әдіспен жоғары-төмен қозғалысқа келтіріледі. Осы тұрғыдан олар мынадай түрлерге бөлінеді: диафрагмалы, поршенді (қазір олар шығарылмайды), поршенсіз (ауа қысымымен жұмыс істейтіндер), қозғалмалы торлы және қозғалмалы түпті машиналар (5.5-сурет).

Олардың барлығының негізгі бөлшектері: камера, тор, суды қозғалысқа келтіретін қондырғылар және камера түбінен ауыр фракцияны шығаратын қондырғы. Көп үлгілі машиналардың шығуына себеп болған жай кеннің ірілігін, оның минералдарының тығыздығын және тағы біраз қасиеттерінің ерекшеліктерін барынша ескеру мұқтаждығы болды.



5.5-сурет. Шөктіру машиналарының түрлерінің сызба-нұсқалары:
а – диафрагмалы; ә – поршенді; б – ауалы қозғалмалы;
в – қозғалмалы торлы; г – қозғалмалы түпті

Қазіргі кезде шөктіру машиналардың 90-нан астам құрылымдық түрлері белгілі. Олардың бір бірінен айырмашылығы келесі жайларға байланысты: қолдану орнына, жетек механизімінің және өнім шығарушы қондырғының жұмыс істеу принципіне, шығарған байыту өнімдердің санына.

Машиналар келесі белгілермен сұрыпталынады:

1. Бөліну орталардың түрімен:
   - гидравликалық;
   - пневматикалық;
   - суспензиялық;
   - сумен ауа қосындысы.
2. Жетек механизмінің құрылымымен:
   - поршенді;
   - диафрагмалы;
   - қозғалмалы түптілер;
   - қозғалмалы торлы;
   - қалақша жетекті;
   - гидравликалық пульсаторлы;
   - поршенсіз (ауалы-реттығынды).

3. Шығарылатын өнімнің қозғалу бағытымен:
тік бағытты; теріс бағытты.
4. Байыту өнімдерді шығару әдісімен:
шиберлі шығару;
тор арқылы шығару;
шибермен тор арқылы қиылысты шығару.
5. Сатылар санымен:
бір сатылы (бір камералы); екі сатылы; үш сатылы; көп сатылы.
6. Тағайындалуына қарай:
ірі түйіршікті затты байытуға;
ұсақ түйіршікті затты байытуға;
сұрыпталынбаған затты байытуға;
шламдыларға.
7. Жетекті механизмнің орналасуына қарай:
машина торына көлденең;
ау камерасымен, поршенмен диафрагмамен,
тор астында;
пульсатордың екі тор астында орналасуы;
ау камераларымен тор үстінде орналасуы.

Шөктіру машиналардағы камералар бір пішінді: жоғары бөлегі төрт бұрышты, ал төменгі жағы тайқы, конус тәріздес.

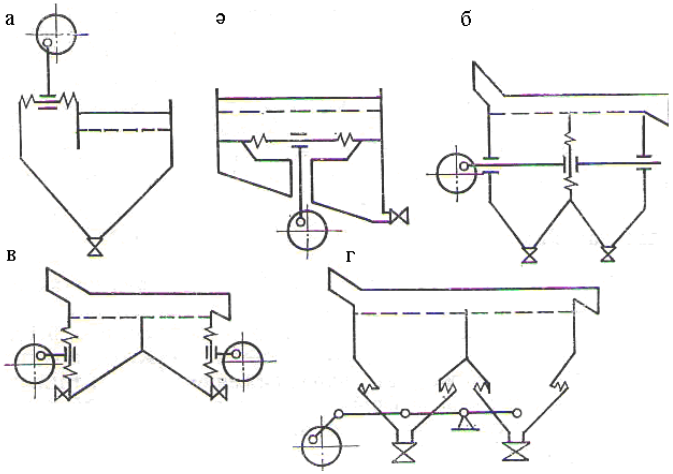
Диафрагмалы және поршенді машиналарда (ал кейде поршенсіз ауамен істейтін машиналарда да) жоғарғы төрт бұрышты бөлек екі бөлімшеге бөлінеді. Ол үшін камераның ұзын бойына оны тура екіге бөлетін қалқа орнатылған. Оның төменгі шеті тор деңгейінен төменірек орналасқан (5.5-сурет а, ә, б). Тор осы қалқамен камераның қабырғасы арасында орнатылған. Бұл бөлімшені торлы бөлімше деп атайды. Екінші бөлімшеге диафрагма, не поршень, не ауа түсетін кеңістік орналасады.

Диафрагмалы және поршенді машиналарда суды қозғалысқа келтіру әдісі бірдей. Екеуі де айналмалы білікке эксцентрліктілі орналасқан бұлғақ (шатун) және онымен қосатын соташық (шток) арқылы тербетілу қозғалысына келтіріледі. Диафрагма жұқа темірден жасалынады. Ол қабырғалармен созылғыш резеңкемен қосылған. Олар төмен түскенде су қысым әсерімен екінші бөлімшеде көтеріледі. Ал жоғары шыққанда су төмен түседі.

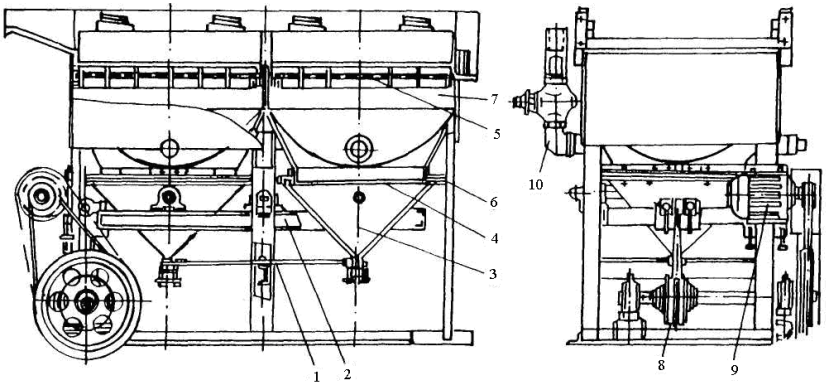
Диафрагмалы машиналар (МОД) ұсақ материалға, ал поршенді және басқалары ірі материалға қолданылады. Сондықтан диафрагманың жүріс қашықтыгы өте аз (2–10 мм), бірақ тербелу жылдамдығы жоғары. Диафрагманың жүріс қашықтығы эксцентрицитет өзгерту арқылы реттеледі. Эксцентрицитет деп айналмалы білік өсімен оған орнатылған айналмалы бұлғақ (шатун) өсінің аралығындағы қашықтықты айтады.

Қазіргі кезде диафрагмалары басқаша орнатылған машиналарда бар. Мысалы ол камераның көлденең қабырғаларына, не екі аралық қабырғаға және басқашада орналасуы мүмкін (5.6-сурет).

Қозғалмалы түпті машинасы МОД–2 (5.7-сурет) және МОД–1, МОД–3 машиналары ірілігі 15 мм дейін кендерді байытуда қолданылады. Машина екі камерадан тұрады. Әр камераның астынғы жағы қозғалмалы конусты оймышқа (воронка) 3 резиналы сақиналы диафрагмамен 6 және цилиндрлы тоғындымен жалғасқан. Оймыштар топсалы түрде күйентелі рамаға 2 бекітілген және бір-бірімен серіппелі рессора 1 арқылы жалғасқан. Күйентелі рама тербелісті қозғалысты электрқозғалтқыштан 9 арнаулы беріліс механизімі 8 арқылы алады. Қозғалыс жиілігі 130–265 мин$^{-1}$, ал оның амплитудасы 40 мм құрайды. Амплитуда мөлшерін реттеу эксцентрикті механизмнің эксцентриситетін өзгертумен (2–18 мм аумағында) оның айналу жиілігі – электрқозғалтқыштың біліктілігіндегі шкивті ауыстырумен жүргізіледі. Жұмысшы камераларда торлар 5 орнатылған, олардың бетіне төсеніш салынады, оның қалыңдығы байытылатын зат ірілігіне тәуелді болып келеді. Тор астындағы су камераларға коллектор 10 арқылы беріледі. Кен төсеніш қабатына түсіріледі. Ауыр фракциялар бірінші камераның конустық бөлегінен, екіаралық өнім–екінші камераның конустық бөлегінен шығарылады, жеңіл түйіршіктер ағызындымен бірге табалдырықтан асып шығады. МОД–2 машинаның өнімділігі 25 т/сағ құрайды.



5.6-сурет. Диафрагмалы шөктіру машиналарының сызба-нұсқалары: *а – диафрагма бүйірде орналасқан; ә – диафрагма тор астында орналасқан; б – диафрагма қалқада тік орналасқан; в – диафрагма сыртқы қабырға бетте тік орналасқан; г – қозғалмалы конустық түптерде*



5.7-сурет. Диафрагмалы шөктіру машинасы МОД-2: *1 – серіппелі рессор; 2 – күйенте (коромысло); 3 – конусты оймыш; 4 – цилиндрлі тоғынды; 5 – торлар; 6 – диафрагма; 7 – тұрқы; 8 – эксцентрикті механизм; 9 – электрқозғалтқыш; 10 – коллектор*

Жалпы диафрагмалы машиналардың өнімділігі шамалы (40 т/сағ аспайды), сондықтан олар көбінде драгаларда және өнімділігі төмен фабрикаларда қолданылады.

Диафрагмалы шөктіру машиналарының техникалық сипаттамалары 5.1-кестеде келтірілген.

5.1-кесте

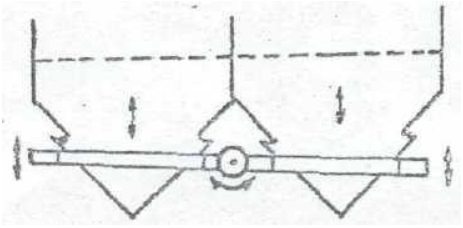
Диафрагмалы шөктіру машиналарының техникалық сипаттамалары.

Параметрлері	ОВМ-1	МОД-1	МОД-2	МОД-3	МОД-4	МОД-6
Өнімділік, т/сағ	4-ке дейін	6	10(25)	14(30)	17-ге дейін	30-39
Тор аудандары, $м^2$	0,18	1	2	3	4	9,4
Камера саны	2	1	2	3	4	6
Шайқалу амплитудасы,мм	16-ға дейін	40-қа дейін	40-қа дейін	40-қа дейін	50-ге дейін	3-16
Шайқалу саны 1 мин	400;565; 610;850	130; 165; 206; 258; 310; 350	130; 196; 236	168; 294; 348	130; 350	260; 290; 320
Кен ірілігі, мм	3-ке дейін	0,5-тен–15-ке дейін	0,5-тен–15-ке дейін	0,5-тен–15-ке дейін	3,0-тен–16-ке дейін	0,1-ден–2,0-ге дейін
Камера өлшемі, мм	300x300	1000x1000	1000x1000	1000x1000	1000x1000	1250x1250
Электрқозғалтқыш қуаты, кВт	0,6	1,1	2,2	2x2,2	2x2,2	3x2,8
Габарит өлшемдері мм:						
ұзындығы	1220	1850	2450	3750	3196	4850
ені	646	1000	1260	1260	2432	3260
биіктігі	1000	1805	2000	2000	1650	2570
Массасы, кг	240	891	1460	2445	2600	10000

Қозғалмалы түпті машиналар (5.8-сурет) шын мәнісінде диафрагмалы машиналардың бір түріне жатады. Оларда диафрагма ролін тұрқының конусты түбінің төменгі жартысы атқарады. Конусты түп тік бағытта екіге бөлінген. Түпкі бөлігі жоғарғы бөлігімен резеңке арқылы жалғасқанда төрт бұрышты рамаға орнатылған. Рама оның ортасына орналасқан арнаулы қондырғы арқылы тербету қозғалысына келтіріледі. Раманың бір басы көтерілсе, екінші басы төмен түседі. Рама көтерілгенде конусты түп бірге қозғалып суды жоғары көтереді. Қайта төмен түскенде суда сол бағытта қозғалады, сөйтіп тербеліске келеді. Камера саны алтыға дейін жетеді.

Диафрагмалық шөктіру машиналары ұсақ сеппелі, яғни байытылу алдында ірілігі 3–5 мм-ге дейін ұсатылатан кендерді (қалайы, вольфрам, алтын, сирек кездесетін металдар кендері және т. б.) байытуға қолданылады.

Ірі кесекті қазбаларды (сеппелік дәрежесіне қарай олар байытылу алдында 5–50 мм-ге дейін, ал көмір болса 100–150 мм-ге дейін ғана ұсатылады) байыту үшін ең жиі қолданылатындар ауа қысымы әсерімен жұмыс істейтін машиналар ОМШ, ОМ, ОМК және басқалары. Олардың құрылымдары әртүрлі. Негізгі айырмашылықтары – суды жоғары бағытта көтеретін қысыммен түсетін ауаның камераға түсу жолы.



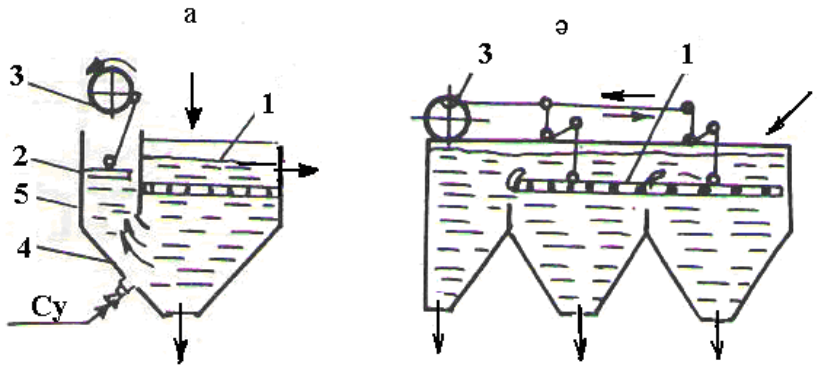
5.8-сурет. Қозғалмалы түпті шөктіру машинасының сызба-нұсқалық көрінісі.

Кейбірінде ауа 5.5-суретте керсетілгендей бүйірде орналасқан бөлімшеге түседі, ал кейбірінде камера бірғана бөлімнен тұрады да ауа тор астына орналасқан ұяларға түседі. Ауа қысымы 15–40 кПа жетеді және арнаулы реттығынды қондырғы (пульсатор) аркылы үзілісті түседі. Үзіліс аралығы тәжірибе жүргізілу нәтижесінде анықталады. Реттығын (золотник) ашылып ауа түскенде ол суды қысып жоғары көтереді, ал жабылған кезде қысым атмосфералық шамаға дейін азайып су деңгейі бұрыңғы орнына келеді.

Ауа қысымын жеткілікті және кең шекте өзгертуге болатындығына байланысты бұл машиналар өте өнімді. Кен түсетін тор ауданы 24–32 м^2 етіп жасалса өнімділік сағатына 1000 тоннаға дейін жетеді. Бұл машиналар кең шекті ірілікке (кен байытылса 5–50 мм, ал көмір байытылса 5–150 мм) бейімделген. Соның нәтижесінде қазір көптеген қазба байлық түрлерін байытуда қолданылады.

Поршенді шөктіру машинасы (5.9-сурет, а), өнімділігі 1,0–8,0 т/сағ ірі және орташа ірілікті кен және көмірге қолданылады. Олар әр қайсысы түбіне жетпейтін қалқашалармен 5 екі өзара қатнасатын бөлімшелерге бөлінген екі, үш, не төрт камералардан 4 тұрады. Жинағыш бөлімінде тор орналасқан 1, соның үстінде материал тығыздығына қарай бөлінеді. Судың шайқалуы (100–300 мин$^{-1}$) поршен бөліміндегі поршенмен 2 іске асады. Поршеннің жоғары-төмен қозғалуы және судың шайқалу амплитудасы (40–80 мм) эксцентрикті механизммен 3 орындалады.

Қозғалмалы торлы машиналарда камерадағы су қозғалмайды, ал тор арнаулы механизммен жоғары-төмен қозғалысқа келтіріледі. Тор төменгі бағытта қозғалғанда түйіршіктер судың көтеруі әсерімен жоғары көтеріледі, ал тор жоғары бағытта қозғалғанда түйіршіктер төмен құлайды. Осы тұрғыдан бұл машиналарды басқалармен салыстырсақ судың түйіршіктерге тигізіу әсерінде еш өзгеріс жоқ.



5.9-сурет. Шөктіру машиналардың сызба-нұсқалары:
а – поршенді; ә – қозғалмалы торлы

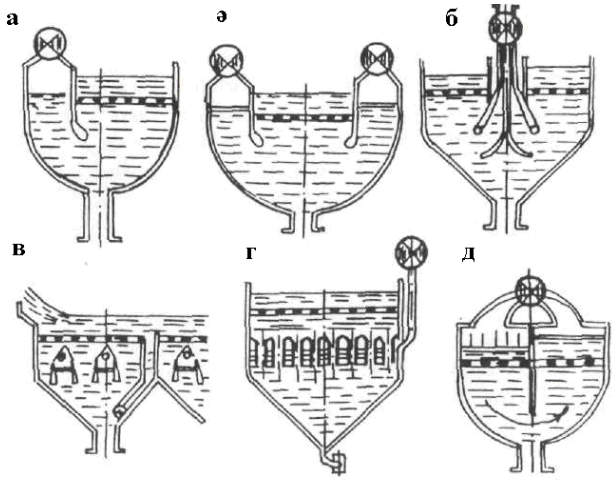
Қозғалмалы торлы шөктіру машинасының (5.9-сурет, ә), өнімділігі 25т/сағ жетеді. Олар ірі және орташа ірілікті (3–40 мм) жуылған жез және темір кендеріне қолданылады. Әдетте екі, үш және төрт секциялы торлардан 1 (жұмыс ауданы 2,9–4,0 мм) тұрады. Қозғалыс (10–80 мм) эксцентрикті механизм

арқылы 3 орындалып, жоғары және төмен ағымды тудырады (шайқалу саны минутіне 180-ге жетеді). Материалдың тор бойымен жылжуына корабтың көлбеулігі (~5) және тор бөліктерінің баспалдақтары болуы мүмкіндік тудырады. Қазіргі кезде поршенді және қозғалмалы торлы машиналар шығарылмайды. Олардың орнына фабрикаларда поршенсіз не үзілімді ауалы және диафрагмалы машиналар шығарылады. Олардың үлесті өнімділіктері жоғары және су мен энергия шығыны аз.

Поршенсіз не үзілімді ауалы машиналар (5.10-сурет) көмір, марганец және темір кендерін байыту үшін кеңінен қолданылады. Оларда су ағымының жоғары-төмен қозғалуы үзілімді қысыммен машинаның ауалы бөліміне берілетін ауа арқылы орындалады. Ауаның үзілімді берілуі арнаулы роторлы не клапанды типті реттығынды қондырғылармен іске асады. Олардың көмегімен қажетті шөктіру циклін тудыруға, циклдің жиілігін және ортаның шайқалу амплитудасын реттеуге болады. Шайқауға қажетті ауаның қысымы 0,025–0,06 МПа құрайды. Материалдың қабаттарға бөлініуін реттеу үшін бұларда да тор астына су беріледі.

Шөктіру машиналары ауалы камералардың орналасуына қарай бүйірлі (5.10-сурет, а-б) тор асты (5.10-сурет, в-г) және тор үсті (5.10-сурет, д) поршенсіз болып бөлінеді. Біріншілерінде үзілімді ағымның шөктіру торының ауданына біркелкі жылдамдығын тудыру үшін ауалы және шөктіру бөлімдерінің арасындағы қалқаншалар шетіне гидравликалық айналушы өтпеліктер (обтекатели) қойылған, екіншілерінде машинаның ағымды бөлімі әртүрлі қиынды каналдарға бөлінген.

Қазіргі кездегі шөктіру машиналары тура ағымды, екі және үш сатылы болып шығарылады. Олар бастапқы затты машинаның бүтіл көлденеңін қамти біркелкі бөлініп түсірілуі үшін арнаулы түсіріш қондырғымен жабдықталған. Сол сияқты оларда көмірді 0,5 мм класы бойынша шламсыздандырып және тасымалдау суының белгілі бөлегін шығарып тастауға, ауыр өнімді шығаруға арналған автоматты қондырғымен жабдықталған. Көмірді байыту үшін шөктіру аудандары 8,12,18,24 $м^2$ және өнімділіктері 650 т/сағ жететін машиналар қабылданған.



5.10-сурет. Ауалы қозғалмалы шөктіру машиналарының принципті сұлбалары:
а – ауалау камерасы бұйірде орналасқан; ә – ауалау камерасы екі жақты бұйірде орналасқан; б – қосақты орталық камералы; в – ауалау камералары тор астында; г – сұғындырмалы камералар тор астында; д – ауалау камерасы тор үстінде және әрекеті екі жақты машиналар

Ауалы камералалары бүйірден орналасқан ТМД-да шығарылатын машиналарының ішіндегі ең жетілдірілген түрлері: ОМК типті машиналар (5.10-сурет, а, ә), өнімділіктері 120–130 т/сағ, бұлар ұсақ көмір байытуға қолданылады; ОМШ–үлкен шекте сұрыпталған және ірі көмірге арналған өнімділіктері 160–240 т/сағ және ОПМ22–ОПМ25 ірілігі 4 мм дейін ұсақ кенді байытуға қолданылады. Олардың өнімділіктері 40–75 т/сағ, ал Францияда ірілігі -10+0,5 мм кен заттарын шөктірумен байытуда «ПИК» фирмасы шығаратын шөктіру машиналарының өнімділігі 100т/сағ дейін жетеді. Осындай машиналар Германиядағы «Ведаг» және «Клекнер-Гумбольдт-Дейц» фирмаларында шығарылады.

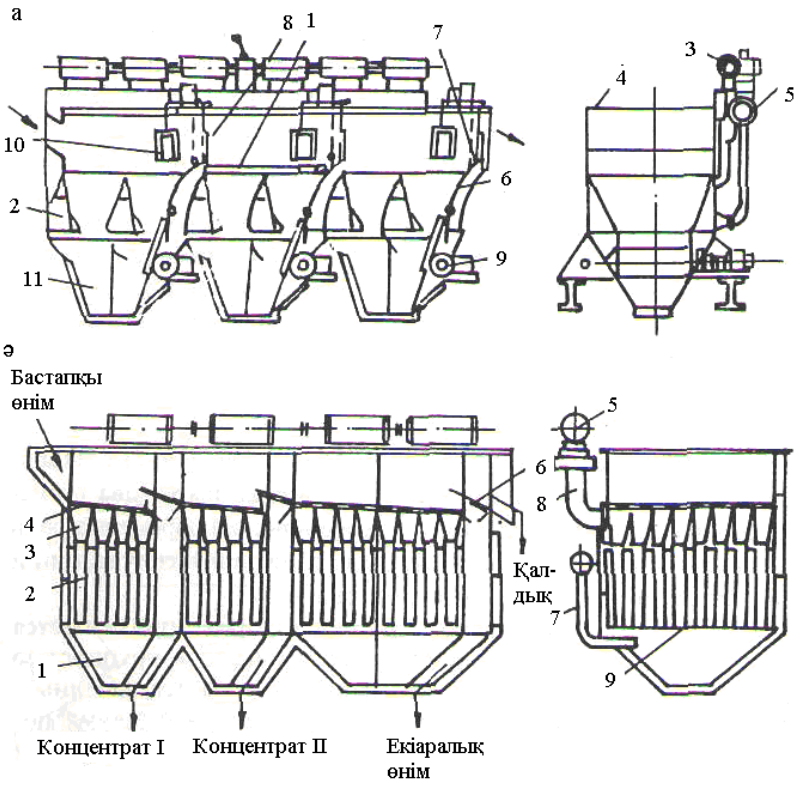
Аталған шөктіру машиналардың ең негізгі кемшілігі болып саналатыны: судың тор бетіндегі шайқалуы біркелкілі болмауында, соның әсерінен шөктіру үрдісінің тиімділігі төмендейді.

Ауа камералары тор астында орналасқан шөктіру машиналарында заттың тығыздық бойынша бөлінуі жоғары дәрежеде жүргізіледі, тор астынан берілетін сумен ауа шығыны төмендетіледі, шайқалмалы су массасы және құрастырылған конструкцияға әсер ететін динамикалық жүктеме азаяды, шөктірудің жұмысшы ауданы және шөктіру машинасының өнімділігі едәуір өседі (5.10-сурет, в,г). Өйткені осы конструкцияда сумен ауаның қозғалу жылдамдықтарының өрісі машинаның екі бойында біркелкілі болуына байланысты. Осындай машиналар қазіргі байыту фабрикаларында негізінде қолданыс тапқан. Коксителінетін және энергетикалық негізінде пайдаланатын көмірлерді байытқанда негізінде ОМ түрлі (5.11-сурет, а); кендерді байытқанда- МОБ түрлі (5.11-сурет, ә) машиналар қолданылады

ОМ–8 шөктіру машиналары үш сатыдан тұрады. Олардың жалпы тор аудандарының үлесі негізінен 8,12,12 және 24 $м^2$ құрайды, өнімділігі (бастапқы өнім бойынша) 80–120 дан 240–650 т/сағ дейінге жетеді. Байытылатын өнімдегі бос жыныс және екіаралық фракциялардың үлесіне қарай және оларды жеке бөліп алуға қарасты бір немесе екі сатылы машиналар қолданылады. Егерде қажет болатын болса екіаралық өнімді айналмалы жүк ретінде қайтадан бастапқы өнім түрінде машинаға жіберіледі. Айналмалы жүкті алдын-ала ұсатпай немесе қажетті ірілікке дейін ұсатып беруге болады.

ОМ түрлі машиналар (5.11-сурет, ә) табиғи немесе жасанды төсеніште торлармен 1 жұмыс істей алады, торлардың астында доғалы су-ауалы камералар 2 орналасқан, олардың әрбіреуі бір ауалы пульсатормен 3 жалғасқан. Шөктіру машинасының тұрқына 4 тордың астынан су беру коллектор 5 арқылы атқарылады. Сатылардың әрбіреуінің шеткі соңына қарай зат шығарылатын камера 6 орнатылған, соңғысы айналмалы 7 және тік орналасқан 8 шиберлермен жабдықталған, камераларда роторлы жүк түсіргіш құрылғылар 9 орнатылған. Ротордың айналу жиелігі автоматты түрде реттеледі және ол төсеніштегі ауыр фракцияның деңгейіне тәуелді боп келеді және оның айналу жиелігі арнаулы датчик 10 арқылы есептеледі. Егерде ауыр фракцияның шығарылуы жасанды төсеніштен ұйымдастырылса, онда шығару үдемелігі автоматты түрде ауа

камераларына берілетін ауа мөлшерін реттеумен жүргізіледі. Берілген ауа мөлшерін реттеу арқылы толқу амплитудасын (130 мм дейін) және төсеніштің қопсу дәрежесін технологияға сай өзгертуге болады.



5.11-сурет. Шөктіру машиналары ОМ–12(а)
және МОБК–8С (ә)

Бос жыныс (порода) және екіаралық фракция машинадан арнаулы оймыш құймаларынан шығарылып, содан сусыздандырушы элеваторлармен керекті жерге жеткізіледі.

ОМ машиналары әртүрлі іріліктегі (0,5-тен 125 мм дейінгі) көмірлерді байытуда жақсы көрсеткіштерді береді. Концентратқа бос жынысты фракциялардың бөлінбей өтіп

кеткен мөлшері 0,2–0,5 % құрайды; жеңіл фракциялардың қалдықтағы үлесі 0,3–0,5 % аспайды.

Кендерді байытуда ОПМ–13 және ОПС–13 машиналары кеңінен қолданылады: ұсақ (4 мм-ге дейін), ал екіншісі орташа ұсақты (30 мм-ге дейін) заттарды өңдеуде пайдалынылады.

Ірілігі (4–60 мм) заттарды байытуда өнімділігі (70–120 т/сағ) құрайтын МОБК–8С шөктіру машиналары шығарылады (5.10-сурет, ә). Машина үш жұмысшы камералардан 1 және олардың ішінде орнатылған торлардан 4 тұрады. Камералар бөлімінде біркелкі болып құбырлармен 2 диффузорлар 3 орнатылған, олардың пішіні кесінді конустар болып келеді. Диффузорлар машинаның торымен қабысқан. Диффузорлар табандары тесіктелінген темір бетімен жалғасқан. Тесіктердің диаметрі келте құбыр диаметрлеріне сәйкес келеді, соңғылары құбырлармен жалғасқан. Қысыммен берілген ауа пульсатор 5 мен келте құбырлар 8 арқылы құбырлар аралығына 9 түсіп, ауа камерасын құрайды. Қысымды ауа құбыр аралығындағы су құбырлармен төмен түсіп және көшіріліп соның нәтижесінде тор бетінде тік бағытта шайқалмалы ағын туғызады. Құбыр аралығынан ауа отмосфераларға шығарылса, онда судың жүрісі керісінше болады. Тор астындағы су камераларына коллектордан келте құбырлар арқылы беріледі.

Кен шөктіру машинасының торларына көлбеу болып орналасқан науа арқылы беріледі. Ауыр заттар камерадан жырықша 6 арқылы шығарылады. Жеңіл фракция ағызындымен бірге табалдырықтан асып шығады. Ауыр және екіаралық фракциялар машинадан шөмішті сусыздандырушы элеваторлармен шығарылады.

Жұмыс істеу әрекеті екі жақтылы машиналарда (5.10-сурет, д) ауа камерасы тор бетінде орналасқан және ол бір-бірімен қатыспайтын жабық екі бөлімшелерге бөлінген. Бөлімшелер бірдей шөктіру және ауалау ролін атқарады. Машинаның пайдаланымы өте күрделі, сондықтан ол айтарлықтай қолданыс тапқан жоқ.

5.4. Шөктіру машиналардың негізгі параметрлері

Шөктіру машиналардың негізгі параметрлеріне жататындар: диафрагманың немесе поршеннің жүріс

қашықтығы мен шайқалу саны (судың шайқалу амплитудасы және шайқалу жиілігі), ағызынды табалдырығының биіктігі, шөктіру камерасының ұзындығы, өнімділік.

Жүріс қашықтығы және шайқалу саны. Шөктіру машинасында жоғары бағытталған су ағынының жылдамдығы V_{max} диафрагманың (поршеннің) шайқалу санымен жүріс қашықтығының көбейтіндісіне тура пропорционалды.

Төсеніш бетіндегі заттарға әсер ететін судың жоғары бағытта қозғалу уақыты шайқалу саны өскен сайын төмендейді

$$t = \frac{60}{2n} = \frac{30}{n} сек, \qquad (5.1)$$

мұндағы n – диафрагманың минуттегі шайқалу саны.

Зат түйіршіктерінің лүпілдеуіне (пульсирование) қажетті диафрагманың жүріс қашықтығының қандай мөлшерде басталатындығын келесі теңдеуден табуға болады:

$$\frac{30}{n} = \frac{h_q}{\upsilon_{ст}},$$

бұдан

$$h_q = \frac{30\upsilon_{ст}}{n}, \qquad (5.2)$$

мұндағы h_q – диафрагманың қозғалыс қашықтығы;

$\upsilon_{ст}$ – түйіршіктердің қысылмалы қозғалу жылдамдығы.

Мысал: Түйіршіктердің ірілігі 3 мм құрайтын қалайы кендерін байытуда диафрагманың қозғалу қашықтығын анықтау. Анықтау алдында ескерілетіні: бос жыныс минералдарының (кварц, тығыздығы 2650 кг/м^3) жүзгіндеуі мына жылдамдықта жүреді $\upsilon_{ст}$ = 0,09 м/сек және диафрагманың шайқалу саны n = 250 минутына тең.

Есептеумен диафрагманың қозғалыс қашықтығын табамыз

$$h_q = \frac{30\upsilon_{ст}}{n} = \frac{30 \cdot 0{,}09}{250} = 0{,}011 м \ .$$

Диафрагманың шайқалу саны шамадан тыс асса, онда оның жүріс қашықтығы азаяды да, минерал түйіршіктері нашар қопсиды. Сондықтан минерал түйіршіктерінің бөлінуі шайқалу саны шеттік мөлшерден асса, нашар жүреді және байыту көрсеткіштері төмендейді.

Зерттеулер кен түйіршіктерінің әр түрлі іріліктегі жүзгіндеуі (қопсуы) диафрагманың келесі жүріс қашықтықтарында тоқталатынын көрсетті.

Кен түйіршіктерінің ірілігі, мм 0,5–1; 1–1,5; 1–2; 2–3;

Түйіршіктердің жүзгіндеуі жүрмейтін диафрагманың жүріс қашықтықтары, мм ..... <1; <1,5; <2; <3

Ірілігі 2–3 мм кен түйіршіктері диафрагманың кез-келген шайқалу санында және жүріс қашықтығы <3 мм болғанда шөктіру машинасының торынан көтерілмейді. Одан ұсақ түйіршіктер, мысалы ірілігі 0,5–1 мм, диафрагманың жүріс қашықтығы 1 мм-ден аспаса, оларда тор бетінен көтерілмей, тек қана екшеленеді.

Ағызынды табалдырығы заттың машина торының үстіндегі (жүзгіндеу жоқ кезіндегі) биіктігін анықтайды. Жүзгіндеу кезінде заттың жеңіл бөлігі ағызынды табалдырығының деңгейінен аса көтеріліп сумен ағып кетеді, ал заттың жаңадан келіп түсіп жатқан үлесі машинадағы төсеніш қабатының биіктігін белгілі деңгейін қалыптастырады.

Төсеніш материалына астына әрекет ететін судың жоғары ағымының күшін көтеру күші деп атайық. Бұл күш шөктіруге жеткілікті, егер материал қабаттарына белгілі уақыт аралығында лүпіл әсерін тигізсе. Соның нәтижесінде минерал түйіршіктері белгілі мөлшерде қозғалысқа келіп және тік бағытта лүпілдің әрекет уақытында нөлдік шамасынан ақырғы қажетті шамаға дейін көтерілетін жылдамдығы болуы қажет.

Минерал түйіршіктерінің размерлері және тығыздықтары әртүрлі болғандықтан, жоғары көтерілетін судың ағымынан лүпіл алып, олар тік бағытта әртүрлі ақырғы жылдамдыққа жетеді. Түйіршіктер сол жылдамдықтарымен тор үстінде көтеріліп, ауырлық салмағы әсерінен, сол сияқты ортаның кедергісімен және қоршаған түйіршіктердің әсерінен энергияларын жоғалтады. Соның нәтижесінде белгілі биіктікке

жеткенде түйіршіктердің қозғалу жылдамдығы нөлге тең болады.

Түйіршіктерді айналып өткенде әрекет ететін су ағынының жылдамдығы мына айырмашылыққа тең

$$U - \vartheta_{ст},$$

мұндағы U – судың жоғарғы ағынының жылдамдығы;

$\vartheta_{ст}$ – қысыла шөгу кезіндегі түйіршіктің шөгу жылдамдығы.

Су ағынының түйіршіктер қабатына тікелей әрекет ететін күші

$$F\frac{\left(U_{\max} - \vartheta_{ст}\right)^2}{2g}\Delta.$$

dt уақыт ішінде түйіршіктер қабатына бұл күш беретін импульс шамасы

$$F\frac{\left(U_{\max} - \vartheta_{ст}\right)^2}{2g}\Delta dt. \qquad (5.3)$$

Импульс әрекетімен түйіршіктер қабаты қосымша қозғалыс алады

$$HF\frac{\theta(\rho - \Delta)}{g}d\vartheta_{ст}, \qquad (5.4)$$

мұндағы F – шөтіру торының ауданы;

$U_{\max}$ – жоғары су ағымының тор үстіндегі жылдамдығы;

$\vartheta_{ст}$ – қысыла шөгу кезіндегі түйіршіктің шөгілу жылдамдығы;

ρ – түйіршіктің тығыздығы;

Δ – су тығыздығы;

H – шөктіру торы үстіндегі түйіршіктер қабатының қалыңдығы;

θ – материал қабатының қопсу коэффициенті.

(5.3) және (5.4) мәндерін теңестіріп мынаны аламыз

$$F\frac{\left(U_{\max}-\vartheta_{cm}\right)^2}{2g}\Delta dt = HF\frac{\theta\left(\rho-\Delta\right)}{g}d\vartheta_{cm}. \qquad (5.5)$$

Өрнекті өңдеу нәтижесінде төмендегідей дифференциалды теңдеу алынады:

$$\frac{\Delta dt}{2H\left(\rho-\Delta\right)\cdot\theta} = \frac{d\vartheta_{cn}}{\left(U_{\max}-\vartheta_{cm}\right)^2}. \qquad (5.6)$$

(5.6) теңдеуді интегралдау нәтижесінде

$$\frac{\Delta t}{2H\left(\rho-\Delta\right)\cdot\theta} = \frac{1}{\left(U_{\max}-\vartheta_{cm}\right)} + C.$$

ϑ_{cm} = 0, t = 0 болғанда

$$C = -\frac{1}{U_{\max}},$$

мұнда С – жылдамдық коэффициенті м/сек.

Алдыңғы теңдеуге С мәнін қойсақ, алынады:

$$\frac{0{,}5\Delta t}{H\left(\rho-\Delta\right)\theta} = \frac{1}{\left(U_{\max}-\vartheta_{cm}\right)} - \frac{1}{U_{\max}} = \frac{\vartheta_{cm}}{U_{\max}\left(U_{\max}-\vartheta_{cm}\right)}.$$

Осыдан жоғары су ағынында жүзгінделетін материал қабатының, сол сияқты табалдырық биіктігін (Δ=1000 кг/м^3) табамыз

$$H = \frac{500\cdot tU_{\max}\left(U_{\max}-\vartheta_{cm}\right)}{\vartheta_{cm}\left(\rho-1000\right)\cdot\theta}. \qquad (5.7)$$

Мысал. Тығыздығы 2650 кг/м^3 және ірілігі 2,5 мм-ден төмен кенді байыту үшін шөктіру машинасының табалдырығының ең аз қажетті биіктігін табу.

h = 1 см болғанда, ($U_{\max} = \frac{\pi nh\cdot Sin\alpha}{60}$) өрнек бойынша, шайқалу саны минутіне 250 болғанда

$$U_{\max} = \frac{\pi n h \sin\alpha}{60} = \frac{3{,}14 \cdot 250 \cdot 1 \cdot 1}{60} = 14{,}4 \text{ см/сек},$$

немесе 0,144м/сек

Төсенішке су ағынының әрекет уақытын табамыз

$$t = \frac{30}{n} = \frac{30}{250} = 0{,}12 сек.$$

Зерттеулермен анықталған ең ірі түйіршіктің қысыла шөгу жылдамдығы

$$\vartheta_{ст} = 0{,}07 \text{ м/сек}$$

Қопсу коэффициенті орташа θ=0,6. Табалдырықтың ең аз биіктігі (5.7) өрнек бойынша

$$H = \frac{500 \cdot t U_{\max}\left(U_{\max} - \vartheta_{ст}\right)}{\vartheta_{ст}\left(\rho - 1000\right)\theta} = \frac{500 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}144 \cdot \left(0{,}144 - 0{,}07\right)}{0{,}07\left(2650 - 1000\right) \cdot 0{,}6} = 0{,}02 \text{ м}$$

Тығыздығы 1350 кг/м^3 және ірілігі 0,5 – 13 мм көмір үшін шайқалу саны n = 85 мин және h = 6,2 см болғанда

$$U_{\max} = \frac{3{,}14 \cdot 85 \cdot 6{,}2 \cdot 1}{60} = 27{,}6 \text{ см/сек} = 0{,}276 \text{ м/сек}$$

$$\vartheta_{ст} = 10{,}0 \text{ см/сек}=0{,}1 \text{ м/сек} \quad t = \frac{30}{85} = 0{,}353 \text{ сек}$$

Табалдырықтың ең аз биіктігі

$$H = \frac{500 \cdot 0{,}353 \cdot 0{,}276\left(0{,}276 - 0{,}1\right)}{0{,}1\left(1350 - 1000\right) \cdot 0{,}6} = 0{,}408 \text{ } м \text{ немесе } 408 \text{ } мм$$

Кен материалын төсеніш ретінде ауыр металды бытыра қолданып шөктіруде табалдырық биіктігі магнитті төсеніш қолданғаннан көрі төменірек болады. Шөктіру машиналарды пайдалану тәжірибесі төсеніш материалы шар тәріздес пішінді

болса төсеніш биіктігі үлкенірек болуы қажеттігін көрсетті. Бұл жағдайда төсеніш қопсылануы үлкейеді, сондықтан оның биіктігі жоғары болуы қажет. Тығыздығы аз материал байытылғанда табалдырық биіктігі үлкенірек тығыздықты материалмен салыстырғанда үлкен болуы қажет. Себебі жоғары ағымды судың көтеру күші бірдей болғанда байытылатын кеннің қабатының биіктігі бірінші (аз тығыздықты) жағдайда үлкейтілуі қажет.

Судың лүпіл жиілігі. Минерал түйіршіктерінің суда жүзгінді күйде болуын қамтамасыз ету үшін судың жоғары ағымының ең үлкен жылдамдығы (U) шөктіру машинасының торы үстінде ең үлкен ауыр түйіршіктің қысыла шөгу жылдамдығына тең не одан үлкенірек болуы қажет:

$$U \geq \vartheta_{ст}. \tag{5.8}$$

$$U = C \cdot \sin\varphi.$$

Бұл мәнді (5.8) өрнекке қойсақ шығады:

$$\vartheta_{ст} \leq C \cdot \sin\varphi,$$

бұдан

$$\sin\varphi \geq \frac{\vartheta_{ст}}{C}. \tag{5.9}$$

Кен түйіршіктері диафрагма не поршенді қозғалысқа келтіретін эксцентрикті 1/8 айналысқа бұрғанда суда жүзгінді күйде болуға тиісті, демек

$$\varphi = \frac{2\pi}{8} = \frac{\pi}{4}. \tag{5.10}$$

φ мәні (5.9) өрнекке қойсақ, алынады

$$\frac{\vartheta_{ст}}{C} \leq \sin\frac{\pi}{4},$$

не

$$\frac{\vartheta_{ст}}{C} \le 0{,}7. \qquad (5.11)$$

$C = \frac{\pi n h}{60}$ болғандықтан $\frac{\vartheta_{ст} 60}{\pi n h} \le 0{,}7,$

осыдан $$n = 27{,}3\frac{\vartheta_{ст}}{h}.$$

Осы өрнекпен байытылатын материал ірілігіне байланысты лүпілдің ең аз санын осы өрнекпен анықтауға болады.

Мысал. Ірілігі 0,3 мм-ден кіші, ең ірі түйіршіктің қысыла шөгу жылдамдығы $\vartheta_{ст}$ = 0,01 м/сек және қозғалу қашықтығы h = 0,001 м болғанда кен материалын байытуға қажетті лүпіл санын анықтау қажет.

(5.12) өрнек бойынша табамыз

$$n \ge 27{,}3\frac{0{,}01}{0{,}001}, \text{ не } n \ge 273 \text{ лүпіл бір минутта.}$$

ірілігі 1 мм-ден аз түйіршікке, $\vartheta_{ст}$ = 0,03 м/сек және h = 0,004 м болса

$$n \ge 27{,}3\frac{0{,}03}{0{,}004}, \text{ не } n \ge 218 \text{ лүпіл бір минутта.}$$

ірілігі 0,5-12 мм көмірге, $\vartheta_{ст}$ = 0,1 м/сек және h = 0,035 м болса

$$n \ge 27{,}3\frac{0{,}1}{0{,}035}, \text{ не } n \ge 76 \text{ лүпіл бір минутта.}$$

ірілігі 12-80 мм көмірге, $\vartheta_{ст}$ = 0,25 м/сек және h = 0,12 м болса

$$n \ge 27{,}3\frac{0{,}25}{0{,}12}, \text{ не } n \ge 57 \text{ лүпіл бір минутта.}$$

Шөктіру камерасының ұзындығы. Оның ұзындығын анықтау үшін алдымен судағы минерал түйіршіктері үшін қажетті лүпіл саны анықталады. Ол ең ауыр түйіршіктердің

жоғары қабаттардан төменгілерге, ал жеңілдерінің төменнен төсеніштің жоғары қабатына шығуын қамтамасыз етуі тиіс.

Түйіршіктер бірқалыпты жылдамдықпен қозғалысы кезіндегі төменгі ағымды судағы жолы төменгі өрнекпен анықталады

$$S_H = tU_{\max} - t(U_{\max} - \vartheta_{ст}),$$

мұндағы $U_{\max}$ – су ағынының ең жоғарғы жылдамдығы;

$\vartheta_{ст}$ – түйіршіктердің қысыла шөгу жылдамдығы.

Бұдан шығады $S_H = t \cdot \vartheta_{ст}$,

мұндағы t – диафрагма не поршеннің жүріс уақыты, демек

$$t = \frac{60}{2n} = \frac{30}{n}.$$

Түйіршіктің судың жоғары ағынында жүру жолы

$$S_в = t(U_{\max} - \vartheta_{ст}). \qquad (5.14)$$

Бос жыныс түйіршігі төсеніштің бір қозғалымында мынадай биіктікке көтеріледі

$$S = S_в - S_н \qquad (5.15)$$

Размеры < 0,3 мм кен минералының түйіршігі судың лүпіл саны 350 бір минутте болғанда S = 0,026 см.

Ірілігі < 0,3 мм түйіршіктер үшін шөктіру машинасының камерасының тереңдігі 45 мм; төсеніштің толық қабаттарға бөлінуіне қажетті шайқалу саны 4,5:0,026 = 173 болуы қажет.

Түйіршіктердің тура бағытта жылжуының нақтылы жылдамдығын 0,012 м/сек деп қабылдасақ, шөктіру камерасының ұзындығы төмендегідей болады

$$l \geq 173\frac{60 \cdot 0{,}012}{350} \text{ не } l \geq 0{,}36 \text{ м.}$$

Камераның есепті ұзындығы 500 мм-ден кем болмауы тиіс. Машинаның мөлшерден тыс жүктенуін (ол біркелкісіз жүк түсіру нәтижесінде болады) және бастапқы материалда

қауышпалардың бар екенін еске алып шөктіру машинасының ұзындығын есепті ұзындықтан 2 есе артық алу қажет.

Көмірдің ірілігі < 12 мм болса қажетті лүпіл саны минутіне 70, ал ірілігі 12–80 мм болса минутіне 65 болу керек.

Осыған сәйкес бір камераның ұзындығы:

$$l \geq 60\frac{60 \cdot 0{,}05}{70} \text{ не } l \geq 2{,}5 \text{ м},$$

$$l \geq 50\frac{60 \cdot 0{,}05}{65} \text{ не } l \geq 2{,}3 \text{ м}.$$

Машинаның жалпы ұзындығы 5 м-ден кем болмауы қажет.

6. КӨЛБЕУ БЕТПЕН АҒАТЫН СУЛЫ АҒЫНДАРДА БАЙЫТУ

6.1. Гравитациялық байыту үрдістеріндегі су қозғалысының заңдылықтары

Бұл гравитациялық байыту су ағындарының динамикалық әсерлерінің негізінде түйіршіктердің қозғалу сипаттамаларының айырмашылығына негізделген. Бөліну үрдісі тереңдігі шамалы көлбеу ағындарында атқарылады. Негізінде ағын тереңдігі байытылатын кен қоспасындағы ең ірі түйіршіктің размерінен 10-есе үлкен болады. Осы байыту принципімен істейтін аппараттар саны көп, ал олардың ішіндегі негіздеріне жататын: жинағыш столдар, шлюздер, бұрама (винтті) сепараторлар, ағымды науалармен концентраторлар, конусты сепараторлар.

Барлығында пульпаның көлбеу бетпен қозғалуы ауырлық күш әсерімен атқарылады. Аппараттардың көлбеулік бұрыштары (ағын бағыттарында): столдармен шлюздерде – 2–10^0, винтті сепараторларда – 9–12^0 және тарылатын науаларда – 14–18^0. Бұлар, минералдық түйіршіктердің судағы үйкеліс бұрыштарынан әлдеқайда төмен (әртүрлі минералдардың темір және линолеум бетінде қозғалуында 30–40^0 аралығында). Сондықтан зат осындай ағындарда, оның сумен бірге ағызудағы гидродинамикалық күшінің әсерінен тасымалданады.

Су қозғалысының теориялық заңдылықтары. Сұйықтықтың ламинарлы қозғалыс режімі. Сұйықтықтың ашық ағында қозғалу кезіндегі ағын қабаттарының шектік қозғалу жылдамдықтары бірдей болмайды. Ағынның түбінде (қабырғаларында) нөль шамасында болса, оның бетіне қарай өсе бастайды. Сұйықтықтың ағыс режіміне байланысты (ламинарлы немесе турбулентті) қозғалу жылдамдығының өзгеру заңдылықтары ағын бойында әртүрлі болады.

Көлбеу ашық ағындарда ламинарлы ағын режимінің тұрақтылығы текқана Рейнольдс санының аздығында сақталады: $Re=R\nu/\upsilon$ <300–580 (мұнда R-гидравликалық радиус; ν-ағын жылдамдығы; υ-кинематикалық коэффициент).

Көп жағдайларда гравитациялық аппараттарда ағындар тереңдігі 5 тен 10(20)см дейін, ал ағындар жылдамдығы – ондық

бөлектен 1(2) м/с дейін, пульпаның қозғалу сипаттамасы-турбулентті.

Турбулентті қозғалыс. Турбулентті ағындардың өзіндік ерекшелігі ағындардың гидродинамикалық сипаттамаларының өзгеруіне негізделген (жылдамдық, қысым, тұтқырлық ж.т.б.), яғни осы параметрлердің орташа мәндеріне қарасты ауытқып тұруында.

Қазіргі түсінімдер негізінде турбуленттік ағын тек қана сұйықтың қарапайым қозғалыстарының жиынтығы емес екені және оның қозғалып тұрған сұйық массаларының статикалық тұрақты құрылымынан тұратындары белгіленді.

Сұйықтың көлбеу ағындағы турбуленттік құрылымының сипатталуы:

- турбуленттік әсерлердің пайда болуы ағын түбінің бетіндегі кедір-бүдірлігіне байланысты;
- құйындардың салалық размерімен жиілігі ағынның жылдамдығымен және кедір-бүдірдің күйімен анықталады;
- турбуленттіктің қарқыны түптің кедір-бүдірлігіне тәуелді;
- ағын жылдамдығының бойлай бағытта өзгеру мәні көлденеңге қарағанда екі есе үлкен (бүкіл ағын бойында);
- ағынның кинетикасын сипаттайтын Фруд санының ($F_r=\upsilon^2/gH$) өсуінде турбуленттік қарқын жоғарлап $F_r=1$ дейін жетеді, сонан соң төмендейді.

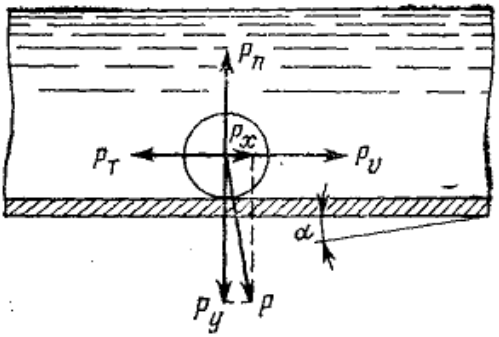
Қысымсыз көлбеу ағынында түйіршіктердің қозғалуы. Түйіршіктердің көлбеу ағынында қозғалуының келесі түрлері белгілі:

1) қозғалу ағын түбінде немесе бұрын төселініп қалған түйіршіктер бетімен сырғанаумен немесе тербетілумен атқарылады;

2) секіру арқылы (үзілімді жүзгіндеу) қозғалу, мұнда түйіршіктер кейбір уақытта ағын түбінде сүйретіледі де сонан ағында жүзгінді ретінде бір биіктікке көтеріліп тасымалданады да қайтадан құлайды. Түйіршіктердің жүзгіндеу биіктігі әртүрлі болады, яғни олардың жоғары жылдамдықтар аумағында болу уақыты да әртүрлі. Сондықтанда, секіру қашықтығы әртүрлі болады;

3) қозғалу үзіліссіз-жүзгінді жағдайда.

Түйіршіктердің ағында қозғалуы ағынның жылдамдығына және оның тереңдігіне, түбінің күйіне, бөлшектердің (түйіршіктердің) гидравликалық ірілігіне және ағындағы түйіршіктер концентрациясына тәуелді.



6.1-сурет. Көлбеу жазықтықпен су қабатында
қозғалып баратқан түйіршікке әсер ететін күштердің сұлбасы

Шар пішінді түйіршіктің ағын түбінде (6.1-сурет) сырғанау және домалаумен қозғалғанда оған келесі күштер әсерін тигізеді:

гравитациялық күш (ауырлық күш және архимед күші) Р

$$P = mg\frac{\rho_m - \Delta}{\rho_m}; \qquad (6.1)$$

су ағыншағының түйіршікке әсер етуші динамикалық қысым күші P_υ

$$P_\upsilon = \psi\Delta d^2(\upsilon_{орт} - \upsilon_{\text{m}})^2, \qquad (6.2)$$

мұндағы ψ – түйіршікке ағын бойында әсер ететін гидродинамикалық кедергі коэффициенті;

$\upsilon_{орт}$ – ағынның d-биіктігіндегі орташа жылдамдығы;

υ_{m} – түйіршіктің қозғалу жылдамдығы;

ағын иірімінен пайда болатын көтеру күші Рк,

$$Pк = \psi_1 \Delta \upsilon_{верт}^2 \cdot \mathrm{d}^2, \qquad (6.3)$$

мұндағы ψ_1 – түйіршіктің ағын бағытына көлденең қозғалуындағы гидродинамикалық кедергі коэффициенті;

$\upsilon_{верт}$ - ағын жылдамдығының вертикальді бағыттағы үлесі.

Түйіршіктің қозғалу кезіндегі (науа бетінде) үйкеліс күші келесі теңдеумен анықталады:

$$\mathrm{P}_{\text{үйк}} = (P_{\cos\alpha} - P_к) f \ , \qquad (6.4)$$

мұндағы f – үйкеліс коэффициенті.

Егерде қарастыратын аппараттардың көлбеулігі шамалы болса (α <6^0), онда $\sin\alpha$ мәніде төмен болады, ал $\cos\alpha$ – бірге жақын және $\psi = \psi_1 = \psi_0$ шамаларын шартты түрде бір-біріне тең деп алсақ (ψ_0 – түйіршіктің сұйықта бос шөгуіндегі кедергі коэффициенті), мұнда келесі теңдеуді аламыз:

$$\upsilon_T = \upsilon_{орт} - \sqrt{f(\upsilon_0^2 - \upsilon_{\text{верт}}^2)} \ . \qquad (6.5)$$

Осы теңдеуден ұғынуымыз, егерде $\upsilon_0 \succ \upsilon_{верт}$ болған жағдайда түйіршік науа бетінде сырғанау арқылы қозғалады, ал $\upsilon_0 \prec \upsilon_{верт}$ болғанда түйіршік ағын көлемінде жүзгіндейді.

Түйіршіктердің ағында бөлінуіне лайықты қозғалу режимдерін қалыптастыру қажет, концентратқа бөлінетін ауыр түйіршіктердің жүзгіндерін болдырмау үшін. Ағындағы жүзгінді түйіршіктердің жылдамдығы ағын жылдамдығына тең болуына байланысты, олардың горизонтальді, вертикальді бағыттарға қарасты қозғалуының жоқтығынан гравитациялық бөліну үрдісі жүрмейді. Тәжірибеде көлбеу ағындарда гравитациялық байытуды сатылы түрде өткізу жөн:

алдын-ала материалды ірілік бойынша бөліп алып, сонан соң ірі және ұсақ фракцияларды әр класқа сай оңтайлы жылдамдық режимдерінде бөлек байыту;

екінші байыту сатысын енгізу арқылы алдын-ала құрамында пайдалы компоненттері жоқ ірі фракцияларды бөліп

алу және ұсақ фракцияларды жылдамдығы төмен ағындарда қосымша байыту.

Жинағыш столдарда, шлюздерде, бұрама сепараторларда және бөлшекті ағымды концентраторларда байыту үрдістері көлбеу бетпен ағатын ағымдарында атқарылады.

6.2 Жинағыш столдарда байыту

Жинағыш столдарында (ЖС) байыту принципі ерте замандардан белгілі. Ал қазір бұл үрдіс шөктірумен қатар кеңінен қолданылады. Байытылатын кенде түйіршіктердің диаметрі 4–5 мм-ден артпау керек. Олар көбінде қалайының, вольфрамның, алтынның және сирек кездесетін металдардың шашыранды кендерін байытуға, ал олар түпкі кен орындарынан алынса онда жоғарыда көрсетілген ірілікке дейін ұсатылғанда (ұнтақталса) қолданылады.

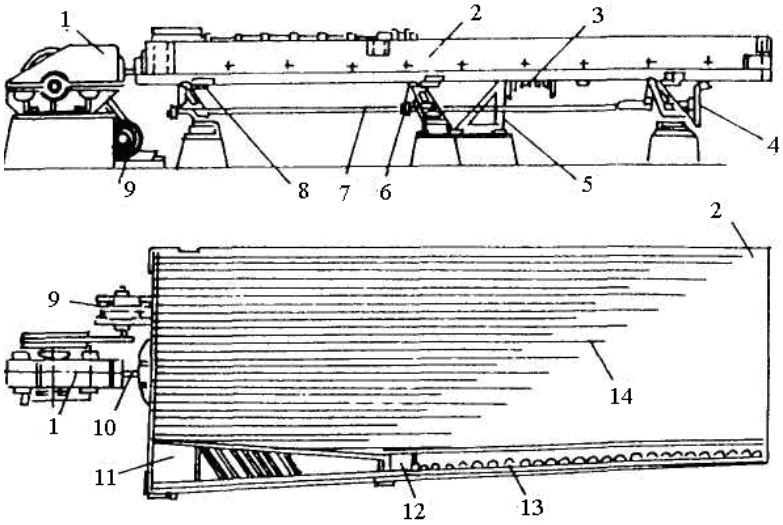
Жинағыш столдарында әртүрлі минералдар ілгеріндікейінді ассиметриялық тербелісте болатын еңкіш жазық стол бетінде (дека) ағатын жұқа су қабатында тығыздықтарының айырмашылығына қарай бөлінеді. Су столдың қозғалысына көлденең бағытта ағады.

Минералдардың бұл үрдісте қандай күштердің әсерімен бөлінетінін талдау үшін жинағыш столының құрылысын және кейбір ерекшеліктерін білу қажет. Дүниежүзілік тәжірибеде жинағыш столдарының бірсыпыра конструкциялары кездеседі. Оларды кейбір белгілеріне қарап топтастыруға болады. Алдымен олар қозғалмалы және қозғалмайтын столдарға бөлінеді. Іс жүзінде қозғалмалы столдар қолданылады. Бұлардың өнімділігі қозғалмайтындармен салыстырғанда көп артық.

Қозғалмалы столдардың бірнеше түрі бар. Олардың ішіндегі ең көп тарағаны үздіксіз жұмыс істейтін тербелгіш жинағыш столдары.

Жинағыш столдың декасы 2 (6.2-сурет) ағаштан, алюминийден не шыныпластиктен жасалады және ол трапециальды не ромбалық пішінді болады. Оның беті линолеуммен, резеңкемен не пластикпен жабылады. Ол бетке рифлдер деп аталатын жіңішке тақтайшалар 14 қағылады.

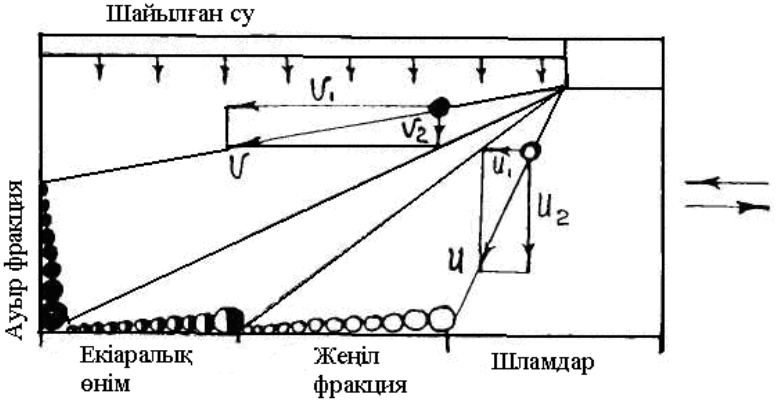
Олардың ұзындығы түсіргіш науаға 11 жақындаған сайын қысқара береді. Дека ілгері-кейінді қозғалысты жетек арқылы алады, ол электроқозғалтқыштан 9, белбеулі берілістен және иінтіректі-эксцентрикті механизмнен 1, декамен жалғасқан тартқыштан 10 тұрады. Дека тартқышпен 7 жалғасқан, иінді иінтіректерге 6 бекітілген аунақшалар 8 үстіне тіреле орналасқан. Стол декасының ұзын өс бойымен ассиметриялық қозғалысы кронштейнмен 5 деканың тірегішіне бекітілген серіппемен 3 қамтамасыз етіледі; оның аз ғана қозғалысқа тік бағыттағы көлбеулігі (1–10°) тегершікпен 4 реттеледі. Су науашыққа 12 түседі де, дека бетіне реттегіштермен 13 бірқалыпты жайылады; бастапқы берілетін зат пульпа түрінде науаға 11 түседі.



6.2-сурет. СКМ-1 жинағыш столы

Дека үстінде әр түйіршікке екі күш әсер етеді: декаға көлденең бағытта ағатын судың әсері және деканың ұзын бойымен бағытталған деканың ілгері-кейін қозғалысынан туатын екпінді күш әсері. Деканың біртіндеп алға жылжу жылдамдығы артуы нәтижесінде оның үстіндегі материал онымен аяғына дейін бірге қозғалады.

Серіппе 3 әсерімен дека артқа қарай тез қозғалғанда айтарлықтай екпінді күш пайда болады. Ол күш дека үстінде түйіршіктің үйкелу күшінен артық болуымен байланысты дека үстінде түйіршіктер рифлдер бойымен алға жылжиды. Бұл қозғалыс жылдамдығы ауыр тығыздықты V_1 және жеңіл тығыздықты түйіршіктер U_1 үшін әртүрлі болады: ауыр тығыздықты түйіршіктің екпінділігі жоғары болғандықтан ол алға тезірек жылжиды, демек $V_1 > U_1$ (6.3-сурет). Керісінше, шаятын су әсері аз тығыздықты түйіршіктерге көбірек әсер етеді, себебі олардың массасы бірдей болсада жеңіл тығыздықты түйіршіктің көлденең қиындысының ауданы үлкен болғандықтан оған әсер ететін судың гидравликалық қысымы жоғары болады.



6.3-сурет. Жинағыш столдың декасында түйіршіктердің тығыздық бойынша бөліну сұлбасы

Осының нәтижесінде оның декаға көлденең бағытта жылжу жылдамдығы жоғары болады. Осыған байланысты әртүрлі тығыздықты түйіршіктер жеке жолдарға түседі. Деканың қозғалту жетегіне жақын орналасқан жеңіл тығыздықты түйіршіктер көбірек болады да (жеңіл фракция) деканың екінші басына қарай ауыр тығыздықты түйіршіктер (ауыр фракция) көбірек жиналады. Олардың жолдарының арасында тығыздықтары орташа түйіршіктер жиналады (екі аралық өнім).

Шламды түйіршіктер дека басында сумен шайылып жеңіл фракцияға кетеді. Дека үстіне орнатылған бөлгіштермен әртүрлі тығыздықты фракциялар бөлек қабылдағыштарға түсіріледі.

Тығыздықтарына қарай түйіршіктердің тиімдірек бөлінулеріне рифлдерде өзіндік рольдерін атқарады. Олардың арасында материал тығыздықтарына қарай қабаттарға бөлініп қоймай, сонымен қатар екшеленеді. Астыңғы қабатқа тығыздықтары жоғары, ұсақ түйіршіктер, ал үстіңгі қабатқа тығыздығы аз ірі түйіршіктер орналасады. Сондықтан үстіңгі қабаттағы ірі түйіршіктерге судың ағызу күші жоғары болады. Ауыр тығыздықты түйіршіктер рифлдер арасымен алға жылжиды.

Жеңіл тығыздықты ($\rho_ж$) және ауыр тығыздықты ($\rho_а$) түйіршіктердің бөлінуі тиімдірек жүреді егер олардың судағы ($\rho_с$) қатынастары мынадай болса: $(\rho_а–\rho_с) / (\rho_ж–\rho_с) > 2,5$. Егер ол қатынас 1,5-нан аз болса олардың бөлінулері қиындайды, не бөлінбейді. Жинағыш столдар ұсақ түйіршікті қалайы, вольфрам, алтын және басқа шашыранды кендерді, көмірді гравитациялық әдіспен байытуда ең жиі қолданылатын аппараттарға жатады. Аталған кендерде бөлінетін минералдардың тығыздықтарының айырмашылықтары үлкен келеді.

Кендерді және шашырандыларды байытқанда жинағыш столдарға материал ірілігі –3+0,01 мм, ал көмір байытқанда -10(13) + 0,1 мм аралығында болады. Өте ұсақ түйіршіктер сумен шламды фракцияға түседі, демек байытылмайды. Оларды шламмен бірге алдын-ала бөліп тастаса байытылу тиімділігі артады, түйіршіктердің бірігіп балшықты кесекке айналуын және стол декасына жабысуына жол бермейді. Кең диапазонды іріліктегі материал өңделсе ауыр минералдар фракциясына жеңіл фракцияның ұсақ түйіршіктері өтіп, ал жеңіл фракцияға ауыр фракция түйіршіктері өтіп кетуі мүмкін.

Кенді материалдардың байытылу тиімділігін арттыру үшін оны гидравликалық сұрыптағыштарда 4–6 ірілік кластарына бөледі. Бөлінетін минералдардың тығыздықтарының айырмашылықтары азайған сайын және бастапқы затта қауышпалар көбейген сайын сұрыптау шкаласы тар болуы

қажет. 0,2 миллиметрден ірілеу материал құмды, ал одан кіші ірілікті материал шламды столға түсіріледі. Жинағыш столдардың технологиялық және конструкциялық ерекшеліктері негізінен өңдеуге түсетін материалдың ірілігімен байланысты.

Материалдың ірілігі артқан сайын тербеліс жиілігі аз (350–250 мин$^{-}$), деканың тербеліс амплитудасы үлкен (4–6 мм) болады, ал материалда ірілігі жоғары және ауыр түйіршіктер болса деканың көлбеулік бұрышы (1–6^0) 10^0-қа жетуі мүмкін. Деканың көлбеулігі белгілі мөлшерден асса судың ағу жылдамдығы артып, ауыр түйіршіктер жеңіл фракцияға өтіп кетеді. Егер көлбеулік аз болса, керісінше ауыр фракцияға жеңіл фракция минералдары өтіп кетеді. Ұсақ түйіршікті және шламды (шламды столда) затты тасымалдау жеткілікті болу үшін деканың ұзындық бойындағы көлбеулік жоғарлатылады, ал ірілеу материалды өңдегенде, керісінше ол көлбеулік азайтылуы қажет (құмды столда).

Құмды столдардың декалары жіңішкелеу (ұзыны: көлденеңі = 2,5–2,7), ал шламдылардыда – жалпақтау болады (ұзыны : көлденеңі ≈ 1,5). Рифлдердің биіктігі және олардың арақашықтығы зат іріленген сайын өседі. Сол сияқты бастапқы затта ауыр минерал үлесі артқан сайын рифл биіктігі жоғарлатылады. Зат түсетін жақта ең үлкен биіктігі құмды столдарда 7–10 мм-ден 35–40 мм-ге, ал шламды столдарда 2 ден 22–25 мм-ге дейін болады да, өнім шығатын жағына қарай аласарып жоққа айналады. Қазіргі кезде қолданылатын шламды столдарда (“Холман”, СКОШ–7,5) дека беті толқынды түрде жасалады, демек рифл рөлін толқынның үстіңгі беті атқарады. Мұндай рифлдер су ағынының қозғалысты өзгерісін азайтады, соның нәтижесінде шламды байытудың тиімділігі артады. Ірілі иірімдіктерді басу және рифлдер арасындағы кеңістікте жылдамдықтың микро лүпілдерін біркелкілеу, мысалы көмірді байытуда, төртбұрышты не үшбұрышты қималар ортасында “қарсы толқынды” типті рифлдерді пайдалану арқылы іске асады.

Рифлдер үстіндегі су қабатының қалыңдығы рифл биіктігінен 2–3 рет артық болуы қажет. Судың жетіспеуі түйіршіктердің бөлінуін төмендетеді және өнімділікті азайтады,

ал артық болуы жеңіл фракцияда ауыр минералдардың жоғалымын көбейтеді. Стол декасына түсетін пульпаның тығыздығының оңтайлы мәні 20–25 % шамасында болуы қажет. Шаятын судың мөлшері ірілік және материалдың тығыздығы артқан сайын көбейеді, ал стол декасының көлбеу бұрышы артқан сайын азаяды. Әдетте 1 т кенге шаққанда 1–2 $м^3$-ден аспайды.

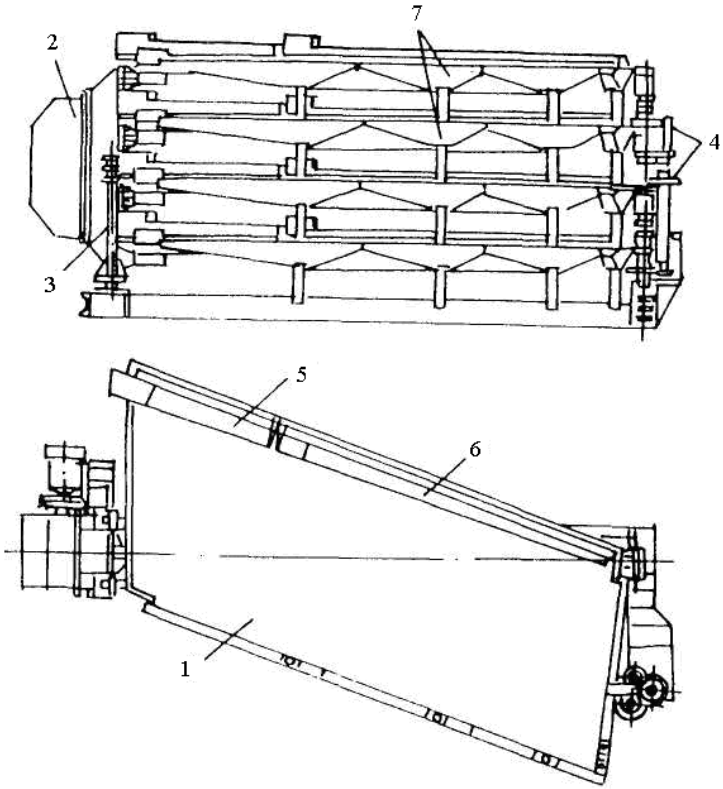
6.3. Жинағыш столдардың құрылымдары

Столдар дека санына (1–6), пішініне және ауданына (0,5–7,5 $м^2$), қозғалтқыш конструкциясына қарай әртүрлі болады және оларды орналастыру әдісіне қарай илінулі не тіреліп орнатулары мүмкін. Тіреліп орнатылған столдар ілінілгендерімен салыстырғанда кіші өлшемді, аз массалы және конструкциялары қарапайым келеді.

Кенді және шашыранды кендерді байытуға кеңінен қолданылатын тіректі типті СКО–15, СКО–22 және СКО–30 (6.4-сурет) көп декалы жинағыш столдар екі, үш не төрт диагональді декалардан тұрады 1, олар бірінің үстінде бірі параллельді орнатылады және олар мықты тербелгіш тіректерге 3 бекітілген екпінді типті қозғалтқыш механизммен 2 бірге орнатылады. Әр декаға бастапқы затты реттейтін 5, шаятын суды түсіретін науашықтар, бөлінген заттарды қабылдайтын науалар 7 орнатылған. Сол сияқты, әрқайсысының көлбеулігін реттейтін механизм 4 бар. Декалар арасындағы тік бағыттағы қашықтық 500 мм.

Көмірді байытуға және күкіртсіздендіруге (ірілігі 6 мм кіші) әдейі арналып көп декалы ілінді жинағыш стол СКПМ–6 (6.5-сурет) жасалып пайдалануда.

Ол этажерка типті ілінді конструкциядан тұрады, бірімен-бірі тік ілінді – планкалармен 2 бекітілген алты декадан 11 тұрады. Столға шайқалмалы қозғалыс беретін бигармоникалы өзінен-өзі теңгерілетін дірілдеткіш (3) электрқозғалтқышпен 4 белдікті беріліспен жалғасқан.

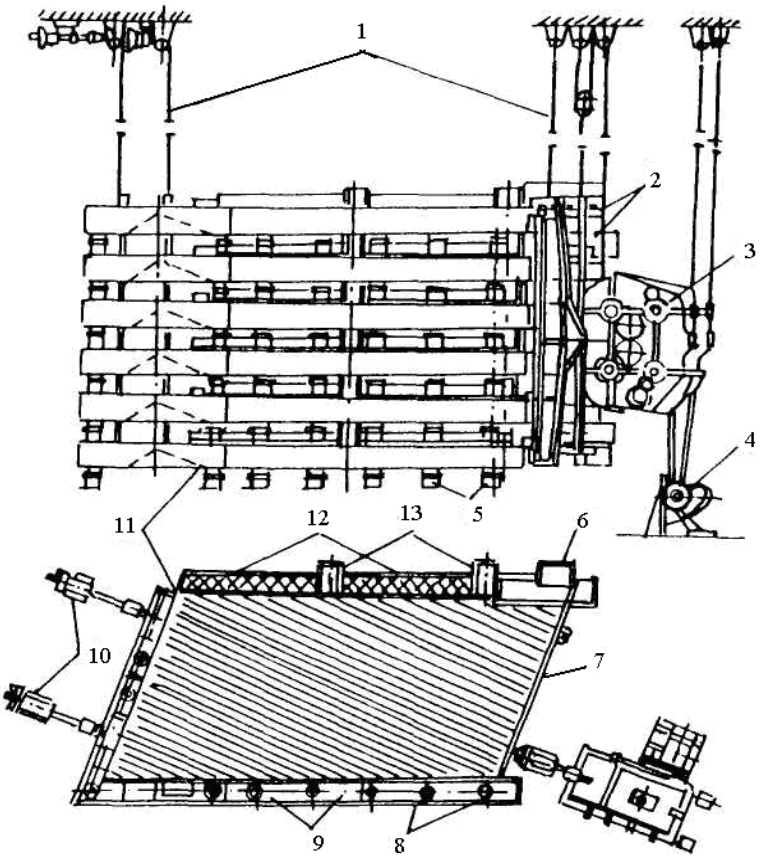


6.4-сурет. Тіреліп орнатылған жинағыш стол (СКО-30)

Пульпа түсіргішпен барлық алты декаға біркелкі түсіріледі, олардың жоғарғы жазықтығына резеңкелі рифлдер 7 жабыстырылған. Пульпа қабылдайтын қорап 6 деканың оң жақ шетіне орналасқан, шаймалау су түсірілетін науа 12 деканың ұзын бойына келтеқұбырлармен 13 түсіріледі. Байытылған өнімдер рамаға бекітілген жинағыштарға 9 түсіріледі. Олар тоғыз бөлікке бөлінген. Олардан материал тесіктер 8 және келтеқұбырлар 5 арқылы барлық декалардан жинағыш ойықтарға (воронкаларға) түседі. Ғимараттың төбесіне ілінген стол конструкциясы тростар 1 жүйесімен байланысқан. Соның нәтижесінде шайқалу саны және амплитуда, деканың көлденең және ұзын бойына көлбеулігі (арнаулы құрылғылар 10

көмегімен) концентратты, екі аралық өнімді, қалдықты бөлу зонасының ұзындығын реттеуге мүмкіндік туады.

Жинағыш столдардың артықшылығы–байыту тиімділігінің жоғарлығы, бөліну үрдісінің көрнектілігі және жұмыс кезінде реттеу мүмкіндігі.



6.5-сурет. Көпдекалы ілініп орнатылған жинағыш стол (СКПМ-6)

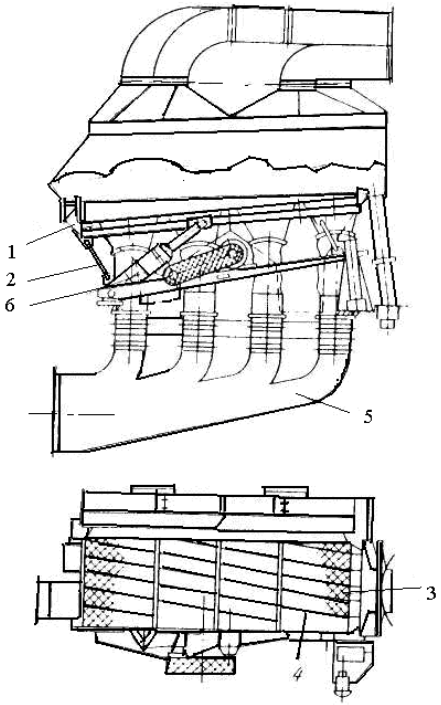
Столдардың негізгі кемшіліктері–үлесті өнімділігінің аздығы. Құмды столдарда ол 0,4–0,45 т/(сағ·м^2), ал шламды столдарда небәрі 0,1–0,15 т/(сағ·м^2). Қосымша суды астынан

беруге кеуекті бетті деканы және деканың тік бағытта өте сапалы шайқалуы, рифлдердің конструкцияларын және шаймалау суды беруді өзгерту бөлу тиімділігін және өнімділігін арттырады, бірақ айтарлықтай өсірмейді. Столдардың кемшілігіне жиі бөлшектердің сынып істен шығуы және барлық тетіктерді өте ұқыпты реттеу жатады. Сондықтан оларды бастапқы жұтаң өнімдерді байытуға емес, кендерден және шашырандылардан өнімділіктері жоғары, бірақ технологиялық тұрғыдан қарағанда тиімділігі төменірек аппараттармен алынған кедей концентраттардың сапасын жетілдіруге қолдану дұрыс, мысалы, алдын-ала бұрама бөлгіштерді, шөктіру машиналарын және шлюздерді қолданып алынған өнімдерді байытуға.

Көмірді және кендерді құрғақ байытуға пневматикалы столдар (бөлгіштер) қолданылады.

Ілгері-кейінді қозғалуды қозғалтқыш механизмнен 6 алатын ОСП–100 (6.6-сурет) қозғалмалы дека 1 ұзын бағытта төрт бөлікке 3 бөлінген. Әрқайсысы диаметрлерінің тесігі 1,5–3 мм рашпильді тормен жабылған. Дека үстінде тормен бірге рифлдер 4 бекітілген. Олар дека үстіндегі материалдың белгілі қалыңдығы болуы үшін ернеулі және маңдайлы болып бөлінеді. Деканың әр кеңістігіне жеңді берілістер 5 арқылы қысымды ауа түсіріледі. Оның мөлшері (шығыны) дроссельді жапқыштармен реттеледі. Бастапқы зат деканың жоғарғы басына түсіріледі.

Материал қабаты астына берілетін ауа ағымы оны қопсытады. Соның нәтижесінде түйіршіктердің тығыздықтарына қарай қабаттарға бөліну жағдайы туады. Жеңіл фракция қабаттың үстіңгі жағында болады да, деканың көлденең бағыттағы көлбеулігі әсерімен жылжып қабылдағыш науаға түседі. Ауыр фракция қабаттың астына түсіп деканың ілгері-кейінді қозғалысы нәтижесінде ұзын бойымен жылжып көлденең шетінен шығады. Рифлдер ауыр фракция түйіршіктерінің көлденең бағытта жылжуына кедергі жасайды. Пневматикалық бөлгіштерде байыту тиімділігі пневматикалық шөктіру машиналарда байытудан жоғары.



6.6-сурет. Пневматикалық стол (бөлгіш)
(ОСП-100)

Пневматикалық бөлгіштердің негізгі кемшіліктеріне жататындар: дека ауданында ауаның және материалдың біркелкі орналаспауы, материал қабатының құрамы бұзылып фракциялардың араласып кетуі, гидравликалық жинағыш столдармен салыстырғанда технологиялық көрсеткіштері төмен. Қосымша қиыншылықтар шаң ұстаумен байланысты.

Пневматикалық бөлгіштердің артықшылықтары–судың қажеті жоқ, құрғақ өнімдер алынады, көмірді және кенді өңдеудің өзіндік құны төмен, энергия шығыны аз.

6.1-кесте

Жинағыш столдардың жіктелуі

Түрі және дека саны	Столды орнластыру әдісі	Декалардың қозғалу сипаттамасы	Жетек механизмінің түрі	Столдың тағайындалуы	Столдың маркасы
Пішіндері трапециялы немесе диагональді бір декалы	Теменгі пректерде	Дека жазықтығында ілгерінді-кейінді	Жұлырыкша-интіректі немесе инерционды	Құмдарды немесе шламдарды байыту	СКМ-1; Конценко-6; Холман; Ведаг; Дейстер
Пішіндері трапециялы немесе тікбұрышты бір декалы	Тіректерде немесе рессораларда	Дека жазықтығына келбеу бұрышымен ілгерінді-кейінді	Косынді-бұлғақты немесе инерционды	Құмдарды байыту	Грузонверк; Гумбольдт; Ведаг; Отсука;
Пішіндері диагональді көп декалы	Аспаларда	Дека жазықтығында ілгерінді-кейінді	Инерционды	Құмдарды және шламдарды байыту	СКО-15; СКО-22; СКПМ; СК-30; Конценко-666
Декаларының габариттері кіші тікбұрышты көп декалы	Сондай	Сондай	Сондай	Сондай	СКП-20
Декаларыұшсағылы тікбұрышты	Теменгі пректерде	Сондай	Жұлырыкша-интіректі	Құмдарды байыту	ЯСК-1

6.2-кесте

Жинақтау столдарының техникалық сипаттамары

Параметрі	Стол түрлері						
	СКМ-1	ЯСК-2	СКО-15	СКО-22	СКП-20	СКПМ-20	СКО-30
Өнімділік, т/сағ	0,3 – 3	1 – 6	0,3 – 1,0*1 / 1,0 – 3,5	1,0 – 3,0*1 / 3,0 – 10,0	2,5 – 7	20 – 40*2	1,4 – 4,0*1 / 4,0 – 14,0
Дека размері,мм ұзындығы ені:	4500	2120*3 3160*4 4200*5	3970	3970	1800	3400	5260
затты түсіру шетінде өнімпеөді шығару шетінде	1800	800	1937	1876	900	1800	2170
Бір деканың ауданы, м²	1500	800	1973	1876	900	1800	2170
Дека саны	7,5	20*6	7,5	7,5	1,6	6,1	7,5
Деканың 1 мин жүру саны	1	2x3	2	3	12	6	4
Деканың қозғалу қашықтығы,мм	230-300	230-300	280-350	230-350	280-450	270-350	280-350
Деканың көлденең бағыттағы көлбеу бұрышы, градус	8-30	12-20	10; 12; 14;	16; 18; 20;	8; 12; 16;	6-25	10-20
Ұзын бойы бағытындағы көлбеу бұрышы, градус	0-8	0-8	0-8	0-8	0-8	0-10	0-8
Электрқозғалт қыштың қуаты, кВт	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-3	0-2
Стол массасы, кг	1,7	1,7	2,2	2,2	2,8	2,8	2,2
	1200	1800	1900	3300	4100	2800	3450

[*1] Алымы – шлам столдарының өнімділігі, бөлгіште – құмдынікі.

[*2] Ірілігі 6 мм көмір бойынша өнімділік.

[*3] Жоғарғы деканың ұзындығы.

[*4] Ортадағы деканың ұзындығы.

[*5] Астыңғы деканың ұзындығы.

[*6] Алты деканың жалпы ауданы.

6.4. Жинағыш столдардың жұмысына әсер ететін технологиялық факторлар мен оның құрылымдылық параметрлері

Жинағыш столдарының жұмыс істеу режимдеріне әсер етуші болып саналатын негізгі параметрлеріне жататындар: байытуға берілетін өнімнің қасиеттері (оның заттық құрамы). Столдың жұмыс істеу үрдісінде реттелінетін параметрлеріне жататындар: декалардың көлбеулігі (бойлай және көлденең), ағызу суының шығыны, декалардың тербеліс жылдамдығы мен қозғалу қашықтығы, өнімділік. Дека бетіндегі рифлдердің түрі, оның қаптама материалы және дека пішіні реттелетін параметрлерге жатпайды, ал бірақ осы аталған параметрлер байытылатын заттың қасиеттеріне сәйкес алдын-ала қарастырылады да, оларды оператор жұмыс істеу кезінде өзгерте алмайды.

Байытуға түсетін заттың құрамы. Столдарда гравитациялық байытудың қандай дәрежеде жүретін мүмкіндігін бағалау үшін келесі қатынасты қолдануға болады:

$$\frac{\rho_{орт} - \Delta}{\rho_{ж} - \Delta},$$

мұндағы $\rho_{орт}$, $\rho_{ж}$ – кезегімен зат құрамындағы тығыздығы орташа және жеңіл минералдар, Δ – орта тығыздығы (су тығыздығы). Егерде осы қатынас 2,5-тен жоғары болса, онда столдарда байыту үрдісі жоғары тиімділікпен атқарылады; егерде қатынас көрсеткіші 2,5-тен 1,75 дейін болса, онда тиімді

байыту зат түйіршіктерінің ірілігі 0,07–0,15 мм-ден асса ғана болады; қатынас шамасы 1,5-тен төмен болса столдарда байыту үрдісі қиындай түседі немесе мүлдем жүрмейді.

Жалпы столдарда байытылатын заттардың ірілігі 3–0,04 мм аралығында болатыны белгілі. Одан ұсақ түйіршіктер судың ағызу күшімен дека бетінен шайылып кету негізінен байытылмай қалады.

Байыту үрдісінің тиімділігін арттыру үшін бастапқы өнім екі ірілік кластарға бөлініп жеке столдарда байытылады: ірілігі 0,2 мм жоғары класс құмдық, ал 0,2 мм төмен болса шламдық столдарда. Кендерді столдарда байыту алдында оларды шламсыздандыру қажет. Шламдар (әсіресе сазды) пульпаның тығыздығын арттырумен қатар дека бетіне жабысып және түйіршіктерді бір-біріне біріктіріп сазды кесектер құрайды, осының әсерінен байыту көрсеткіші төмендейді.

Столдарда байыту кезінде зат түйіршіктерінің пішіндері байыту үрдісіне әсерін тигізеді: домалақ теуеушті түйіршіктер концентратқа жақсы бөлінеді, ал жалпақтаулары иірімді (турбулентті) ағымдарда жүзгіндеу негізінде екі аралық өнімге немесе қалдыққа кетіп қалады.

Столдарға түсетін бастапқы өнімдегі қатты зат үлесі көбінде 20–30% құрайды. Сұйылту дәрежесі өскен сайын, дека бетіндегі судың ағызу күші өсіп соның нәтижесінде ауыр минерал түйіршіктерінің қосымша қалдыққа кетуіне алып келеді. Сонымен қатар бастапқы өнімдегі қатты зат үлесін көтеруге болмайды, әсіресе өнімде шламдар болатын болса. Ағызу судың шығыны бастапқы заттың үлесіне қарай 1-ден 2 $м^3$/т дейін келеді.

Деканың тербеліс жылдамдығы мен қозғалу қашықтығы. Әр стол оған түсетін кластың ірілігіне сай режимде жұмыс істейді. Сондықтан алдын-ала камералық гидроклассификаторлардан шыққан кластар жеке-жеке столдарда байытылады. Ірі класс байытылатын столдың қозғалу қашықтығы үлкен, ал тербеліс жылдамдығы аз болады және керісінше. Бұл параметрлерді тәжірибе жүргізу арқылы табылған эмпирикалық формулаларды қолданып табуға болады:

$$L = 18\sqrt{d_{\max}} \quad (6.6) \quad \text{және} \quad n = \frac{250}{\sqrt[5]{d_{\max}}}, \quad (6.7)$$

мұндағы L – қозғалу қашықтығы, мм;

n – тербеліс саны, мин$^{-1}$;

d_{max} – байытылатын заттың ең ірі түйіршіктерінің диаметрі, мм.

Жоғарыда көрсетілген формулалармен (6.6) және (6.7) анықталған *L* мен n шамалары оңтайлыға жақын деп қарастыруға болады, ал олардың қажетті мөлшерін жинағыш столдардың жұмыс істеу кезінде анықтауға болады.

Стол декасының көлбеулік бұрышы. Заттың су ағынында қозғалу жылдамдығы судың қозғалу жылдамдығына тәуелді болады, ал ол берілген шығынында деканың көлденең бағыттағы көлбеулік бұрышымен анықталады. Судың ағу жылдамдығы өскенде (деканың көлбеулігі асқан сайын) ағынның иірімділігін асырып, соның нәтижесінде ұсақ түйіршіктер су ағынымен бірге дека бетінен ағып кетеді. Сондықтан ұсақ түйіршікті араластарды, байытуға деканың көлбеулік бұрышы, әдетте 1,5–2,5^0 құрайды. Көлденең бағыттағы көлбеу бұрышының жоқтығы, дека бетінде заттың тығыздыққа сай бөлінуін бұзады, осы жағдайда стол бетінде жинақталу жолдары (веер) түзілмейді. Егерде көлбеулік тым асып кетсе, онда жинақталу жолдары тарылып төмен қарай ығысады. Бұл жағдай ауыр түйіршіктердің қалдыққа кетіп қалуына және концентраттың сапасын төмендетуге алып келеді.

Стол декасының көлбеулігі және судың шығыны өзара тығыз байланысты болады, сондықтан столдың жұмысын реттеуде олар негізгі реттеуші параметрлерге жатады.

Жинағыш столдардың декаларының көлбеулігін ұзын бойы бағытында өзгертуге болады. Ірі түйіршікті құмды столдардың өнім шығарылатын жағы 20 мм-ден 70 мм дейін көтеріле алады. Бұл мүмкіншілік түйіршіктердің стол бетіндегі үйкеліс күшін арттырып, соның нәтижесінде заттың ірі түйіршіктерінің деканың ұзын бойындағы қозғалуын тежейді.

Ұсақ заттарды байытқанда концентрат шығарылатын стол шеті аздап түсіріледі, яғни деканың көлбеулігі төмендетіледі (15 мм дейін). Деканың көлбеулігі ұсақ ауыр түйіршіктердің стол бетінде тасымалдануын жақсартады.

Жинағыш столдардың өнімділігі. Жинағыш столдардың өнімділігі байытылатын заттың құрамына және стол декасының ауданына тәуелді болып келеді.

Жинағыш столдардың үлесті өнімділігі заттың ірілігіне орта есеппен 0,1–0,4 т/сағ·м^2 шегінде өзгереді. Сондықтан столдар ауданы бойынша үлкен размерлі болып жасалынады және декалар саны да бірден оншақтыға дейін жетеді. Үлесті өнімділікті [т/(сағ·м^2)]төмендегі эмпирикалық формуламен мөлшердеп табуға болады:

$$q=0,2\cdot d_{max}, \qquad (6.8)$$

мұндағы d_{max} – байытылатын заттың ең ірі түйіршіктерінің диаментрі, мм.

Стол декаларының жалпы ауданына (Fм^2) қарасты оның өнімділігі келесі формула арқылы анықталынады

$$Q=0,2F\cdot d_{max}, \quad т/сағ. \qquad (6.9)$$

Бұл формула арқылы әртүрлі іріліктегі кенді өнімді байытуда қолданылатын жинағыш столдардың өнімділігін табуға болады.

Көмірлерді және антрациттерді байытуда пайдаланылатын жинағыш столдардың өнімділігін анықтауда И.С.Благовтың формуласы қолданылады

$$Q = k\vartheta_{орт}\cdot\rho\cdot d_{\max}\cdot L, \ т/сағ\ , \qquad (6.10)$$

мұндағы *k*–бастапқы заттың ірілігіне тәуелді болып келетін коэффицент мәні;

$\vartheta_{орт}$–заттың дека бетінде қозғалудың орташа жылдамдығы, м/сағ;

ρ –байытылатын заттың тығыздығы, т/м^3;

L –затты столдан шығару аумағы, м.

6.5. Затты жинағыш столдарда байыту алдында дайындау

Байытуға түсетін бастапқы заттардың ірілігі жоғарыда атап өткендей: кендерді және шашырандыларды байытқанда -3+0,01 мм, көмірлерде -10(13)+0,1 мм аралығында болады. Сондықтан байыту алдында бастапқы зат көрсетілген ірілікке дейін ұсатумен ұнтақтау арқылы дайындалуы керек.

Заттағы өте ұсақ ірілік класс (-0,04(0,02)+0 мм) міндетті түрде алдын- ала бөліну қажет, өйткені олар шлам ретінде заттың байытылуын қиындатады. Осы класс ішіндегі ауыр минерал түйіршіктері жинақтау столдарында жалпы бөлінбейді деп айтуға болады.

Жинақтау столдарында ірілік бойынша кен шекте сұрыпталынған ірілігі -3(2)+0,04 мм құрайтын затты байытуға болады, егерде экономикалық тұғырдан қарағанда байытылудың жоғары тиімділігі қажет етілмесе немесе байытылатын зат құрамында қауышпа минералдары болмаса, сонымен қоса ауыр түйіршіктердің ірілігі жеңіл түйіршіктердің ірілігінен айтарлықтай бөлек болса.

Көп жағдайларда ірілігі -3(2)+0,04 мм құрайтын зат байытылу алдында ірілік кластарға бөлініп әр класс жеке жинақтау столдарында өздеріне сай оңтайлы режимдерінде өңделінеді. Байытылатын затты осындай алдын-ала дайындау жинақтау столдарының жалпы өнімділігін және технологиялық көрсеткіштерді жоғарлатуға себебін тигізеді.

Бастапқы затты ірілік кластарға бөлу гидравликалық сұрыптаумен немесе електерде елеумен атқарылады. Шламсыздандыру операциясы гидроциклондарда жүргізіледі.

6.6. Бұрама жолды сепараторларда байыту

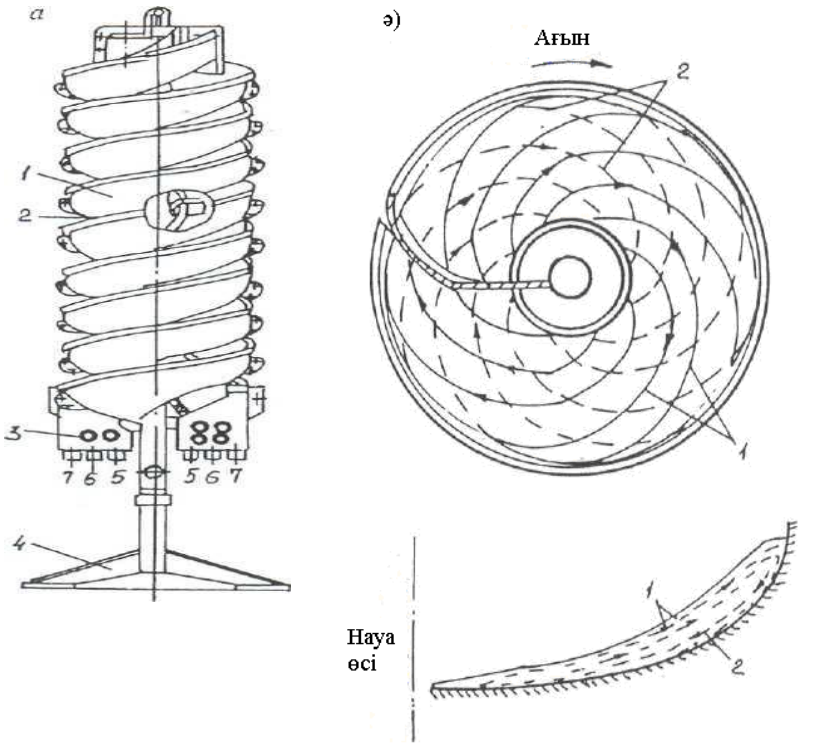
Бұрама жолды сепараторлар мен шлюздер конструкциялық құрылымы бойынша қозғалыссыз тік орналасқан бұралмалы науа (1) боп келеді және ол тіреуішке (4) орнатылған. Бастапқы пульпа науаның жоғарғы басына түседі де төмен қарай жұқа (6–15 мм) қабат ретінде ағады. Қозғалу кезінде ағындағы түйіршіктерге қатарымен гравитациялық және

гидродинамикалық күштерден басқа айналмалы траекториямен қозғалу нәтижесінен туатын ортадан тепкіш күште әсерін тигізеді. Аталған күштер пульпа ағынының бойындаңы және оның радиус аумағындағы ағу жылдамдықтарының айырмашылықтарын туғызады. Жылдамдықтардың өсуі ағын түбінен оның бетіне қарай және науаның ішкі қабырғасынан шет қабырғасына қарай байқалады. Осының әсерінен колденең бағытта айналмалы ағыс пайда болады (6.7-сурет) жоғарғы қабаттар (1) айналыс өсінен науаның шеткі қабырғасына бағытталады, ал ішкі қабаттар (2) оның ішкі қабырғасына.

Бұралмалы науаға түскен түйіршіктер, ағын бойында өздерінің гидравликалық ірілігіне сәйкесті бөліне бастайды және осындай бөліну көлденең бағыттада бірдей атқарылады. Жоғарғы қабаттардағы жеңіл минералдардың түйіршіктері науаның сыртқы қабырғасына айдалады, ал астынғы қабаттардағы ауыр минералдардың түйіршіктері – ішкі жаққа. Пульпа науаның екі-үш орамынан ағып өткен соң, түйіршіктердің тығыздық және ірілік бойынша бөлінуі негізінен аяқталады. Басқа қабатқа өтіп кеткен түйіршіктерді "қайтаруға" науаның ішкі бұйыр қабырғасынан қосымша су беріледі. Науаның аяқ жағында тығыздықтарына қарай әртүрлі қабаттарға жіктелген түйіршіктерді концентратқа (5), екіаралық өнімге (6) және қалдыққа бөлу қиғыштарымен (3) атқарылады. Қажетті болса астынғы қабаттағы затты үздіксіз бөліп, аппараттан шығару үшін науа түбінде бір-бірінен белгілі қашықтықта (бұрама бойындағы екі-үш жерде) тесіктер жасалынған. Жоғары бұрамалардан-концентрат, екіаралық өнімді –ортанғылардан, қалдықтарды – ең астынғы бұрамадан бөліп алуға болады.

Диаметрі 600-ден 1200 мм дейінгі сепараторлар немесе шлюздер шойыннан немесе болат құймаларынан, болат листерінен, алюминий құймаларынан, айнек талшықтарынан немесе фиброгластан жасалынады. Науаның жұмысшы беті суыққа төзімді резинамен, неопренмен және пластмассамен қапталады. Бұрама жолды сепараторлар мен шлюздер орындалуына қарай бір колоннада орнатылған бірдей жұмыс істейтін 2–4 орамалы науалардан тұрады. Олардың өнімділігі

орындалу түрлеріне, сипаттамаларына және байытылатын зат ірілігіне байланысты 0,5-тен 10 т/сағ. дейін өзгереді. Бұрама жолды сепараторларда ірілігі -3тен +0.2 мм дейінгі заттар неғұрлым тиімді байытылады, ал бұрама жолды шлюздерде ірілігі – 0,5 тен +0,02(0,03)мм заттар. Бұрама жолды сепаратордың оңтайлы қырыны горизонтальды эллипс (оның жартылай үлкен және кіші осьтерінің қатынасы 2:1 және үлкен жартылай осінің ұзындығы бұралмалы науаның 1/3 диаметріне тең), ал бұралмалы шлюздің ең үлкен науасы түзу жазықтық бағытқа қарай 5^0 тең бұрышпен орналасқан.



6.7-сурет. Екі науалы бұрама жолды сепаратордың СВ-2-1000 (а) схемалық көрінісі (ә) және пульпаның бұралмалы сепаратор науасындағы айналмалы ағымдары (ә).

Шлюздің осы пішіні пульпаның иірлмелі ағын қарқынының төмендету негізінде, оның жылдамдығын және қалыңдығын азайту арқылы ауыр минералдардың ұсақ түйіршіктерін концентратқа бөлініп шығу тиімділігін асыру. Егерде ауыр минералдар түйіршіктерінің пішіні неғұрлым домалақтау болса, соғұрлым бөліну көрсеткіштері жоғары болады.

Сепаратор диаметрі үлкейген сайын (1200 мм дейін және одан жоғары) ауыр түйіршіктердің бөліну тиімділігі ірілігінің өсуіне қарай жоғарлайды, ал ұсақтардікі керісінше шлюздің диаметрі төмендеген сайын (500–750 мм дейін). Ірілігі -3+0,2 мм зат байытылса, онда түйіршіктердің ірілігімен ағынның қалындығы арасындағы оңтайлы қатынас, өндірістік сепаратордың бұрамалы науа қадамымен оның диаметрі арасындағы қатынас мөлшері 0,4–0,4 тең болғанда жеткізіледі. Ірілігі -0,5+0,2 (0,03) тең зат байытылса, онда бұрама жолды шлюздегі қатынас 0,5–0,6-ға тең болу керек.

Бөлінетін түйіршіктердің тығыздық және ірілік бойынша айырмашылығы төмендеген сайын науа орамаларының саны 4-тен 6-ға дейін көбейтіледі. Бастапқы затта саздың және майда шламдардың үлесі жоғары болған сайын, заттың сепараторда және шлюзде бөліну үрдісі соғұрлым бұзылады. Сондықтан, осындай зат міндетті түрде алдын-ала електерде немесе гидравликалық сұрыптағыштарда шламсыздандырылады. Сепараторға немесе шлюздерге түсірілетін заттағы қаттылық үлесі 10–35% құрайды. Егерде пульпа тығыздығы осы көрсеткіштен жоғары болса,онда оның тұтқырлығының өсуіне байланысты бөліну процесі төмендейді,тығыздық төмендесе-ауыр түйіршіктер екіаралық зат аумағына ауысып кетеді,өйткені судың үлесі өскен сайын,оның ағызу күші тым жоғарлайды. Ағызу судың аздығы сапасы төмен концентраттарды алуға алып келеді.

Бұрама жолды сепараторлар мен шлюздердің конструкциялары қарапайым болып келеді,қолданулары ыңғайлы,электр энергия жұмсалмайды, тік қойылғандықтан өте аз ауданды қажет етеді және минералдардың бөліну дәрежесі басқа шлюздермен салыстырғанда жоғары. Бұлар құрамында ильменит, циркон, рутил және басқа пайдалы минералдары бар

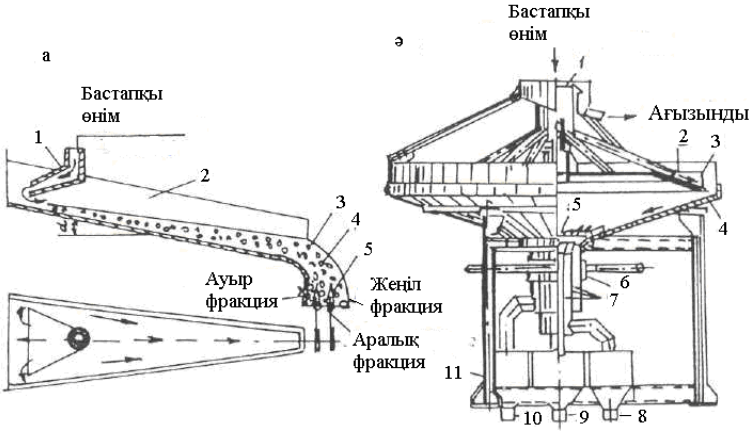
ұсақ түйіршікті құмдарды байытуда кеңінен қолданылады. Сонымен қоса осы аппараттарда ұнтақталған сирек және асыл металдар кендері, темір кендері, фосфориттер, хромиттер және басқада пайдалы қазындылар байытылады. Бұрама жолды сепараторлар мен шлюздердің кемшілігі болып саналатыны– бұларда бөлініп алынатын минералдар неғұрлым бос жынысты минералдармен қауышпа түрде болатын болса, соғұрлым оның бөліну тиімділігі төмендей түседі.

6.7. Бөлшекті ағымды науаларда және концентраторларда байыту

Бөлшекті ағымды науалар (6.8 а-сурет) шлюздердің бір түріне жатады, айырмашылығы олар қысқа түрде жасалады. Пульпа түсетін бас жағы жалпақ келеді де, ұзын бойымен біртіндеп жіңішкере береді. Оның түбі біртегіс бетті (3), қабырға беттері (2) пульпа шығар жеріне қарай бір-біріне жақындай түседі. Науа көлбеу (15-20^0) орнатылады. Осыған қарай ағымды науалардың бас жағындағы пульпа ағынының биіктігі 1,5–2 мм-ден, ал олардан шығар жерінде 7-8мм дейін жоғарлайды. Ағын режимі науаның бас жағында ламинарлы болса, аяғында турбуленттіге ауысады. Пульпаның науа бойымен қозғалуында зат тығыздық пен ірілік бойынша бөліне бастайды. Негізгі болып түйіршіктердің бөлінуіне әсер ететін, ол бастапқы өнімдегі қатты зат үлесінің жоғары болуына қарай олардың екшелеуі (сегрегация) осымен қоса пульпадағы қатты заттың тығыздық бойынша бөлінуіне турбуленттік иірмелі ағынның пайда болу себебінен түйіршіктердің қопсытылуы.

Қопсыту негізінде науаның астынғы жағындағы ірі жеңіл түйіршіктермен қоса гидравликалық ірілігі төмен түйіршіктер қабаттары шет бетке көтеріледі. Осы үрдістердің нәтижесінде астынғы қабаттарда (науа түбінде) ауыр минералдар, ал жоғарғы қабаттарда жеңіл минералдардың түйіршіктері жинақталады. Шекаралық қабатқа екі аралық қасиетті түйіршіктер жиналады. Науадан пульпа әртүрлі қабаттарға (4) бөлініп шығады, сол қабаттардағы пульпа тығыздығы жоғарыдан төменге қарай өсе бастайды. Арнаулы бөлгіш қалқалар немесе қиғыштар (5) арқылы тығыздықтары әртүрлі заттар қабылдаушы

сиымдылықтарға бағытталады. Пульпаның үстінгі қабаты науадан үлкен ағынмен шықса, ал ең астыңғы қабат аз ағынмен шығады. Егер ағымның әр қабаты жеке-жеке бөлініп алынса сапалары әртүрлі өнімдер алынады.



6.8-сурет. Бөлшекті ағымды науаның (а) және конусты концентратордың (ә) конструкцияларының сұлбалық көрінісі

Бұл аппараттта ұсақ түйіршікті кен ғана байытылады (-2(2,5) нан +0,05 мм дейін). Ірілігі 0,05 мм төмен түйіршіктер иірімді ағымның әсерінен қопсып жеңіл фракцияға өтіп кетеді.

Бөлшекті ағымды концентраторлар (Гиредметтің, «Кеннон», «Рейхерт» және т.б.) жеке науалардың жинағынан тұрады. Ең жиі тарағандарға жататын –конусты сепараторлар (6.8ә-сурет). Конусты сепаратордың диаметрі 2 немесе 3м жетеді, ал оған кіретін радиальді орнатылған науалар жинағының бас жағы жалпақ келеді де, ұзын бойымен біртіндеп жіңішкере береді. Сепаратор бөлшектері рамаға (11) бекітілген. Байытуға берілетін бастапқы өнім айналмалы келтеқұбырлармен (1) сақиналы конусқа түсіріледі, оған айналмалы тесікті қалқадан (3) өту арқылы пульпаның ағу жылдамдығы басылып бөлшекті ағымды науалардың жұмысшы конусына (4) келіп түседі, мұнда түйіршіктер өздерінің тығыздықтарына және іріліктеріне қарай бөлінеді.

Концентратордың радиальді боп орналасқан жырықшаларына (5) түскен пульпа жеке ағындарға қиылып конус бетінен веер түрінде боп түсіріледі. Сақиналы қиғыштармен (7) конустан түскен зат концентратқа, қалдыққа және екі аралық өнімдерге бөлініп ретімен арнаулы қабылдаушы сиымдылықтарға 10, 9 және 8 түсіріледі. Олардың шығымдарын реттеу бұрама құрылғымен (6) атқарылады.

Конусты сепараторлар бір, екі, үш және алты ярусты болып жасалынады.

Бөлшекті ағымды науалар және концентраторлар құмды шашыранды титан, цирконий, қалайы және басқа сирек металдар кеніштерін өндеумен концентраттар алуда кеңінен қолданылады. Бұл кендердегі бөлініп алынатын минералдардың тығыздықтары тау-жыныс минералдарына қарағанда, әдетте жоғарғы болады. Аталған аппараттар сирек темір, вольфрам және хромит кендерін байытуда қолданылады.

Гравитациялық байытуда қолданылатын басқа аппараттармен салыстырғанда, бұл аппараттардың артықшылығы, олардың жоғары үлесті өнімділігі (0,9–5,5т/сағ·м^2), капиталдық шығынның аздығы, қозғалатын бөлшектердің жоқтығы. Кемшілігі– жинақтау дәрежесінің төменділігі (2–3-ке жуық), тек тығыздығы жоғары (50–60% қатты) пульпалармен жұмыс істеуі және өндеуге түсетін пульпаның көлемі мен тығыздығының жұмыс кезінде өзгеруінде, олардың жұмыс істеу көрсеткіштерінің кенеттен төмендеуі. Аталған аппараттарда, өнімділігі жоғары фабрикаларда кен мен құмдардан алдын –ала пайдалы заттарды жинақтау үшін тиімді пайдалануға болады.

6. 8. Стационарлы (тұрақты) және қозғалмалы шлюздерде байыту

Жалпы шлюздер ең қарапайым байыту аппараттарына жатады. Стационарлы шлюздің байырғы түрі сәлкөлбеулі (80–120мм/м) тұзу бұрышты ені 0,4–1,5м, ал ұзындығы кемінде 6–30м болатын науа. Шлюзге бастапқы кен сумен араласқан күйде түседі. Судың мөлшері (күші) шлюзге түскен затты ағызып әкететіндей болуы қажет. Себебі затты қозғалысқа келтіретін бұл үрдісте басқа күш жоқ.

Шлюз бетіндегі минералдар түйіршіктерінің бөлінуіне екі күш әсер етеді: олардың салмақтары және судың ағызу күші. Жылжи ағу үрдісінде ауыр түйіршіктер біртіндеп астыңғы қабатқа жиналады, ал жеңіл түйіршіктер бет қабатта қалып, сумен ағады. Астыңғы қабатқа жиналған ауыр түйіршіктер ақпай сол орнында қалу үшін науа түбі әртүрлі әдіспен кедір-бұдыр боп жасалады. Олардың түрі және биіктігі байытылатын зат ірілігіне тәуелді болады. Жасалған кедір-бұдыр жалпы *трафарет* деп аталады. Олар ауыр түйіршіктерді ақтырмай алып қалумен бірге иірім тұдыру негізінде жиналған затты қопсытып олардың тығыздық бойынша бөлініп таралуына мүмкіндік тудырады.

Стационарлы шлюздер (гидравликалық, драждық және басқалары) сұрыпталынбаған ірілігі 100 мм дейін кедей кендерді байытуға қолданылады. Бұларда үлкен өнімділікпен шашыранды сирек және асыл металдар кен орындарының құмдарын байытуға болады, өйткені олардағы минералдар тығыздықтары (ρ_{α}), бос жыныстарға қарағанда ($\rho_{ж}$) әлдеқайда жоғары болады. Шлюздерде байытудың тиімділігі келесі қатынаспен анықталады: $(\rho_{\alpha}-1)/(\rho_{ж}-1)$, мұндағы $\rho_{\alpha}, \rho_{ж}$ – ауыр және жеңіл минералдар тығыздықтары. Қатынас көрсеткіші 3,5-нан жоғары болу керек.

Шлюздердің технологиялық және конструктивтік параметрлері негізінен оған өндеуге түсетін кен кесектерінің ең жоғарғы ірілігімен (d_{max}) анықталады. Оның ірілігі 6 мм-ден 100 мм-ге дейін өскенде ағыс жылдамдығы 1,2–1,6-ден 2,0–2,5 м/с-дейін ал пульпаның сұйытылуы (С:Қ көлем бойынша) – 8–10 нан 16–20 дейін жоғарлайды. Шлюз бойындағы ең төменгі ағын биіктігі ең ірі заттар үшін 1,3 d_{max}, ал ұсақтарға 10 d_{max} мөлшерін құрайды. Ірі кесекті заттар (d_{max}>20 (16) мм) терең түпті шлюздерде (ағын биіктігі 30–40 мм жоғары) байытылады. Таяз түпті шлюздерде (ағын биіктігі 30–40 мм-ден төмен) ұсақ заттар байытылады. Ірілеу зат байытылса шлюз науасының түбіне көлденең бағытта биіктігі 25–55 мм, аралары 25–150 мм құрайтын ағаштан, темірден қиылған кесектер қағылады, не ірі бұдырлы тор салынады. Егер ұсақ зат -3 мм байытылса науа

түбіне бұдыры таяз резеңке немесе түгі жоғары төселімдер (киіз, сукно, плющ және т.б.) салынады; шлюзге түсетін пульпа қабатының биіктігі 3–5 мм. Беті трафареттелінген шлюздердің өнімділігі 0,4-1,5 $м^3/м^2$ ·сағ, ал түкті беттілердікі -0,1-ден - 0,3· $м^3/м^2$ сағ құрайды. Егерде шлюз бетіндегі зат дірілдету арқылы (арнаулы қондырғылармен) қопсытылса, онда оның өнімділі екі есе жоғарлайды.

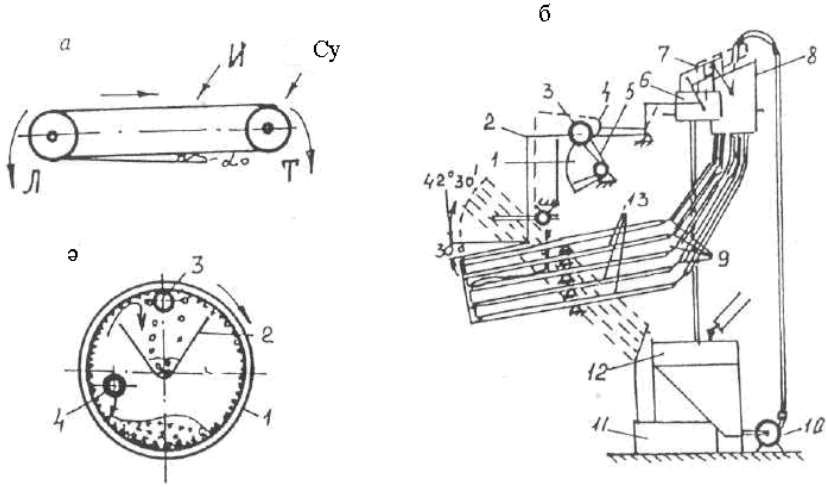
Шлюздерде байыту үрдісі, демек кенді одан өткізу, трафарет бұдырларының арасы толғанша жүргізіледі. Оған қажет уақыт мөлшері кеннің қасиеттеріне сәйкес тәжірибе жүргізу арқылы алдын-ала анықталады. Сол уақыт өткен соң шлюзге кен түсіру тоқтатылады да науа түбінде жиналған минерал қабаты сумен шайқалып бөлініп алынады. Содан кейін цикл қайтадан басталады. Мұндай шлюздердің үлкен кемшілігінің бірі –үрдістің үзілімді жүргізілуі.

Шлюздерді қолданудың бірсыпыра ерекшеліктері бар. Көбінде олар екі түрлі мақсатпен қолданылады. Біріншіден, құрамында бағалы зат өте аз кен байытылғанда одан құнсыз тау-жыныс минералдарының негізгі массасын шығарып, астыңғы қабатқа (ауыр фракция) бағалы минералдарды неғұрлым көбірек бөлу үшін қолданылады. Үрдісті осы мақсатпен жүргізгенде ауыр фракцияда құнсыз зат көп қалады. Соның нәтижесінде ауыр фракция концентрат ретінде емес тек байытылған кен түрінде алынады. Әдетте оны *шлих* деп атайды. Демек, бұл жағдайда шлюздер кенді тек алдын-ала байыту мақсатымен жүргізіледі. Алынған шлихтен концентрат алу үшін басқа аппараттарда (мысалы жинақтау столдарында) байытылады.

Шлюздерден де әртүрлі сапалы өнімдерді қатар алуға болады. Мысалы, ең ауыр түйіршіктер науаның бас жағында (кен түсетін шетіне жақын) қалады, ал екінші жартысында көбінде екі аралық қасиетті түйіршіктер жиналады. Олар екі бөлек шайылып алынса, сапалары әр түрлі өнімдер шығады. Шлюздерде байыту кезінде алтын түйіршіктерінің ірілігі 0,2–0,3 мм болса, ал касситеритпен вольфрамдікі 1 мм асса, онда оларда жоғары деңгейде бөліп алу мүмкіншілігі туады. Қазіргі кезде шлюздердің қозғалмалы түрлері де (оларды жартылай автоматтандырылған шлюздер деп те атайды)қолданылады. Үрдіс аяғында оларға кен түсірілуі арнаулы уақыт релелерінің

көмегімен тоқтатылып, науалар (не декалар) керісінше бағытқа механикалық қондырғымен көлбетіледі немесе аудартылады да, жиналған зат трафарет араларынан (оларды алып шығармай-ақ) су арқылы шайылып шығарылады. Осы жағдайда еңбек шығыны төмендетіледі, затты шлюзден шығару уақытының азаюына байланысты үрдістің тиімділігі артады. Белгілі уақыт өткен соң декалар қайта орындарына келтіріліп кен өндеу үрдісі қайта жалғасады.

Металдық қозғалмалы (ШМС), қозғалмалы резиналы бетті (ШПРП) және таспалы (ленталы) шлюздердің схемалық көріністері 6.9-суретте берілген.



6.9-сурет. Шлюздердің сұлбалары:
а – таспалы; ә – цилиндрлі айналмалы;
б – автоматтық көп декалы (ША)

Аталған шлюздер – сәл көлбеулі шексіз стационарлы металдық шлюздер тіркесі боп немесе тиілетін затқа қарай қозғалатын қорапты резиналы таспа ретінде орындалған. Оларда жеңіл фракция сумен шайылу арқылы астыңғы барабаннан, ал ау ауыр фракция шлюздің қозғалмалы бетінен жоғарғы барабан арқылы шығарылады. Бұл аппараттардың кемшілігі оның конструкцияларының күрделілігі және өнімділігінің төмендігі.

Барабанды концентратор немесе цилиндрлі айналмалы шлюздің (6.9 ә-сурет) диаметрі 800 мм, ал ұзындығы 3600 мм-ге тең. Ішкі беті бұдырлы тісті пішінді резиналы қаптамамен (1) жабдықталған, оның бұдырының биіктігі 2–4 мм құрайды. Қаптамада, ұнтақтау операциясынан шыққан заттан ірілігі -5мм тең бос алтын түйіршіктері ұсталынады. Ұсталынған ауыр түйіршіктер барабанның айналуында (2–6 айн/мин) оның жоғарғы жағына тасымалданып, сонан су шашыратын қондырғы (3) арқылы барабан ішкі бетінен шайылып концентрат қабылдайтын науашыққа түсіріледі. Барабанның астыңғы бетінің заттардың тығыздық бойынша бөлінуіне қабырға жақтан берілетін (4) су өз әсерін тигізеді. Осы берілетін су арқылы, қаптама арасында ауыр фракцияға бірге өтіп кеткен жеңіл түйіршіктер қопсыту негізінде бөлініп шығарылады. Сондықтан барабанның үстіңгі бетіне тек қана ауыр түйіршіктер көтеріледі.

Автоматтық көп декалы шлюздердің (ША) майда ұнтақталған кендерден немесе заттардан ауыр минералдар түйіршіктерін бөліп алуға арналған (6.9 б-сурет). Бастапқы кен пульпасы арнаулы сиымдылықтан (12) сорғы (10) арқылы таратқышқа (8) түсіріліп, одан орналасқан бес жұмысшы декаларға 4 минут аралығында беріледі. Жетек (5) жұдырықшалары аунақшаны (4) басып және тартқыш жүйелерімен қозғалмалы науа (7) арқылы бастапқы затты бачокқа (6) бұрады да, ары қарай құбырмен қайтадан сиымдылыққа (12) түсіреді. Осымен бірге жұдырықша (1) аунақшаны (3) басып және көтеруші иінтірек (2) арқылы декаларды (13) айналдырумен оларды тегістікке қарай 45^0 тең бұрышқа келтіреді (6.9б-суреттегі штрихтелінген сызықтар). Осы жағдайда декалар сумен шайылады. Ол үшін су берілетін кран ашылып декалар бетіндегі концентрат сумен шайылып сиымдылыққа (11) 1 минут аралығында түсіріледі. Сонан соң жұдырықшалар (5,1) айқасудан шығып, оның арқасында декалар (13) және науашыққа (7) өз салмақтары әсерінен қайтадан бастапқы жағдайына келеді де шлюз жұмысының циклы қайталаналады. Шлюздер жұмысының тиімділігінің жақсаруы өндеуге түсетін бастапқы зат құрамынан алдын-ала ірілігі 10–12 мкм класты бөліп алуына және жеке ірілік кластарын бөлек өнделінуіне тәуелді.

7. АҒЫМҒА ҚАРСЫ БАҒЫТТА БӨЛУ. ОРТАДАН ТЕПКІШ ЖИНАҒЫШТАРДА БАЙЫТУ

7.1. Ағымға қарсы бағытта бөлу

Ағымға қарсы бағытта бөлу жабық каналда жүргізіледі. Оның конструкциясы түйіршіктердің ірілігіне қарай бөліну әсерін күрт азайтып, олардың тығыздықтарына қарай бөліну әсерін жоғарлататын ағымдар мен иірімді қозғалыстың белгілі бір жүйесінің пайда болуын қамтамасыз етеді. Соның нәтижесінде жеңіл фракция түйіршіктерінің қозғалу бағыты бөлгіш ортаның ағымы мен бағыттас болады да, ал ауыр фракция түйіршіктерінің ағымы қарама қарсы бағытта болады.

Материал бөлгіш ортаның тығыздығынан артық тығыздықта бөлінеді. Оған себеп болатын жай- бөлгіштің жұмыс зонасында ауыр түйіршіктердің жиналып табиғи ауыр суспензияның пайда болуы. Ауыр және жеңіл фракциялардың түйіршіктерінің қарама қарсы бағытта қозғалатын ағымдарының өзара араласуы нәтижесінде табиғи суспензия жақсы қопсыланады да, байытылатын материалдың екшелену бағыты - созылымы айтарлықтай жеткілікті болады. Материалды ағымға қарсы бағытта бөлуде тіктеу көлбеулі және ортадан тепкішті гравитациялық қарсы ағымды бөлгіштер пайдаланылады .

Өнімділігі 25–250 т/с тіктеу көлбеулі КНС бөлгіштерде (7.1 а-сурет) тығыздық бойынша бөлу негізінде қиындысы тік бұрышты көлбеулі каналда (1) гравитациялық күштердің әсерімен жүреді. Оларда иірімді ағым бұранды реттегіштерде (4) көлденең қисық-қисық көлденең қалқаншалары бар екі арнаулы декалар (2) көмегімен пайда болады. Неғұрлым жасалатын иірімділік қарқынды болса, соғұрлым иірімді ағымның кедергісі және ортаның қосымша тығыздығы жоғары болады ΔРс:

$$\Delta P_C = KNP_C(V_{\max}^2 - V^2)/2g\ .$$

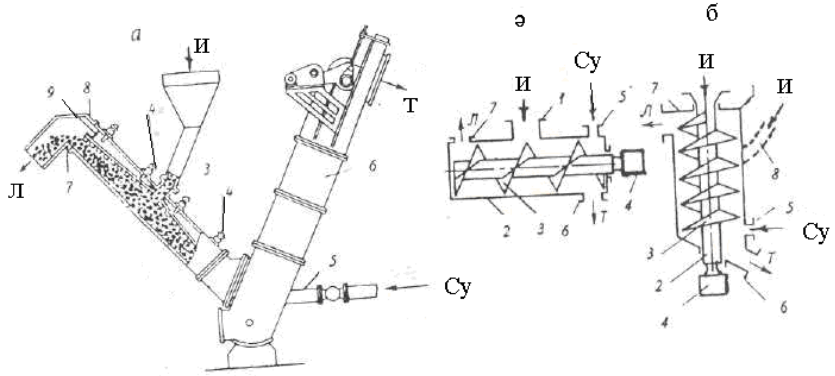
мұндағы К – ағымның иірімделуі дәрежесінің коэффициенті ;

N – каналдың ұзындық бірлігіндегі қалқаншалардың саны ;

V_{max} және V – қалқандардың деңгейіндегі ағымның максималды және орташа жылдамдылықтары.

Ірілігі 3,5-5,0 тен 40–150 мм дейінгі бастапқы зат түсіргіш тесік арқылы (3) каналдың орталық бөліміне түсіріледі, ал су белгілі жылдамдықпен сұғындырма (5) арқылы оның төменгі бөлігіне түсіріледі. Су ағымына қарсы қозғалатын ауыр түйіршіктер түпкі қабатқа түседі де бөлгіштің төменгі бөлігінен сусыздандырғыш элеватормен (6) шығарылады. Жеңіл түйіршіктер ағынмен жоғары көтеріліп бөлгіштің ағызынды шығатын жерінен шығады. Материал мен ағын жұмыс атқарылмайтын декалар мен (2) қақпақ арасындағы кеңістікке шықпау үшін олар резеңкелі манжеттермен (9) қосылады .

Бөліну үрдісінің тиімділігі бөлгіштің корпусының көлбеу бұрышына тәуелді (46-54 °жазықтыққа): көлбеулік жұмыс зонасындағы (1) материалдың қопсу дәрежесін анықтайды (реттейді) .



7.1-сурет. Қарсы ағымды бөлгіштер.
а-тіктеу көлбеулі типті КНС; ә- жазық шнек типті СШ;
б-вертикальді шнек типті СВШ; Л-жеңіл фракциялар ;
Т- ауыр фракциялар; И- бастапқы түсірім

Тар шкаламен сұрыпталған ірі кластарды және көмірді байытқанда, көлбеу бұрышы сұрыпталмаған және лайсыздандырылмаған көмірді байытқандағыдан үлкен болуы қажет. Қозғалмалы декалардың (2) орны аппараттың ең оңтайлы жүгі болғанда жұмыс каналының өткізу қиындысын және бөлгіштің өнімділігін, бөлу үрдісінің сапалы көрсеткіштерін және судың шығынын анықтайды. Жұмыс каналының әр түрлі

қиындысында жылдамдықты анықтайтын судың көлемі оның өткізу мүмкіндігіне сәйкес болуға керек және жұмыс істеу аймағы шегінде бөлу тығыздығы берілген мөлшерде бір қалыпты деңгейде ұсталынуы қажет. Оңтайлы бөлу режимінде ол ауыр түйіршіктердің шөгу зонасындағы қалқан маңайындағы қысымның өзгеруіне гидравликалық кедергісінің эквиваленттігін анықтайды. Бөлгіште ірі класстарды байтқанда ағынның жұмыс жылдамдығы 0,5-0,7м/с, ал ұсақ класстарды байытқанда 0,2 – 0,3м/сек құрайды. Ортадан тепкіш гравитациялық қарсы ағымды жазықты (7.1 ә-сурет) және тік типті (7.1 б-сурет) шнекті бөлгіштерде тығыздығына қарай материал түйіршіктерінің бөлінуі мәндері жақынырақ ортадан тепкіш және ауырлық күштерінің әсерімен іске асады. Тиімді бөліну тығыздығының $\delta_б$ жоғарлауы байытылатын материалдың түйіршіктерінің қозғалысының тығыздығы $\delta_ж$ бөлгіш ортаның қозғалысынан қалып қалуымен, сол сияқты түйіршіктердің V_m және ортаның $V_ж$ шеңберлі жылдамдықтарының дәл келмеуіне байланысты болатын қосымша қысым градиентінің әсерімен анықталады: $\delta_б = \delta_ж \cdot V_ж^2 / V_m^2$.

Осы жағдайда бөліну зонасында қосымша көлемді күш пайда болады. Ол бұрамды ағынның қисық орталығына бағытталған. Көлемді күш ақырында әртүрлі тығыздықты түйіршіктердің бөліну тиімділігін анықтайды.

СШ типті жазықты шнекті (7.1 ә-сурет) бөлгіштер өнімділіктері (көмір үшін) 120-200т/с. Оған ірілігі 3-150 мм зат диаметрі 1500 мм жететін цилиндрлі корпустың орта бөлігіне түсіргіш арқылы түсіріледі.Цилиндр ішіне қозғалтқыш (4) арқылы айналысқа келтірілетін (10-35 мин$^{-1}$) шнек орнатылған.

Бөлгіш орта (су) бөлгіш аппаратқа тангенциалды (жанама) сұғындырма арқылы түседі де бұрамды каналда қозғалады. Бұрама канал корпустың ішкі қабырғасымен шнек аралығына орналасқан. Шнек су ағынының қозғалым бағытымен айналады.

Шнектің айналуы ағымның жылдамдығының қиынды көрінісін айтарлықтай өзгертеді және өс бағытымен біріне бірі қарсы қозғалатын ағынды екі коаксилды қабатқа бөледі, соның

нәтижесінде бөлгіштің бұрама каналының барлық аймағында бастапқы материалдың тығыздығына қарай бөлінуі қамтамасыз етіледі. Ірі және ауыр түйіршіктер ағыннан қабырғаның ішкі бетіне түседі де шнекпен ағынға қарсы тасылып шығарылатын орынға жеткізіледі, ал жеңілдері ағын бағытымен шнек өсімен орай қозғалып, шығарылатын жерге жетеді. Бөліну тығыздығын судың шығымын және шнектің айналу жылдамдығын өзгертіп реттеуге болады. Сол сияқты, соңғы фактор екі тасығыш ағымның арасында массалар ауысу дәрежесін анықтайды, материалдың біраз бөлігін негізгі ағымға қарсы бағытқа түсіруді қарқындатады және «қалыпша қалатын» аймақтың болуын қамтамасыз етеді. Бөлу тығыздығы су шығыны өскенде жоғарылайды. Шнектің айналу жылдамдығын оңтайлау су шығынын 20-30% азайтуға мүмкіндік береді.

СВШ типті тік (7.1ә-сурет) шнекті бөлгіштердің өнімділіктері материал ірілігі 6-150 мм (көмір) болғанда 150т/с жетеді. Материал бөлгіштің орталық бөлігіне шнектің қуыс білігі (3) арқылы түседі. Шнек қозғалтқышы және су түсетін сұғындырма төменде орналасқан. Бөлгіш орталығына түскен зат қарама-қарсы бағыттарда қозғалатын екі ағымға бөлінеді: бөлгіш ортаның ағынына қарсы қозғалып (гравитациялық және ортадан тепкіш күш әсерімен) шнектің бұранды жолымен төменгі шығарылатын жерге(6) баратын ауыр түйіршіктер және бөлгіш ортамен бірге ағызындыға (7) шығатын жеңіл түйіршіктер. Үрдісті реттеу параметрлеріне су шығыны және шнектің айналу саны жатады.Көмірді байытқанда сапалы концентрат алу үшін шнектің айналу саны неғұрлым жоғары болу керекте, ал кедей қалдық алу үшін керісінше ,оның айналу саны төмен болуы қажет.

СВВ типті тік дірілдеуік шнекті бөлгіште шнектің айналма қозғалысы төменгі жиілікті дірілді қозғалтқыштан тік өсті айнала қайтарымды –тербелісті қозғалысқа келеді (50-80айн/мин). Мұнда бөлгіш шнегі қозғалмайтын корпустан 60-100мм қашықтайды.ПВС типті қарсы ағымды тікбұрама бөлгіште шнек қозғалысқа келмейді.Ол бөлгіштің орталық өсіне колбеу тұтас ленталы бұрама бет түрінде жасалған.Қажетті иірімді қозғалыс корпустың жазық бетті қабырғаларымен және бұрамамен қамтамасыз етіледі.Жұмыс зонасындағы біліктің

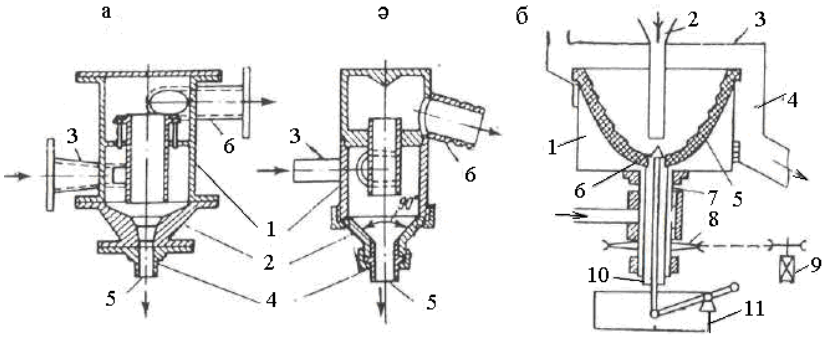
болмауы аппараттың тиімді қиындысының үлкен болуына байланысты өткізу қабілетін айтарлықтай жоғарлатады.

СВП типті қарсы ағымды ауалы бөлгіштің (7.1б-сурет) өнімділігі ірілігі 0-25мм тас көмір және антрациттерді байытқанда 5т/с жетеді.Ол бөлгіш орта ретінде ауаны пайдаланатын СВШ типті тік шнекті бөлгішке ұқсайды.Жеңіл фракция ауа ағымымен жоғарғы шығару жырығына көтеріледі,ол ауыр фракция шнек қалқандарымен төменгі шығару жырығына қарай қозғалады.Тығыздығы бойынша болу үрдісі ауаны қысыммен беру не сору арқылы жүргізілуі мүмкін. Екінші вариантың біраз артықшылығы бар: онда жабдықтарды орналастыру оңайырақ және шаңдануды азайтуға болады.

Қазіргі кезде қарсы ағымды бөлгіштер негізінен энергетикалық көмірлерді және ашық карьерлерді пайдаланғандағы бос жыныстар мен бірге шығатын антрациттерді байытқанда, шахталарда және қиындыларда бос жыныстарды механикалық жолмен бөліп тастауға қолданылады.

7.2. Ортадан тепкіш жинағыштарда байыту

Ортадан тепкіш жинағыштардың – гидроциклондардың және центрифугалардың (7.2–сурет) қисықты ағымдарында материалды тығыздығына қарай бөлу негізінде ортадан тепкіш күштер арқылы жүреді. Себебі олардың күші бөлінетін түйіршіктердің ауырлығынан әлдеқайда жоғары. Циклонды типті қозғалмайтын жинағыштарда (7.2 а, ә-сурет) ортадан тепкіш өрісінің пайда болуы оларға түсетін ағын қысыммен тангенциалды жанама бағытпен берілуінде, ал айналмалы центифугаларда (7.2 б-сурет) бос берілетін ағынды айналмалы қозғалысқа келтіруден. Оларда, ағым бағытының ортадан тепкіш өрісінің күшінің векторымен бірдей болмауы түйіршіктердің тығыздығына қарай бөлінуінің негізгі шарты болып саналады. Бөліну тиімділігі ағымның айналу бұрышының жылдамдығына, ұзын бойы қозғалу жылдамдығына және бөлінетін түйіршіктердің гидравликалық ірілігіне тәуелді.



7.2-сурет. Гидроциклонды типті ортадан тепкіш жинағыштар (а,ә) және жинағыш центрифуга (б)

Гидроциклонды типті ортадан тепкіш жинағыштар (7.2 а, ә-сурет) жоғарғы қысқа цилиндрлі (1) бөліктен және бір баспалы төменгі конустан (2), әртүрлі бұрыштың көлбеуліктері бар конустардың қиыспаларынан немесе жартылай шар беттен тұрады. Олардың ішкі беттері резеңкемен немесе құйылған таспен қапталған. Бастапқы материал аппараттың цилиндрлі қабырға бөлігіне сұғындырма (3) арқылы қысыммен жанама түсіріледі. Ауыр фракция құмды тесіктен (5) сұғындырма (4) арқылы, ал жеңіл фракция ағызынды құбырының сұғындырмасы (6) арқылы шығады. Аппарат жұмысын реттеу параметрі болып құмды және ағызынды сұғындырмалардың тесіктерінің диаметрлер қатнасы саналады. Ол бастапқы заттың ірілігіне және ондағы ауыр фракцияның үлесіне қарай 0,15-0,2 ден 0,3-0,4 дейін өзгереді.

Шет елдерде цилиндрі бөлегінің диаметрі 100-500 мм және конустылық бұрышы 120,75 және 20^{o} тең үш қиынды конустан тұратын конусты бөлегі бар «Трикон» (7.2а-сурет) деген бөлгіш, Россияда диаметрі 50мм ден 750мм жетерлік ВНИИПрозолото жасаған қысқа-конусты гидроциклон (7.2ә-сурет) қолданылады. Онда арнаулы клапанмен ағызынды шығатын сұғындырманың қиынды ауданын реттеуге болады және аппарат жұмысын тоқтатпай диска-кассетті бұрып құмды сұғырманың тесігінің размері реттеледі

Бөлгіштің цилиндрлі бөлегінде түйіршіктердің сиппаттамаларына сай радиус бойымен жүзеге асырылады ор

және қабырғаға жақындаған сайын тығыздығы өсе беретін қабаттар пайда болады. Бірақ материалдың тығыздығына қарай бөлінуі байқалмайды. Бөліну негізінде аппараттың конустық бөлімінде (не сфералы) орын алады. Бұл кезде ауыр түйіршіктердің концентрациясы материал шығарғыш тесікке жақындаған сайын қабырға жанында өседі. Түйіршіктердің тығыздығына қарай бөлінуіне аппараттың конусты бөлігінің қабырғасынан сұйықтың алыстау жылдамдығының өсуі және қабырғаға жақын қабаттағы минералды заттың қопсуы жақсы әсер етеді. Қабырғаға жақын қабаттағы ауыр түіршіктердің үлесі $\beta_т$ (%) мен оның қопсулығы θ (бірлік бөлігі) арасында функциялды тәуелділік бар:

$$\beta_т = A(\theta)^{-n},$$

мұнда А – коэфициент; n – бөлу жағдайына тәуелді дәреже көрсеткіші.

Оңтайлы сұрыптау үшін қажетті аппараттың төменгі бөлігінде конустық бұрыш 20-22^o болғанда, ал оңтайлы байыту үшін 90-140^o болғанда тығыздыққа қарай бөліну жағдайы жақсарады, ал ірілігіне қарай нашарлайды.

Тығыздығына қарай максимальды бөліну тиімділігі ірілеу түйіршіктердің араласы (-18 мм көмір және -0,5мм кенді өнімдер үшін) үшін бір сатылы конус болғанда, конустық бұрыш 120-140^0 болғанда, ал ұсақ және ұнтақ(-74 және -44 мкм) материал үшін 90-120^0 болғанда орын алады. Кіші диаметрлі аппараттарда ірі материалды байыту ұсынылмайды. Сұрыптағыш гидроциклондарға қарағанда ұсақ материалды тығыздығына қарай бөлуге қолданылатын қысқа конусты гидроциклондарда олардың ірілігі өскен сайын тиімділігі арта түседі. Сонымен қатар, ол пульпаның тығыздығы төмендеген сайында өседі. Себебі қатты зат үлесі өскенде пульпаның тұтқырлығы артады және ондағы түйіршіктер жақындай түседі. Мұның бәрі ортадан тебілуге ғана емес, сол сияқты материалдың екшеленіп қабаттарға бөлінуіне кедергі келтіреді.

Циклонды типті ортадан тепкіш жинағыштар ұнтақталған алтын және қалайы кендерімен өнімдерін, теңіз шашыранды құмдарын, фабрикалардың қалдықтарын қайта өндеуде және ұнтақ көмірден бос жыныстарын бөлуде алдын-ала байытуға

болатын жоғарғы өнімді аппараттар. Төменгі қысымда тиімді жұмыс істеулері (10^4–10^5 Па) материалды сорғымен беруді қажет етпейді және оларға материалды төменгі қысымды сыйымдылықтардан беруге болады.

Ортадан тепкіш жинағыштар-центрифугалар (7.2б-сурет) диаметрі 300-400 мм жартылай шарлы бетті, бұдыр резеңкемен қапталған ойықты ротор (5). Ол айналымды қозғалысқа белдікті беріліс арқылы электроқозғалтқыш және қуыс білікке (7) орнатылған бергіш (8)арқылы келтіріледі. Ойық түсіргіш (2) арқылы үстінен берілетін пульпа ағымы айналып тұратын ойықтың қабырғасында иірімделеді де, ағызынды шығатын жоғарғы шетіне параболоидтық айналым жасай көтеріледі. Жеңіл түйіршіктер ағыммен жоғары көтеріліп ағызынды астаушасына (4) түседі, ал ауыр түйіршіктер тесігі арнаулы қондырғымен (10) реттелетін қуыс білік (7) арқылы қабылдағышқа (11) шығарылады.

Тығыздығы бойынша бөлінуге оңтайлы шарт ротордың бұрышты жылдамдығымен центрифуганың өнімділігі белгілі қатнаста болғанда орындалады. Сонда ғана ағызатын ағымның күші және ойық –ротордың биіктікке сәйкес «қыса жапсыратын» ортадан тепкіш күші арасында қажетті қатнас пайда болады. Төменгі бөлегінде ең ауыр түйіршіктерден басқалары ортадан тепкіш күштердің әлсіздігіне , ал ағызғыш ағымның күшті әрекетіне байланысты жоғары көтеріледі. Айналымды параболойдтың бойымен қозғалғанда ағымның динамикалық қысымы төмендейді, ортадан тепкіш күш өседі.

Соның нәтижесінде ауыр түйіршіктер ағымнан қабырғаға жабыса төмендей қозғалып ротордың ортасындағы шығарғыш тесіктен шығады, ал жеңіл түйіршіктер ағынмен ағызындыға шығады. Қабырғаға жақын жүзгінді түйіршіктер қабаты ауыр түйіршіктерді жинау ролін атқарады. Ротор диаметрлері 300-400 мм және айналудағы ағызындының шеңберлі жылдамдығы 4,5-5 м/с құрайтын жинағыштарда байытылатын материалдың ірілігі 4-8мм шамасында болады. Бастапқы материалдың ірілігі 4,0 тен 0,5 мм дейін азайғанда сұйықтың қатты затқа қатнасының (С:Қ) оңтайлы қатнасы 20: 1 ден 10:1 дейін өзгереді.

Ортадан тепкіш жинағыштардың – центрифугалардың қолданылатын орындары циклонды типті жинағыштарға ұқсас, бірақ кейінгілерге қарағанда өнімділіктері 10-12 есе аз.

8. ПНЕВМАТИКАЛЫҚ БАЙЫТУ

8.1. Ауа ортасында гравитациялық байытудың ерекшеліктері

Пневматикалық байыту әдісі пайдалы қазындылардың тік бағытта үздіксіз не үзілімді қозғалатын ауа ағымында ірілік және тығыздық бойынша бөлуіне негізделген. Егерде бөліну үрдісі ірілік бойынша атқарылса, онда оны пневматикалық сұрыптау деп атайды. Тығыздық бойынша бөліну пневматикалық жинақтау (концентрациялау) деп аталады. Ауа күшімен байыту тек қажетті жағдайларда ғана жүргізіледі. Оған себеп болатын жайлар өндеу құнының төменділігі, судың тапшылығы, алынған өнімнің құрғақ болуының қажеттігі. Бұл әдіс көбінде концентрат түрінде алынатын заттың тығыздығы қалдықта калатын минералдардың тығыздығынан аз болғанда қолданылады. Оларға жататындар, мысалы, қара және бурыл көмір, асбест және т.с.с.

Ауа күшімен байытуда колданылатын заңдылықтар суда жүргізілетін гравитациялық үрдістерге де негізделінген. Мұнда да минералдар тік бағытта үздіксіз не үзілімді қозғалатын ауа ағымында бөлінеді. Бірақ бұл үрдістің өз ерекшелектері бар. Мысалы мұнда түйіршіктердің ақырғы шөгу жылдамдығы ауа тығыздығы судан көп төмен болғандықтан ұзағырақ уақыт ішінде қалыптасады. Оған ортаның тұтқырлығының аз болуы себеп болады. Осы себептермен ауа күшімен байытылғанда минералдардың бөліну дәрежесі төмендеу болады. Және тек ұсақ құрғақ зат қана байытылады.

Пневматикалық байытуда ауа ортасында қозғалатын түйіршіктердің бірдей шөгу коэффиценті су ортасында қозғалатын түйіршіктермен салыстырғанда 2–2,5 есе төмен. Бірдей шөгу коэффиценттің осындай аздығы пневматикалық байытуда түйіршіктердің тығыздық бойынша бөліну тиімділігінің төмендігін көрсетеді. Сондықтан пневматикалық байытуға түсетін өнім алдын ала бірдей шөгу принципімен, сулы ортадағы байытуға қарағанда, тар шектегі ірілік кластарға сұрыпталуы қажет.

Бұл әдіспен байытуда екітүрлі аппарат қолданылады: пневматикалық сепаратор және пневматикалық шөктіру

машиналары. Екеуінде де бастапқы зат тор үстіне түседі. Тор арқылы оның астынан қысыммен берілетін ауа ағымы үздіксіз, не үзілімді өтеді. Ауа күшімен зат қабаты қопсып, қозғалысқа келеді. Ауыр түйіршіктер астыңғы қабатқа түсіп, жеңіл түйіршіктер үстіңгі қабатқа жиналады да әр қабат әртүрлі бағытта жылжи қозғалып бөлінеді. Үрдіс жеңіл жүру үшін ауа ағымының күші жеткілікті болуы қажет.

Тор бетіндегі затты (төсеніш) қопсытпай біркелкілігін ұстап тұруға қажетті ауаның статикалық арыны мынаны құрайды:

$$\mathrm{P}_{ст} = \theta \cdot \rho_{орт} \cdot h\,, \qquad (8.1)$$

мұндағы $\mathrm{P}_{ст}$ – статикалық арын, $\mathrm{Н}/м^2$;

θ – қопсыту коэффициенті;

h – зат қабатының биіктігі, м;

$\rho_{орт}$ – төсеніштің орташа тығыздығы, $\mathrm{Н}/м^2$.

Ауаның зат түйіршіктерінің арасынан өтуіне сәйкес, статикалық арын жартылай динамикалыққа ауысады, осы жағдайда төсеніш қопсып аққыштық түрге келіп, қабаттарға жіктеледі.

Төсенішті қопсытуға қажетті динамикалық арын, түйіршіктердің ақырғы шөгу жылдамдығына тәуелді. Оның мөлшері төменгіден аз болмауы керек:

$$\mathrm{P}_g = \frac{\Delta_a \cdot \vartheta_0^2}{2}\,, \qquad (8.2)$$

мұндағы P_g – динамикалық арын, Н/м^2;

Δ_a – ауаның тығыздығы, кг/м^3;

ϑ_0 – шөгудің ақырғы жылдамдығы, м/с.

Пневматикалық байытуда қолданылатын аппараттардың дұрыс жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін, төсеніш енінің әр бір сантиметр қалыңдығына берілетін ауа арыны 50–80 Н/м^2 кем болмауы керек, ал ауа айдағыштың арыны осы шамадан 1,5–2 есе артық болуы қажет.

Төсеніш бойында (астынан жоғары қарай) ауа ағыны арынын жоғалта бастайды, сондықтан қалыптасқан әр бір қабатты жүзгінді түрде ұстап тұруға қажетті ауаның бір нақтылы жоғары бағытталған жылдамдығы болуы тиісті. Бұл жағдайда осы қабаттағы түйіршіктерден ауыр түйіршіктер төменге қарай шөгіп, ал одан жеңілдері жоғары қарай көтеріле бастайды. Динамикалық арынның көптігі төсеніш құрылымын бұзып, соның әсерінен үрдістің тиімділігін төмендетеді. Осы жағдайды болдырмау үшін, аппараттардың жұмысын реттеу кезінде, төсеніштің ауаны өткізу кедергісін арттыруды қадағалау қажет.

Тар шекте сұрыпталған заттарды байытуда ауаның жоғары шығыны қажет етіледі, ал кен шекте сұрыпталғандарға одан төмен.

Пневматикалық байыту өңделінетін заттың ылғалдылығына сезімтал келеді. Таскөмірлердің сыртқы ылғалдылығы 8 %-тен, ал бурыл көмірлердің 15 %-дан аспауы керек.

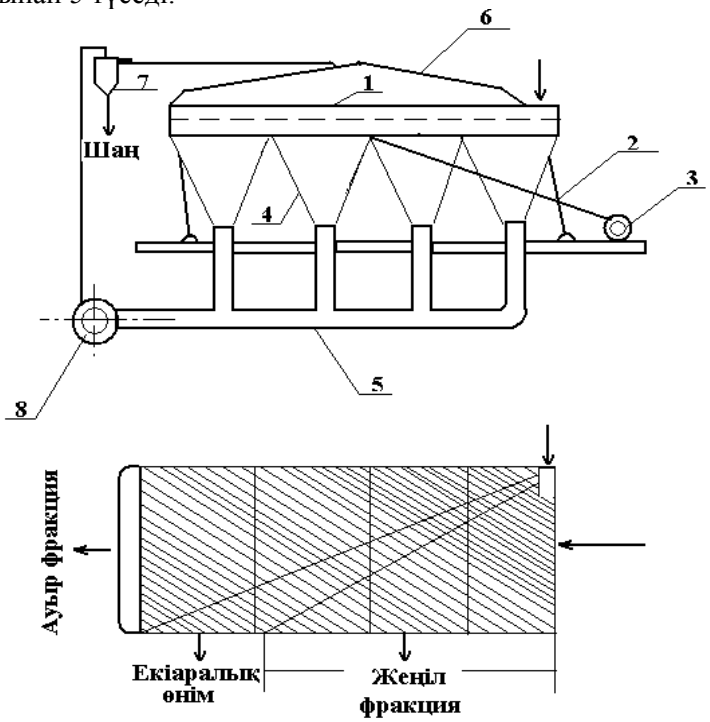
8.2. Пневматикалық байытуда және сұрыптауда қолданылатын машиналар

Пневматикалық сепараторлардың (СП, ОСП, СПБ) конструкциялары жинағыш столдарының конструкциясына ұқсас. ОСП сепараторының схемалық көрінісі 8.1- суретте көрсетілген.

Сепаратордың негізгі бөлшегі төрт бұрышты дека 1. Шарнирлы тірегіштерге 2 орнатылған. Дека электрқозғалтқыштан 3 эксцентрикті механизм арқылы ілгерінді-кейінді тербеліске келтіріледі.

Дека көлбеу орнатылған: бастапқы зат түсетін шеті төменірек, ал екінші шеті жоғарырақ орнаған (көлбеулік мөлшері 4–11). Сол сияқты көлденең бағытта да оның келбеулігі 12° жетеді. Дека үстіне орнатылған рифлдер ұзын өске 9 көлбеу жасай қағылған және әр қайсысының ұзындығы деканың бір шетінен екінші шетіне дейін жетеді. Деканың жинағыш столының декасынан айырмашылығы ол болат қабатынан жасалған тесікті тордан тұрады. Тор асты деканың ұзын бойына

бірнеше секцияға 4 бөлінген. Әр секцияға ауа ортақ ауа құбырынан 5 түседі.



8.1-сурет. Пневматикалық сепараторд (ОСП) және оның жұмыс істеу сызбасы
1 – дека; 2 – шарнирлі тірегіштер; 3 – электрқозғалтқыш; 4 – конусты секция; 5 – ауа құбыры; 6 – зонт; 7 – циклон; 8 – желдеткіш.

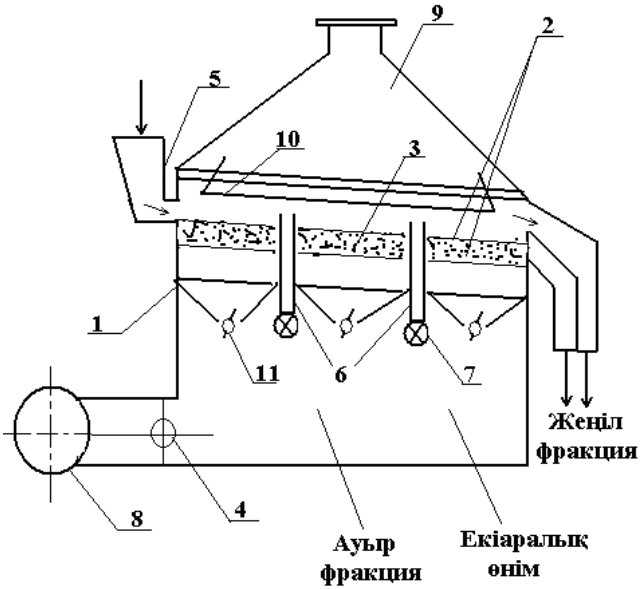
Бастапқы зат дека бетіне бір қалыпты түсіріледі. Ауаның қопсыту әсерінен қабаттарға бөлінген түйіршіктер тербету күші әрекетімен бағытта жылжи бастайды: ауыр түйіршіктер (астыңғы қабат) деканың бастапқы зат түсетін шетіне қарама-карсы бетіне жылжиды да, ал үстіңгі қабат төменгі шет бойына жылжиды. Екі аралық өнім шекаралық траекториямен қозғалады. Демек, үрдіс жинағыш столындағы жүретін үрдіске ұқсас.

Ауа ағыны күшімен бастапқы зат ішіндегі өте ұнтақталған зат шаң болып ұшады. Оны ауаға шығармас үшін дека үстіне зонт 6 орнатылады. Шаңды ауа зонт ішінен сорылып циклонға 7 түседі. Онда ұсталған шаң бөлінеді де, тазаланған ауа қайтадан желдеткішке 8 түседі.

Пневматикалық сепараторлардың техникалық сипаттамасы төмендегідей:

– деканың ауданы, $м^2$ 6,5–17
– тербеліс жиілігі, $мин^{-1}$ 200–450
– ауаның үлестігі, шығыны, мың $м^3$ /сағат $м^2$ 6,5–15,5
– өнімділік, т/сағат 40–100

Пневматикалық шөктіру машинасы (ПОМ). Оның жалпы көрінісі сұлбалық түрде 8.2-суретте көрсетілген.



8.2-сурет. Ауамен шөктіру машинасының сұлбалық көрінісі:
1 – корпус; 2 – тор; 3 – фарфор шарлары; 4 – клапан-пульсатор; 5 – секторлы бекітпе; 6 – шығарғыш қалталар; 7 – бұрама конвейерлер; 8 – желдеткіш; 9 – зонт; 10 – тегістегіш тақта; 11 – клапан.

Еш саңылаусыз (ауа кірмес үшін) жасалған және горизонтқа 10–11^0 көлбеу орнатылған корпус 1 ішінде тесіктердің диаметрі 1,2–1,5 мм екі қабат тор (дека) 2 орнатылған. Екі тор арасына диаметрлері 15мм фарфор шарлары 3 толтырылған. Олар тор астынан тік бағытта берілетін ауаның біркелкі жайыла шығуына себеп болады. Камерадағы тор астындағы кеңістік оның ұзын бойына калқамен екіге бөлінген. Демек, торлы дека екі жарты декадан тұрады деуге болады. Ауа осы екі бөлімге клапан-пульсатор 4 арқылы кезек беріледі: бір бөлімге ауа түскенде, екінші бөлімге түспейді. Сөйтіп әр жарты декаға ауа үзілімді беріледі. Тордан және зат қабатынан өткен шаңды ауа корпус үстіне орнатылған зонт 9 астындағы кеңістіктен арнаулы жеке желдеткіштен тартылып тазалағыш циклондарға түсіп, одан әрі атмосфераға шығарылады.

Бастапқы көмір дека үстіне ішіне заттың түсуін реттейтін секторлы-бе-кітпе 5 орнатылған бункерден түседі. Көмір әр жарты дека үстіне белгілі қалыңдықпен бір келкі түсу үшін үстіңгі тордан 50 мм биіктікке, тесігінің диаметрі 50х50 мм үшінші тор 10 орнатылған. Оның төменгі екі тордан айырмашлығы - ол топсалы ілгіштерге ілініп арнаулы қондырғымен тербелімді қозғалысқа келтіріледі.

Сонымен дека үстіне түскен зат кесектері салмағына қарай үзілімді ауа ағымы әсерімен кіші тесікті үстіңгі тор үстінде әртүрлі кабаттарға жиналады. Көмір (жеңіл фракция) үстіңгі қабатта қалып, ал тау-жыныс минерал кесектері астыңғы қабатқа түседі. Осы екі қабат арасына екі аралықты қасиетті түйіршіктер жиналады.

Ауа деканың ұзын бойына бір қалыпта түсу үшін және әр қабаттағы фракциялардың шығымын және сапасын реттеу үшін торлар астындағы кеңістік көлденең бағытта үш секцияға бөлінген. Әр секцияға түсетін ауа көлемін арнаулы клапандармен 11 реттеуге болады. Әр секцияның біткен жерінде торларда жарықшалар бар. Астыңғы қабаттағы зат ығыса келе сол жарықшалар арқылы қалталарға 6 түседі. Олардан бұрама конвейерлер 7 арқылы үздіксіз шығарылып отырады. Сөйтіп бірінші секцияның біткен жеріндегі жарықшаққа ең ауыр фракция бөлініп түседі. Бұл кезде үстіңгі қабаттар тура жылжи береді. Екінші секция біткен жерде 1 жарықшаққа екі аралық

қасиетті кесектер түседі.Ақырғы секциядан ен үстіңгі қабат (көмір концентраты) шығады. Егер оның сапасын көтеру керек болса бұл қабатты екі қабатшаға бөліп алуға болады. Демек үстіңгі кабатша таза көмір кабаты түрінде, ал астаңғы қабатша екі аралық өнім түрінде алынады. Ол қабатты қабатшаларға бөлу үшін көлденең бағытта жоғары –төмен түсіруге болатын сұқпажапқыш орнату қажет.

Осы келтірілген жайлардан пневматикалық шөктіру машинасының жұмысы сумен істейтін машналардың жұмысынан еш айырмашылығы жоқ екенін көреміз. Бұлардың техникалық сипаттамасы төмендегідей:

– тор ауданы, $м^2$ 2,6–4,4
– ауаның берілуі жиілігі, $мин^{-1}$ 125–420
– ауаның шығыны, мың $м^3$/сағат 19–24
– ауаның қысымы, МПа 27–37
– өнімділігі, т/сағат 80–100

Асбест кендерінің байытылуы пневматикалық байыту әдістерімен атқарылады: сорумен, сепарациямен және көлбеу тегістіктерде бөлумен. Ауамен сорумен байыту асбест талшықтарының (тығыздығы 500 кг/$м^3$) және бос жыныстардың (2500 кг/$м^3$) тығыздықтарының айырмашылығына негіз-делген. Ауа ағысында олар әртүрлі жылдамдықпен қалқиды да, соның әсерінен бөлінеді. Сорумен байыту електерде (грохоттарда) немесе ауа–өткізуші бөлгіштерде жүргізіледі.

Көлбеу орнатылған електерде кеннің жеңіл талшықтары жоғары қабатқа қалқып шығады да, ауа ағынымен циклонға түсіріледі, сонан концентрат ретінде шығарылады. Кеннің бос жыныс бөлегі астыңғы қабатқа жинақталып, сонан арнаулы қабылдағышқа түсіріледі.

Ауа өткізуші бөлгіштерде ұсатылған кеннің жұқа қабаты ауа ағынына қарама-қарсы берілу арқылы кеннің құрамындағы асбест талшықтары бөлініп циклонға түсіріледі. Ауаның қозғалу жылдамдығы, асбест талшықтарының қалқу жылдамдығынан жоғары, ал бос жыныстардың кесектерінің жылдамдығынан төмен болуы қажет. Асбест талшығының қалқу жылдамдығы оның түйіршігінің ұзындығына және қалыңдығына тәуелді болады да, 6-8 м/с құрайды, ал құбырдағы ауа жылдамдығы

біріңғай қалқу жылдамдығынан 2,5-3 есе артық болып қабылданады.

Ауада сепарациялау ірілігі 1,5(5) мм-ден 0,005 мм дейінгі заттар үшін қолданылады. Зат екі өнімге бөлінеді – ұсақ түйіршікті (шаң) және ірі түйіршіктіге. Егерде заттан әртүрлі ірілікті кластағы өнім алынатын болса, онда екі немесе одан көп аппараттар қолданылады.

9. КЕНДЕРДІ ЖӘНЕ ҚҰМДАРДЫ ЖУУ

9.1. Үрдістің мәні және қолдану орны

Жуу үрдісі көбіне құрамында саз мөлшері көп, ұйысқан шашыранды кен орындарынан алынатын алтын, қалайы, вольфрам және тағы басқа түсті металл кен түрлерін байыту алдында қолданылады. Сондай-ақ, жуу үрдісі қара металдар, фосфорит кендерін, құрылыс заттарын (құм, гравий) т.б. пайдалы қазбаларды байытқанда қолданылады. Бұл кен түрлерінде тау-жыныс минералдарының белгілі табиғи құбылыстарының әсерімен біртіндеп бұзылып, талқандалып балшық түріне айналып кетеді. Осындай кен мысалы, ұсату не ұнтақтау үрдістеріне түссе қолданылатын аппараттардың жұмыстарын қиындатып өнімділіктерін төмендетеді, ал байыту үрдістерінің тиімділігін азайтып, технологиялық көрсеткіштерге әсерін тигізеді. Соған байланысты кен алдын-ала жуу үрдісінен өткізіледі. Жуу үрдісінде кен сумен араластырылып, кен кесектері (түйіршіктер) шайылып, балшықты лай бөлініп шығарылады. Лайлы су әрдайым тек қалдық түрінде алынады. Жуылып шайылған кен өте сирек жағдайда даяр концентрат күйінде алынуы мүмкін. Көпшілік жағдайда онда тау-жыныс минералдарының үлесі басым болады да, олардан тазалау үшін байыту үрдістеріне түсіріледі. Демек, жуу үрдісі негізінде дайындағыш үрдісіне жатады.

Кейбір жағдайларда жуу байыту үрдісінің ролін атқаруы мүмкін (мысалы, қара металдар кендерін жұғанда). Әдетте, қара металдар кендерінің құрамындағы сазды заттардың мөлшері 25 %-ға дейін жетеді. Бұл кендердегі пайдалы минералдар ірі кесектерде, ал бос жыныс минералдары – ірілігі майда кластарда шоғырланған. Жуғаннан кейін кеннің ірі кесекті бөлегін байытудың қажеті жоқ, себебі, мұндағы темірдің пайыздық мөлшері металлургиялық үрдістер жүргізуге жеткілікті.

Түсті, сирек және асыл металдар кендері мен шашырандыларын байытқанда жуу қосалқы үрдіс болып табылады. Гранулометрикалық құрамына карай шашырандылар койтастар (+ 100 мм), малтатастар (-100+25 мм), эфель (-25+0,2 мм) және шлам (-0,2-0 мм) болып бөлінеді. Сонымен қатар, құрамындағы

саз мөлшері мен ұйысу дәрежесіне карай, шашырандылар жуылғыштығымен немесе ажыратылғышты-ғымен сипатталады (9.1-кесте).

Жуу үрдісінің өнімділігі балшықтың кендегі үлесі және оның құрамымен құрылымына (структурасына) тәуелді. Соларға байланысты олар шартты түрде жеңіл, орташа, қиын және қиын жуылғышты типтерге бөлінеді де, әртүрлі аппараттар қолданылады.

Жуу нәтижесінде ұйысқан зат бұзылып, пайдалы минералдардың түйіршіктері бос жыныстан босайды.

Жуылған зат елеу процесі арқылы ірілік кластарға бөлінеді. Елеу кезінде құрамында пайдалы минералдар жоқ ірі кесектер бөлініп, қалдық ретінде алынады. Бұл операция байытудың бірінші сатысы болып табылады. Сонымен қатар, ол одан кейінгі байыту операцияларының нәтижелі жүруіне ықпал жасайды.

9.1-кесте

Шашыранды кендердің жуылғыштығына қарай бөлінуі

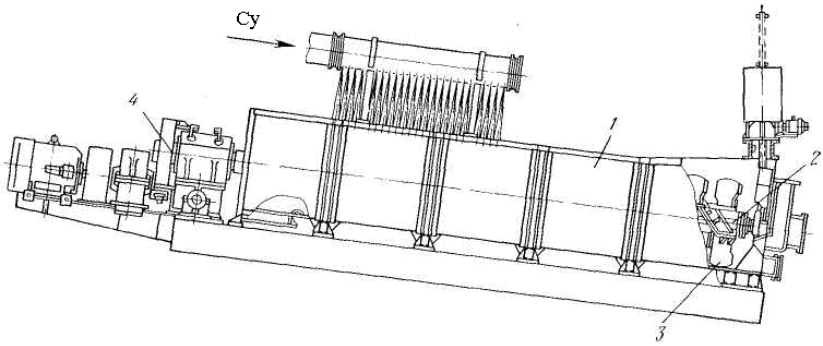
Категория	Шашыранды кендер	Саз мөлшері ,%	1 $м^3$ құмды жууға кететін су, $м^3$
1	жеңіл жуылатын	10-нан төмен	3-5
11	орташа жуылатын	10-15	5-8
111	қиын жуылатын	15-30	6-12
1Y	өте қиын жуылатын	30-дан жоғары	12-30

Жуу және елеу нәтижесінде шашырандыдан ірі кесектер түрінде қалдық, сазды шлам және ірілігіне қарай гравитациялық байытуға түсетін өнім алынады.

9.2. Кен жуу машиналары

Шашыранды кендердің байыту схемасында, оларды жуу және ажырату су беру арқылы науалы жуғышта, бутарада, скрубберде жүргізіледі. Науалы жуғыш сазды кендерді ажыратып жуғанда кеңінен қолданылады. Олар көлденең, көлбеу, аралас түрінде болып, ірілігі 150 мм-ге дейін, саз

мөлшері 60–70 %-ға дейін болатын тау жыныстарын жуу үшін қолданылады.



9.1-сурет. Көлбеу науалы жуғыш.
1 – науа; 2 – білік; 3 – қалақшалар; 4 – жетек;

Көлбеу науалы жуғыш (9.1-сурет) тік бұрышты науадан тұрады. Оның ішінде 30-45^0 бұрышпен бекітілген қалақшалары бар бір немесе екі айналмалы білік орналасқан. Науаның көлбеу бұрышы 5-10^o. Машинада екі білік болған жағдайда, олар бір-біріне қарама-қарсы бағытта айналады. Жуғыштың жұмыс істеу принципі механикалық сұрыптағыштың жұмыс істеу принципімен бірдей. Бастапқы зат жуғыштың төменгі жағына беріледі. Затты науаның ұзындығын толықтай суарып тұру үшін, оның 2/3 бөлігі сумен толтырылған. Жуылған ірі түйіршікті өнім науаның жоғарғы жағына қалақшалар арқылы көтеріліп, сыртқа шығарылады да, майда сазды бөлігі сумен бірге, науаның төменгі өткелі арқылы ағызынды түрінде бөлініп алынады.

Науалы жуғыштардың негізгі артықшылықтары болып жоғарғы өнімділігі, конструкциясының қарапайымдылығы және беріктілігі саналады. Кемшіліктері: бастапқы зат ірілігінің шектеулілігі, кейбір бос жыныстардың ұнтақталып кетуі және сұрыпталмаған жуылған заттың пайда болуы.

Жеңіл жуылатын кендер үшін дірілдеуік електер (грохоттар) қолданылады. Кен елек үстінен қатты ағынмен себілетін сумен жуылады. Елек тесіктерінің диаметрі лайлы су өтетіндей, ал бағалы зат түйіршіктері өтпейтіндей болуы керек.

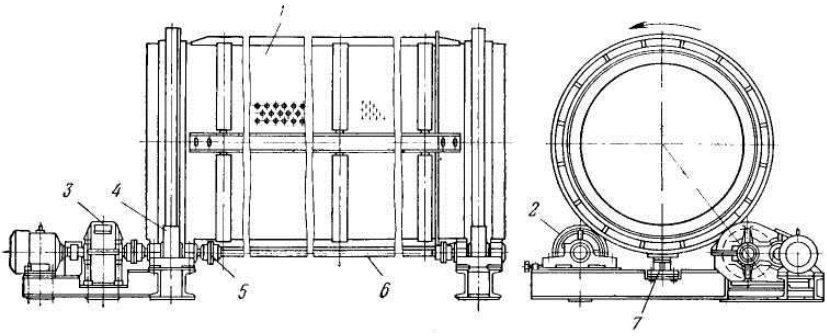
Орташа жуылатын кендерді жууда кебінесе барабанды грохоттар колданылады. Илектелген балшықтың шайылуын жеңілдету үшін су үлкен кысыммен беріледі. Балшықты тез қопсыту үшін барабанның ішкі қабырғасының ұзын бойына кедергілер орнатылады.Солардың әсерімен балшық кесектері барабан айналганда біраз биіктікке бірге көтеріле барып құлап тез қопсиды. Барабанды електер (9.2-сурет) кеңді шаю мақсатына қолданылғанда оларды б у т а р л а р деп атайды.

9.2-кесте

Науалы жуғыштардың техникалық сипаттамасы

Көрсеткіштері	Жуғыш түрі						
	О-93	Н-4210	24МЮ1а	Н-4326	КМ-1,2·9	МК-200Б	КМ-1,4·9
Қалақшалардың айналу шеңберінің диаметрі, мм	720	880	880	1200	1200	1300	1400
Науа өлшемдері, мм:							
ұзындығы.....	7600	7000	7000	7000	9000	7650	9000
ені.....	1600	1750	1880	2390	2520	2708	2900
Қалақша біліктерінің айналу жиілігі, айн./мин.....	24	15,4; 18,6; 22	15,2	15	9,4;15	20	15
Өнімділігі, т/сағ	44	75;85;100	125	125	97	200	160
Электрқозғалтқышының қуаты, кВт	40	28	20	40	55	110	55-75
Аппараттың негізгі өлшемдері, мм:							
ұзындығы.....	9622	7965	9560	10705	12210	11700	11725
ені.....	2782	1450	2612	3718	3370	3770	4490
биіктігі.....	2210	2280	1170	1805	2090	4500	2530
Аппараттың массасы, т.....	12,6	16	16,7	24	26	47,6	32,6

Електерде шайылатын кен кесектерінің диаметрі 200 мм-ге дейін жетуі мүмкін.



9.2-сурет. Барабанды жуғыш елек ГБ-1,5
1 – барабан; 2 – аунақшалар; 3 – жетек; 4 – жетекші аунақша; 5 – муфталар; 6 – білік; 7 – тіреуіш аунақша.

Орта және жеңіл жуылатын кендерді өңдегенде қолданылатын барабанды електердің немесе бутарлардың өнімділігі өте жоғары. Бутараның барабаны тордан жасалған. Бутараны қолданып әр түрлі ірілікті өнімдер алуға болады. Негізгі кемшіліктері: су шығыны жоғары (10 $м^3$/т-ға дейін) және қиын жуылатын кендерді жуғанда алынатын өнімнің сапасы төмен

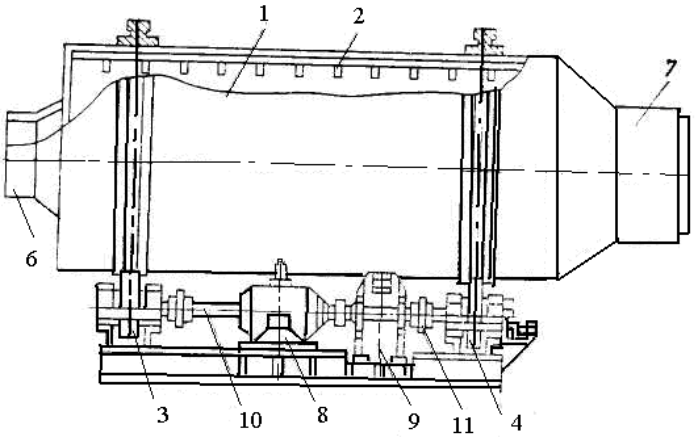
Скрубберлер қиын жуылатын темір кендерін өңдегенде, сондай-ақ, шашыранды алтын кендерін ажыратқанда кеңінен қолданылады.

Бастапқы кенді ажырату алдында сазды ісіндіру үшін және қатқан жыныстарды жібіту үшін, оны алдын ала суға бөктіреді. Ол ажыратуды тиімді жүргізуге ықпал жасайды.

Скруббер (9.3-сурет) барабандарының беті електермен бутарларға қарағанда тесіктелінбеген тұтас болып жасалынған. Барабанның екі жақ беті арнаулы кен түсірілетін және шығарылатын қуыс ауызшамен жабдықталған. Сондықтан скруббердегі зат ұдайы суда болады да, оның саздан ажыратылуы тездетіледі. Барабанның ішкі беті арнаулы қондырғылармен қапталады, олар барабанның айналу кезінде заттың жууылуын жақсартады. Жуу үрдісін қарқындату үшін барабанға қосымша арнайы денелер салынады (біліктердің, рельстердің кесінділері және т.б.). Скруббер барабаны

бандажбен тірегіш аунақшалар үстіне салынған. Аунақшалар арқылы барабан электрқозғалтқыштан жүріс алады. Барабан зат шығарылатын жағына қарай көлбеулі ($3–6^0$) болып орналасады. Скруббердің затпен толтырылуы 25% құрайды.

Скрубберлер түзуағынды және терісағынды болып бөлінеді. Терісағынды скрубберлердің зат шығарылатын жағы тұтас бекітіліп тек қана ірі кесекті зат түсірілетін арнайы тесік қалтырылады. Осы тесік арқылы барабаннан ірі кесекті жуылған зат арнаулы лифтерлермен шығарылады. Заттың негізгі массасы барабанның бастапқы зат берілетін жағындағы тесіктелінген қақпақтан шығарылады. Скруббердің осындай конструкциясы жуылатын заттың аппаратта ұзағырақ болуына соның әсерінен одан сазды бөлігінің жақсы бөлінуіне әкеледі.



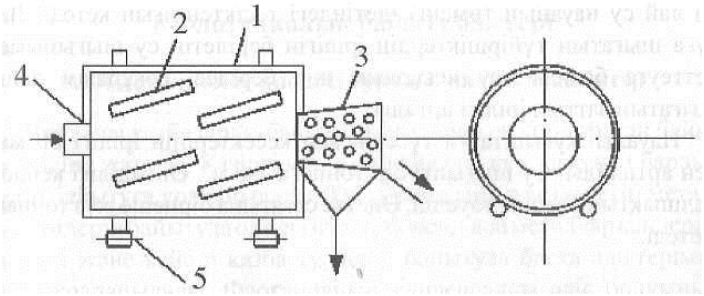
9.3-сурет. Скруббер С-1,3

1 – тұтас барабан; 2 – қадалықтар; 3,5 – кезегімен жетекші, тіреуіш, таяныш аунақшалар; 6,7-кен түсірілетін және шығарылатын қуыс ауызша;
8 – электроқозғалтқыш; 9 – редуктор; 10 – білік; 11 – муфта

Қиын жуылатын және шашыранды кендерді өңдеу үрдісін тиімді жүргізу үшін скруббер мен бутараны қосып пайдаланады.

Жалпы *скруббер – бутаралар* екі бөліктен тұрады. Бірінші бөлігі диірмендердің корпусына ұқсас ақырын жылдамдықпен айналып тұратын цилиндрлі барабан (9.4-сурет).

Оның ішіне материалды жогары көтере құлатып жаксы араластыратын көлбеу темір кесінділері (2) қағылған. Бөшке аунақша тірегіштердің үстінде айналады. Кен бөшкенің бір басынан түседі де екінші басынан шығады. Осы екінші басындагы тесікті қақпаққа екінші бөлігі барабанды елек (бутар) (3) орнатылған. Бөшкенің айналым саны аумалы айналым санының 50-60 %-ына тең болуы керек. Соның нәтижесінде кеннің ірі кесектері белгілі биіктен құлап балшықты кесектерді езе қопсытады . Бөшкеге су кеннің бөшке ішінде қозғалу бағытына қарама-карсы бағытта,яғни бутар орнатылған кақпақтағы тесікке беріледі.Бөшкенің шығару тесігіне жақын оның ішіне улиткалы шөміш орнатылған. Ірі кен кесектері сонымен көтеріліп бутарга түсіріледі.Балшықты лайлы су бутар тесіктерінің өтіп кеннен бөлінеді.

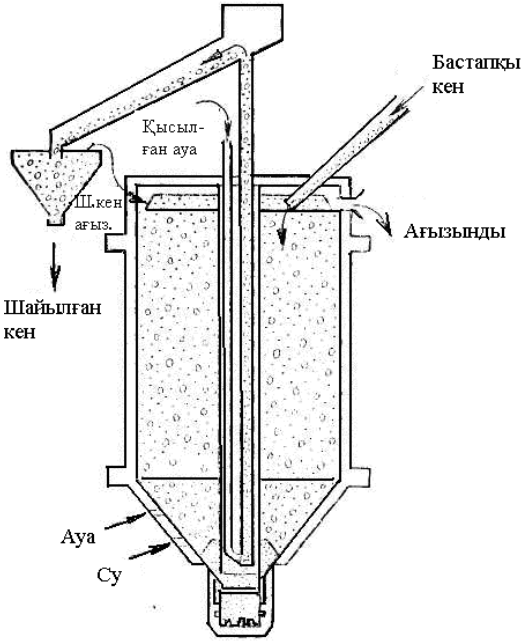


9.4-сурет. Скруббер-бутардың сұлбалық көрінісі:
1-барабан; 2-темір кесіндісі; 3-бутар (барабанды елек); 4-түсіргіш мойын; 5-аунақша.

Скруббер – бутарлардың жалпы ұзындығы 10 метрге дейін жетеді. Кен кесектерінің ірілігі 300 мм-ге дейін болуы мүмкін. Су шығыны бір тонна кенге 2-6м^3

Келтірілген аппараттардан басқа кейінірек кезде қолданылып жүрген аппарат – *шайғыш башнялар*. Шайғыш

башня (9.5-сурет) екі бөліктен тұрады: жоғары бөлігі конус пішінді келеді. Оның төменгі бөлігінің конустық бұрышының көлбеулігі 50^0-тан кем болмайды. Аппараттың орталық осінің бойында жуылған кенді шығаруға арналған аэролифт орнатылған, ал төменгі жағында шүмектер (сопла). Соңғылармен жуғыш башняға су мен ауа беріледі.



9.5-сурет. Шайғыш башня

Шайғыш башняға түсірілетін бастапқы зат ақырын төменге түсіп, қарама-қарсы берілетін су мен ауа арқылы жуылады. Оның төменгі жағындағы жуылған кен аэролифт арқылы көтеріліп ауадан айыратын камераға келіп түсіп, одан өзі ағу негізінде қойылдыру құйғышына түседі. Соңғысынан ағызынды шайғыш башняға қайтадан қайтарылады да, ал тығыздалынған өнім сусыздандыруға жолданады.

Шайғыш башняның артықшылығы оның ішіндегі қозғалмалы бөлшектердің жоқтығы. Башня ішіндегі шайылған

кен түйіршіктері қысыммен берілетін ауа күшімен бөлініп шығарылады. Соның нәтижесінде кен түйіршіктерінің беті аз ысылады да, ұнтақталмайды. Сондықтан пайдалы компоненттердің ағызындыға кетіп қалуы азаяды. Демек бұл аппараттар мортты кен түрлерін жууға тиімді қолданылады.

Шайғыш башняның негізгі параметрлері

Өлшемдері, м:

диаметрі..... 5,5

биіктігі..... 6.1

Пайдалы көлемі, $м^3$..... 150

Ауа шығыны, $м^3$/мин..... .5.5

Судың шығыны, $м^3$/т..... 2-2,4

Кен ірілігі, мм..... -20+0

өнімділігі, т/сағ..... 120-150

9.3-кесте

Кейбір жуғыш аппараттардың технологиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштері	Бутара	Скруббер	Науалы жуғыш		Шайғыш башня
			Көлбеу	Жазықты	
Бастапқы заттың ірілігі, мм	300-400	300-400	80-100	60-80	20
Ең жоғарғы өнімділігі , т/сағ	500	500	100	80	150
Электр энергиясының меншікті шығыны (кВт сағ)/т	0,15-0,25	0,25-0,5	0,25	0,7-1,0	0,5-1
Судың шығыны	4-10	1-2	2-4	0,6-2	2-3

9.3. Кендерді жуу технологиялары

Түсті металдар мен алмаз кендерін жуу. ТМД елдеріндегі түсті металдар кендерінің жаратылысы негізінен магматикалық болып келеді. Олардың құрамындағы пайдалы минералдар

күкіртті түрінде болады, кей жағдайда тотықты минералдар да кездеседі. Ондай кендерді ластайтын көбіне балшық. Балшықты әдетте ыдыратып жумайды, майда ұнтақтау алдында (немесе ұнтақтағаннан кейін) шламсыздандыру аппараттарын пайдаланып, бөліп тастайды. Дегенмен, боксит кендерін байыту үшін алдын ала құрамындағы саз, балшық, құм сияқты кенді ластайтын кірме заттарды жуу арқылы бөліп тастауға тура келеді. Құрамында алюминий бар боксит өте күрделі минерал. Бос глинозем минералдары бокситте гидраргиллит, белиит немесе коруңд түрінде кездеседі. Боксит кені көбіне үгітілмелі және сазды болып келеді.

Боксит кенін байытар алдында жуу үрдісін қолданып, темір тотығы, күкірт, фосфор, титан, кварц т.с.с кірме жыныстарды бөліп тастайды. Немесе, кен құрамында алюминий минералдары кристалл түрінде кездессе, онда флотациялық байыту әдісі жүргізіледі де, камералық өнімде бос жыныс минералдары қалады. Алюминидің сулы тотығын флотация арқылы каолиниттен бөлу үшін, затты ірілігі 0-0,15 мм-ге дейін алдын ала ыдырату қажет.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері негізінде кенді гравитациялық әдіспен байытуға болатындығы анықталған. Ол үшін гравитация алдында кенді 10мм ірілік бойынша елей отырып, жуады да, әрі карай *2* мм ірілік бойынша ұнтақтап, сұрыптайды. Сонан кейін, гравитациялық байыту әдісін жүргізеді. Алынған жеңіл фракция боксит концентраты болып табылады. Ауыр фракцияда негізінен темірлі минералдар мен саз шоғырланған.

Боксит кендерін жуу шет мемлекет фабрикаларында да жиі қолданылады. Ондай кендердің құрамындағы пайдалы минерал сазбен біртұтас түрінде, немесе оның кендегі пайыздық үлесі өте төмен болады. Кенді байытуға дайындау төмендегідей ретпен жүргізіледі: елеу және жуу, сусыздандыру (кейде жуылған боксит кептіру үрдісінен өтеді). Кейбір байыту фабрикаларында жуу нәтижесінде бастапқы кеннің 40 пайызы ағызынды түрінде бөлініп тасталады.

Ганадағы фабрикаларда бокситты байыту төмендегідей технологиялық схемамен жүргізіледі. Кенді дірілдеуік електің көмегімен 76 мм ірілік бойынша бөледі, тор үстіндегі өнім

ұсатудан өткеннен кейін, тордан өткен өніммен қосылып, өлшемі 1800х8750 мм болатын скрубберге түседі. Жуылған затты дірілдеуік елек арқылы сусыздандырып, тордан өткен өнімді рейкалы сұрыптағышта қойылтады. Сұрыптағыштың ағызындысы (ірілігі —0,24 мм) қалдық қоймасына жөнелтіледі.

Боксит кенін байытуда Австралия алдыңғы қатардағы мемлекеттердің бірі болып саналады.

"Лорим Пойнт" фабрикасы оолитты боксит кенін байытумен айналысады. Боксит түйіршіктерінің орташа ірілігі 6мм; боксит сазбен цементтелген. Кен балғалы ұсатқышта ұсатылғаннан кейін, ұзындығы 4500 мм, ені 2400 мм, саңылау мөлшері 75 мм болатын колосникті електе сұрыпталады. Тор үстіндегі өнім ұсақталып тор астындағы өніммен қосылып, жуу цехына жіберіледі. Жуу үрдісі үш торлы електе (19; 3 және 0,5 мм) жүргізіледі. Жуатын су жоғарғы және ортадағы торға беріледі. Ірілігі 0– 0,5мм класс қалдыққа кетеді де, ірілігі 19 мм болатын өнім ұсатылғаннан кейін елекке қайта түседі.

Ірілігі 3-19 және 0.5-3 мм екіторлы елеуіште екінші рет жуылып, сусызданады да, қоймаға жөнелтіледі.

Фабриканың өнімділігі 150 мың т/сағ, су шығыны 1т кенге 1,5 $м^3$. Жуылған өнімдегі Al_2O_3 үлесі 58-59%.

Көптеген шетел байыту фабрикаларында кейбір жағдайда құрамында едәуір саз бен балшық бар тотықты және тотықты-күкіртті полиметалды кеңдерді алдын-ала жуып, байытады. Полиметалды кендерді жуып байыту Ирландия фабрикасында жақсы нәтижелер берген. Ол кендердің құрамында сазды және өте майда кірме түйіршіктер көп мөлшерде кездеседі. Фабриканың тәуліктік өнімділігі 2000т. Байытуға түсетін кендер бірнеше түрге бөлінеді. Тотықты үгітілмелі кен алдымен-балғалы ұсатқышта ұсатылады. ұсатқышқа 1-1,5 $м^3$/т шамасында су беріледі. Ірілігі 0-25 мм (80%) ұсатылған өнім скрубберге түседі, ол су шашыратқыш құралмен жабдықталған. Жуылған заттан дірілдеуік елек арқылы (1200х2400 мм) ірілігі +6 мм класты-бөліп алады да, оны екінші рет, су бере отырып, балғалы ұсатқышта ұсатады.

Ұсатылған өнім ірілігі 0-6 мм класпен қосылып, екінші рет тор тесігі 1,5 мм болатын електе еленеді.

Тор үстінде қалған өнім, әрі карай ұнтақталып, байыту үшін бас корпустың бункеріне жеткізіледі. Тор астындағы затқа, тығыздығы 15% болғанша, су қосылады да, гидроциклон арқылы өткізіледі. Гидроциклонның құмына тығыздығын 10-%-ға жеткенше су қосып, гидроциклонның екінші сатысына береді. Бірінші гидроциклонның ағызындысын қойылтқышта қойылтып, екінші гидроциклонның құмымен қосып, флотацияға жібереді. Екінші гидроциклонның ағызындысы жуу үрдісі үшін қайтарымды су ретінде қолданылады.

Жуу үрдісі, сондай-ақ, құрамында алмаз бар- кендерді байытқанда кеңінен қолданылады. Ондай фабрикалар әсіресе Оңтүстік Африкада көптеп саналады. Солардың бірі "Ячерсфонтейн" кенішіндегі фабрика. Фабриканың тәуліктік өнімділігі 5000 т. 1т кендегі алмаз мөлшері 0,07– 0,073 карат шамасында. Бұл өте жұтаң кендер қатарына жатады.

Кен дірілдеуік електен (1500х4200 мм) тұйық циклда істейтін конусты ұсатқышқа түседі. Ірілігі 0-37 мм болатын тор астындағы класс байытуға жіберіледі. Алынған концентраттың шығымы 1% шамасында. Тор үстіндегі өнім әрі қарай үнтақталып, жуылып, тазаланғаннан кейін байыту үрдісіне түседі. Мұндағы концентраттың шығымы 0.65-0,67 % -дан аспайды.

Қара металдар кендерін жуу. Жез және тотықты темір кендерінің құрамында сазды қосылыстар көп мөлшерде кездеседі. Мұндай кендерге қоңыр теміртас және сепкілдігі біркелкі емес гематит-мартит кендері жатады.

Көп жағдайда мұндай кендер тек қана жуу арқылы байытылады немесе жуу байыту дайындаудың негізгі операциясы болып табылады.

ТМД елдеріндегі ірі кен орындарынын бірі -Магнитогорск кеніші. Мұндағы кен құрамында жуылғыштық дәрежесі әртүрлі болып келетін саз өте көп. Байыту, жуу шөгіндіру және магнитті сұрыптау үрдістеріне негізделген.

Технологиялық сұлба төмендегідей: кен, тесіктерінің мөлшері әртүрлі болатын (ілгерілеген сайын азайып отыратын) тізбектеп қойылған бірнеше бутардан өтеді. Яғни бір бутардың тор астындағы өнімі екінші бутарға түсіп жуылады, т. с. Ең майда өнім сұрыптау процесіне түседі. Мұндай сұлбаның

нәтнжесінде төрт өнім алынады (ірілігі әртүрлі) +30, 30-12, 12-6, 6-2 мм, сондай-ақ, ағызынды (0-2мм).

Технологиялық сұлбада, кенді көпсатылы жуумен қатар, оның құрамындағы сазды қолмен бөліп алу қарастырылған. Себебі, бутарда жуғаннан кейін саздың (қиын жуылатын) едәуір бөлігі ыдырап, жуылмайды, ұйысып ірі-ірі кесектерге айналады. Ол кесектердің құрамында пайдалы минералдар бар.

Шашыранды темір минералдарының құрамында қиын жуылатын саз көп мөлшерде болады. Сондықтан ондай кендерді шөгіндіріп байытудың алдында екі сатылы скрубберде жуудаң өткізеді. Қиын жуылатын темір кендерін баиытуға дайындау үшін, оларды үлкен көлемді скрубберлерде (3350х9144 мм) жуады. Барабанның ішкі беті жезді болаттан жасалған плиталармен қапталып және ұзындығы 35 мм болатын ыдыратқыш кабырғаларға орнатылған. Скруббердің өнімділігі 250 т/сағ, қозғалтқыштың қуаты 500 кВт.

Темір кенін байытудың алдында жуу үрдісі АҚШ, ГФР байыту фабрикаларында кеңінен қолданылады.

Фосфорит кендерін жуу. Фосфорит құрамында сазды кірмелер мөлшері біршама жоғары. Сондықтан оларды байыту алдында жуу қажеттілігі туады. Кейбір фабрикаларда жуу кенді байытудың негізгі үрдістерінің бірі болып табылады. Ол үшін науалы және барабанды жуғыштар қолданылады.

Қазақстан фосфорит кендерінің қоры жағынан дүниежүзіндегі алдыңғы қатардағы мемлекеттердің бірі болып саналады. Ол кендер, негізінен Қаратау бассейіні мен Шилісай кенішінде орналасқан. Бұл кендердің басым көпшілігі флотация арқылы байытылады. Олардың құрамында қиын жуылатын саз едәуір мөлшерде және пайдалы минералдардың дерлік бәрі сазбен байланысқан. Сондықтан, кен майда ұнтақтау алдында жуу процесіне түседі. Ол үшін спиралді сұрыптағыш немесе бутар-скруббер қолданылады. ТМД елдеріндегі фосфорит кендерінің басым көпшілігінің физикалық, химиялық қасиеттері және заттың құрылымы бір-біріне ұқсас, сондықтан оларды байытудың технологиялық сұлбалары, байытуға - дайындау үрдістері бірдей деп айтуға болады. Сондықтан қолданылатын аппараттар өте ұқсас және үрдістер реттері бірдей режімде іске асырылады деп санауға болады.

Байыту фабрикасына түсетін кен тор тесігі 12 мм болатын қозғалмалы електе жуылып сұрыпталады. Тордан өткен өнім екінші рет дірілдеуік електе жуылып өте майда класс (0-1 мм) сусыздандыруға жіберіледі де (қойылтқыш немесе гидроциклон), ал ірі класс майда ұнтақталады. Ұнтақталған өнім қойылтылған өніммен қосылып Флотацияға жөнелтіледі. Байыту фабрикаларында шикізат ішкі бетінде орналасқан араластырғыш қалақшалары бар скрубберде жуылады. Кенді байыту алдында құрамындағы сазды кірмелерден барынша толық тазарту үшін, оның скруббер ішінде жуылу уақыты 6-7 мин шамасында болу керек.

Шыны өндірісі құмын флотация алдында жуып дайындау. Сапалы шыны бұйымдарын алу үішін құм негізгі шикізат болып табылады. Оның сапасы байыту үрдісінің (флотацияның) нәтижелеріне тікелей байланысты. Флотация үрдісіне кезкелген саз, балшық сияқты өте майда кірме заттардың кері әсер ететіні белгілі. Сондықтан шыны өндірісі құмын байыту процесіне барынша саздан тазартып беру, байытылған сапалы құм алудың негізгі шарты болып табылады.

Өндірлетін құм құрамындағы саз мөлшері 12-20% шамасында болады. Оның бәрі дерлік қиын жуылатын түріне жатады

Бастапқы зат сумен бірге (Қ:С-1:3) скруббер-бутарға салынады. Бутардың беті кеңдігі 5 мм болатын тесіктері бар жазық болаттан жасалған. Ыдырау үрдісінің нәтижесінде алынған құм фракциясы түйіспелі күбіге беріледі. Тордың үстінде ұйысып, ірі кесек түрінде қалған саз қалдыққа кетеді. Түйіспе күбідегі құм флотациялық реагенттермен өңделгеннен кейін, флотамашинаға түседі. Темірлі қоспалар көбікті өнімге өтеді. Флотацияның камералық өнімі екі сатылы сұлба бойынша гидроциклонда сұрыпталады. Гидроциклонның ағызындысы негізінен өте майда саз түйіршіктерінен тұрады. Сондықтан ол қалдыққа кетеді, ал құм сусыздандыру үрдісіне түседі (сүзу және кептіру).

Байытылған құмның құрамындағы саздың мөлшері 3 %-ға дейін. Мұндай құмды сапалы деп санауға болмайды, ол шыны өндірісі үшін жарамсыз шикізат. МЕСТ бойынша байытылған құмда (концентратта) саз болмау керек. Алынған өнімде саздың

болуы- скруббер-бутардың жұмысының тиімділігінің төмендігі. Ол құмды ыдыратпайды, тек ұйысқан саз кесектерін елеп қана қояды. Сондықтан, алынған концентратты әрі қарай саздан тазарту үшін "Уралмеханобр" институты тазарту машинасының жаңа түрін ұсынған. Ол машина құм түйіршіктерінің бетіндегі сазды және темірлі қоспа кабыршақтарды оңай алып тастайды. Бұл аппараттың жұмысының тиімділігі жоғары болу үшін, пульпадағы қатты заттың мөлшері 60% шамасында болу керек.

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ

1. Лященко П.В. Гравитационные методы обогащения. Гостоптехиздат, – М., 1940.

2. Годен А.М. Основы обогащения полезных ископаемых. Металлургиздат, – М., 1946.

3. Фоменко Т.Г. Гравитационные процессы обогащения полезных ископаемых. – М.: Недра, 1966.

4. Поваров А.И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. – М.: Недра, 1978.

5. Троицкий В.В. Промывка полезных ископаемых. – М.: Недра, 1978.

6. Кизевальтер Б.В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения. – М.: Недра, 1979.

7. Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения. Учебник для вузов. – М.: Недра, 1980.

8. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982.

9. Справочник по обогащению руд. Основные процессы. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1983.

10. Моршинин В.М. Устройство и эксплуатация обогатительных машин. – М.: Недра, 1989.

11. Ястребов К.Л., Куликов И.М., Леонов С.Б. Гидроаэромеханика процессов обогащения. – Иркутск, 1990

12. Қазақша – орысша, орысша – қазақша терминологиялық сөздік (Машина жасау). ҚР Үкімет жанындағы Мемлекеттік терминология комиссиясы бекіткен. – Алматы: Республикалық мемлекеттік «Рауан» баспасы, 2000.

13. Қазақша-орысша, орысша-қазақша терминологиялық сөздік (Кен ісі және металлургия). ҚР Үкімет жанындағы Мемлекеттік терминология комиссиясы бекіткен. Алматы: Республикалық мемлекеттік «Рауан» баспасы, 2000.

14. Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов. Т 1 –М.: Руда и Металлы. 2005.

15. Шаутенов М.Р. Гравитациялық байыту әдістері. Студенттік пәндік оқу-әдістемелік кешені, – Алматы: ҚазҰТУ, 2006.

16. Шаутенов М.Р. Гравитациялық байыту әдістері. Студенттік пәндік оқу-әдістемелік кешені. – Алматы: ҚазҰТУ, 2011.

17. Кошербаев К.Т. Кен байыту негіздері. Оқулық. – Алматы: ЖШС РПБК "Дәуір", 2011.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе……	3
1.	Гравитациялық байыту үрдістері туралы жалпы түсініктер. Бастапқы байытылатын заттардың және гравитациялық байыту орталарының сипаттамалары.....	4
1.1.	Гравитациялық үрдістер және олардың басқа байыту әдістері ішіндегі орны.....	4
1.2.	Гравитациялық үрдістердің даму тарихы, қазіргі жағдайы және даму болашағы	5
1.3.	Гравитациялық байыту әдістерін сұрыптау.....	8
1.4.	Минералдардың қасиеттері.....	9
1.5.	Гравитациялық байыту орталарының реологиялық қасиеттері.....	12
1.6.	Фракциялық талдау	19
1.6.1.	Фракциялық талдау негізінде пайдалы қазындылардың байытылуын бағалау.....	22
2.	Гравитациялық үрдістердің теориялық негіздері	25
2.1.	Тығыздық бойынша бөлінудің теориялық негіздері.....	25
2.2.	Денелердің ортада қозғалу заңдылықтары. Ортаның кедергілері.....	26
2.3.	Қозғалыссыз ортадағы денелердің негізгі қозғалу заңдылықтары.....	31
2.4.	Денелердің бірдей шөгуі. Бірдей шөгу коэффициенті	36
2.5.	Денелердің қысыла қозғалуының жылдамдығы .	39
3.	Гидравликалық сұрыптау (классификация).....	43
3.1.	Сұрыптау үрдісінің сипаттамасы және оның қолдану орны.....	43
3.2.	Гравитациялық сұрыптауда қолданылатын аппараттар	45
3.2.1.	Механикалық сұрыптағыштардың жұмыс істеу принципі мен құрылымдары.....	45
3.2.2.	Конусты сұрыптағыштар.....	55
3.2.3.	Камералы гидросұрыптағыштар	57
3.2.4.	Ортадан тепкіш өрістерде сұрыптау. Гидроциклондар	61

4.	Ауыр ортада байыту	68
4.1.	Жалпы мәліметтер	68
4.2.	Ауыр суспензиялар. Оларды дайындау және регенерациялау	69
4.3.	Ауыр суспензиялардың сипаттамалары.....	73
4.4.	Ауыр суспензияда байытуда қолданылатын құрал-жабдықтар	76
4.4.1.	Аэролифтілі конусты сепараторлар	78
4.4.2.	Барабанды сепараторлар	80
4.4.3.	Доңғалақты сепараторлар (СК).....	82
4.4.4.	Ауыр орталы гидроциклондар (КГ, ГТ)	83
4.5.	Пайдалы қазындыларды ауыр ортада байыту технологиясы	85
4.5.1.	Ауалы суспензияда байыту.....	93
5.	Шөктірумен байыту	96
5.1.	Жалпы түсініктемелер	96
5.2.	Шөктіру үрдісіндегі материалдың қопсытылуы және бөліну заңдылығы.....	103
5.3.	Шөктіру машиналары	107
5.4.	Шөктіру машиналардың негізгі параметрлері.....	119
6.	Көлбеу бетпен ағатын сулы ағындарда байыту...	129
6.1.	Гравитациялық байыту үрдістеріндегі су қозғалысының заңдылықтары	129
6.2.	Жинағыш столдарда байыту	133
6.3.	Жинағыш столдардың құрылымдары	138
6.4.	Жинағыш столдардың жұмысына әсер ететін технологиялық факторлар мен оның құрылымдылық параметрлері	145
6.5.	Затты жинағыш столдарда байыту алдында дайындау.....	149
6.6.	Бұрама жолды сепараторларда байыту	149
6.7.	Бөлшекті ағымды науаларда және концентраторларда байыту	153
6.8.	Стационарлы (тұрақты) және қозғалмалы шлюздерде байыту	155
7.	Ағымға қарсы бағытта бөлу. Ортадан тепкіш жинағыштарда байыту	160
7.1.	Ағымға қарсы бағытта бөлу	160

7.2. Ортадан тепкіш жинағыштарда байыту 164
8. Пневматикалық байыту 168
8.1. Ауа ортасында гравитациялық байытудың ерекшеліктері 168
8.2. Пневматикалық байытуда және сұрыптауда қолданылатын машиналар..... 170
9. Кендерді және құмдарды жуу 176
9.1. Үрдістің мәні және қолдану орны 176
9.2. Кен жуу машиналары 177
9.3. Кендерді жуу технологиялары 184
Библиографиялық тізім 191
Өзгерісті тіркеу парағы 195

ӨЗГЕРІСТІ ТІРКЕУ ПАРАҒЫ

Өзгерістің реттік нөмірі	Құжаттың бөлімі мен бабы	Өзгерістің түрі (өзгерту, қосу, жою)	Хабарламаның күні, нөмірі	Өзгеріс енгізілді	
				Күні	Тегі, аты-жөні, лауазымы, қолы

Оқулық басылым

Мэлс Рахимұлы Шаутенов

ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУ ӘДІСТЕРІ

Оқу құралы

РБ бастығы *З. А. Ғұбайдулина*
Редакторы *Г. К. Опкебаева*
Компьютерде беттеген *А. С. Сайбулатова*

Басуға қол қойылды 09.06. 2016 ж.
Таралымы 300 дана. Пішімі 60х84х 1/16.
№ 1 баспаханалық қағаз.
Е.-б.т. 12,3. Ш.б.т. 11,4. Тапсырыс № 743. Бағасы келісімді.

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық
зерттеу университеті басылымы
Оқу-баспа орталығы, Алматы қ., Сәтбаев көшесі,

ISBN 978-601-228-967-1