

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық университеті

Н.К. Жакатаева

ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАРДЫ МАГНИТТИ ЖӘНЕ АРНАЙЫ БАЙЫТУ ӘДІСТЕРІ

Университеттің Ғылыми-әдістемелік кеңесі
оқу құралы ретінде ұсынған

Алматы 2013

ЖОК 553.2 (075.8)

ББК 33.4 я 73

Ж 21

Ж 21 Жакатаева Н.К. Пайдалы қазбаларды магнитті және арнайы байыту әдістері. Оқу құралы.– Алматы: ҚазҰТУ, 2013. – 231 б.
Сурет – 69. Кесте –20. Библиогр. – 23.
ISBN 978-601-228-508-6

Пайдалы қазындыларда бағалы компоненттердің пайыздық үлестері өте аз болғандықтан, минералды өнімдерді комплексті түрде қайта өңдеуді қажет етеді. Оларға магнитті, электрлі және арнайы әдіс, яғни минералды затты өңдегенде жоғарғы көрсеткіштерге жету үшін бірнеше өңдеу әдістерін бірге қолдану керек.

Соған байланысты талдау жасалатын минералдарға электрлік, магниттік, жылу бөлгіштігі және қаттылығына қарап талдау жасауға көп көңіл бөлінген. Олармен қатар студенттер байыту фабрикаларында қолданылатын әдіс түрлері: авторадиметриялық, гамма-абсорбиондық, рентгенді-радиометриялық, фотоядролық және аппараттармен қысқаша танысады.

Бұл оқу құралы жоғары оқу орнында оқитын 050709 «Металлургия» және 5В073700 «Пайдалы қазбаларды байыту» мамандықтарының студенттеріне арналған.

ЖОК 553.2 (075.8)

ББК 33.4 я 73

Пікір жазғандар:

Бугенов Е.С. техн. ғыл. докт., проф.

Ниязов А.А. техн. ғыл. канд.

Абдыкирова Г.Ж. техн. ғыл. канд.

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің
2013 жылғы жоспары бойынша басылды

ISBN 978-601-228-508-6

© Жакатаева Н.К., 2013

© ҚазҰТУ, 2013

КІРІСПЕ

Пайдалы қазбалар қорларының біртіндеп азаюы, байытылатын кендердің қайта өңдеуге тартылуын, нәтижесінде, минералды шикізатты байытудың жаңа әдістері мен кешенді қайта өңдеуді ендіруді талап етеді.

Бұл оқулықта пайдалы қазбаларды байытудың магнитті, электрлі және арнайы әдістері қарастырылады.

Қазіргі уақытта байытудың магнитті, электрлі және арнайы әдістеріне қолданылатын тәсілдердің көмегімен бөлудің ерекшеліктерін қолдану жүзеге асырылады. Байыту процестерінде байытылатын кендердің құрамындағы пайдалы бағалы заттардың мөлшері, түйіршіктерінің ірілігі, минералдардың физикалық және химиялық қасиеттеріне байланысты өңдеу бірнеше мәселелердің шешілуін талап етеді және бұл салада зерттеушілік талпыныс қажет.

Осы оқулықты ұсыну – студенттерге минералды затты өңдегенде жоғарғы көрсеткіштерге жету үшін бірнеше өңдеу әдістерін бірге қолдану, байытудың жаңа технологиялық әдістерімен таныстыру болып табылады.

1. МАГНИТТІК БАЙЫТУДЫҢ НЕГІЗІ

Магниттік байытудың негізі кен түйіршіктеріне магнитті және механикалық күштердің әсері нәтижесінде, түйіршіктер әртүрлі магниттік қасиеттерімен әртүрлі қозғалыс траекториясына ие болады. Өзінің траекториясымен қозғалып, магнитті және магнитсіз түйіршіктер жеке өнім түрінде магнитті өрісте өзінің магниттік қасиеттері мен сыртқы құрамы бойынша ерекшеленіп шығады. Магниттік бөлінуді орындау үшін, сепаратордың бөлек кеңістігінде әртүрлі магниттік өрісті құру керек. Магнитті өрістерде магнитті түйіршіктерге әсер ететін магниттік күштердің пайда болуына алып келеді. Әртүрлігі мен бірге магнитті өрістер жеткілікті кернеулікті туғыза алуы керек.

Магнетизация құбылысын электр энергиясы бар бөлшектердің айналмалы қозғалысының нәтижесі деп қарастыруға болады. Жеке атомның магниттік моменті атом ядросының магниттік моменттерінің өзара әсерлесуінен пайда болады. Бұл кезде негізгі мән магниттік моменттерде, олар ядромен түзілетін моменттерден жоғары.

Электрондардың жұп санында олардың айналым орбиталары толтырылған, олардың жеке орбиталы және спиндік моменттерінің компенсациясы бақыланады. Атомдардың нәтижелік магниттік моменттері нөлге тең, және элемент диамагниттелген. Тақ электрондар саны бар элементтерде ішкі кабық электрондармен толық толтырылмаған, оларда электрондық моменттерді компенсациялау жоқ, соның нәтижесінде олардың атомдарының магниттік моменттері пайда болады. Жылулық қозғалудың әсерінен және сыртқы магнит өрісінің болмауы кезінде элементтер магниттелген заттың ішінде ретсіз орналасады, және мұндай заттар диамагниттерге қарай жылжиды. Бірақ күшті сыртқы магнит өрісінің әсерінен бөлшектер жылулық қозғалыс әсерінен босайды, өріс бойында шоғырланады және дене магниттеледі. Мұндай заттар парамагниттер деп аталады, және олардың магниттік өткізгіштігі температураға тәуелді. Ферромагнитті заттарда элементтер құрылымы парамагниттер заттардың құрылымына ұқсас. Бірақ парамагниттерге қарағанда оларда жеке атомдар

арасында күш бар, ол жылулық қозғалыс кезінде дезориентациядан сақтайды. Осы күштер арқылы магниттер бір-біріне параллель орналасады, және олардың магниттік моменті жеке атом моментінен 1015 есе артық. Мұндай заттар ферромагнетиктер деп аталады. Оларға жататындар темір, никель, кобальт және темір минералдарды магнетит және пирротин.

Таза диамагнитті заттарға, мысалы, мыс, алюминий, күміс, висмут, сурьма және тағы басқалары жатады. Көпшілік металдармен минералдар парамагнитті заттарға жатады. Магнит қабылдағыштарына қарай минералдарды бірнеше топқа бөлуге болады.

Магнитті қасиет қабылдағыштарына қарай барлық заттар екі топқа бөлінеді: парамагнитті және диамагнитті заттар. Әр топқа кіретін заттар магнит өрісінде әртүрлі әрекетке түседі. Парамагнитті заттар магнит өрісінің кернеуінің жоғары жеріне тартылады, ал диамагнитті заттар магнит өрісінің кернеуі ең аз жеріне ығыстырылады. Яғни, біріншілері магнит полюсіне тартылады, ал екіншілері тебіледі.

Меншікті магниттік бейімділікке байланысты минералдар үш топқа бөлінеді:

1) күшті магнитті немесе ферромагнитті минералдар, меншікті магнит өткізгіштігі $\chi > 4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$;

2) әлсіз магнитті немесе парамагнитті минералдар, меншікті магниттік өткізгіштігі $1,26 \cdot 10^{-7} < \chi < 0,75 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$;

3) магнитсіз немесе парамагнитті минералдар, меншікті магниттік өткізгіштігі $\chi < 1,26 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Минералдар мен кен сипаттамалары үшін магниттік өткізгіштік мәні бойынша, магниттік өріс бөлінуі бойынша өзгеше сыныптама ұсынылған. Осы сыныптама бойынша минералдардың жіктеу магнитті сепараторларда минералдарды магнитті фракциядан алу мүмкіндігіне негізделген. Алайда оларда кері магниттік бейімділігіне ие диамагнитті минералдар ғана емес, сондай-ақ магниттік өткізгіштігі төмен парамагнитті минералдар да алынады ($\chi < 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$).

Минералдар меншікті магниттік өткізгіштік х сыныптамасына сәйкес және магнитті сепараторларда бөлінуі бойынша барлық минералдар үш топқа бөлінеді:

1) Күшті магнитті минералдар $\chi > 300 \cdot 10^{-3}$ меншікті магниттік бейімділікке ие және сепараторларда нашар магнитті өріс кернеуде 70-120 кА/м магнитті фракцияға алынады;

2) Әлсіз магнитті минералдар $\chi > 10 \cdot 10^{-3}$ дан $600 \cdot 10^{-3}$ м³/кг дейін меншікті магниттік бейімділікке ие. Көптеген минералдар парамагниттік заттарға жатады және марганец құрамды минералдардан, темір оксидтерінен, титан, вольфрамнан және басқа да минералдардан тұрады. Бұл минералдарды магниттік фракциядан алу үшін сепараторлардағы магнитті өріс кернеулігі 480-1600 кА/м аралығында болуы тиіс.

3) Магнитсіз минералдар, оған меншікті магниттік бейімділігі $\chi < 10 \cdot 10^{-3}$ м³/кг болатын парамагнетиктер және барлық диамагнетиктер жатады. Бұл топ минералдары күшті өрісті сепараторларда магниттік фракцияларға алынбайды.

Минерал түйіршіктері арнаулы аппараттарда магнит өрісінен өткенде оларға магнит күшінен басқа көптеген күш әсер етеді. Оларға магнитті өрістің ығыстыру күші, салмақ күші және ортаның кедергі күштері (тығыздық, тұтқырлық және басқалары) жатады. Минерал түйіршіктерінің магнит полюсіне тартылуы не тартылмауы магнит күшімен басқа күштердің арақатынасына тәуелді. Егер магнит күші басқа күштердің қосындысынан артса түйіршік (кесек) магнитті фракцияға шығарылады, егер керісінше болса онда түйіршік магнитсіз фракцияға шығады. Минералдардың тиімді бөлінуінің негізгі шарты – олардың магнитті қасиеттерінің арасындағы айырмашылық жеткілікті деңгейде болуы қажет. Орта есеппен олардың үлесті магнит қабылдағыштық қасиеттерінің айырмашылығы іс жүзінде 3–5есе болуы керек.

Кендегі минералдардың қасиетіне қарай қолданылатын бөлгіштерде процесс әртүрлі кернеулі магнит өрісінде жүргізіледі. Әлсіз магнитті минералдарды бөліп алу үшін магнит өрісінің кернеуі 1000 кА/м кем болмауы керек. Күшті магнитті минералдарды бөлуге 120–150кА/м жеткілікті.

Магнитті бөлу әдісі негізінде темір және марганец кендерін байытуға қолданылады. Сонымен қатар, біраз сирек металдар кендерін байытқанда алынатын концентраттардың сапасын арттыру мақсаты қойылғанда, оған кейде тек осы әдісті қолданумен жетуге болады. Бірсыпыра кен түрлерін ауыр ортада байытқанда суспензоид ретінде магнитті зат қолданылса, оны регенерациялау магнитті бөлгіштерден өткізу арқылы жүргізіледі.

Магнитті бөлгіштердің көптеген конструкциялары белгілі. Олардың көп түрлілігі, біріншіден, байытылатын кеннің бөлгіштерге түсу алдында әртүрлі түрде (кесек не уақ түрде, құрғақ не пульпа түрінде) болуы болса, екіншіден, минералдардың магнитті қасиеттерінің әртүрлі дәрежеде болуына байланысты. Осыған байланысты магнитті бөлгіштердің жалпы конструкциялық ерекшеліктерін қарастырайық.

Барлық магнитті бөлгіштерде тек әртекті өріс қолданылады. Себебі оларда біртекті өріспен салыстырғанда өріс кернеуі салыстырмалы жағдайда жоғары болады.

Әлсіз магнитті кендерді байытуға арналған бөлгіштерде магнит өрісінің кернеуін жоғарылату мақсатпен тұйық магнитті жүйелер қолданылады, демек кен түйіршіктері екі полюс арасынан өткізіледі. Күшті магнитті кендерге арналған бөлгіштерде ашық магнитті жүйелер әртүрлі вариантта қолданылады.

Көпшілік магнитті бөлгіштерде магнит өрісі электр тоғы әсерімен тудырылады, демек электромагниттер қолданылады. Онда туатын өріс кернеуі тұрақты магнит өріс кернеуінен көп жоғары келеді де, және өріс кернеуі соленоид арқылы өтетін электр тоғының күшін өзгерту арқылы жеңіл реттенеді. Тұрақты магниттер тек күшті магнитті қасиеті бар ұсақ кесекті не ұнтақты кендерді байытуға қолданылатын бөлгіштерде орнатылады.

Магнитті бөлгіштердің негізін екі бөлшек құрайды: магнитті жүйе және тасымалдаушы қондырғы. Бөлгіштердің аттары тасымалдаушы қондырғылардың түрлеріне қарай қойылған.

Магнитті жүйелердің тудыратын өріс кернеуіне қарай магнитті бөлгіштер екі топқа бөлінеді: күшті магнитті кендер бөлгіштері және әлсіз магнитті кендер бөлгіштері.

Тасымалдаушы қондырғылардың түріне қарай магнитті бөлгіштер барабанды, валкалы, дискалы, роликті және тағы басқа түрлерге бөлінеді .

Күшті магнитті кендерді бөлгіштер.
Оларда ірілігі 100 мм-ге жететін кен байытылады.

Күшті магнитті кендерді сулы ортада бөлгіштерде түйіршік іріліктері 3–6мм-ден аспайды.

Бөлгіштерге кен пульпа түрінде түседі. Бұларда кен байытылғанда тұрақты магнит жүйесі қолданылады да, ал суспензидты регенерациялауда электромагнит қолданылады.

Әлсіз магнитті кендерді бөлгіштер.
Бұларда магнит өрісінің кернеуін жоғары ету мақсатымен тек тұйық электромагнит жүйелері қолданылады. Олар валикті, роликті және дискалы бөлгіштерге бөлінеді. Валикті және роликті бөлгіштер құрғақ күйде және сулы ортада да байытуға қолданылады. Ал дискалы бөлгіштерде кен тек құрғақ күйде байытылады.

Электромагнит жүйесінің полюстері горизонталь жазықтықта орналасқан. Қатар орналасқан әр екі полюс үстіне біраз қашықтықта төңкерілген тарелка пішінді айналмалы темір дискілер орнатылған. Соның нәтижесінде магнит өрісі тұйықталады. Сипатталған магнитті бөлгіштерден басқа, кейінгі кезде әлсіз магнитті кендерді байыту үшін жоғары градиентті бөлгіштер жасалды. Олар әсіресе өте ұсақ ұнтақталған, байытылу дәрежесі төмен, әлсіз магнитті материалдар үшін қолданылады. Конструкциялары сулы ортада байытуға арналған қарсы ағысты ванналы барабанды бөлгіштердің ағысты ванналы барабанды бөлгіштердің құрылысына сәйкес, процестің өзгешелігі сол магнит өрісінің градиентін жоғарылату мақсатында барабанмен ванна аралығына ұсақ шар түрінде ферромагнитті зат салынады. Олар магнит өрісі зонасында барабан бетіне тартылып тұрады. Бастапқы зат пульпа түрінде ваннаға түскенде магнитті түйіршіктер шарлардың бетіне тартылады. Магнитсіз

түйіршіктер шар араларымен сырғып, сумен шайылып ваннаның түбіндегі тесіктен шығады. Шарлар беттеріне жабысқан түйіршіктермен бірге барабан бетіне тартылған бойы онымен бірге қозғалады. Барабан беті магнит өрісі зонасынан шыққан кезден бастап (ол барабанның ең жоғарғы нүктесінен басталады) шарлардың барабанға тартылуы доғарылып, тек өз салмақ күштері әсерінде болады. Барабанның одан әрі айналымында шарлар салмағымен құлап ұсақ тесікті тор үстіне түседі. Осы жерде шарлардың бетіне тартылған түйіршіктер ағынды себілген сумен шайылып, тор тесіктерінен өтіп қабылдағышқа түседі, ал шарлар тор бетінен құлай қайтадан барабанмен ванна түбі екі аралығына толады. Сөйтіп шарлар үнемі барабанмен бірге қозғалыста болады.

Практикада әртүрлі мақсатпен магнитті бөлгіштерден басқада қосалқы аппараттар қолданылады. Олардың бір тобы пульпа магнитті өрістен өткізу арқылы өте тиімсіз байытылатын аса ұнтақ түйіршіктерді (шламды) біріктіріп ірілеуге (флокуляция), не керісінше, түйіршіктердің қалдық магнитті қасиетін жою арқылы флокулаларды ыдыратуға қолданылады. Пульпаны осылай өндеу көбінде оны қойылдыру не пульпадан шламды бөлу процестері алдында жүргізіледі. Кейде магнитті өрісте өндеу флотациялау алдында да қолданылады.

Магнитті әдіспен байыту тиімділігіне бірсыпыра факторлар әсер етеді. Оларға жататындар: магнит өрісінің кернеуі, бастапқы заттың ірілігі және түйіршіктер диаметрлерінің біркелкілігі, заттың ылғалдылығы, магнит өрісінен өту жылдамдығы және т.б.

Магнит өрісінің кернеуі бөлгіштің конструкциясымен байланысты. Электромагнитті бөлгіштерде оны ток күшін өзгерту арқылы белгілі мөлшерде реттеуге болады, дайындау процестерінің бастылары кенді құрғақ түрде байытқанда оны, алдын-ала құрғату және әртүрлі ірілік кластарға бөлу арқылы. Кеннің құрғақтығы артқан сайын түйіршіктердің бір–біріне жабысуы төмендейді, демек әр фракцияның сапасы артады. Неғұрлым жұмыс органы үстіне ірілігі біркелкі түйіршіктер жұқа қабат жасай түссе, соғұрлым олардың бөліну дәрежесі артады. Сол сияқты магнит өрісінен неғұрлым аз

жылдамдықпен өтсе, соғұрлым магнитті түйіршіктер толығырақ бөлінеді. Бірақ соған сәйкес бөлгіштің өнімділігі де төмендейді. Сондықтан белгілі бір жағдайларда заттың магнит өрісінен өту жылдамдығының қажетті шамасы тәжірибе жүргізу арқылы анықталуы керек.

Магнитті байыту процесінің барлық түрінде бөлу процесіне аса нұқсан келтіретін жай – оның құрамындағы аса ұнтақ бөлігі, сондықтан құрғақ байыту алдында кен шаңнан, ал суда бөлгенде шламды бөліктен міндетті түрде тазалануы қажет.

Кейбір минералдардың магниттік қасиеті әртүрлі температурада белгілі шекаралықта өзгереді. Ал біраз минералдарды арнаулы жағдайда өндеу нәтижесінде магниттік қасиеті басқаша минералдарға айналдыруға болады. Сондайлардың бірі темір минералы гематит, оны жоғары температурада (600–950С) көміртек тотығымен, кокспен не табиғи газбен қосып қыздырса, ол магнитке айналады.

Бұл процесс магниттеу қыздыруы деп аталады. Бірақ процесс қымбаттығына қарай сирек қолданылады.

2. МАГНИТТІ ӨРІС ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІ

Магнитті өріс материяның ерекше пішіні және кеңістікте белгілі бір күш түрінде пайда болады, олар магниттелген денеге әсер еткенде байқалады. Бұл күштердің магниттелген денеге әсері денелерде жылдам қозғалатын молекуланың ішкілік электрлік күштердің пайда болуымен түсіндіріледі.

Анықтамаға сәйкес магниттік индукция және магниттік ағын өзара қатынаспен байланысқан:

$$B = \frac{\Phi}{S}, \quad (2.1)$$

Заттың магниттелгендігін көрсету үшін, магниттік момент p_m қолданылады, 1 Тл индукциялы магниттік өрісте сыналатын заттың сандық түрде механикалық моментке тең.

Магнитті моментті келесі теңдеуден анықтаймыз:

$$p_m = \frac{M}{B \sin \alpha}, \quad (2.2)$$

мұндағы, M – механикалық момент;

α – индукция векторы мен магнитті момент векторы арасындағы бұрыш.

Заттың көлемдік бірлігінің магнит моменті оның магниттеу интенсивтілігін немесе магнитсізделуін I анықтайды.

$$I = \frac{p_m}{V}, \quad (2.3)$$

мұндағы, V – зат көлемі.

Магнит өріс кернеулікпен сипатталады (H). Магнит өрістің берілген нүктедегі кернеулігі күш деп аталады, сол арқылы өріс магнит массаға әсер етеді.

$$\bar{H} = \frac{\bar{F}}{m}. \quad (2.4)$$

Магнит индукция (B) магнит өрістің кернеулігімен қатынасы арқылы байланысқан:

$$\bar{B} = \mu \mu_0 \bar{H}, \quad (2.5)$$

мұндағы, μ – ортаның салыстырмалы магнит өткізгіштігі;

μ_0 – тұрақты магнит.

Магнит өрістің берілген нүктедегі әртүрлілігі градиентпен сипатталады ($\text{grad } H$):

$$\text{grad } H = \frac{dH}{dx}. \quad (2.6)$$

Бірыңғай өрістер үшін $dH/dx=0$, әртүрлі өрістер үшін $dH/dx>0$. Магнит өріс күші $F_n(A/m^3)$ берілген нүкте градиент туындысы деп атала:

$$F_n = H \text{grad } H, \quad (2.7)$$

Заттардың магниттік қасиеттері магниттік бейімділікпен (χ), және меншікті магниттік бейімділікпен сипатталады.

$$\chi = \frac{x}{\delta}, \quad (2.8)$$

мұндағы, δ – заттың тығыздығы.

Магнит күші $\vec{F}_m$, минералды түйіршікке массамен (m) әсер етеді, магнит өріс тәуелділікпен бағаланады

$$\vec{F} = \mu_0 \chi H \text{grad } H m. \quad (2.9)$$

мұндағы, меншікті магнитті күш:

$$\vec{f} = \mu_{0\chi} H \text{grad } H. \quad (2.10)$$

Магниттік алаңның маңызды қасиеттерінің бірі – электромагнитті индукция құбылысы. Онда әртүрлі магнитті алаңның өзгеруінен, электр қозғаушы күш пайда болады. Магнитті алаңның басқа қасиеттері оның электр тоғымен механикалық өзара әсерленуі. Магниттік өріске түскен минералды түйіршіктер оның күштік сызықтарының орналасуына әсер етеді. Магниттік түйіршіктер магниттік күш сызықтарына аз кедергі көрсетеді, сондықтан соңғылары концентрацияланады. Күштік сызықтар қысқа жол бойымен жылжып, магниттік бөлшектерді полюс арасындағы кеңістікке тартады. Магнитсіз түйіршіктер өткізгіштікті нашарлатады, сондықтан күштік сызықтар оларды айналып өтеді және оларды өрістен ығыстырып тастайды.

Магниттік сепарацияның физикалық маңызы мынада, магнитті өріс минералдардың гравитациялық траекториясын

өзгертіп, осындай қасиеті жоқ басқа минералдар ағынының шығуын туындатады.

Магниттік өрістер біртекті және әртекті болуы мүмкін. Магниттік сепараторлада әртекті магниттік өріс қолданылады.

Әртекті магниттік өрісте бөлшектер айналдырушы моменттер әсерінен пайда болады. Алайда, бұл кезде бөлшектер магниттік жүйенің полюсіне ауысуы орындалмайды. Оны жүзеге асыру үшін бағытталған магниттік күш пайда болуы керек, ол тек әртекті өрісте алынуы мүмкін. Әртекті өріс күшті болған сайын, магниттік бөлшектер магниттік күш сызықтары бағытымен полюске тартылады. Әртекті өрісті алу үшін магниттік жүйелер қолданылады, олар екі топқа бөлінеді: ашық және жабық.

Ашық магниттік жүйелерде полюстер реті бар, оның шеттері жазықтықта немесе цилиндрлік бет бойынша орналасады (2.1-сурет). Мұндай жүйелер әлсіз магниттік өрісте кернеулігі 240 кА/м күшті магнитті кендерде қолданылады.

Ашық магниттік жүйелердің өріс кернеулігі полюстер бетінде x қашықтықта орналасады, оларды келесі формуламен анықтайды:

$$H_x = H_0 e^{-cx}, \quad (2.11)$$

мұндағы, H_0 – полюс бетіндегі магниттік өріс кернеулігі ($x=0$);

Полюстік ұштықтары цилиндрлік бетте орналасу жағдайында (4.2, а сурет) әртекті коэффициенті:

$$c = \frac{\pi}{s} + \frac{1}{R}, \quad (2.12)$$

мұндағы, s – магниттік жүйе полюстерінің қадамдары;

R – цилиндрлік бет радиусы.

$R \rightarrow \infty$ болғанда, жазықтықта полюстік ұшында орналасуына сәйкес (2.2,б сурет), келесі формуланы аламыз:

$$c = \frac{\pi}{s}. \quad (2.13)$$

Әртекті өріс коэффициенті физикалық градиент және магниттік жүйенің полюстерінің (s) қадамының функциясын болып табылады, ал полюс ұштары цилиндрлік бет бойынша орналасса – осы беттің R радиусы болады. Сонымен бірге

коэффициент – әртекті өріс үшін ыңғайлы параметр болып табылады, себебі $\text{grad } H$ полюс қадамдарына ғана емес H өріс мәніне тәуелді. Магниттік өріс күші келесі формуламен анықталады:

$$H \frac{dH}{dx} = cH_0^2 e^{-2cx}. \quad (2.14)$$

Жабық магниттік жүйелер. Бұл магниттік жүйелерде магниттік өріс әртүрлі пішінді қарама-қарсы екі полюс арасындағы кеңістікте түзіледі (4.3 сурет). Мұндай жүйелер әлсіз магнитті кендер үшін күшті магнитті өрісті сепараторларда қолданылады. Бұл жағдайлардағы магниттік өріс кернеулігі 1600 кА/м болады.

Әлсіз магнитті кендер үшін магниттік жүйелердегі көптеген сепараторлар келесі полюс сәйкестігінің типтерінде қолданылады:

Жазық және оған қарама-қарсы дөңгеленген полюсте (2.2 а);

Майысқан және оған қарама-қарсы дөңгеленген полюсте (2.2 б, в);

Жазық және оған қарама-қарсы көп тісті полюсте (2.2 г, д, е);

Желоб тектес және оған қарама-қарсы көп тісті полюсте (2.2 ж).

Магниттік өрістің кернеулігі және саңылаулардағы магниттік күшті теориялық анықтау, үлкен қиындықтармен байланысқан және тәжірибелік зерттеулерді талап етеді.

Мысалы, көп тісті және магнитті өрістер арасындағы зерттеулер (2.2 г, д, е), оларды $x \leq 0,5s$ өріс аймағында және тістер симметриясының жазықтығында сипаттау үшін келесі теңдеулерді қолдануға болады:

$$H_x = 0,5sH_0 \frac{\sqrt{1-c}}{\sqrt{0,25s^2 - c(0,5s-x)^2}}$$

$$H \text{grad} H = 0,25s^2 H_0^2 c \frac{(0,5s-x)(1-c)}{[0,25s^2 - c(0,5s-x)^2]^2}, \quad (2.15)$$

мұндағы: s – көп тісті полюстің тістерінің қадамы; H_0 – тістер маңайындағы өріс кернеулігі ($x=0$); c – тістер қадамына тәуелді коэффициент $s \approx 1$ см үшін 0,3, $s \approx 3$ см үшін 0,6 дейін.

3. МАГНИТТІ СЕПАРАЦИЯ ПРОЦЕСІНІҢ ДИНАМИКАСЫ ЖӘНЕ РЕЖИМДЕРІ

Магниттік өрістегі сепарация негізінен минералдардың магниттік қасиеттерінің айырмашылығына негізделген. Минералдар сепаратордың магниттік өрісінде жылжығанда магниттік қана емес, механикалық күштер әсері де болады.

Магниттік күштерден бөлек бөлшектерге ауырлық күші, үйкеліс күші және ортаның кедергі күші әсер етеді. Көрсетілген күштердің өзара әсері нәтижесі бөлшектердің әртүрлі қозғалысын анықтайды.

Пайда болатын күштер актив, пассив және диссипатив болып бөлінеді. Күшті магнитті түйіршіктер үшін магниттік күш активті болады, ал пассивті – ауырлық күші, үйкеліс күші және ортаның кедергі күші болады; магнитсіз дәнектер үшін активті күш ауырлық күші, басқа күштер пассив болып табылады. Энергия жоғалымымен байланысты болатын диссипативті күштер актив және пассив күштерді төмендетеді. Магниттік күштері F_m механикалық күштер соммасынан $F_{мех}$ артық болатын минерал түйіршіктері магниттік жүйе полюстарына тартылады және магниттік өнімге түседі. Магнитсіз түйіршіктер немесе магниттік бейімділігі әлсіз түйіршіктер магниттік өріспен әсерлемей одан өтеді және магнитсіз өнімге түседі.

Магниттік қасиетімен ерекшеленетін минералдар қоспасын бөлу үшін төмендей шарттар бар мезгілде орындалуы тиіс.

Күшті магнитті минералдарға әсер ететін магниттік күш, осы минералдарға карама-карсы магниттік күш бағытында әсер ететін механикалық күштерден артық болуы тиіс.

Әлсіз магнитті минералдарға әсер ететін магниттік күш осы минералдарға ен әсер ететін барлық механикалық күштерден артық болуы тиіс. Бұл шарттарды келесідей жазайық:

$$F'_{мех} < F'_{магн} > F''_{магн} < F''_{мех}, \quad (3.1)$$

мұндағы: $F'_{магн}$ – магниттік фракцияға алынатын күшті магнитті минералдарға әсер ететін магниттік күш;
 $F''_{магн}$ – магниттігі аз минералдарда;
 $F'_{мех}$, $F''_{мех}$ – магнитті және магнитсіз минералдар

фракциясында алынатын, минералдарға әсер ететін механикалық күш.

Магниттік өрісте магниттік және механикалық күштердің әсерінен кеннің бөлінуі магниттік минералдарды алу немесе оларды ұстау режимінде орындалады. Минералдардың бөліну ортасы ауа немесе су болуы мүмкін. Осыған сәйкес процесс құрғақ немесе ылғал магнитті сепарация деп аталады.

Алу режимі. Бұл жағдайда кен лента астына беріледі, барабан немесе білік сепаратордың жұмыс зонасына тік сызықты немесе қисық сызықты траекториямен қозғалады. Сепаратордың жұмыс зонасынан кеннің қисық сызықты ауысуы кезіндегі, құрғақ магнитті сепарация процесін қарастырайық (сурет 3.1 а). Магнитті бөлшекке келесі күштер әсер етеді:

1) барабан бетіне нормаль магниттік күш:

$$F_{\text{магн}} = \mu_0 \chi H \text{grad} H \quad (3.2)$$

мұндағы, μ_0 – магнитті тұрақты;

χ – меншікті магнитті бейімділік.

2) ауырлық күші

$$f_m = g \quad (3.3)$$

Еңістік бетке нормаль күші

$$f_n = g \cos \alpha \quad (3.4)$$

Және осы бетке жанама құраушыларға бөлінген жаңа нормаль күші пайда болады.

$$f_n = g \sin \alpha \quad (3.5)$$

3) кеннің жазықтыққа $f_{\text{үйк}}$ үйкелу күші ($F_{\text{магн}}$ әсерінен магниттік бөлшектер еңісті жазықтықтан бөлінеді, сол үшін $f_{\text{үйк}}=0$);

4) инерция күші $F_{\text{ц}}$. Соңғы күштің бөліну процесіне әсері маңызды емес және оны ескермеуге болады. t_1 – бөлшектің L тартылу зонасының ұзындығынан өтетін уақыт; t_2 – бөлшектің h тартылу зонасының биіктігіне көтерілетін уақыт. Егер бөлшек жұмыс зонасына V_0 бастапқы жылдамдықта, L жолды t_1 уақытта өтсе, онда:

$$L = \frac{gt_1}{2} \sin \alpha - v_0 t_1 \quad (3.6)$$

Бір мезгілде магниттік бөлшек полюске келесі қашықтықта ауысуы тиіс:

$$h = \frac{F_1 t_2^3}{2} \quad (3.7)$$

мұндағы, $F_1 - F_{\text{магн}} - g \cos \alpha$ магниттік жүйенің әрекет ету зонасындағы бөлшектің барабан мен лентаға тартылып тұруы үшін, қажетті қосымша магниттік күш.

Магниттік бөлшектер магнитсізден бөлінуі үшін келесі шарт $t_1 \geq t_2$ сақталуы тиіс. $t_1 = t_2 = t$ деп алып, (3.6) және (3.7) теңдеуін шешіп, табамыз:

$$F_1 = h \frac{v_0^3 + Lg \cos \alpha + v_0 \sqrt{v_0^2 + 2Lg \sin \alpha}}{L^2}, \quad (3.8)$$

теңсіздікті (3.8) F_1 орнына қойып, аламыз:

$$F_{\text{магн}} = g \cos \alpha + h \frac{v_0^2 + Lg \sin \alpha + v_0 \sqrt{v_0^2 + 2Lg \sin \alpha}}{L^2} \quad (3.9)$$

Теңсіздіктің оң жағы (3.9) негізгі механикалық күштердің соммасынан тұрады.

Сақтау режимі. Бұл жағдайда кен барабанның жоғарғы бөлігінің және оның сепаратордағы жұмыс зонасынан қозғалуы қисық сызықты траектория бойынша орындалады (3.1 сурет). Магниттік түйіршікті ауа ортасында бөлгенде оған келесі күштер әсер етеді:

1) Барабан бетіне нормаль магниттік күш, (3.1) формуласымен анықталады.

2) $f_m = g$ ауырлық күші; екі құраушыдан тұрады: барабан бетіне нормаль $f_n = g \cos \alpha$ және сол бетке жанама $f_{\text{н}} = g \sin \alpha$;

3) Барабан бетіне нормаль орталық жүгірмелі күш:

$$F_n = \frac{v^2}{R}$$

Құрамы $\alpha_m = 0,3 \pm 0,9$, болатын магнитті минералдарды сақтау үшін, қажетті меншікті магниттік күш:

$$F_{\text{магн}} = \frac{\frac{v^2}{R} g \cos \alpha}{1 + \alpha_m}. \quad (3.10)$$

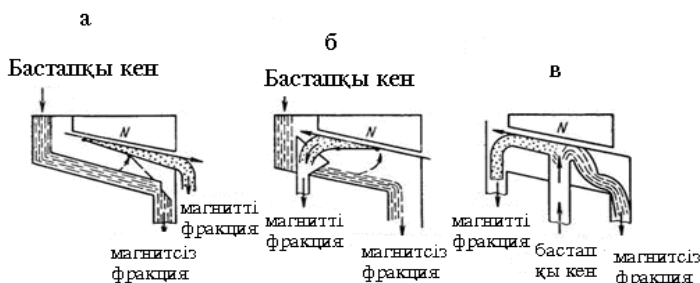
Осылайша сақтау режиміндегі сепарация кезіндегі меншікті магниттік күшті анықтайтын негізгі механикалық күштер: орталық жүгірмелі күш және түйіршіктердің ауырлық күші, бұлар 0 до 90° бұрыштарында қажетті магниттік күштерді азайтады.

Өнімдердің қозғалу бағытына байланысты сепарацияның келесі режимдері бар (3.1–сурет):

1) Сепарацияның тура ағызымды сепарация өнімдері бастапқы кен бағыты бойымен қозғалады;

2) Кері ағызымды сепарация өнімдері бастапқы кен бағытына қарама-қарсы қозғалады;

3) Жартылай кері ағызымды сепарация өнімдері бастапқы кен магнитті және магнитсіз фракцияларға бөлінеді, ол тік бұрышпен жан-жаққа еңістелген.



3.1-сурет. Магнитті сепарация режимдері.

а – тура ағызымды; б – кері ағызымды; в – жартылай кері ағызымды;

Тура ағызымды жағдайда бөлшектену магнитті түйіршіктердің толық алынуын қамтамасыз етпейді, себебі нашар магнитті түйіршіктер аз жылдамдықпен магнитке тартылған кезде, онда түзілген күшті магнитті түйіршіктердің қабатына тартылуы тиіс. Осыған байланысты олардың магнитсіз өнімге түсуі жоғарылайды.

Кері ағызымды режимде магнитті кендерді алу ыңғайлы, себебі күшті магниттік түйіршіктерден бөлінген нашар магниттік түйіршіктер магнит бетіне тартылады.

Жартылай кері ағызымды бастапқы қорек қозғалысының бағыттары магниттік бөлшектерге әсер ететін магниттік күш бағытымен сәйкес болады.

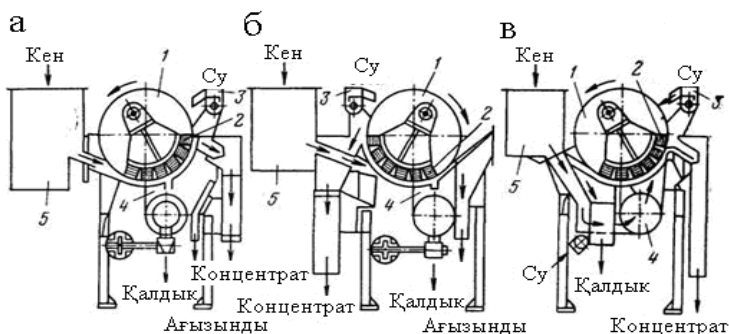
4. МАГНИТТІ СЕПАРАТОРЛАР

Екі типті сепараторлар сериялы шығарылады: электромагнитті және тұрақты магнитті. Магниттік жүйелердің және басқа да түйіндердің конструктивтік ерекшеліктеріне қарамастан, барлық сепараторлар екі топқа бөлінеді:

1) кеннен күшті магниттік минералдарды алу үшін әлсіз магниттік өрісті сепараторлар (магниттік өрістің кернеулігі 70 до 120 кА/м және өріс күші $3 \cdot 10^5 - 6 \cdot 10^5$ кА²/м³ дейін);

2) кеннен әлсіз магниттік минералдарды алу үшін күшті магниттік өрісті сепараторлар (магниттік өріс кернеулігі 800 до 1600 кА/м және өріс күші $3 \cdot 10^7 - 1210 \cdot 10^7$ кА²/м³ дейін); сепарация ауа немесе сулы ортада жүзеге асырылады және магнитті сепараторлар құрғақ және дымқыл болып бөлінеді.

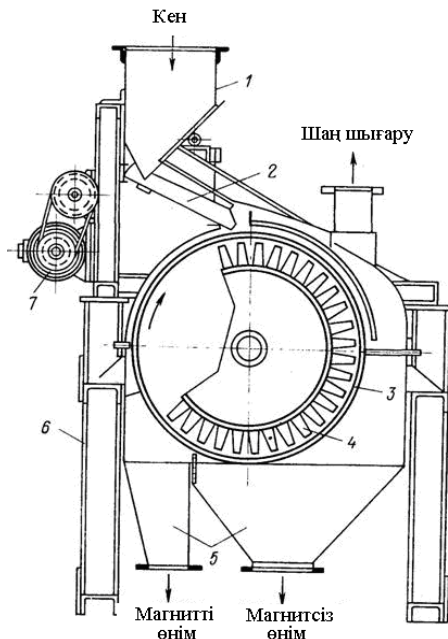
Ылғал магниттік байыту. Күшті магнитті кендерді ылғал магниттік байытуда барабанды сепараторлар қолданылады. Бұл сепараторлардың құрылысын және жұмыс істеу принциптерін ПБМ-90/250 (209В-СЭ) мысалында қарастырайық, "Механобр" (4.1 сурет) институтымен жасалған.



4.1-сурет. Кенді ылғал байыту үшін арналған ПБМ-90/250 барабанды сепаратор

а – тура ағызымды ванналы; б – кері ағызымды ванналы;

в – жартылай кері ағызымды ванналы



4.2-сурет. Кендерді құрғақ байыту үшін арналған ПБСЦ-63/50 барабанды сепаратор

Сепаратор – барабаннаң (1), алты полюсті жүйесі (2), тұрақты магниттерден жасалған (сплав ЮНДК-24) ваннадан (4), түсіру қораптан (5), суды шаю үшін ақпалы қораптан (3) тұрады. Барабанның сыртқы беті резеңкемен жабылған.

Бұл сепараторлардың бетіндегі кернеулік 90–100 кА/м, барабан бетінен 50мм қашықтықта 40–50 кА/м, сепаратор өнімділігі ванна типіне, шикізат қасиеттеріне байланысты 40–200 т/сағ жетеді. Полюстер 50мм қадаммен орналасқан.

Өнімдердің қозғалу бағытына байланысты сепараторлар тура ағыз ымды, кері ағызымды, жартылай кері ағызымды ванналы болып бөлінеді.

Полюс ортасына қарама-қарсы болғанда барабан бетіндегі кернеулік 115–125 кН/м, полюстер арасындағы саңылауға қарсы 84–92 кА/м.

4.1-кесте

Күшті магнитті кендерді құрғақ байыту сепараторларының техникалық сипаттамалары

Параметрлері	ПБЦС- 63/50	ПБЦС- 63/100	ПБЦС- 63/200	4ПБЦ- 63/200
Барабан өлшемдері мм: Диаметр Ұзындық	630	630	630	630
Барабандар саны	500	1000	2000	2000
Кен ірілігі, мм, артық емес	3	3	3	50
Барабан бетіндегі кернеулік өрісі, кА/м	90	90	100	80/110
Барабандардың айналу жиілігі, мин ⁻¹	55-300	55-300	40-300	50-100* /30-50
Белгіленген қуат, кВт	3	--	7.5	23*/21,1
Өнімділігі, т/сағ	20	20	--	400
* Алымында негізгі барабандардың параметрлері мен өлшемдері, бөлімінде – тазартпаларықтар үшін.				

Барабанның жылдам жүруші режимін, магниттік полюстің аз қадамында магниттік өріс атқарады, оның жиілігі 90 Гц.

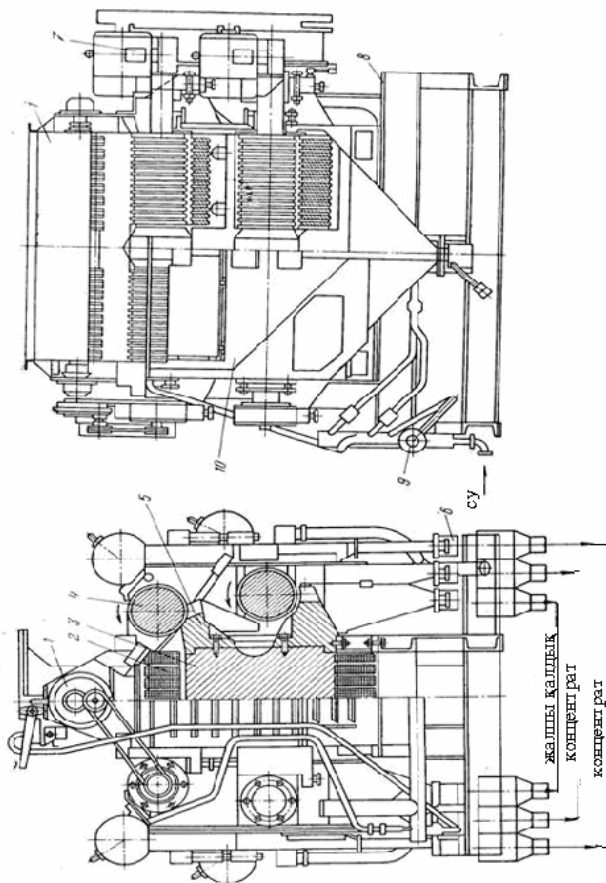
Ылғал магниттік байыту. Ылғал магниттік сепарация күшті магниттік өрістерде көп таралған. Қазіргі кезде бұл процесс әртүрлі конструкциялы білікті сепараторларында орындалады, олар магниттік минералдарды алу режимінде жұмыс істейді.

Сепаратор келесі түрде жұмыс істейді: кен пульпа түрінде түсіру кондырғысынан сепаратордың екі білігіне таралады. Кеннің магниттік түйіршіктері пульпадан айналмалы біліктерге тартылады, және магниттік өріс әсері зонасына шығып, ваннаның концентратты бөлігіне өтеді. Магнитсіз кендер полюстік ұштықтар мен білік арасындағы саңылауға жылжиды, полюстік ұштыққа жетіп, қалдыққа өтеді.

Сепаратор жұмысы кезінде ванна пульпамен толады, оның артығы табалдырық арқылы шығады. Ванналардағы тұрақты пульпа деңгейі соленоидты клапан арқылы қамтамасыз етіледі.

Сепаратор 4ЭВМ-30/100 (ЭРМ-2) (4.3 сурет), екі сепаратор сияқты 2ЭВМ-30/100, олар бірінің үстіне бірі орнатылған, бірақ күшті ортақ магнитті жүйемен біріккен (сепаратор орамының магнит жылжытушы күші 8500 Ав). Сепаратордың төменгі біліктері жоғарғы біліктерден түсетін магнитсіз фракцияларды тазартуға арналған.

Сепаратор диаметрлері 300 мм 4 біліктен және электромагниттік жүйелерден тұрады, олар он алты магниттеуші орамдардан 2, сердечник 3, сегіз полюстік ұштықтан тұрады.



4.3-сурет. Төрт білікті сепаратор 4ЭВМ-30/100

Әлсіз магнитті кендерді ылғалды байыту үшін сепараторлардың техникалық сипаттамалары 4.2-кестеде келтірілген.

Құрғақ магниттік байыту. Сирек металды және басқа да әлсіз магнитті кендерді құрғақ байыту үшін келесі типті сепараторлар қолданылады: 2ЭВС–36/100, 2ЭДС–60/40.

Құрғақ байыту білікті сепараторлар екі түрлі орындалады – жоғарғы және төменгі қоректі.

Құрғақ байыту білікті сепараторларының өнімділігін жоғарылату үшін, жоғары жылдамдықты бөлу режимін қолдану керек, біліктердің оралым жылдамдығын арттыру арқылы орындалатыны тәжірибемен белгіленген. Сериялы сепараторы 2ВК-5В біліктерінің айналу жылдамдығын арттыру мүмкіндіктері сәтсіз болды, себебі құйынды токтардан біліктердің қызуы жоғары мәнге жетеді және олардың жетегіне кететін қуат күрт жоғарылап кетеді.

4.2-кесте

Әлсіз магнитті кендерді ылғал байыту үшін сепараторлардың техникалық сипаттамалары:

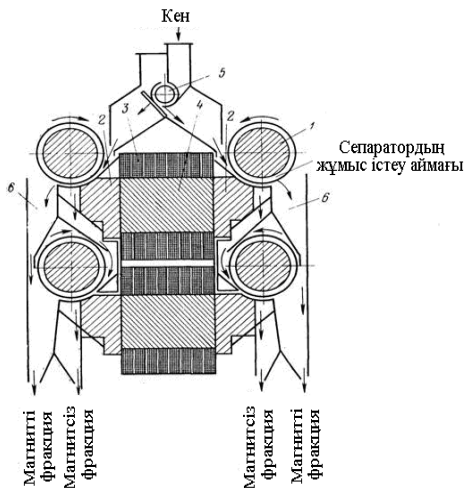
Параметрлері	2ЭВМ-30/100	4ЭВМ-30/100	2ЭВМ-38/250	4ЭВМ-38/250
Барабан өлшемдері мм: Диаметр Ұзындық	300 1000	300 1000	380 2500	380 2500
Барабандар саны	2	2*/2	2	2*/2
Қорек ірілігі, мм, артық емес	5	5	5	5
Барабана бетіндегі кернеулік өріс, кА/м	1200	1250	1350	1350
Барабандардың айналу жиілігі, мин ⁻¹	50	50*/25	40	45*/22
Белгіленген қуат, кВт	2X 3,0	2X 3*/2X 1,5	2X 7,5	2X 7,5*/2X 4
Өнімділігі, т/сағ				
* Алымында негізгі барабандардың параметрлері мен өлшемдері, бөлімінде – тазартпаларықтар үшін.				

Сепаратор 4ЭВС–36/100 (ЭРС–6) (4.4–сурет) сирек металды және басқа да әлсіз магнитті кендерді құрғақ байыту үшін қолданылады.

Сепаратор төрт құрамды біліктен 1, екі тәуелсіз электромагниттік жүйелерден – жоғарғы және төменгі, олардың әрқайсысы тітіркену катушкалы 3, екі сердечниктен 4 және төрт полюстік ұштықтардан тұрады. Төменгі және жоғарғы электромагниттік жүйелер катушкалары одан өтетін ток бір бағытта болатындай қосылады.

Сепаратордың полюстік ұштықтары және сердечниктері металл көміртекті динамды болаттан жасалады. Сепаратор біліктерінің диаметрі 270мм тұтас сердечник түрінде құйылған динамды болаттан жасайды. Сепаратор шиберлы қоретегішпен 5 жабдықталған, ол өнімділікті екі секционды ваннамен 6 реттеуге арналған. Ваннада сепаратордың толық герметизациясын қамтамасыз ететін тығыздама бар. Білік жетектері индивидуалды және электро двигательден, білік цапфасына орнатылған аспалы цилиндрлік редуктордан тұрады.

Жоғарғы және төменгі біліктердің электромагниттік жүйелерінің тәуелсіздігі маңызды технологиялық артықшылыққа ие, ол негізгі операцияда магниттік өрістің кернеулігін бөлек реттеуге мүмкіндік береді. Бастапқы кен коректегіштен қайықтарға таралады және магнитті фракция секцияларына шығарылады. Магнитсіз фракция жоғарғы каскадтың саңылауларынан өтіп тазарту операциясына түседі. Екі сепараторың магнитті фракциялары бірігеді.



4.4-сурет. Сепаратор 4ЭВС–36/100

Әлсіз магнитті кендерді құрғақ байыту үшін электромагнитті сепараторлардың техникалық сипаттамалары 4.3 кестеде келтірілген.

Жазық магниттік сепараторлар себілме материалдарды конвейер бойымен тасымалдауда қолданылады. Олар тұрақты магниттік материалдар негізінде дайындалады (альнико, ферриттер, керамикалық магниттер, соңғы кездерде – тұрақты магниттер). Жазық магнитті сепараторлардың құрылым сұлбасы 4.5-суретте көрсетілген.

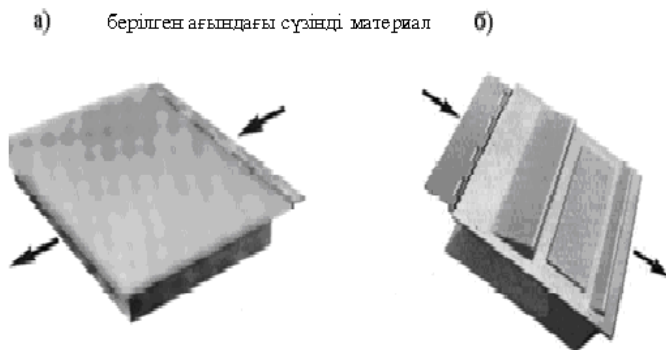
4.3-кесте

Әлсіз магнитті кендерді құрғақ байытқанда қолданылатын электромагнитті сепараторлардың техникалық сипаттамалары

Параметрлері	2ЭВС-36/100	4ЭВС-36/100	2ЭДС-60/40
Барабан өлшемдері мм:			
Диаметр	360	360	600
Ұзындық	100	100	--

4.3-кестеннің жалғасы

Барабандар саны	2	2/2*	2
Біліктердің томпақтары (дискілерде) магниттік өрістің кернеуі, кА/м	1350	1400	1300
Қорек ірілігі, мм, артық емес	2	2	2
Барабандардың айналу жиілігі, мин ⁻¹	100 - 220	85-170	40
Белгіленген қуат, кВт	15	16	3
Өнімділігі, т/сағ	12 дейін	7 дейін	0,5 дейін
* Алымында жоғарғы біліктер саны, бөлімінде – төменгілерінің саны.			



4.5-сурет. Жазық магнитті сепараторлар үшін екі шешім
а - сепаратор тазартылатын материалдар ағыны астына орнатылады; б – материал сепаратор бойымен қозғалады.

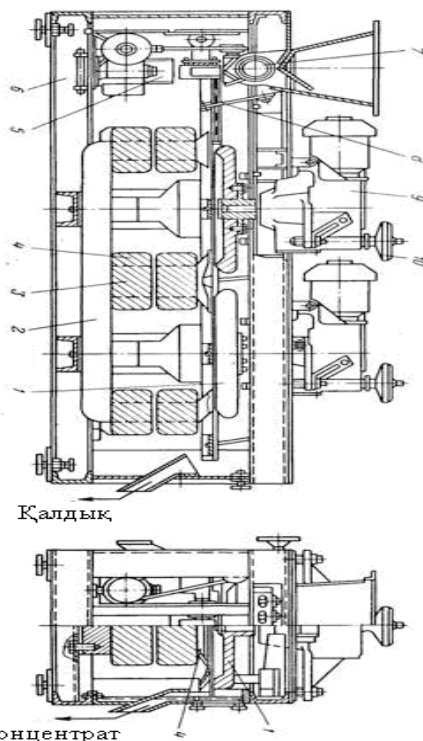
Сирек металл кен концентраттарын, вольфрамды және басқа да материалдарды жетілдіру үшін дискті сепараторлар қолданылады, олар жақсы технологиялық сипаттамалар көрсетеді, бірақ олардың өнімділігі өте төмен және 250 кг/сағ аспайды.

Дискті сепараторлар 2ЭДС–60/40 (МС–2) (4.6-сурет) диаметрлері 600мм болатын екі дисктен, тітіркену катушкасы 3

бар магнит желі 2, полюстік ұштықтардан 4, қоректендіргіштен 7, қоректендіргіш жетегінен 5, ені 400мм дірілді лотоктан 8, дискілердің 9 екі жетегінен, реттеуші бұрандалардан 10, жақтаулардан 6 тұрады. Сепаратор дисктері аз көміртекті болаттан, ал дірілді лоток – магнитсіз материалдан жасалады.

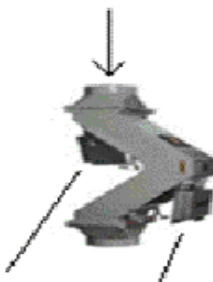
4.7-суреттегі сепаратор конструкциясын қолданғанда, материал ағынының жылдамдығы төмендейді және ол бірнеше сатыдан сүзіледі.

Сүзілген магниттік сепараторлардан магнитті металды ломмен ластанады, және оларды тазарту үшін келесілер орындалады: тазартылатын материал берілуі төмендейді, конвейер қабырғасынан сепараторлар алынады, нәтижесінде магниттік металды қалдық конвейер бойымен себіледі және ары қарай утилизацияға жіберіледі.



4.6-сурет. Дискалы сепаратор 2ЭДС–60/40

Берілген қозғалыстағы сұзінді
материал



Жалпақ магнитті сепаратор

4.7-сурет. Тік тасымалдау кезіндегі құрғақ себілме материалдарды тазарту.

5. МАГНИТТІК БАЙЫТУҒА ӘСЕР ЕТЕТІН ФАКТОРЛАР

Магниттік өрістің кернеуі. Өрістің кернеуін жоғарылату магниттік күштің артуына әкеледі, соның салдарынан магниттік фракцияға магниттілігі төмен минералдарды бөліп алуға мүмкіндік береді. Бұл бөліп алу өнімінің шығымына және сапасына әсер етеді. Алайда магниттік өрістің кернеуін шамадан тыс жоғарылату магниттік фракцияның ластануына әкеліп соғады. Ал, өрістің кернеуін төмендету – магниттік минералдардың қалдыққа шығуына себеп болады.

Егер байыту технологиялық схемасында бірнеше магниттік сепарация операциялары қолданылса, магниттік емес фракцияларды қайта тазалағанда, магниттік өрістің кернеуін әр келесі операцияда арттырып отыру қажет. Магниттік концентраттарды соңына жеткізіп өңдеу үшін өрістің кернеуін біртіндеп төмендету керек.

Жұмыс аймағының параметрлері (ұзындығы және биіктігі), сонымен қатар қоректендіру ені сеператордың өткізу мүмкіндігін, яғни, өнімділігін анықтайды. Барабанның (біліктің) диаметрі артқанда, жұмыс аймағының ұзындығы өседі, бұл магниттік минералдарды алудың және сеператордың өнімділігінің артуына мүмкіндік береді. Сонымен қатар, өнімділікті арттыру қоректендірудің қабылдау тесігінің енін (барабанның, біліктің ұзындығы) үлкейту арқылы да жүзеге асады.

Жұмыс аймағының биіктігі сеператор конструкциясын жасау процесінде анықталады және белгілі бір минералдық шикізатты байыту үшін сеператорды технологиялық жөндеу кезінде нақтылы шектерде өзгеруі мүмкін. Жұмыс аймағының биіктігінің кішіреюі магниттік өрістің кернеуінің үлкеюіне алып келеді немесе керісінше.

Сепаратордың барабандарының және біліктерінің айналу жиілігі оның өнімділігін және байыту өнімдерінің сапасын белгілі бір мөлшерде анықтайды. Ол байыту әдісіне (құрғақ не сулы), қоректі беру әдісіне (жоғары немесе төменгі), бөлінетін минералдардың ірілігіне және меншікті магниттік

кабілеттілігіне, байыту өнімдерінің қажетті сапасына (дайын концентраттар немесе қалдықтар алуда) қарап алынады.

Байытылатын кеннің магниттік қасиеттері мен ірілігі. Бөлінетін минералдардың іріліктері жағынан айырмашылықтарының үлкен болуы магниттік өрістің кернеуін, жұмыс аймағының параметрлерін, сепаратордың өнімділігін және жылдамдық режимін дұрыс таңдауда қиындықтар туғызады. Осының бәрі байытудың технологиялық көрсеткіштерінің нашарлауына әкеліп соғады. Байытудың көрсеткіштерін жақсарту үшін бөлінетін минералдардың жоғарғы және төменгі іріліктерін максималдық жақындататын, классификацияны қолданады.

Магнитті байытуды қолданудың негізгі шарты бөлінетін минералдардың магниттік қасиеттерінің қанықтығы, яғни егер магниттік қабілеттілік x_1 және x_2 сәйкес болса, x_1/x_2 бірліктен (тәжірибеде 3–5-тен аз емес) артық болуы керек. Бұл қатынас магнитті байытудың селективтілігінің коэффициенті деп аталады.

Магнитті сепараторларда магниттігі күшті минералдарды алу үшін кернеуі 120–150 кА/м дейінгі әлсіз магниттік өрістер қолданылады. Әлсіз магнитті минералдарды алу үшін кернеуі 800–1500 кА/м және бұдан да жоғары күшті магниттік өрістер қолданылады. Магнитсіз минералдар жоғары кернеудегі өрістерде де бөлінбейді.

Магниттік әдістер қара металдар кендерін байытуда кең қолданысқа ие болды, сирек және түсті металдарды жетілдіруде, фосфоритті кеннен темір кендерін бөлу үшін қолданылады.

Сепаратор корегіндегі қатты заттың мөлшері. Ылғалды магниттік сепарация кезінде пульпадағы қатты заттың мөлшерінің өсуімен сепаратор өнімділігі артады, алайда байыту өнімінің сапасы төмендейді. Пульпаның сұйықтылығы артуы магнитті фракция сапасын жоғарылатады, бірақ магнитті минералдар жоғалымы да артады, себебі пульпаны сепаратордың жұмыс аймағынан өту жылдамдығы артады. Сепараторлар корегіндегі оптимал қатты заттың мөлшері 30–40 % шамасында.

Минералдарды бөлудің кез келген процесі екі күш түрін қолданады, олар бір өнімді екіншісінен бөлу кезінде селективті

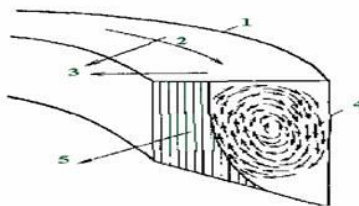
әрекет етеді. Магниттік сепарация магниттік күш өрісін қарама-қарсы бағытталған күштерге қарсы қолданады, олар гравитационды, инерционды және әртүрлі үйлесімдегі күштер болуы мүмкін. Сепаратор конструкциясына байланысты магниттік күш магниттік өнімді тоқтата алады немесе тек қана бұрынғы жолдан ауытқытуы мүмкін, магниттік күш селективті бір өнімге әсер ете алады, ал қарама-қарсы бағытталған күштер екі өнімге де әсер етеді.

Мысалы, бөлшектер ағыны магниттік алаң арқылы конвейерлі лентада пассивті қозғалуы мүмкін. Магниттік күш магнитті «бөлшектерді» көтеру үшін гравитационды күштен артық болуы тиіс. Магниттік күш массаға жатады, сәйкесінше оны көтеру талаптары бөлшек өлшеміне тәуелді емес. Қабаттың бастапқы қозғалысы бұл теңдікке әсер етпейді, негізгі шарты бөлшектердің қабаттан магниттік өріс тартылуы шегінде көтеріледі. Магниттік үдеу гравитациондыдан жоғарылауы мүмкін өнімділікті бақылайды, бірақ көтерілетін магнитсіз бөлшектің ұсталып қалмауы үшін магниттік күш шектеулі болуы тиіс. Егер магнитсіз фракция керекті өнімді берсе, онда магниттік бөлшектерді көтеру үшін максимал күш керек. Бөлінген өнімнен магниттік фракцияларды соңғы тасымалдау – екіншілік процесс, оны көлденең лентада (сепаратор Везерил) немесе айналмалы темір дискілерде (сепаратор Рэпид) орындауға болады. Үлкен магниттік күштер пульпаларға әсер ететін ауырлық күші мен сұйық кедергісінің құрамды әсері бар сепаратор конструкцияларында қолданылады.

Матрицалық сепаратор конструкциялары көтеру және ұстау принциптеріне негізделген және ортақ кемшіліктерге ие. Олар магниттік бөлшектердің магниттің өрістің градиентінен магниттік күш градиенті әлсіз аймағынан жоғары ауыстыруды талап етеді. Бұл өз кезегінде өзінен кейін ұстау күшін құру үшін максимал магниттік күштерді тартады. Максимал магниттік күштер бөлшектерді ұстап қалу үшін өте үлкен болуы керек, жағдай жақсарады егер магниттік бөлшектерге магниттік күштен басқа жоғары аймағына ауысуға басқа күштер көмектессе.

Мысалы, Коэн мен Гудтың баяндалған сепараторында, сұйықтықтың тороидальды ағыны бөлшектердің барлығын магниттік өрістің жоғары кернеулікті аймағына ауыстырады, ол каналдың бір жағында орналасады (4.13-сурет). Бұл жағдайда магниттік күш магниттік бөлшектердің ағынмен қосылып кетпеуі үшін жоғары болуы тиіс. Магниттік күш пен сұйықтың кедергі күші арасындағы тепе-теңдік бөлшектердің өлшеміне тәуелді. Бөлшектер өлшемінің кішіреюінен, массаға тәуелді магниттік күш бөлшек диаметрінің кубы d^3 ретінде кішірейеді, бұл кезде сұйықтық жылжуының кедергісі оның бетінің көлеміне тәуелді, сәйкесінше d^2 ретінде кішірейеді.

Бұл бөлшектердің диаметрі 0,1мм аз болса, яғни минералдың тығыздығы мен магниттік бейімділікке тәуелділігінде байқалады. Сұйықтық кедергісін ағынның төмен жылдамдығында немесе жоғарғы магниттік күш кезінде төмендетуге болады. Мысалы, су 10 см/с жылдамдықпен ағады және 0,1 мм өлшемді бөлшекке 9-10-8 Н шамасында кедергі келтіреді, 5 см/с жылдамдықта кедергі 4,7-10-8 Н дейін төмендейді.



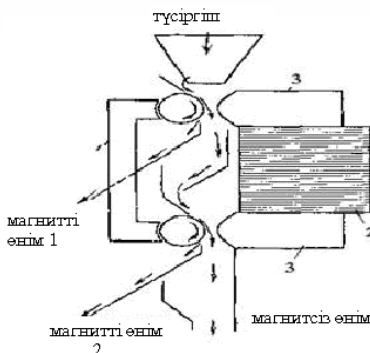
5.1-сурет. Орбиталды каналды магниттік сепаратор сұлбасы
(тороидальды ағын сәйкес ауысу механизмін таңдайды)

1 – орбиталды канал; 2 – ағын бағыты; 3 – магниттік күш бағыты;
4 – тороидальды ағын; 5 – магниттік өнім.

Сепаратор конструкцияларында күштердің әртүрлі балансы орнатылады, мұндағы магниттік күш магниттік өнімді ауытқытуға және екі өнімді бөлек жинау үшін бөлек қоршау орнатып, оны қоректен шығаруға жеткілікті болуы тиіс. Бұл магниттік күш бөлшектерді ұстау мен көтеру кезіндегі күштен төмен. Магниттік күш әрбір бөлшектің бағытталған импульс

күшінен теңгеріліп отырады. Импульстік күш пен магниттік күш массаға тәуелді, сәйкесінше құраушы бөлшектердің жылдамдығы – процестің маңызды бөлшегі.

Бұл типті сепараторлардың бірі, мысалы – индукционды-роликті сепаратор (5.2-сурет). Бөлу жетілмеген, себебі ауырлық күші мен көлемі әртүрлі. Индукционды-роликті сепараторларда «машиналық аралық өнімдерін» орталық аймағы жасау жалпы болып табылады. Бөлшектердің арасында траектория қисығымен соқтығысқанда өзара әсер болады.



5.2-сурет. Екі роликті индукционды-роликті сепараторлардың жұмыс істеу принципі.

1 – темір көпір; 2 – магнитті соленоид; 3 – темір өзекше

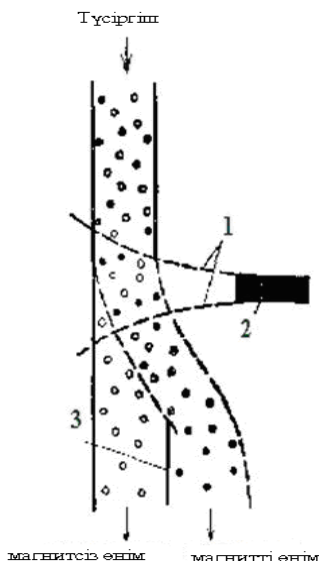
Роликтер бағытында әрекет ететін магниттік күшті туындату үшін олар қабырғалы бетті болады.

Магнитті сепараторлардың әртүрлі конструкцияларында магнитті бөлшектердің аз ауытқуын қолданады. Мысалы, магниттік күшті дисперленген су ағысына көлденең әрекет етуі үшін бағыттауға болады. Әрбір бөлшектің магниттік индукция бағыты және мәні, оның сәйкес бөлгіште ауытқуын қамтамасыз етуі тиіс. Кері әсердің гравитационды күші лақтыру биіктігін өзгерту арқылы реттеледі. Магнит конструкциясын пайдаланып магниттік өрісте өтетін қорек ағынын ұзындығын анықтауға болады. Ол магниттік күшпен бірге магниттік өнімнің горизонталь ығысуымен анықталады. Магниттік бөлшектердің магнитке жақын өтуі кезінде магниттік күш әсерінің шегі

магниттік фракциядан төмен өтуі тиіс. Бөлшектер өлшемі маңызды фактор емес, себебі екі күш те массаға тәуелді. Алайда жұқа бөлшектердің 0,1мм ірілікте бөлінуі электростатикалық әсерінен де болуы мүмкін.

Магниттік күштің көлденең қалыңдығы немесе радиусі қорек ағынының енімен анықталады. Бұл өрістің шектік төмен градиентін қамтамасыз етеді, ол өрістің жоғары кернеулігімен компенсирленуі тиіс. Өріс кернеулігі мен градиент арасындағы теңдіктің екі лимиттеуші шарты бар. Магниттік ағынның қиыр жағындағы магниттік күш магниттік бөлшектерді бөлгіш артына ауыстыруға жеткілікті болуы тиіс.

Ағын қиырындағы үлкен магниттің жанындағы магниттік күш магнитті бөлшектерді магнитті күштің шегінен төмен құлауына мүмкіндік беруі тиіс. Парамагнитті минералдар үшін өріс градиенті 0,06–0,6 Тл/см ағын ені 5–10см. Өрістің сәйкес максимал интенсивтілігі 2,5–4,5 Тл аралығында 2–5см биіктікте немесе 1,5–2,5 Тл, 10–20см қашықтықта.



5.3-сурет. Шектік магниттік өрістің еркін құлау сепараторының жұмыс принципі.

1– эффективті магнит күшінің шектемесі; 2 – магнит;
3 – реттелетін бөлгіш.

Еркін құлайтын бөлшектер қоспасының сәтті магнитті сепарациясының негізгі шарты – қорек тығыз ағынмен қозғалуы керек. Егер бөлшектердің орналасуы тығыз болса, олардың көбісі турбулентті қозғалады. Бұл кильватердегі бөлшектерден болады, қысымның әртүрлігіне қарай олар көлденең қозғала алмайды. Толық ағында магнитті күш әсерінен магнитті бөлшектердің ауытқуы, нәтижесінде бүкіл ағынның ауытқуын туындатады. Жақсы дисперленген ағын қатты заттың мөлшері орташа құрамы 10% шамасында болуы тиіс, тербелістер кезінде 5-20% шамасында. Қоректегі қатты заттың шектік рұқсат мөлшері минералдардың тығыздық, бөлшектерінің өлшемі және пішіні қасиеттеріне тәуелді. Қоректегі магнитті фракция бөлшегі негізінен жақсы сепарация жегістіктерін анықтайды. Ең оңай жағдай магнитсіз өнімнен ірі түйіршікті магнитті бөлшектердің аз мөлшерін алып тастау; магнитті фракцияның толық жойылуы бір сатыда орындалады. Көлемдік тығыздықты арттырған сайын, магнитсіз бөлшектер көбісі магнитті бөлшектермен бірге ауыса бастайды және үлкен магниттік күш магнитті фракцияның толық жойылуы үшін керек. Дисперленген ағында бөлшектердің жоғалуына бөлшектердің соқтығысуы себеп болады.

Ең күрделі жағдай – қоректегі магнитті фракцияның көп мөлшері, олар магнитсіз бөлшектердің бір бөлігінен тұрады. Бұл бөліну аймағында магнитсіз бөлшектердің магниттік ағынмен қосылып кетуін төмендету үшін қорек көлемін пульпамен сұйылту керек. Сондай-ақ магниттік күшті төмен ұстау керек, бұл магниттік бөлшектердің тобын құру кезінде магнитсіз бөлшектердің ұсталып қалуын болдырмауға қажет. Ақырғы тазалау керек, егер магнитсіз фракцияның жоғарғы сапасы керек болса.

Сулы суспензияларда мұндай процестер жүрмейді. Мұндай типті ылғалды сепараторларының көптеген патенттері бар, бірақ олар өндірістік қолданыс таппады. Оның негізгі мәселесі кедергі күшінен өтетін магниттік күш әлсіз. Егер магниттік күш жоғарыласа, бөлшектердің судағы төмен жылдамдығынан магниттік бөлшектердің тұрақты ұсталуын туындатады.

Егер қарама-қарсы бағытталған күштердің нақты теңділігі болса, магниттік сепарацияда минералдар бір бірінен бөлінбейді. Екі минерал бөлінеді, егер олардың арасында магниттік бейімділік айырмашылығы үлкен болса. Сепаратордың конструкциясын пайдаланудың бірінші сұрағы: қорек берілімінің қажетті жылдамдығына жету үшін жұмыс көлемін қамтамасыз ететін магниттік күш жеткілікті ме. Конструкцияның пайдаланудың екінші сұрағы: сепараторлардың механикасы және геометриясы қарама-қарсы күштердің тиімді және басқарымды күштерін сол жұмыс кеңістігінде қамтамасыз етіледі ма. Шекті магниттік күштерде көптеген магниттік сепараторлар жұмыс істейді, егер қоректі беру жылдамдығы төмен болса. Негізінен өнімділік жұмыс көлемін жабу үшін артуы мүмкін. Градиент өрісін жоғарылату үшін жұмыс көлемін төмендету керек, сәйкесінше өрістің интенсивтілігін максимал жоғарылату ашық градиент сепараторларының талабына сай болады. Магниттік өрістің максимал интенсивтілігі 4-10 Тл интервалында жайлы болады, жоғары интенсивтілік қолданылады, егер қорек үлкен жылдамдықпен түсетін болса.

Магнитті сепараторлардағы градиенттік өріс 1 Тл/см жетеді және бұл қолдануды шектейді. Ашық каналды сепараторларда градиенттер өрісі 0,05-1 Тл/см интервалында таңдалады. Берілген магниттік өнімнің бейімділігі бөлудің магниттік күшін анықтайды және өріс интенсивтілігі мен оның градиенті арасында баланскә әсер етеді. Электромагниттерде өрістің максимал интенсивтілігі 2 Тл. Магниттік сепарация оңай орындалмайды. Көптеген табиғи кендер келесідей қиындықтар туындатады:

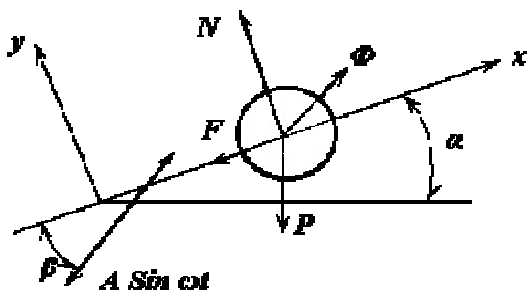
- эффектті магнит бейімділікті магниттелген және магниттелмеген минералдардан тұратын өндірістік өнімдер;
- магнитті және магнитсіз минералдар құнды (мысалы, вольфрам вольфрамит және шеелиттің ішінде);
- тұрақсыз құрамды минералдар магнитті және магнитсіз интервалында болады, құнды және тау жыныс минералдары магниттік бейімділікке ие болуы мүмкін.

Жоғары интенсивтілікті магниттік сепарация қоректен күшті парамагнитті немесе ферромагнитті материалдарды алып тастауды талап етеді. Мұндай материалдар ұсталып қалады және бүкіл жүйені тоқтатады.

Келтірілген әлемдегі магниттік байыту жағдайына сүйенсек, механикалық қоспаларды бөлу актуалды мәселе болып жатыр.

Дірілді бет бойынша материалды нүкте түрінде бөлшектердің қозғалу заңдылығы дірілді тасымалдау теориясына ғана емес аз өлшемді дірілді сепарация денелері теориясына бағынады. Дірілді бет бойынша бөлшектердің қозғалуының дифференциал теңдеуі де жоғарыда айтылған процесте маңызы зор.

Төменде келтірілген нәтижелер дірілді бет жазық болып, қозғалуы тербелістер тұрақты, ал берілетін күштер өрісі бірыңғай және көбінесе ауырлық күшінің өрісі түрінде болатын жағдайларға жатады. Бұл нәтижелер жалпы жағдайларда қолданылады, егер бет бойымен бөлшектердің қозғалуы тербеліс периодында беттің қисықтық радиус бойымен салыстырғанда, сондай-ақ траектория мен берілетін күштер арақашықтығы қандайда бір өзгеріс болса қолданылады.



5.4-сурет. Бөлшектердің қозғалу заңдылығы

Бөлшектің xOy осьтеріндегі салыстырма дифференциал теңдеуі, ол дірілді бетпен тығыз байланысқан, қарастырылатын жағдайда келесі түрге ие (ось Ox осі бойлық бағытталған, ал Oy – осі жазықтыққа нормаль)

$$m\ddot{x} = mA\omega^2 \cos \beta * \sin \omega t - mg * \sin \alpha + F, \quad (5.1)$$

$$m\ddot{y} - mA\omega^2 \sin \beta * \sin \omega t - mg * \cos \alpha + N, \quad (5.2)$$

мұндағы, m – бөлшек массасы;

A ω – сәйкесінше тербелістің амплитуда және жиілік;

β – тербеліс траекториясының жазықтыққа қатысты еңістік бұрышы (діріл бұрышы);

α – жазықтықтың горизонтқа еңістік бұрышы;

g – еркін құлау үдеуі;

N – нормал реакция;

F – бөлшек қозғалысының кедергі күші, оны бастапқыда құрғақ үйкелу бұрышы деп санаймыз.

Бөлшектің дірілді бет арқылы қозғалуында ($y \equiv 0$)

$$F = \begin{cases} -fN & \text{при } x > 0, \\ fN & \text{при } x < 0. \end{cases} \quad (5.3)$$

мұндағы, f – сырғанаудың үйкеліс коэффициенті, ал нормал реакция (5.2) арқылы анықталады.

$$N = N(t)$$

$$N(t) = mg \cos \alpha - mA\omega^2 \sin \beta \sin \omega t. \quad (5.4)$$

Бөлшектің беттен ажырамай қозғалуы

$$\begin{aligned} N(t) &> 0, \\ w = \frac{A\omega^2}{g} * \frac{\sin \beta}{\cos \alpha} &\leq 1. \end{aligned} \quad (5.5)$$

w параметрі инерция күшінің ауыспалы құрамының көлденең амплитудаға $mA\omega^2 \sin \beta$ ауырлық күшінің көлденең құраушысына $mg \cos \alpha$ қатынасы арқылы анықталады $mg \cos \alpha$ оны жүктелу параметрі деп атайық. Бөлшектің беттегі салыстырмалы тыныштығында ($\dot{x} = 0, \dot{y} = 0$), құрғақ үйкеліс күші $F = F^{(0)}$ (4.8) арқылы анықталмайды, (4.6) арқылы анықталады:

$$F^{(0)} = F^{(0)} * (t) = mg * \sin \alpha - mA\omega^2 * \cos \beta * \sin \omega t. \quad (5.6)$$

Салыстырмалы тыныштық күйі келесі шарт орындалғанша сақталады:

$$-f_1 N(t) < F^{(0)}(t) < f_1 N(t). \quad (5.7)$$

мұндағы, f_1 – тыныштық күйі коэффициенті,
 $f_1 \geq f$.

Бөлшектің бет бойынша жылжуы ($y \equiv 0$) (5.1) алынады (5.3) және (5.4) ескерсек:

$$x = -g \frac{\sin(\alpha \pm \varphi)}{\cos \varphi} + A\omega^2 \frac{\cos(\beta \pm \varphi)}{\cos \varphi} \sin \omega t. \quad (5.8)$$

мұндағы, $\varphi = \arctan f$ – сырғанаудың үйкеліс бұрышы;

жоғарғы белгілер бөлшектердің алдына ($t > 0$), ал төменгілері ($t < 0$) артқа жылжығандығын көрсетеді.

Бөлшек ұшуының тендеуін ($y > 0$) (5.1) алады, егер $M = F = 0$ болса. Жазылған қатынастарға теңдік қосу керек, ол бөлшектің бетпен соғылғандағы қатынасының өзгеру заңын көрсетеді. Әдетте қатынасты жедел деп санайды, ал жылдамдықтың құраушы нормалының өзгеруі Ньютон гипотезасына сәйкес анықталады:

$$-\frac{v_+}{v_-} = R, (0 \leq R < 1). \quad (5.9)$$

мұндағы, $\dot{y}_-$ және $\dot{y}_+$ – бөлшек жылдамдығының соққыға дейінгі және кейінгі көлденең проекциялары.

R – қалпына келу коэффициенті.

Көлденең жылдамдық проекцияларын байланыстыру ретінде $\dot{x}_-$ және $\dot{x}_+$ соққыға дейінгі және кейінгілерін көптеген қосымшаларының қатынасын қабылдаймыз:

а) "λ-гипотеза":

$$x_+ = (1 - \lambda)x_- \quad \text{егер} \quad x_+ (1 - \lambda)x_- \quad (5.10)$$

Бұл кезде салыстырмалы тыныштық күйі, келесі шарт орындалғанша сақталады:

$$x_+ - x_- f^t(y_+ - y_-) \operatorname{sgn} x_- \quad \text{егер} \quad |x_-| > \left| \frac{f(y_+ - y_-)}{\lambda} \right|, \quad (5.11)$$

мұндағы, f – соққы үйкеліс коэффициенті, әдетте f деп қабылдаймыз.

(5.10), (5.11) қатынасы, R , λ және f тұрақтыларын береді. Қажетті жағдайда құрғақ үйкеліс күшінен басқа бөлшектердің қоршаған ортада жабысқақтық кедергі күшін ескеру керек. Бұл кезде екі гипотеза қолданылады: бірінші жағдайда кедергі күші біріншісіне пропорционал болады, ал екіншісінде – бөлшектердің абсолютті қозғалыс жылдамдығы. Жабысқақтық кедергі күшін ескеру қажеттілігін шешу үшін бұл күштердің қатынасын анықтау керек.

$$B = c_B(Re) \frac{\pi d^2}{4} \frac{\rho v^2}{2}, \quad (5.12)$$

құрғақ үйкеліс күшіне $F = fmg$

мұндағы, d – бөлшектер өлшемі;

v – оның жылдамдығы R шамасында алады;

c_B – Рейнольдс санына байланысты кедергі коэффициенті;

$Re = \rho v d / \mu$ (v – коэффициент кинематикалық жабысқақтық коэффициенті), белгілі графикпен анықталады, олар қолданбалы гидромеханикада қолданылады.

$v = 0,15 \text{ см}^2/\text{с}$ болса және $\rho = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$ (ауа 20° C кезінде), $f = 0,5$ координаттарында $v = A\omega$, d күш B 10% шамасында ρm бөлшектерінің $0,4$; $1,0$ және $3,0 \text{ г/см}^3$ тығыздықтарында. Ауаның кедергісін ұсақ және жеңіл бөлшектерде ескеру керек. Жалпы жағдайда бөлшек діріл бетінде келесі төрт жағдайлардың бірінде болады: тыныштыққа байланысты ($\dot{x} = 0, \dot{y} = 0$), алдыға жылжу ($\dot{x} > 0, \dot{y} = 0$), артқа жылжу ($\dot{x} < 0, \dot{y} = 0$), және бөліну $\cap$, көрсетілген жағдайларды сәйкесінше белгілейміз, символдармен: $0, +, -$ және $\cap$.

Бөлшектердің қозғалуының режимдеріне көрсетілген жағдайлардың цилиндрлік кезектесуінің практикалық қолданысы қызығушылық тудыруда, бірінші цикл периодын режимнің периодты ауысуы деп атаймыз, p саны беттің периодтық тербелісінен артық болады. Мұндай режимдер бөлшектердің бетке түскеннен кейін бірнеше уақыт өткеннен кейін немесе беттің тербелісі болғаннан кейін пайда болады.

Әрбір белгіленген режим нақты қайталанатын цилиндрлік символдардың жиынымен $0, +, -$ және, «р» және бір моменттен

екіншісіне өту этаптары. Бұл кезде моменттер ауысуының символдардың кезегін көрсету жеткілікті.

Мына түрдегі жазба:

$$0,25(\alpha)0,3(\alpha)11,0(+),12,5(0)12,7(+),4\pi + 0,25$$

Бұны бекітілген режим формуласы деп айтады; бұл жазба фазалық бұрыштың сәйкес мәнінен $\alpha_1 - 0,25$ тен $\alpha_2 - 8,3$ дейін, бөлшек беткей бетінде болады, $\alpha_2 - 8,3$ кезінде бетпен соқтығысады, $\alpha_3 = 11,0$ моментіне дейінгі ұшу, $\alpha_4 = 12,5$ моментіне дейінгі сырғу болады, $\alpha_5 - 12,7$ және, кейіннен алдыға сырғу орындалады $\alpha_6 = 4\pi - 0,25$. Бұл цикл қайталанып отырады. Берілген режимнің ауысу периоды:

$$T_g = \frac{4\pi}{\omega}; T_g = 2T.$$

Салыстырмалы аз бұрыштар үшін α горизонт бойынша жазық бет белгіленген режимге сәйкес, бұл кезде ауысу периодының бойымен жылжу жылдамдығы V , бұл кезде діріл тасымалдаушы жылдамдық немесе діріл ауысу жылдамдығы өзгеріссіз қалады (4.6) келесі түрге ие болады:

$$x = V_t + \varphi(t), \quad y = \psi(t), \quad \text{егер } |x| > \left| \frac{f(y_+ - y_-)}{\lambda} \right|, \quad (5.13)$$

мұндағы, V – тұрақты, ал $\varphi(t)$ және $\psi(t)$ периодты функциялар t периодты, T ауысу периодына тең;

мұндай режимдерді тұрақты деп атаймыз.

Белгіленген режимдер, горизонт жазықтық бетіне еңісті болады. Бұл режимдерді W_6 бөлшектер үдеуі өзгеріссіз болады. Осы режимдерге сәйкес (5.1) теңдеуінің шешімі келесі түрде болады:

$$x = W_m * \frac{t^2}{2} + V_1 t + \varphi(t) \quad y = \psi(t). \quad (5.14)$$

Белгіленген режимдердің қозғалуы теорияның негізгі тапсырмалары болып табылады. Бұл кезде қозғалыс тұрақтылығын зерттегенде бөлшек координаттары мен жылдамдығымен шектелуі керек. Тұрақтылықтың сәйкес анықтамасы Ляпунов бойынша тұрақтылығына ұқсас, бірақ

«қаттылығы аз», себебі Ляпунов бойынша тұрақсыздық режимдері мүмкін, бірақ ауысу моменттеріне тұрақты. Қарастырылатын тапсырма математикалық жағынан сызықсыз дифференциал теңдеу сияқты, алайда әрбір бөлік аналитикалық жазбасы мен әртүрлі реті болуы тиіс. Аналитикалық тәсілдерден басқа графикалық тәсілдерді қолдануға болады.

Тапсырманы шешу процессіз соңғы нәтижелер келтірілген.

1. Көтеріп тастау болмаған кезде белгіленген режим. Бөлшектің дірілді беттен ажырамай қозғалуы қайта қосылу параметрі $w \leq 1$ болғанда орындалады.

2. Бөлшектердің мүмкін тұрақтылық шарттары төрт параметрмен көрсетіледі.

$$z_{1\pm}^t = \frac{g}{A\omega^2} * \frac{\sin(\alpha \pm p_1)}{\cos(\beta \mp p_1)} z_{1\pm}^t = \frac{g}{A\omega^2} * \frac{\sin(\alpha \pm p_1)}{\cos(\beta \pm \mp)} \quad (5.15)$$

($\rho = \arctg j$ және $\rho_1 = \arctg j_1$ – сәйкесінше тыныштық үйкеліс бұрыштары және сырғу бұрышы), осылармен қатар келесі параметрлерді аламыз:

$$\delta_{1-} = \arcsin z_{1-}'$$

$$\delta_{+} = \arcsin z_{+}'$$

$$\gamma_{1-} = -\arcsin z_{1-}'$$

$$\gamma_{-} = -\arcsin z_{-}'$$

Осы параметрлердің функциялары:

$$\varphi(a, b, c) = \cos b + \cos c - (\pi + c - b) \sin a$$

$$v_{+} = \pi - v_{-} = \pi \frac{\sin \gamma_{-}}{\sin \delta_{+} + \sin \gamma_{-}}$$

$$x = \frac{v_{+}}{\sin v_{+}} \sin \delta_{+} = \frac{v_{-}}{\sin v_{-}} \sin \gamma_{-}$$

функция $f(a,b)$ трансцендентті теңдеу шешуі болып табылады.

$$\cos f(a,b) = \cos b - [f(a,b - b)] \sin a.$$

$|a| > \rho$ болған кезде бөлшектер қозғалысының жылдамдауы мүмкін. Барлық режимдер t периодты қосылуға ие, ол беттің тербелу периодымен сәйкес T және абсолютті тыныштықтың тривиалды жағдайын ескермесек, барлығы төрт түрі болады (екі түрлі A және B , 3 және 4 режимдеріне жауапты). 1, 3, и 4 режимдерінде бөлшектердің алдыға және артқа жылжуы болады. 4A және 4B режимдерінде бөлшек бір бағытта сырғиды, бұл кезде басқа режимдерде сырғу этаптары бар.

Әрбір режимнің жағдайлары екі қатынастық режимдерге бөлінеді, олар бірінен екіншісіне өтеді. Кей жағдайларда үйкеліс коэффициенттерін f_1 и f бірдей алу қарастырылған. Бұл кезде (5.8) сәйкес:

$$z'_{1+} = z'_+, z'_{1-} = z'_- (\delta_{1+} = \delta_+, \gamma_{1-} = \gamma_-)$$

Яғни анықтаушы өлшемсіз параметрлер саны екеуіне тең болады, және белгіленген режимдер жағдайы жазықтықта көрсетілуі мүмкін.

Жазықтық квадранты $z'_+ < 0, -z'_- < 0$, теңсіздігімен анықталады, оған параметрлердің мүмкін емес мәндері сәйкес болады, (5.8)-ге сәйкес, көрсетілген теңсіздіктер бір мезгілді қарама-қарсы қатынастар $\alpha < \rho$ және $\alpha > \rho$ ($\alpha > \rho$) талаптарына келтіріледі.

Қарастырылатын жағдайда $f_1 = f$ мүмкін мәндердің барлық мәндері z'_+ и z'_- қарастырылған режимдер облыстарымен толтырылады. Сондықтан параметрлер жүйесінің әрбір мәндеріне қозғалыс режимі жауап береді.

Аналогты жағдайда, үйкеліс коэффициенті f_1 және f бірдей емес, бірақ жазық беттің горизонтқа еңістік модуль бойынша сырғудың үйкеліс бұрышынан $\rho = \arctg f$ төмен болады. Бұл кезде бөлшекті үдеуді қозғалысы болмайды. Белгіленген режимдердің жағдайы тыныштыққа байланысты, бұл режимдердің біреуі орындалса, басқалары орындалмайды. Тартпадан құлау бұрышы сырғанау үйкеліс бұрышынан артық

болса, бірақ тыныштық үйкеліс бұрышынан кем болса $\rho < |\alpha| < \rho_1$, яғни діріл болмаса да бөлшек төмен сырғиды.

$\rho < \alpha < \rho_1$, орындалғанда діріл болса, екі режим орындалады, олардың біреуі тұрақты режим (тыныштыққа тиісті), ал басқасы тоқтаусыз үдеумен төмен қозғалады. Егер қозғалыс режимдерінің біреуі тұрақты, екіншісі тұрақсыз болса шындығында тұрақты режим орындалады. Егер екі режим тұрақты болса, онда режим сипаттамасы бастапқы шарттарға тәуелді болады. Үдеудің үлкен амплитудасында $A\omega^2$ бөлшектер әрдайым төмен қозғалады.

$|\alpha| > \rho_1 = \arctg f_1$ жағдайында режимдер тоқтаулы болса және бір белгіленген режим болса, бөлшектер қозғалысы – тоқтаусыз үдеуді төмен бағытталады. Бұл кезде тоқтаусыз қозғалыс ауысу моменттерінде «үлкенде» болады, (бірақ Ляпунов бойынша тұрақсыз), себебі бұл қозғалыс уақыт өте келесі басқа қозғалысқа ауысады, мұнда бөлшектердің төмен қозғалуының момент уақыты $t = t_0$. $|\alpha| > \rho = \arctg f_1$, болған жағдайда, яғни горизонтқа жазық беттің құлау бұрышы абсолюттік мәні бойынша үйкеліс бұрышынан артық болса, «бір мәнділік» орын алады, бұл жағдайда басқа параметр мәндері тәуелсіз бөлшектер үдеумен төмен қарай бағытталады. $|\alpha| < \rho$ болғанда барлық белгіленген режимдер $z'_+ < 0, -z'_- < 0$, теңсіздігімен анықталады.

Осылайша белгіленген режимдерде көтеріп тастау болмаса тұрақты болады. Көтеріп тастау болғанда қозғалыс жағдайы өзгереді, мұнда режимдер тұрақтылығы олардың облыстарымен сәйкес болмайды. Белгіленген режимде орташа жылдамдықты және бөлшек үдеуін анықтайтын қозғалыс режимдері үлкен қызығушылық туындатуда. Олардың болуы өзгерістерге алып келмейді, егер момент ауысуы табылса одан кейін интегрирлеуге жеткізіледі (4.6).

Нәтижесінде S бөлшегінің ауысуы орындалады, $T_H = T$ бір ауысу периодында тұрақты режим үшін және жылдамдықты

өсіру үшін, сол режимде $(\Delta\chi)_T$ үдеуді режимдер үшін, кейін орташа жылдамдық және үдеу:

$$V_{cp} = s/T_{\Pi} = S\omega/(2\pi p)$$

$$W_{cp} = (\Delta\chi)/T_{\Pi}$$

Тәжірибеде есептер үшін PAVN бағдарламасын қолдану керек. Бағдарламада бөлшектердің лотоктармен әсерле су гипотезасы автоматты тексеріледі. Көтеріп тастау жоқ режимдер. $f_1=f$, жағдайында V_{cp} мәні жеңілдейді:

$$g = \frac{W}{gf \cos \alpha} V. \quad (5.16)$$

Жазық беттің созылымды тербеліс жазықтығында ($\beta=0$) бөлшектерді көтеріп тастау кезінде параметрлердің кез-келген мәндері болмайды.

Алайда негізгі режимде 2 (+ - типі) бөлшектердің орташа жылдамдығы:

$$V = -Awz \sin \frac{\pi\sigma}{2} \sqrt{\frac{1}{z^2} - \frac{\pi^2}{4} \frac{(1-\sigma^2)}{\cos^2 \frac{\pi\sigma}{2}}}, \quad (5.17)$$

мұндағы, $z = yf \cos \alpha / (A\omega^2)$.

Көрсетілген режим $\pi < 0.53\pi$ кезінде болады, яғни беттің интенсив тербелісі кезінде жеткілікті. Горизонталь беттің созылымды тербелістерінде ($\alpha = 0, \beta = 0, \sigma = 0$) V бөлшектердің орташа жылдамдығы белгіленген режимде (4.15) нөлге тең. Бұл жағдайда бөлшектердің үш түрі белгіленген.

1. Салыстырмалы тыныштық;
2. Орташа орындағы тербеліске жақын соңғы созылымды тоқтаулар алдыға немесе артқа сырғиды (режим 1 типі +...-...);
3. Әрбір сырғудағы тоқтаудан кейін орташа орын тербелісі (режим 2 типі = -). Бұл режимдердің облыстары жалпы жағдайда $f_1 \geq f$ болғанда, сәйкесінше теңсіздікпен анықталады.

$$1. z_1 > 1$$

$$2. z_1^2 + \frac{z^2}{(2/\pi)^2} > 1, z_1 < 1$$

$$3. \quad z_1^2 + \frac{z^2}{(2/\pi)^2} \approx 1 \quad (5.18)$$

Жүргізілген зерттеулер құлау бұрышын арттырғаннан кейін тасымалдау жылдамдығы артады, бұл кезде тыныш күйде жүретін режимдерде жылдамдықтың интенсивті өсуі байқалады. Сондай-ақ діріл бұрышының төмендеуі де көрінеді. Алайда құлау бұрышының артуы жылдамдықтың күрт өсуін қамтамасыз етпейді. Тасымалдау кезінде жылдамдық көтерілуі төмендейді.

Осылайша еңісті діріл транспортерлар және орын ауыстыру жылдамдығын арттырады, бірақ амплитудалы мәндер жылдамдықтарынан артық болады. Құлауға жылжу тасымалдау жылдамдығын арттыру үшін тербеліс амплитудасын жоғарылату керек, діріл бұрышын және тербеліс жиілігін төмендету керек.

Механикалық қоспалар әсерінен оларда өзгерістер болады, олардың негізгілері діріл интенсивтілігімен ескертіледі. Үдеудің амплитудалы мәндерінде, еркін түсу үдеуі артық болады, қоспа жылжымалыққа — псевдосұйылтуға (псевдооживление) ие болады. Мұндай механикалық қоспа күйі *псевдосұйылту* күйі деп аталады. Бұл күйде бөлшектер арасында байланыс үзіледі, орта тығыздалады. Ең көп тығыздалу амплитуда лық үдеуде жүзеге асырылады. Бөлшектердің тербеліс интенсивтілігінің артуынан оларда дірілді жұмыс мүшесімен байланыс үзіледі, бөлшектер арасында байланыс периодты бұзылады, орта қайнау күйіне өтеді. Бұл күйдіріл қайнау деп аталады, ол ортаның копсуымен және оны құрайтын бөлшектердің циркуляциямен сипатталады. Діріл қайнау сатысында екі сипаттамалық жағдай бар — бөлшектер сегрегация және интенсивті ауысу. Діріл қайнауының екінші режимі дірілдің интенсивті режимінде орындалады. Псевдосұйылтудың күйі діріл қайнауға өту жағдайы, еркін түсу үдеуінің жоғарылауы нәтижесінде орындалады. Критикалық үдеу және энергошығындар орта қасиеттеріне, бөлшектердің арасындағы байланыс күштерге және қабаттың қалыңдығына байланысты. Диссипациясының қуаты себілмелі ортада өте күрделі құбылыс болып табылады. Ол құрғақ және ылғал бөлшектердің бір-біріне үйкелуінен пайда

болады. Діріл эсерінен ортада деформация толқындары пайда болады. Инерционды нәтижесінде, үйкеліс күші мен деформация импульсының болуы олардың моно қабаттан – моно қабатқа өтуі біртіндеп азаяды, олардың азаю дәрежесі ортаның қасиеттерімен анықталады. Діріл көзінің қозғалысының тербеліс энергиясы, толқынның өтуі және өңделетін орта мен деформацияларда жоғалымды қалпына келтіруіне кетеді. Көтеріп тастау режимінде төменгі моно қабат, науа соңынан жүріп, кері қозғалыс бастайды, ал жоғарғы моно қабаттар жоғарыға қарай қозғала береді. Бұл моментте ортаның қопсуы жүреді. Себілмелі материал қабаттары жазық болса, шеткі қысым коэффициенті қарастырылып жатқан қабатта қабаттық қозғалыс жүріп жатыр ма, жоқ па оған тәуелсіз болады.

Механикалық қоспаларды /27/ патентімен бөлу технологиясы пайдалану мақсатымен себілмелі материалды магниттік өрісте магниттік және минералды фракцияларға бөлінуі үшін қарастырайық. Бұл селекция линиясын жобалауда, көрсетілген ұсыныстардың мүмкіндіктерін, сәйкесінше жұмыс нәтижесінде алынған нәтижелер қолданымдылығын бағалайды. Әрі қарай себілмелі материал үзілмейтін орта ретінде қарастырылады.

Векторлы қозғалыс теңдеуі Эйлердің ауыспалы жазбалары мен механикалық ортаның үзілмейтіндігі теңдеуі келесі түрге ие:

$$\bar{F} - \frac{1}{\rho} \Delta \bar{\sigma} = (\bar{\sigma} \Delta) \bar{\sigma} +, \quad (5.19)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \Delta (\rho \bar{v}) = 0, \quad (5.20)$$

мұндағы, $\bar{\sigma}$ – кернеу тензоры;

$\bar{v}$ - жылдамдық векторы;

$\bar{F}$ – массалық күш векторы, масса бірлігіне қатысты;

ρ – орта тығыздығы.

(5.19) және (5.20) теңдеулер жүйесін нақтылау керек. Науада орналасқан механикалық қоспа күйін бақылаймыз, ол тербеледі және оның ұзындығы басқа өлшемдерден артық болады. Осының нәтижесінде вектор компоненттерінің жылдамдығы және тензор кернеуін x координатына тәуелсіз

етіп аламыз. Себебі созылымды діріл транспортирлеу қарастырылып отыр, z осі бағытындағы компонент жылдамдығын нөлге тең деп алуға болады және жүк бөлшегі көлденең бағытта жылжымайды. Сонымен бірге себілмелі материал көлемі пластикалық деформацияларда тұрақты болып қалады, яғни $\rho = \text{const}$.

Көрсетілген ұсыныстарды ескеріп (5.19) , (5.20) жүйе келесі түрге ие:

$$\begin{aligned}\frac{\partial v_x}{\partial t} &= -\tau - g * \sin \alpha - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right), \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= -\rho g * \cos \alpha, \\ \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= 0 \\ v_y = v_z &= 0.\end{aligned}\tag{5.21}$$

мұндағы, $\zeta(t)$ – науаның жылжу заңы;

α – науаның горизонтта құлау бұрышы.

Осылайша үш белгісізі бар 6 теңдеуге ие боламыз. Жетіспейтін тәуелділіктерді қоспаның физикалық қасиеттерін қарастырғанда анықтаймыз. Жислена де Йонга моделіне сәйкес, жазық деформация жағдайына жасалған, пластикалық аймағында себілмелі материал көлемі деформация кезінде тұрақты болып қалады, кернеу тензорларының негізгі осьтері және деформация жылдамдықтары өзара бұрыш түзеді μ оны келесі теңдеуден анықтауға болады:

$$\sin 2\mu = \frac{\omega}{\nu} * \frac{\partial \tau}{\partial \rho},\tag{5.22}$$

мұндағы, ω – элементтің айналу жылдамдығы;

γ – деформация жылдамдықтарының интенсивтілігі;

τ – жанама кернеулерінің интенсивтілігі;

ρ – гидростатикалық қысым.

Ішкі үйкеліс бұрышы гидростатикалық қысымға тәуелсіз деп санайық, яғни себілмелі орта идеалды болып саналады. Бұл жағдайда:

$$\frac{\partial \tau}{\partial p} = \sin \Phi, \quad (5.23)$$

мұндағы, Φ – ішкі үйкеліс бұрышы.

Әрі қарай ω және γ мәндерін табайық, олар μ бұрышында анықталады. Ортаның деформациясы пластикалық аймағында жылжу бетінің бойымен сырғанау әсерінен болады, жанама кернеулер үшін $\tau_x = \sigma_x \tan \Phi$ мәні болуы тиіс, ол қатты элементтердің сырғанауы кезінде үйкеліс күшіне сәйкес болады, k – ілінісу мәні. Себілмелі орта идеалды болғандықтан құрғақ ішкі үйкеліске ие болады, қарапайым үйкелістерді сәйкестендіріп, жылжу деформациясының бағыты жанама кернеулер бағытымен сәйкес болады. Осылайша тензор осьтерінің пластикалық зонаның кез-келген нүктесінде деформация жылдамдықтары және кернеу сәйкес болады, ал басқалары өзара μ бұрышын түзеді, (4.20) формуламен есептеледі. γ және ω анықтау үшін жылдамдықтардың градиенттерін құрамыз. Оның симметриялық бөлігі

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \frac{\partial v_x}{\partial y} &= \frac{1}{2} \frac{\partial v_x}{\partial z} = 0 \\ \bar{\varepsilon} &= \frac{1}{2} \frac{\partial v_x}{\partial y} = 0 \\ \frac{1}{2} \frac{\partial v_x}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \quad (5.23)$$

Деформация жылдамдықтарының тензоры болып табылады. Осыдан негізгі деформация жылдамдығын анықтауға болады:

$$\varepsilon_{1,3} = \mp \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\partial v_x}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_x}{\partial y}\right)^2}, \quad (5.24)$$

$$\varepsilon^2 = 0.$$

Сәйкесінше жылжу жылдамдығының максимал деформациясы жылжу бетінде

$$y = \frac{1}{2} (\varepsilon_3 - \varepsilon_1) = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\partial v_x}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \chi}{\partial z}\right)^2} \sqrt{y_{\varphi}^2 + \chi z^2} \quad (5.25)$$

және кез-келген нүктеде жылжудың максимал бетінің деформация жылдамдығы x осыне параллель және xz жазықтығына φ бұрышымен еңісті, бұл кезде

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{y_{\chi z}}{y_{\chi y}} = \frac{\partial v_x}{\partial z} * \frac{\partial v_x}{\partial y} \quad (5.26)$$

Ұқсас себілімді орта бөлшектерін қабат деп атайық, онда жылжудың максимал жылдамдық деформациясы бір мезгілде қабаттарды бір-бірінен бөлетін бет болып табылады. Қисық сызықты координаттар жүйесін енгізейік $x\xi\theta$, ол кез келген нүктеде жылжудың максимал жылдамдық деформациясы ξ бетіне перпендикуляр болуы тиіс.

$$y_{\chi y} = \frac{1}{2} * \frac{\partial v_x}{\partial \theta} = 0.$$

Сәйкесінше ω_x φ -ге тәуелді емес, φ бұрышы қабаттың еңісті бұрышы болып табылады. ε_1 және ε_3 бағыттары φ мен ξ және x осьтері арасындағы бұрыш биссектрисасына сәйкес болады, себебі кез-келген пластикалық зона нүктесінде деформация тек жылжуды ғана білдіреді. Көлем элементінің бұрыштық айналу жылдамдығын анықтау үшін, жылдамдықтардың градиенттер тензорының антисимметриялық бөлігін құрайық:

$$\bar{\Omega} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} & -\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial z} \\ \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial z} & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (5.27)$$

Бұдан, көлем элементінің бұрыштық жылдамдығының компоненттері:

$$\omega_x = 0; \omega_y = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_z}{\partial x}; \omega_z = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y},$$

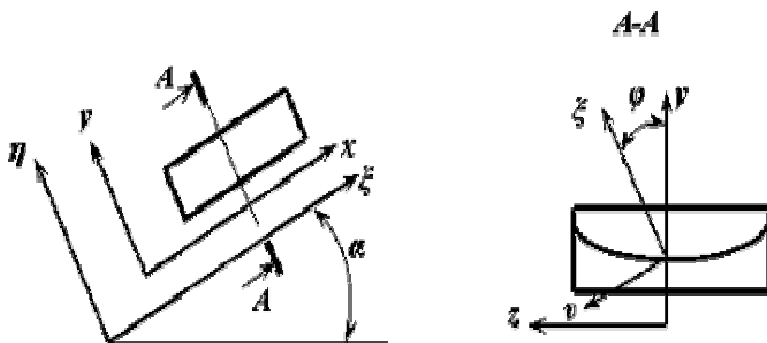
және сәйкесінше көлем элементінің бұрыштық жылдамдығы:

$$\omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial v_x}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_z}{\partial y}\right)^2}.$$

Векторлар арасындағы бұрыш ϖ , yz жазықтығынан табылады, және у осымен:

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{\omega_x}{\omega_y} = -\frac{\partial v_x}{\partial y}; \frac{\partial v_x}{\partial z} = -\operatorname{ctg} \varpi$$

Сәйкесінше, $\lambda = \varpi \mp 90^\circ$, яғни вектор ω , ϑ осі бойымен бағытталған. Егер $\frac{\partial v_x}{\partial z} > 0$, яғни тура сырғанау орындалады, ω , векторы ϑ осыне қарама-қарсы бағытталады және керісінше.



5.5-сурет. Бөлшектердің қозғалу заңдылығы

(5.18) формуласы жазық тапсырманы қарастыру арқылы алынған, бұл формулада ω - алгебралық мән. Қарастырылатын

тапсырманы жазық деп қарастырайық, егер координат жүйесіне ауыстырсақ $x^{\alpha}y^{\beta}$, себебі $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$.

(5.18) сондықтан, ω "+" белгісімен $\frac{\partial v_x}{\partial x^{\alpha}} < 0$ кезінде кері сырғанау және "-" $\frac{\partial v_x}{\partial x^{\alpha}} > 0$ кезінде тура сырғанау болып саналады. Алынған мәндерді орнына қойғаннан кейін (5.18) γ және соңында келесі формуланы аламыз:

$$\mu = -\frac{\Phi}{2};$$

кері сырғанауда

$$\mu = +\frac{\Phi}{2}.$$

μ бұрышын σ_1 мен ε_1 дейін осінен сағат тіліне қарсы санаймыз. Тура және кері сырғанауда сырғанау бетінің бірі жылжу деформациясының максимал жылдамдығына сәйкес болуы тиіс, ол көршілес қабаттарды бөледі. Жислена де Йонга моделі себілмелі ортаның пластикалық аймағымен сәйкес келеді. V_x жылдамдығы мен тензора компонентін $\bar{\sigma}$ анықтау үшін енді физикалық тәуелділік жеткілікті. Біріншіден бастапқы кернеу бағыты σ_2 , ε_2 мен сәйкес болады, ал соңғысы Φ осымен:

$$\tau_{x\alpha} = \tau_{\alpha x} = 0. \quad (5.28)$$

Екіншіден x^{α} сырғанау беті болып табылады:

$$\tau_{x\beta} = \pm(f\sigma_{\beta} + k), \quad (5.29)$$

мұндағы, $f = \tan \Phi$ – ішкі үйкеліс коэффициенті

Белгі "+" (4.28) мәнімен сәйкес кері үйкеліс бойынша "-" – тура бойынша.

Тензор компоненті үшін формуланы пайдаланып (5.28) және (5.29) келесі түрде жазуға болады:

$$\begin{aligned} \tau_{xz} \cos \varphi - \tau_{xy} \sin \varphi &= 0, \\ \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \cdot \sin 2\varphi + \tau_{xz} \cos 2\varphi &= 0, \\ \tau_{xy} \cos \varphi + \tau_{xz} \sin \varphi &= \pm \sqrt{(\sigma_y \cos^2 \varphi + \sigma_x \sin^2 \varphi + \tau_{xz} \sin 2\varphi) + k} \end{aligned} \quad (5.30)$$

Осылайша (5.17), (5.23) және (5.27) теңдеуі жеті теңдеу 7 белгісізбен Кернеуді құрып: $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$. Кернеуді құратындар бұл жүйеге кірмейді, оларды шектік күй шартынан анықтауға болады.

$$(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2 = [(\sigma_x - \sigma_z) \sin \varphi + 4k \cos \varphi]^2,$$

мұндағы,

$$\sigma_z = \sigma_y \cos^2 \varphi + \sigma_x \sin^2 \varphi + 2\tau_{xz} \sin 2\varphi,$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xy} \cos \varphi + \tau_{xz} \sin \varphi$$

Сәйкесінше себілмелі ортаның жылжу жылдамдығын және кернеулік күйін анықтауға болады. Алайда келтірілген жүйелердің шешімі қиындықтарға алып келеді. Көрсетілген теңдеулер жүйесі қысқарады.

$$\begin{aligned} \tau_{xz} \cos \varphi - \tau_{xy} \sin \varphi &= 0, \\ \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \cdot \sin 2\varphi + \tau_{xz} \cos 2\varphi &= 0, \\ \tau_{yz} &= 0. \end{aligned} \quad (5.31)$$

Оны келесідей түсіндіруге болады, біріншіден $\tau_{xz} = 0$ науаның шеткі қабырғаларында (үйкеліс күші қозғалысқа қарсы), орта жазықтықта $z = 0$ (симметрия түрінде) және жоғарғы бетте. Екіншіден, үйкеліс күші жылдамдыққа кері бағытталғандықтан, кез-келген жазықтықта $y = const$ деп аламыз, жанама кернеу жылжу жылдамдығына деформациясына

қарама-қарсы бағытталған, яғни $\tau_{yz} = 0$. Бұл жағдайда жоғарыда келтірілген теңдеулер жүйесі келесі түрге енеді:

$$\begin{aligned} \sigma_y - \sigma_z - p g(H - y) \cos \alpha, \\ \tau_{xz} \cos \varphi - \tau_{xy} \sin \varphi = 0, \\ \tau_{xy} \cos \varphi + \tau_{xz} \sin \varphi - [f p g(H - y) \cos \alpha + k], \\ \frac{\partial v_x}{\partial z} \cos \varphi - \frac{\partial v_x}{\partial y} \sin \varphi = 0, \\ \frac{\partial v_x}{\partial t} = -\xi - g \sin \alpha - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right). \end{aligned} \quad (5.32)$$

Бастапқы екі теңдеулер жүйесінен (5.32) шығады:

$$\begin{aligned} \tau_{xy} &= \pm [f p g(H - y) \cos \alpha + k] \cos \varphi \\ \tau_{xz} &= \pm [f p g(H - y) \cos \alpha + k] \sin \varphi \end{aligned} \quad (5.33)$$

Жоғарғы белгі кері, төменгі белгі тура сырғанауға сәйкес.

Әрі қарай үшінші теңдеудің туындысын алсақ (5.32) және оған төртінші теңдеудің сәйкес туындыларын қойсақ у және z, келесісін аламыз:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \cos \varphi - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \sin \varphi = 0. \quad (5.34)$$

φ бұрышы уақыт функциясы болып табылады, себебі жанама кернеу τ_{xy} және τ_{xz} жылжу деформациясының жылдамдығына байланысты емес.

Алынған тәуелділіктерді (5.33) және (5.34) келесі түрде жазуға болады:

$$\begin{aligned} \text{grad div } \overline{\tau_x} l \overline{\tau_x}, \\ \tau_x = f p g(H - y) \cos \alpha + k, \end{aligned} \quad (5.35)$$

мұндағы, вектор $\vec{T}_x$ – yz жазықтығының соммалық жанама кернеуі. Векторлардың параллель шарты $\vec{T}_x$ және $\text{grad div } \vec{T}_x$ оларды құраушылардың пропорционалдығынан шығады.

Вектор дивергенциясын $\vec{T}_x$ келесі теңдеуден табуға болады:

$$\text{div } \vec{T}_x = \frac{\partial T_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial T_{xz}}{\partial z} =$$

$$T f p g \cos \alpha \left[\cos \varphi + \left(H - y + \frac{k}{f p g \cos \alpha} \right) \sin \varphi \frac{\partial \varphi}{\partial y} - \left(H - y + \frac{k}{f p g \cos \alpha} \right) \cos \varphi \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right]$$

Егер белгіленуді енгізсе:

$$\text{div } \vec{T}_x = T f p g D \cos \alpha \quad (5.36)$$

және өлшемсіз өзгерістерді енгізсек:

$$y_1 = \frac{H-y}{B},$$

$$z_1 = \frac{z}{B}, \quad (5.37)$$

онда (5.34) орнына келесі екі теңдеуді аламыз:

$$\frac{\partial D}{\partial y_1} \sin \varphi + \frac{\partial D}{\partial z_1} \cos \varphi = 0,$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y_1} \sin \varphi + \frac{\partial \varphi}{\partial z_1} \cos \varphi = \frac{\cos \varphi - D}{y_1 + \frac{k}{f p g \cos \alpha}}, \quad (5.38)$$

Бұл жүйенің сипаттамалық теңдеуі келесі:

$$\begin{vmatrix} \sin \varphi & \cos \varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \\ \frac{\partial \varphi}{\partial y_1} & \frac{\partial \varphi}{\partial z_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial \varphi}{\partial y_1} & \frac{\partial \varphi}{\partial z_1} \end{vmatrix} = 0 \quad (5.39)$$

Немесе осы анықтауыштарды ашқаннан кейін:

$$\left(\frac{dz_1}{dy_1} \right)^2 - 2ctg\varphi \frac{dz_1}{dy_1} + ctg^2\varphi = 0. \quad (5.40)$$

Бұдан:

$$\frac{dz_1}{dy_1} = ctg\varphi, \quad (5.41)$$

Яғни (5.38) жүйесі параболалы типті жүйе болып табылады. Сонымен бірге бұл жүйелер сипаттамасы уз жазықтықтарының сырғу бетімен қиылысатын линияларға сәйкес. Егер координат жүйесіне көшетін болсақ ξ, ϑ (координаттық линиялар $\xi = const$ сипаттамалармен сәйкес болады), онда жүйе (5.38) қарапайым түрге ие:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial \vartheta} &= \frac{\cos \varphi - D}{k} \\ \frac{\partial D}{\partial \vartheta} &= 0. \end{aligned} \quad (5.42)$$

Сәйкесінше бойлық сипаттамалар $D=const$. (5.36) және (5.32) сәйкес, D элементті көлемнің үдеуін көрсетеді, ол ішкі үйкеліс күштері әсерінен болады. Сипаттамалар линия болғандықтан, оның бойындағы үдеу, сәйкесінше D тұрақты болады.

(5.42) теңдеуін шешу үшін бастапқыда шекаралық шарттарды анықтау керек. Ол парабола типті болғанда, шекаралық шарттар жазықтықтың жабық контурында уз емес доғада берілуі тиіс, олар сипаттамаларға әсер етпейді.

Қарастырылатын тапсырмада D мәні белгілі линияларды табу мүмкін емес. Жоғарғы шекарада $D=1$, алайда бұл шекара сипаттама бола да алады. Тапсырманы шешу φ мәнін екі шекарада беру керек.

$z=0$ линиясында бұрыш $\varphi=0$ болады. Ол тапсырма симметриясынан шығады. φ мәнін шеткі қабырғада анықтау керек. Ол үшін науа қабырғаларында кернеу күйін тексеру керек. Жанама кернеулердің бағыттары тура және кері сырғуда қарама-қарсы, бірақ φ бұрыш өзгермейді:

(5.28) – ден аламыз:

$$|\tau_{x\xi}| = fpg(H - y) \cos \alpha + k. \quad (5.43)$$

Басқа жағынан:

$$|\tau_{\chi\xi}| = f_1 \sigma \vartheta^t = f_1 p g (H - y) \cos \alpha \quad (5.44)$$

Егер $\tau_{\chi\xi} = 0$, онда нормал кернеу χ осыне параллель барлық алаңда бірдей. f_1 арқылы ортаның науа қабырғасынан үйкеліс коэффициенті белгіленеді, сәйкесінше табуға болады:

$$\cos(90 + \varphi_0 - \beta) = \frac{|\tau_{\chi\xi}|}{|\tau_{\chi\xi}|} = \frac{f_1}{f} * \frac{f p g y_1 \cos \alpha}{f p g y_1 B \cos \alpha + k}, \quad (5.45)$$

және

$$\varphi_0 = -\arcsin \left(\frac{f_1}{f} * \frac{f p g y_1 B \cos \alpha}{f p g y_1 B \cos \alpha + k} \right) + \beta, \quad (5.46)$$

мұндағы, φ_0 арқылы науа қабырғасының жанындағы қабаттың құлау бұрышы белгіленген.

Енді теңдеуді шешу үшін келесі графикалық тәсіл қолданылады. Жүйенің бастапқы теңдеуін (5.42) келесідей жазуға болады:

$$\Delta \varphi = \frac{\cos \varphi - D}{k} \Delta \vartheta.$$

$$y_1 + \frac{k}{f p g B \cos \alpha} \quad (5.47)$$

Бұл тәуелділікті пайдаланып біртіндеп сипаттамаларды құру болады, симметрия $z=0$ осінен бастап мұндағы бастапқы мән $\varphi=0$. Өлшемін таңдағанда ол (4.46) шартын науа қабырғасында орындауы тиіс. Үйкеліс коэффициенттерінің

катынасы $\frac{f_1}{f} = 0.6$ айта кету керек қабаттық қозғалыс және тереңдік науаның H/B салыстырмалы биіктігіне тәуелді.

Жүйенің төртінші теңдеуінен (5.32) және (5.36) тәуелділіктерінен әрбір қабаттың үдеуін келесідей жазуға болады.

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} = -\xi - g(\sin \pm f D \cos \alpha), \quad (5.48)$$

Мұнда жоғарғы белгі тура сырғуға сәйкес болады. Науаның қабырғасына ортаның үйкелуі (егер қабаттардың қисықтығын ескермесек) ішкі үйкеліс коэффициентіне

эквивалент. Жұмыс /11/ элементтердің қабаттың үдеуі келтірілген, егер қабаттарды жазық деп санасақ:

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} = -\xi - g \left[\sin \alpha \pm \left(f + 2_n f_1 \frac{H-y}{B} \right) \cos \alpha \right] \quad (5.49)$$

мұндағы, B – науаның ені.

(5.37) теңдеуін қолданып және (5.49) қойып, шеткі қысым коэффициенті $n=1$ болғанда, бұл теңдікті түрлендіруге болады:

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} = -\xi - g \left[\sin \alpha \pm f \left(1 + \frac{f_1}{f} y_1 \right) \cos \alpha \right] \quad (5.50)$$

Пластикалық аймақтың орташа үдеуі, (5.48) және (5.50) теңдеулерімен есептелген жақын мәндерге ие болады, сондықтан есептеуді жеңілдету үшін, /11/ жұмысында қолданылған тәсілді таңдаймыз, егер пластикалық аймақ үшін $n=1$ деп алсақ. Соңында айта кету керек:

$$f_1 = f \left(1 + \frac{k}{f g y_1 B \cos \alpha} \right). \quad (5.51)$$

Науа линиясының торы жүйелердің айналма қоршаушы (5.49) болады және сәйкесінше бөліну линиясы да. Орта тұтастығының бұзылуы келесідей орындалуы керек:

$$f_1 > f \left(1 + \frac{k}{f g y_1 B \cos \alpha} \right). \quad (5.52)$$

Егер (5.51) немесе (5.52) шарты орындалса, онда қабырға жанындағы себілмелі материалды, сондай-ақ науа түбін тұтас орта деп қарастыруға болады, және сәйкесінше жоғарыда келтірілген теория қолданымсыз. /12/ жұмысында тәжірибелік зерттеу нәтижесінде себілмелі материалдың науа түбіне үйкеліс коэффициенті үшін $f_1 > f$ динамикалық үйкеліс коэффициентіне енгізу ұсынылған. f_1 ден f дейін науа түбінен ажырағанда сызықты өзгереді ішкі үйкелісінің мұндай өзгергіш коэффициентін (5.32) жүйесіне қоюға болады және оны шешу керек.

Жұқа метал магниттік фракцияның бөлінуін тиімділігін бағалау үшін және науа қоспалардың қозғалысының теориялық

жалпыламаларының нәтижелерін апробирулеу үшін (5.2, 5.3 позициялар) тәжірибелік зерттеулер жүргізейік. Зерттеу бір және екі компонентті қоспаларда жүргізілді, олар құмнан және магнетиттен тұрады, класстары: 0,1–0,2; 0,2–0,3; 0,3–0,5 мм. Науа тербелісі "РОБОТРОН" фирмасының электродинамикалық кішкене бас көмегімен жүзеге асырылды, гранулометриялық құрамы, науаның құлау бұрышы, тербеліс жиілігі, амплитуда, қоспаның үйкелу коэффициенті өзгеріп отырды. «Қозғалу бұрышының» динамикалық кішкене бас құлау бұрышына минимал тәуелділік графигі 5.1-кесте келтірілген.

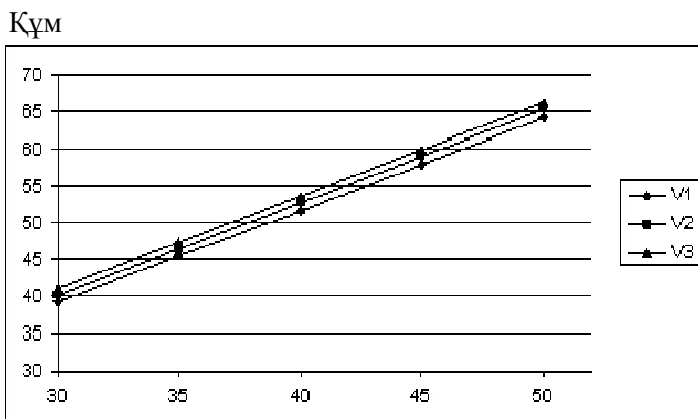
5.1-кесте

Кішкене бас құлау бұрышына байланысты механикалық қоспа қозғалысы

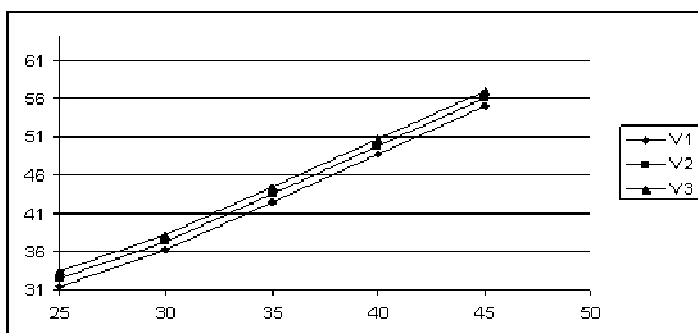
класс	бұрыш	Динамикалық кішкене бас	
		Қосулы	Өшірулі
0,1-0,2	10°	ағыс	орнында
0,2-0,3	10°	ағыс	орнында
0,3-0,5	10°	ағыс	орнында
0,1-0,2	15°	ағыс	орнында
0,2-0,3	15°	ағыс	орнында
0,3-0,5	15°	ағыс	орнында
0,1-0,2	20°	сырғиды	
0,1-0,2	20°	сырғиды	
0,1-0,2	20°	сырғиды	

Әрі қарай қозғалыс науаның -100 фиксирленген құлау бұрышында орындалады.

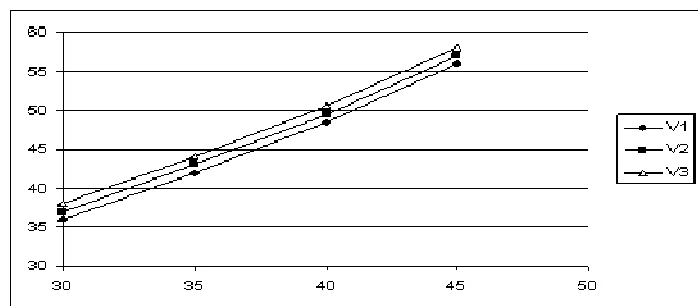
Науа бойымен механикалық қоспа қозғалуы құмның үйкеліс коэффициентіне байланысты 5.6–5.12 суретте келтірілген, ал 5.13–5.16 суретте—магнетит.



5.6-сурет. Алюминий подложкасында

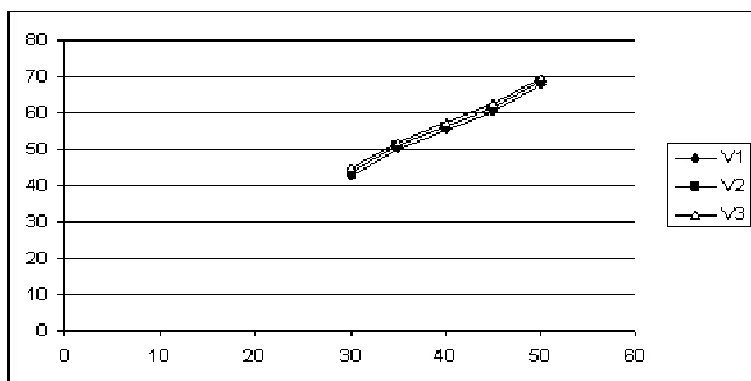


5.7-сурет. Қағаз подложкасында

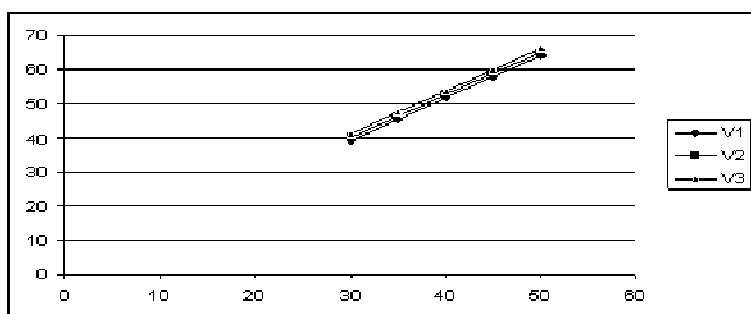


5.8-сурет. Резеңке подложкасында

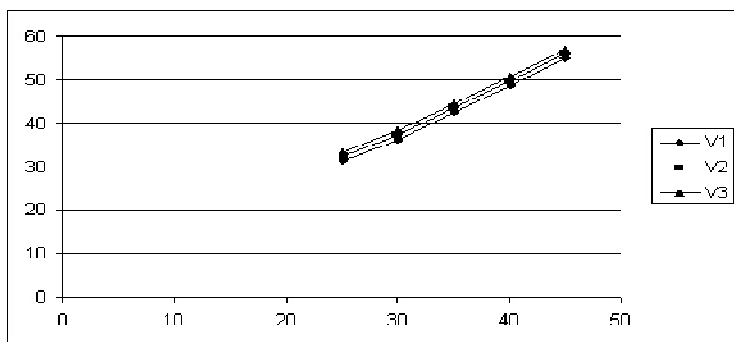
Магнетит



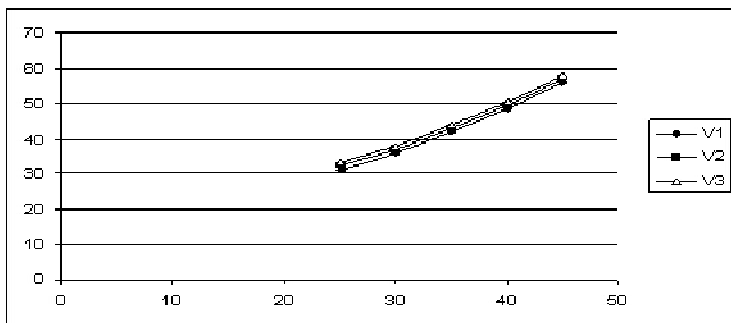
5.9-сурет. Полимер подложкасында



5.10-сурет. Алюминий подложкасында



5.11-сурет. Қағаз подложкасында



5.12-сурет. Резеңке подложкасында

Суреттерде белгіленгендер: V_1 , V_2 , V_3 , сәйкесінше, класстары – 0,1–0,2; 0,2–0,3; 0,3–0,5.

Осылайша қоректің өндірістік тазалығын қолданып, науаның горизонталь минимал бұрышы, қоспа қозғалысын қамтамасыз етеді, ол кем дегенде он градус болуы тиіс. Ағыстың жылдамдығын бағалау бірінші жақындасуда тәуелділік бойынша орындау керек.

$$\begin{aligned}
 V(f, k) &= -A * \omega * Z * \sin\left(\pi \frac{\sigma}{2}\right) * \sqrt{\frac{1}{Z^2} - \frac{\pi^2}{4}} * \frac{(1 - \sigma^2)^2}{\cos^2\left(\pi \frac{\sigma}{2}\right)} \\
 Z(f) &= 9.8 * f * \frac{\cos(\alpha)}{A * \omega^2}, \\
 \sigma(f) &= \frac{tg(\alpha)}{f}, \\
 z(k) &= 9.8 * k * \frac{\cos(\alpha)}{A * \omega^2} \\
 \sigma(k) &= \frac{tg(\alpha)}{k}
 \end{aligned} \tag{5.53}$$

Түйіршіктеу материалдардың құлау жазықтығы бойындағы процесі нақты елестету үшін, механикалық қоспалардың бір түрін қарастырайық. Қоспа материалдар арасында кеңінен таралған және түйіршік ірілігі 0,14–1,3 мм дейін; бұл қоспаның түзілуі тау кен жыныстарының табиғи бұзылуы болып табылады, және ұсақтау мен уату арқылы ірілігі 5 мм дейін

жеткізеді. Берілген қозғалыстың мақсаты механикалық қоспалардың кез-келген түрінің ағуы орындалатын жағдайды табу. Бұл мәселені шешу үшін бірыңғайлылықты бұл – қоспаның абсолютті идеал пішіні деп қарастырайық, ал ол үшін берілген заңдылықтарды оптимал нұсқа деп қарастырайық. Бірыңғай деп түйіршікті құрылымы, физикалық күйі кез-келген элементтер көлемде тұрақты болатын қоспаны айтады. Кез-келген материал бастапқы күйде бір қалыпсыз болады, яғни әртүрлі қасиетті фазалардан тұрады, бір-бірінен беттермен бөлінген, онда механикалық қоспалар қасиеттері ауысады. Әдетте мұндай материалдар бірыңғайлылармен салыстырғанда үлкен тығыздыққа ие болады. Бұл ұсақ түйіршіктердің ірілердің арасындағы бос орындарда орналасуымен түсіндіріледі, бос орындар аз болады, ал тығыздық артады. Нәтижелерін сандық және сапалық бағалау үшін бастапқы материалды кезекпен класстарға жіктейік. Тәжірибелерді жүргізу үшін 6 компонент таңдалған, олардың өлшемдері өту саңылауларымен бірдей ситаларда сынып талды – 1,7; 0,9; 0,8; 0,55; 0,4; 0,25. Қоспаның бастапқы қоспасы кесте 5.2 келтірілген. Компонент нөмірлері бөлшектердің өлшемінің өсуін білдіреді.

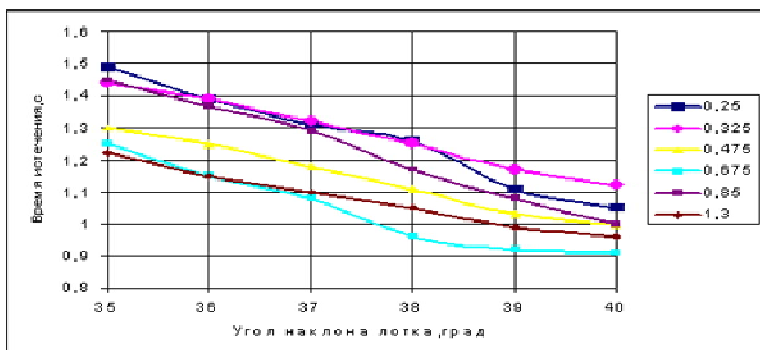
5.2-кесте

Топырақ компонентінен бірыңғай қоспалар

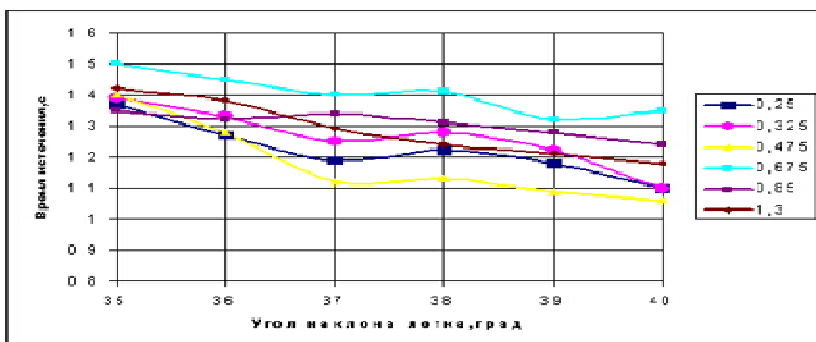
	Компонент 1	Компонент 6
Қоспа 1	90%	10%
Қоспа 2	80%	20%
Қоспа 3	70%	30%
Қоспа 4	60%	40%
Қоспа 5	50%	50%
Қоспа 6	40%	60%
Қоспа 7	30%	70%
Қоспа 8	20%	80%
Қоспа 9	10%	90%

Бірыңғай сынамалар мен әртүрлі фракциялар қарастырылды. Науаның құлау бұрыштарын ағынның оптимал ағысын қамтамасыз ететіндей таңдалды, бұл кезде бірқалыпты

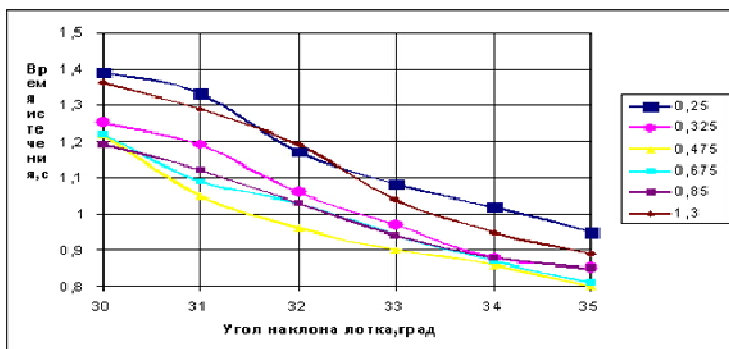
циклдік қозғалыс орындалады. Бастапқы сатыларда ағыс уақытының науаның тік бұрышты немесе үшбұрышты құлау бұрыштарына тәуелділігі көрсетілді. Нәтижелер 5.13–5.16 суретте көрсетілген.



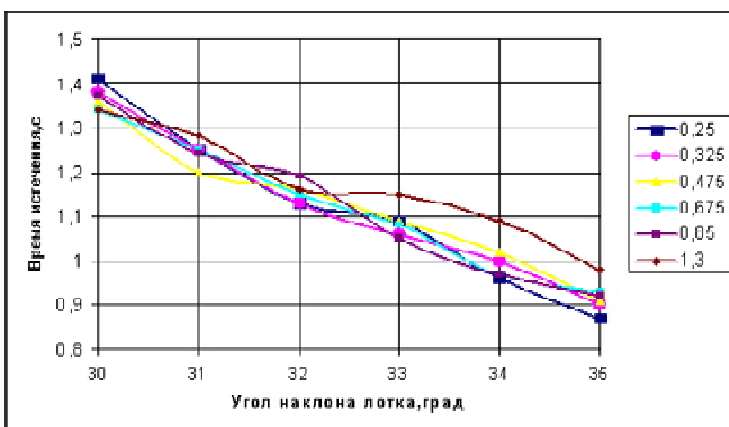
5.13-сурет. Құмның ағыс уақытының науаның құлау бұрышына тәуелділік графигі



5.14-сурет. Магнетиттің ағыс уақытының үшбұрышты науаның құлау бұрышына тәуелділігі.

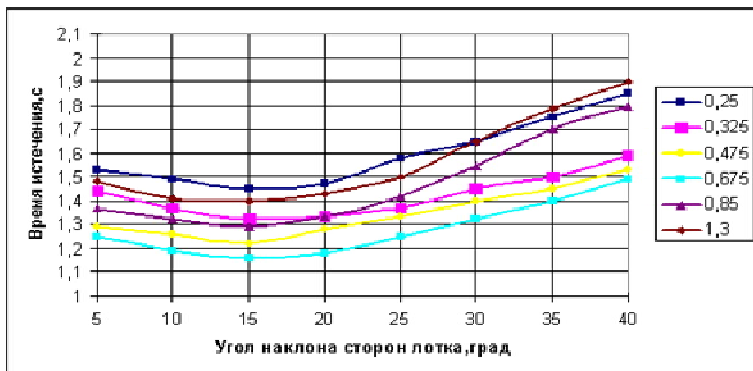


5.15-сурет. Құмның ағысы уақытының тікбұрышты науаның құлау бұрышына тәуелділігі

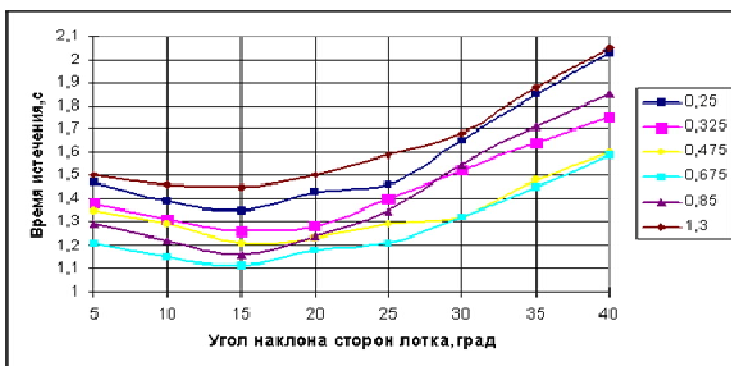


5.16-сурет. Магнетит ағысы уақытының тікбұрышты науаның құлау бұрышына тәуелділігі

Әрі қарай уақыт ағысының үшбұрышты науа қабырғаларының құлау бұрыштарына тәуелділігін анықтайық. Нәтижелер 5.17–5.18 суретте келтірілген.



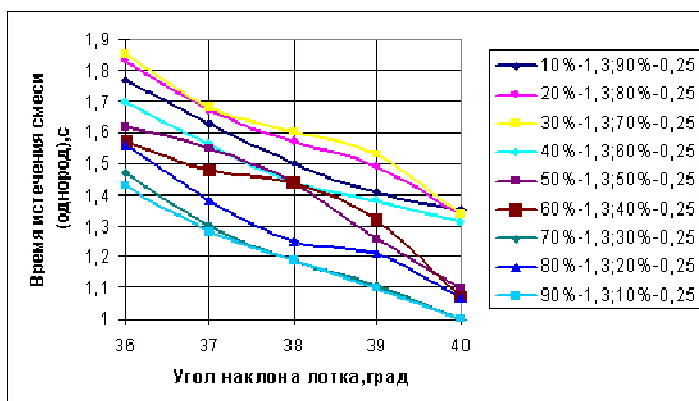
5.17-сурет. Құмның уақыт ағысының науа қабырғаларының құлау бұрышына тәуелділігі



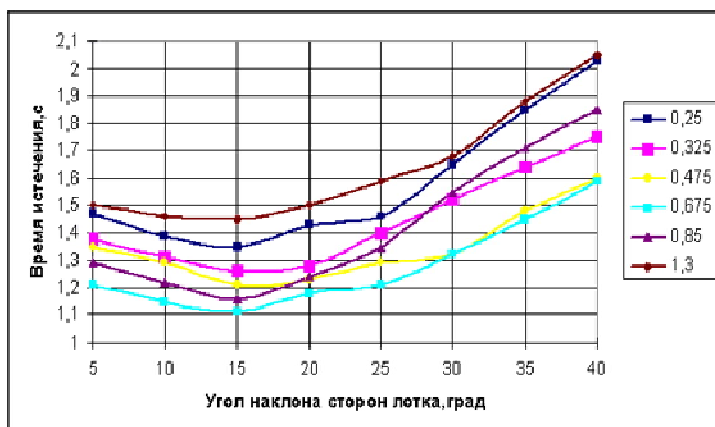
5.18-сурет. Магнетит уақыт ағысының науа қабырғаларының құлау бұрышына тәуелділігі

Осылайша бекітілді (суреттер 5.17–5.18), үшбұрышты науа қабырғаларының құлау бұрышының 20 градусқа артуынан, ағыс уақыты азаяды және қатып қалу мүмкіндігі артады. 10–15 градусқа дейінгі құлауда уақыт ағысы минимал. Сондықтан әрі қарай науа қабырғасының құлау бұрышы $\beta = 15$ градус деп аламыз.

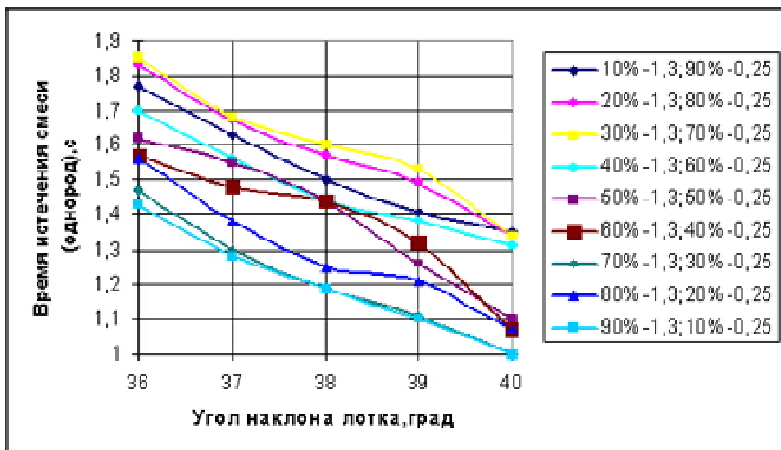
Құмның өзгергішті компоненттерінен 9 бірыңғай қоспа құрылды, олар үшбұрышты және төртбұрышты науалардың әртүрлі құлау бұрыштарында қарастырылды. Нәтижелер 5.19 суретте келтірілген.



5.19-сурет. Құм компоненттерінің ағысы уақытының үшбұрышты науа құлау бұрышына тәуелділігі



5.20-сурет. Магнетит ағысы уақытының үшбұрышты науа құлау бұрышына тәуелділігі

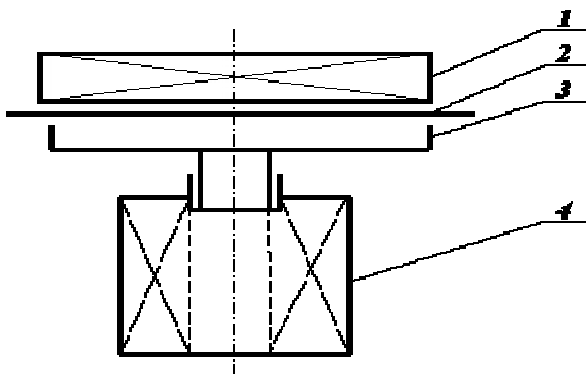


5.21-сурет. Құм компоненттерінің қоспаларының ағысы уақытының үшбұрышты науа құлау бұрышына тәуелділігі

Нәтижесінде ағыс уақыты азаяды науаның құлау бұрышын арттырсақ, циклді ауысуды қамтамасыз ету үшін науа үшбұрышының өндірістік қондырғысының құлау бұрышы 36 градус, ал төртбұрышты да – 30 градус болғаны дұрыс.

Магниттік өрістегі тәжірибелік зерттеулер.

Ұсақ дисперстік орталарда жүгірмелі магнит өрісінде науа жазықтық индукторынан 15м қашықтықта орнатылды, ал шағылдырғыш 5мм қашықтықта, ол магниттерді жабысуын нашарлату үшін қолданылады. Ток күші 1 ден 6 А дейін аралықта болды, индуктор жазықтығы 0 ден 90°дейін айланды, бөлу тиімділігі сынама массасымен бағаланды (сурет 5.22).



5.22-сурет. Ұсақ дисперстік орталарда жүгірмелі магнит өрісінде магниттік байыту

1 – индуктор, 2 – шағылдырғыш, 3 – ағын, 4 – электродинамикалық кішкене бас

Магниттік индукция мен себілу тиімділігі тұрақты жылдамдықта қоспаның өрістегі 1 құм компоненті және магнетит келесі проценттік қатынаста 50% – 50% қарастырылды. Бөліну дәрежесінің өсуіне байланысты шығудағы қоспалар проценті өседі, ал магнитті проценті төмендейді. Бұл магнитсіз фракцияда проценттік құрамының жоғарылауынан болады. Бөліну процесін бір сатылы жүргізген дұрыс.

Құмның 2 компонентінің және магнетиттің проценттік қатынасы қарастырылды. Магниттік индукцияның өсуінен магниттік фракцияның проценттік құрамы шығу кезінде жоғарылайды. Диаметрі 0,375мм дейін түйіршіктер өлшемімен бірдей қоспа магнитті фракцияға 90%-дық сапамен алынды. Осылайша түйіршіктер өлшемінің өсуінен бөліну процесі нашарлайды. Сонымен бірге бір қалыпсыз қоспалар қарастырылды, құмның 1 компоненті және магнетиттің компоненті әртүрлі проценттік қатынаста алынды, механикалық «табиғи» қоспаның бөлінін моделдеу үшін.

Сынамалар алынды – металлургия зауытының шлактары, қоспаны құрайтын бөлшектер мөлшері $a_T = 0,475\text{мм}$. Бөлу бойынша тәжірибе тоқтың барлық күштерінде жүргізілді. Бірақ

$I=5$ А кезінде қоспаның ең жақсы бөлінуі бақыланды. Нәтижесінде бөліну сапасы 17,1% магнитті фракция 20% қоспада орналасқан.

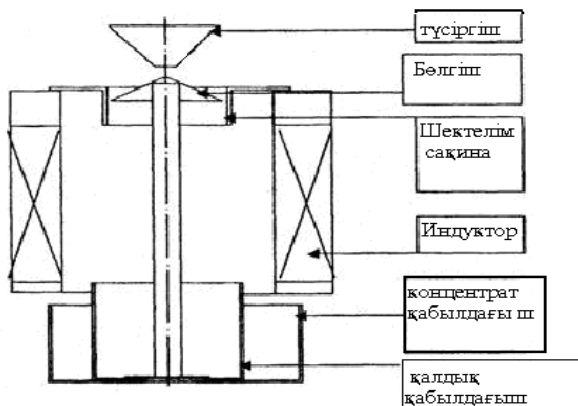
Немүй өзенінің кен орны қарастырылды, мұнда магнитті минерал 80%. Анализді диаметрі 0,25мм түйіршіктерге жүргізді, себебі олар қоспада көп шоғырланған бөлу бойынша тәжірибе жүргізілді. Шығарда 76,6% магнитті фракция алынды.

Магнитті фракция тәжірибесінде 2 А тітіркену тоғында қоспа бөлінусіз ағады. $I = 6$ А болғанда, магнитті өрісте аққанда қоспа шағылдырғышқа жабысып, көпірлер мен процестің үзілуін туындатқан.

Жүргізілген зерттеулер нәтижесін көрсетті: магнитті өрісте жүретін бөліну процесі мүмкін және тиімді болады.

Цилиндрлік индукторда бөліну процесі.

Сепараторлар конструкциясы механикалық қоспалардан нашар магнитті түйіршіктерді толық шығаруға мүмкіндік бермейді. Алу режимінде әлсіз магнитті түйіршіктер магниттік түйіршіктер қабаттарына тартылады және осыған байланысты олардың үзіліп магнитсіз өнімге түсу мүмкіндігі артады. Сепаратордың сақтау режимінде жұмыс істеуі, минералды бөлшектердің магниттермен ұсталып (флокулдар пайда болуы), ол концентрат сапасын төмендетеді. Электромагнитті заңдылықтары бар технологиялық процесі қарастырылды, ол гравитациялық өрісте магнитті бөлшектер қозғалысын басқарады. Бұл кезде магниттік фракцияның өлкелік күшін ескермеу айналмалы магниттік өріс арқылы орындалды, ол үш фазалы орамды статормен туындатып отырды. Зерттеулер екі коректенгішпен орындалды. Коректегіш №1 воронкадан, жарып тастағыштан және шектелген сақинадан тұрады. Тәжірибелік қондырғы сызбасы 5.23 сурет келтірілген.



5.23-сурет. Коректегіш №1 индукторы

Механикалық қоспа воронкадан жарып тастағышқа беріледі, ол конус пішінді, мұнда қоспа разрядтанады. Шектелген сақина вертикаль бағытта ағын түзеді. Индуктордан өткеннен кейін магнитсіз бөлшектер жинағышқа түсуі керек, ал магниттік индуктор қабырғаларына шектелуі тиіс, мұнда өріс кернеулігі жоғары және концентраттар жинағышқа түсуі керек. №2 коректегіште жарып тастағыш қабырғаларымен жасалған, олар воронкадан түсетін ағынды үш ағынға бөледі. Шектелген конуста үш бөлік бар, онда қабырғаларға қоспалардың үйкелісін төмендетеді, сондықтан айналмалы өрістегі магниттік бөлшектер шетке қарай жылжиды және концентрат жинақтағышта шоғырланады, ал магнитсіздер ауырлық күші әсерінен қалдықтар жинағышында шоғырланады.

Материал сыныптамасы.

Зерттеулерді жүргізу материалы ретінде Немуй өзенінің кен орны сынамалары алынды, қара шлих – 3,5мм. Шлихтер ірілігі бойынша кластарға үш елеуішке келесі шаршы саңылауларға себу арқылы бөлінеді: 1,7; 0,9; 0,4 мм.

Қоспалардың іріктеу қоспалары (0,9/0,4=2,25; 2,25<2,5) орташа түйіршіктер кластарымен бөлінеді, келесі формуламен анықталады:

$$a=(1,7+0,9)/2=1,3\text{мм.}$$

Алынған үш қоспа класы кестеде 5.3 келтірілген.

5.3-кесте

Қоспалардың геометрикалық көрсеткіштері

Класс	А	Б	В
а _т , мм	1.3	0.65	0.2

Ірілік кластары үшін, ірілігі конструкциялы қоректенгіш /26/ қоспасы үшін, қоспа ағысын қатып қалусыз жүзеге асырады (кестелер 5.4, 5.5)

5.4-кесте

Воронканың геометрикалық көрсеткіштері

Қоспа классы	А	Б	В
Құлама бұрышы	45	40	35
Шығу саңылауының диаметр мм	8	5	3

$a = 15, 20, 25, 30^\circ$.

5.5-кесте

Жарып тастағыштың геометриялық көрсеткіштері

Қоспа класы	А	Б	В
Жарып тастағыштың құлама бұрышы	20	25	30

Жарып тастағыш пен шектелген сақина арасындағы саңылауды анықтау бойынша зерттеулер 5.6 кестеде келтірілген.

5.6-кесте

Жарып тастағыш пен шектелген сақина арасындағы саңылау

Қоспа классы	А	Б	В
Саңылау 5 мм	1	1,5	2

Қоспаның қозғалыс сапасын қарастырылған диаметрлері 70, 80 және 90мм стакандарда жүргізілді, бөлу процесі кезінде магнитсіз компоненттерді жинауға арналған. Жарып тастағыштың оптималды параметрлерінде қоспаның әрбір класы үшін (құлау бұрышы а, саңылау 6-кесте 5.6) стаканның әртүрлі диаметрінен шығатын қоспаның проценті келтіріледі.

Магниттік өрістегі тәжірибелік зерттеулерде индуктор жұмысының режимін анықтау, магниттік компоненттердің механикалық қоспаларын максимал шығуын қамтамасыз етеді.

Концентраттың шығуының ток күші мен бөліну сатысына тәуелділігі. Бұл үшін А класты сынамасын воронкаға себеміз. Қалдықтарды жинағыштарға түсетін қоспаларды воронкаға себеміз. Қайта себу процесін 6 рет әрбір ток сатысына қайталаймыз.

Қоректендіргіш № 2 бөліну тиімділігін бағалау: 1) концентраттың ток күшіне байланысты шығуын зерттейік, токты 3 тен 4,5 А дейін 0,5 қадамымен өзгертіп отырайық. Воронкаға зерттелетін класс қоспасын салайық, ол индуктордан өткенде фракцияға бөлінеді.

Жүргізілген тәжірибелік зерттеулер қоспаның барлық кластарындағы концентрат шығуы шекті конустың құлау бұрышы жоғарылауымен артады.

Әртүрлі класты қоспалардан концентраттардың бірдей күште шығуы бір-бірінен аз мөлшерге ерекшеленеді. Сәйкесінше концентраттың шығуы бөлінетін механикалық қоспа ірілігіне тәуелді емес. Зерттеулер көрсетуі бойынша механикалық қоспадан концентраттың шығуы, магнитті компонент проценттің құрамына тәуелді емес, бірақ қоспалардың мөлшері өседі.

Қорытынды шығарсақ, қоректенгіш №1 концентраттың көп шығарылуын қамтамасыз етеді, әсіресе А және Б кластары үшін. В классты концентраттың қоректендіргіш № 2 шығуы қоректенгіш №1-ден ерекшеленбейді.

Механикалық қоспаларды сепараторда бөлу үшін қоспаның науа бойымен жылжуын регламенттеу керек, оны араластыру мен диспергирлеу үшін керек. Науаның

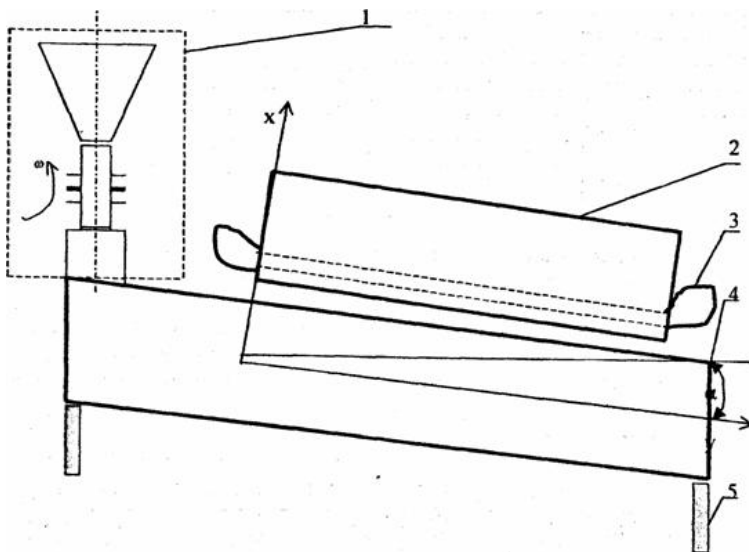
үшбұрышты және төртбұрышты көлденең қималы екі типі қарастырылды (сурет 5.24).



5.24-сурет. Науаның көлденең қимасы
а–төртбұрышты б – үшбұрышты

Дірілді науа бар электромагнитті сепаратор

Электромагнитті сепаратор [27] шикізат беретін қондырғыдан 1, шикізат бөлгішінен 2, үш фазалы орамнан 3, науадан 4 және серпімді элементтерден 5 тұрады (сурет 5.25).



5.25-сурет. Электромагнитті сепаратор

5.7-кесте

Құмның бірыңғай қоспаларының компоненттері

	Компонент 1	Компонент 6
қоспа 1	90%	10%
қоспа 2	80%	20%
қоспа 3	70%	30%
қоспа 4	60%	40%
қоспа 5	50%	50%
қоспа 6	40%	60%
қоспа 7	30%	70%
қоспа 8	20%	80%
қоспа 9	10%	90%

Зерттеулер нәтижесін сандық және сапалық бағалау үшін бастапқы материал сыныптарға жіктелуі керек. Тәжірибе жүргізу үшін 6 компонент таңдалды, олардың сыныптамасы өту саңылауларының өлшемімен бірдей ситаларда жүргізілді – 1,7; 0,9; 0,8; 0,55; 0,4; 0,25. Зерттелетін қоспалар

5.7-кесте келтірілген. Компонент нөмірлері бөлшектердің өспелі мөлшерін көрсетеді.

Бірыңғай сынамалар мен әртүрлі фракциядағы композициялары зерттеледі. Науалардың құлау бұрышын бірқалыпты циклдік жылжу болатындай таңдайды. Бастапқы этапта ағыс уақытының үшбұрышты және төртбұрышты науалардың құлау бұрышына тәуелділігі зерттелді.

Әрі қарай ағыс уақытының үшбұрышты науаның β қабырғаларының құлау бұрышына тәуелділігін қарастырайық.

Осылайша үшбұрышты науа қабырғаларының құлау бұрышын арттырған сайын, 150–ден артық, ағыс уақыты ұзарады. 10-нан 150–ге дейін ағыс уақыты минималды, сондықтан әрі қарай зерттеулер жүргізу үшін үшбұрышты науа қабырғаларының құлау бұрышын 150 деп алайық. Механикалық қоспалардың ағыс уақыты, науа қабырғаларының құлау бұрышы жоғарылаған сайын, азаяды. Бірақ, циклдік ауысуды қамтамасыз ету үшін өндірістік қондырғыда үшбұрышты науа қабырғаларының құлау бұрышы 360 болуы тиіс, ал төртбұрышты –300.

Бірыңғай және бір қалыпсыз қоспалардың оптимал бұрыштағы ағыс уақытын салыстырып, $a = 300$ болғанда төртбұрышты науада қоспа магнетиттің жоғары құрамымен бірқалыпсыз магнетит қоспасы ретінде ағып жатыр. Гравитационды өрісте қоспалардың ағуы кезінде үшбұрышты науа қабырғаларының құлау бұрышы 360 болса ең тиімді болады, оны магниттік өрісте тәжірибелер жүргізуге қолданады.

Жүгірмелі магниттік өрісте ұсақ дисперстті орталарды бөлу кезінде, науа индуктор жазықтығынан 1 мм қашықтықта орналасады, бұл кезде шағыстырғыш 5 мм қашықтықта магниттік бөлшектердің жабысқақтығын төмендетті. Ток күші 1 ден 6 А дейін өзгереді, индуктор жазықтығы вертикалға қатысты, 0 –ден 900 –ге дейі айналады, бөліну интенсивтілігі сынама массасымен анықталады.

Магниттік индукция тиімділігі тұрақты жылдамдықта қоспаның өрістегі 1 құм компоненті зерттелді, және магнетит проценттік қатынаста 50% – 50% . Бөліну дәрежесінің өсуіне байланысты шығудағы қоспалар проценті өседі, ал магнитті проценті төмендейді. Бұл магнитсіз фракцияда проценттік құрамның жоғарылауынан болады. Бөліну процесін бір сатылы жүргізген дұрыс.

Құмның 2 компонентінің және магнетиттің проценттік қатынасы зерттелді. Магниттік индукцияның өсуінен магниттік фракцияның проценттік құрамы шығу кезінде жоғарылайды. Диаметрі $0,375\text{ мм}$ дейін түйіршіктер өлшемімен бірдей қоспа магнитті фракцияға 90% –дық сапамен алынды. Осылайша түйіршіктер өлшемінің өсуінен бөліну процесі нашарлайды. Сонымен бірге бірқалыпсыз қоспалар зерттелді механикалық «табиғи» қоспаның бөлінін моделдеу үшін, құмның 1 компоненті және магнетиттің компоненті әртүрлі проценттік қатынаста алды.

Сынамалар алынды – металлургия зауытының шлактары, қоспаны құрайтын бөлшектер мөлшері $a_r=0,475\text{ мм}$. Бөлу бойынша тәжірибе токтың барлық күштерінде жүргізілді. Бірақ $I=5\text{ А}$ кезінде қоспаның ең жақсы бөлінуі бақыланды. Нәтижесінде бөліну сапасы $17,1\%$ магнитті фракция 20% қоспада орналасқан.

Немуй өзенінің кен орны зерттелді мұнда магнитті минерал 80%. Анализді диаметрі 0,25мм дәндерде жүргізді, себебі олар қоспада көп шоғырланған бөлу бойынша тәжірибе жүргізілді. Шығарда 76,6% магнитті фракция алынды.

Магнитті фракция тәжірибесінде 2 А тітіркену тогында қоспа бөлінусіз ағады. $I = 6$ А болғанда, магнитті өрісте аққанда қоспа шағыстырғышқа жабысып, көпірлер мен процестің үзілуін туындатқан.

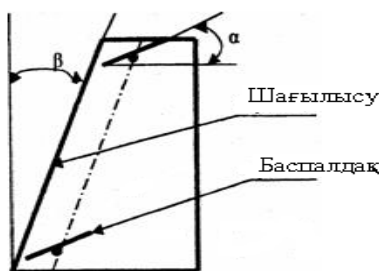
Жүргізілген зерттеулер нәтижесі көрсетті: магнитті өрісте жүретін бөліну процесі мүмкін және тиімді болады.

Жүгірмелі магниттік өрісті «сатылы» қолданып магнитті фракцияны алу.

Геометриялық сипаттамаларды бағалау қоспа сыныптамасы өлшемдер бойынша жүргізіледі, гранулометриялық анализ деп аталады, ол компоненттерді бөлшек өлшемдеріне байланысты түйіршіктер ірілік топтарына бөлінеді, ол класс деп аталады. Анализ елеуіштер көмегімен орындалады (әрбір келесі елеуіштің өлшемдері бұрынғысынан кіші болады). Берілген класс өлшемі қолданылатын екі елеуіштің өлшемдерімен анықталады (біреуі барлық материал өткені және екіншісі ол сонда сүзіліп қалғаны). Елеуіштердегі саңылаулар саны сәйкесінше жоғарғы және төменгі кластарды анықтайды. Жеке кластардың түйіршіктер құрамдары түйіршіктердің құрамын анықтайды. Құм мен магнетиттің бірыңғай компоненттерінің бір қалыпсыз екі компонентті қоспасы компонент құрамын процентпен беріледі. Қоспаны өлшемдері бойынша сыныптау – механикалық қоспаларды себу келесі өлшемді төртбұрышты саңылаулы елеуіштерде орындалады –1,7; 0,9; 0,8; 0,55; 0,4; 0,25мм. Нәтижесінде 6 компонент алынды, олардағы бөлшектер өлшемі: 1,3; 0,85; 0,675; 0,475; 0,325 және 0,25мм. Зерттеуге құм мен магнетит алынды. Құм мен магнетиттің бірыңғай компоненттері болса, бір қалыпсыз екі компонент алуға болады. Бірыңғай компоненттер мен бір қалыпсыз компоненттер зерттелді. Механикалық қоспаның саты бойынша қозғалуы кезінде бағалау үшін қоспалардың гранулометриялық құрамы, сатылардың құлау бұрышы, бүкіл сатының құлау бұрышы және шағыстырғыш қашықтығы өзгерді.

Секундомермен сынаманың қозғалысы уақыты тіркеледі. Тәжірибелік қондырғы 14 сатыдан тұрады, олар горизонталь жазықтыққа қатысты $\alpha=0-500$ бұрышына айналу мүмкіндігіне ие. Саты – $\alpha=0-900$ бұрышына айнала алады. Индуктор рөлін шағыстырғыш орындайды, оған дейінгі қашықтық 0-ден 60мм-ге дейін өзгереді.

Магнитті сепарацияның негізі, магнитті өріс минералдардың гравитационды траекториясын бұзады, осылайша ағыннан магниттік қасиеті жоқ басқа минералдарды шығарады.



5.26-сурет. Саты

Минералдарды бөлудің кез-келген процесі екі типті күшті қолданады, олар бір өнімді басқасынан ажыратқанда селективті әрекет етеді. Магнитті сепарация магнитті өріс күштерін карама-қарсы бағытталғандарға қолданады, олар гравитационды, инерционды және ортаның кедергі күштерін қолдануы мүмкін. Сепаратор конструкциясына байланысты магнитті күш магниттік өнімді тоқтата алады және ұстап қалады.

Сәтті магнитті сепарация шарты – қорек толық ағынмен қозғалуы тиіс. Егер бөлшектер тығыз орналасса, ондағы бөлшектер турбулентті ағында қозғалса, онда бүкіл ағын сұйық /1/ сияқты болады. Бұл кильватер бөлшектерімен орындалады, олар қысым әртүрлілігінен шекараға көлденең қозғала алмайды. Толық ағында магнитті бөлшектердің ауытқуы (10 % және одан жоғары), нәтижесінде магнитті және магнитсіз бөлшектердің

бөлінуін туындатады. Диспергирилленген ағын қаттының орташа құрамына ие болуы 10% қаттының тербелу интервалында 5–20 %, ол қоректің меншікті сипаттамаларына тәуелді қоректегі қаттының шектік мөлшері минерал қасиеттеріне, тығыздық, бөлшектер өлшемдері мен пішініне тәуелді. Магнитті фракция мөлшерінің болуы жақсы сепарацияға жеткізеді. Зерттеулер екі этапта жүргізілді:

1. Диспергириллеуді оптимизациялау және араластыру – механикалық қоспаны гравитациялық өріс сатысында зерттеу.

2. Қозғалысты зерттеу және механикалық қоспаның магнитті өрісте бөлінуі.

Диспергириллеуді оптимизациялау және араластыруда индуктордың жұмыс аймағында ұзақ уақыт болу алынған.

Гравитациялық өрістегі тәжірибе.

Бөлу параметрлерін оптимал орнату үшін және механикалық қоспаларды өткізу үшін сатымен қозғалғанда сатылардың құлау бұрышын анықтау үшін тәжірибелер жүргізілді. Минимал «қозғалыс бұрышын» анықтау үшін сатылардың құлау бұрыштарын горизонт бойынша өзгертіп, түйіршіктер геометриясын варьирлеу тәжірибесі орындалған. Минимал бұрыш – бұл сатыларда қоспалардың тұрып қалуы болмайтын бұрыш.

Сатылардың бірдей орнын белгілеп $\alpha=50^\circ$ және бүкіл сатының құлау бұрышын β өзгертіп, құм мен магнетит, алюминийлі, мысты және қорғасын жоңқалары мен «қозғалыс бұрышы» соңғы $\gamma=\alpha-\beta$ ретінде болды. Нәтиже 4.90 суретте келтірілген.

Нәтижесінде бекітілді, «қозғалыс бұрышы» компоненті кері пропорционал бөлшектер өлшемдеріне тәуелді болады.

Тәжірибелердің келесі сериясында құмның әртүрлі компоненттерінің сатылардың құлау бұрышына тәуелділігі қарастырылған. Сатылардың құлау бұрышын өзгертіп $\alpha=30, 40, 500$ және β қондырғының горизонтқа құлау бұрышын өзгертіп және бірдей γ нәтижелік бұрышқа жетіп, тәуелділік алынған.

Ең көп қозғалыс сатылардың горизонтқа 300° құлау бұрышына сәйкес. «Қозғалыс бұрышын» ескеріп қондырғы

орны анықталды. Тәжірибе нәтижесінде саты мен сатылардың келесі орындары регламенттеледі: $\alpha=300$, $\beta=0^\circ$.

Тәжірибелердің келесі сериясында қоспа қозғалысының шағылдырғышқа дейінгі қашықтық әсері зерттелді, ізделінетін оптимал фактор – максимал себілу уақыты.

Шағылдырғыштың аз қашықтығында қозғалыс максимал болады, саңылауы 5мм жетсе құмның себілуінің уақытының бірыңғай азаяды, 5мм артық болса – құмсырғып қозғалады.

Осылайша зерттеулердің екінші және үшінші сатыларында сатының орны анықталды, яғни қондырғының құрама бөлшектері орындарының параметрлері оптимал болады.

Құм мен магнетиттің компоненттерін, проценттік қатынасын, магнетиттің аналогиялық қоспаларын зерттегендегі нәтижелерін салыстырайық.

Көріп тұрғанымыздай магнетит пен құм қозғалыстары сипаты арасында өзгешелік жоқ. Жеке компоненттердің және қоспалардың қозғалысын зерттеп, құм мен магнетит қоспаларының қозғалыс уақыты бірыңғай компонент шекарасынан шықпайтыны көрінеді.

Магнитті өрістегі тәжірибе.

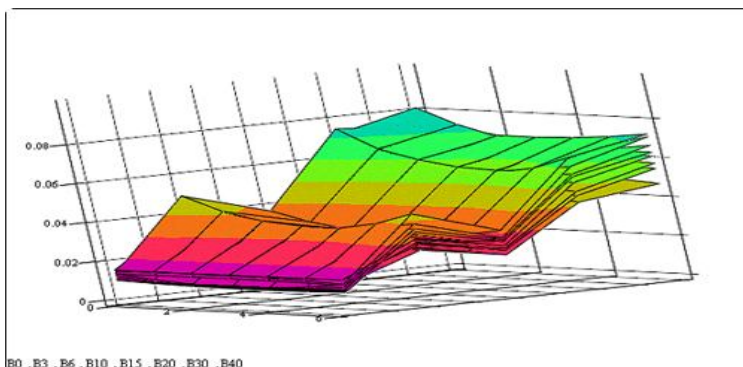
Екінші және үшінші тәжірибелер сериясынан саты мен шағылдырғыш орындары анықталды. Шағылдырғыш пластина түрінде орындалған, оның қырларында 53мм қашықтықта үшбұрышты шошақтар, биіктігі 12мм орналасқан, олардың ішкі жағында тілмелер жасалған. Мұндай шағылдырғыш дарды бірнеше конструкцияда таңдаймыз. Тәжірибеде сызықты қозғалтқыш қолданылады. Ток күші 1 ден 6 А аралығында болған. Индуктор конструкциясы жұмыс жазықтығының құлау бұрышын өзгертуге 0 ден 180° дейін мүмкіндік береді.

10мм кадамды, токтарда 1 ден 6 А дейін, компьютер арқылы ЭДС мәні тіркеледі. Индуктор өрісі симметриялы, сондықтан өлшемдер 16 рет ортасына дейін орындалды. Сонымен бірге индуктордың орталық тістерінің магниттік өрісі бағаланды, ол максимал өріске ие.

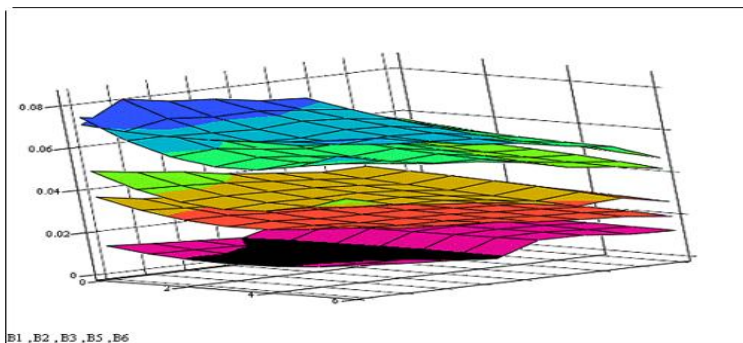
Массалық сипаттамаларды өзгерту үшін бөлу нәтижелерін бағалау керек, тәжірибелерді жүргізуде

зертханалық аналитикалық таразылар қолданылады АДВ – 200 М 2 кл.

Магниттік өрісті индуктор ені бойынша бағалау Холл әсерімен орындалды. Индуктор өрісінде диаметрі 3мм, ұзындығы 300 мм алюминий сымнан өткізгіш орнатылған. Индуктордың актив аймағының ұзындығы 250 мм, ені 320 мм.



5.27-сурет. Ток күшіне ені бойынша және әртүрлі әуе саңылауына магниттік индукция графигі



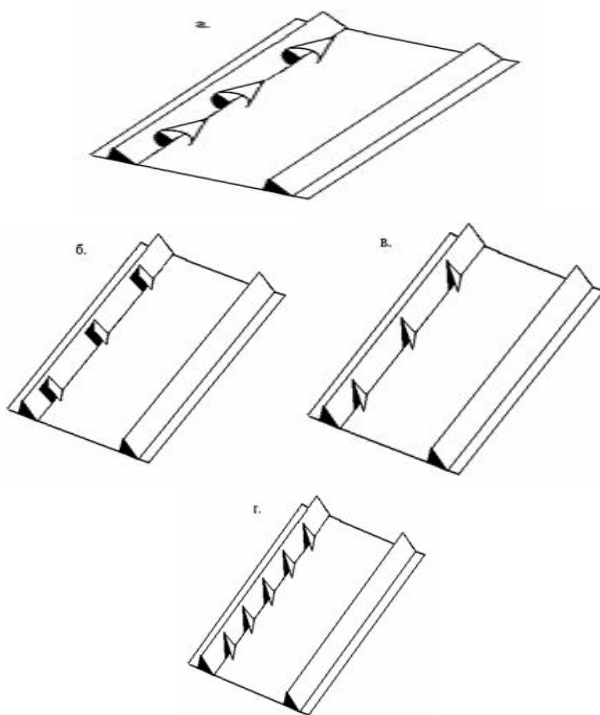
5.28-сурет. Әуе саңылауының ені бойынша, әртүрлі токта магниттік индукция графигі

Осылайша индуктордың магниттік өрісінің және орталық бойынша жіктеудің толық түсінігін алдық.

Шағылдырғыш № 1 (5.30а-сурет) концентрат өтетін тілме өлшемі 7мм, бір–бірінен 30мм қашықтықта орналасады.

Шағылдырғыш № 2 (5.30б-сурет) қабырғасы шаршы пішінді тілмеге ие 7мм, олар 30мм қашықтықта орналасқан және тік бұрышты тілмелері аз – биіктігі 7мм және ені 3мм.

Шағылдырғыш № 3 (5.30в-сурет) тілмелері үшбұрышты пішінді және маңдайлық өлшемдері бірдей, бір – бірінен 30мм қашықтықта орналасқан. Тік бұрышты үшбұрыш қабырғалары: катет – 7мм, катет – 4мм және гипотенуза – 8мм. Шағылдырғыш № 4 (5.30г-сурет) шағылдырғыш № 3 бірдей, бірақ олар – 15мм сайын орналасады.



5.30-сурет. Шағылдырғыштың принципиял сұлбасы:

а – шағылдырғыш № 1, б – шағылдырғыш № 2, в – шағылдырғыш № 3, г – шағылдырғыш № 4

Қоспа құрамы бойынша шағылдырғыш № 3 жақсысы болып табылады. Шағылдырғыш № 2 нашарлау, бірақ магнитті фракцияның құрамы үлкен болғанда жинау саңылауының пішінінен жоғары өнімділікке ие.

50 % төмен магнитті фракция үшін, шағылдырғыш № 3 қолданамыз, ал магнитті фракциясы жоғары қоспалар үшін шағылдырғыш № 2 қолданамыз.

Төрт ретті тазартумен тәжірибе жүргізсек қоспадағы бөліну жоғарылайды, ал бастапқы қоспада магнитті компоненттің проценттік құрамы төмендейді және магнитсіз фракция құрамы жоғарылайды. Зерттеулер нәтижесі 5.37–5.45 суреттерде көрсетілген.

Зерттеулер нәтижесі бойынша тиімді бөліну үшін ток күшінің жоғары мәнінде бір қадамның болуы жеткілікті. Шығудың соммалық процентінің анализінен, төрт ретті тазарту кезінде соммалық нәтиже жоғары, бұл 2,5 А тоғында, және 6 А тоғында қатты ерекшеленбейді.

Зерттеудің соңғы бөлімі «нақты» қоспаларды тау кен байыту комбинаттарынан алу және металлургиялық өндіріс үйінділерінен:

Қоспа № 1 – алтын құмдары, Хабаровский край, АО Амур-алтын;

1. қоспа № 2 – үйінділер, Солнечного ГОКа;

2. қоспа № 3 – ағымдағы шлак, Амурсталь зауытының қалдықтары;

3. қоспа № 4 – үйінділер шлағы, Амурсталь зауытының қалдықтары;

4. қоспа № 5 – мыс қалдықтары, Солнечный ГОК.

Қоспа № 1 үшін 80 % қатты магнитті минералдар тән қоспаның бөліну сапасы шағылдырғыштар №2 және №3 орындалды. Қоспаның бөлігін анықтайтын – 82 % бөлшектер өлшемі 0,25мм ден 0,9мм дейін. Ірілігі бойынша класстар:

1. 0,25мм;

2. 0,4мм (0,25–0,55мм);

3. 0,725мм (0,55–0,9мм);

4. қоспа 0,25–0,9мм.

Алынған көрсеткіштер бойынша шағылдырғыш № 3 бөлу кезінде тұрақты және тиімді, қоспа мөлшері, жүзден бір процентке ие. Шағылдырғыш № 2 бұл жағдайда нашарлау – қоспалар мөлшері 0,05 – 0,8 % дейін өзгереді.

Нақты қоспаларды бөлу процесстерін зерттеу

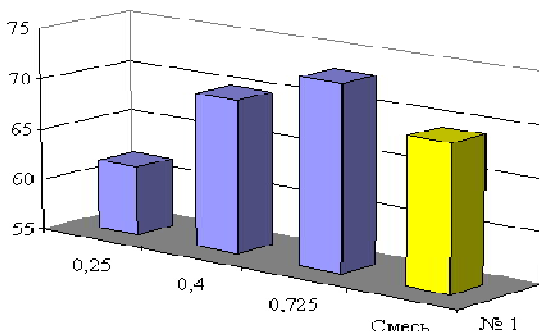
Зерттеулер шағылдырғышда №3 индукторы – 6 А, класстар бойынша ірілігі №1, №2, №3 және №5:

1. 0,25мм;
2. 0,4мм (0,25–0,55мм);
3. 0,72мм (0,55–0,9мм);
4. қоспа 0,25–0,9мм;
5. қоспа 0,25-1,7мм

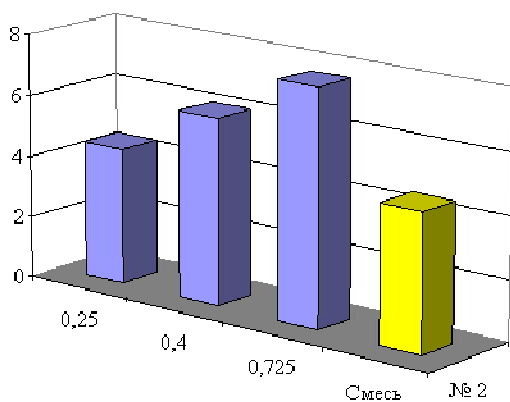
№ 4 қоспада ірі дәнек басым, сондықтан оны басқаша сыныптаймыз:

1. 0,25мм;
2. 0,4мм (0,25–0,55мм);
3. 0,725мм (0,55–0,9мм);
4. 1,3мм (0,9–1,7мм);

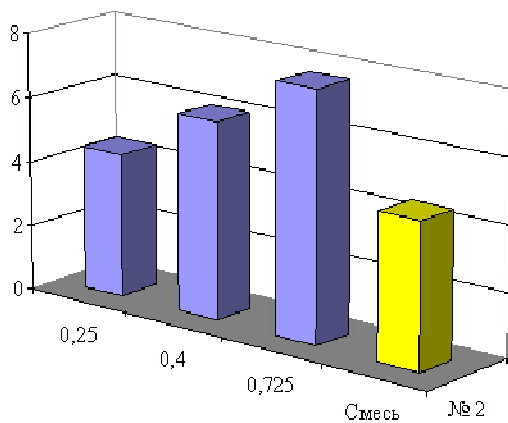
Жүргізілген тәжірибелер гистограммалармен берілген (5.31–5.35 суреттер).



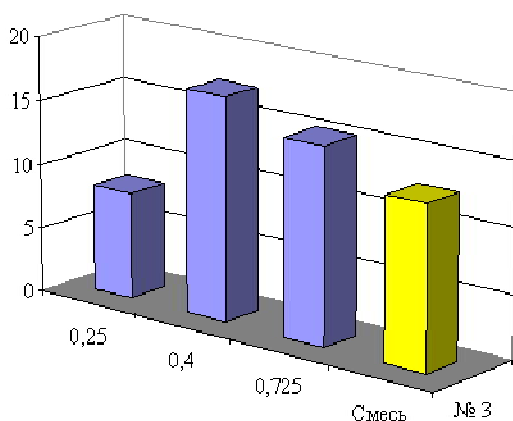
5.31-сурет. Шығудың № 1 қоспаны бөлу кезіндегі түйіршіктердің құрамына тәуелділігі



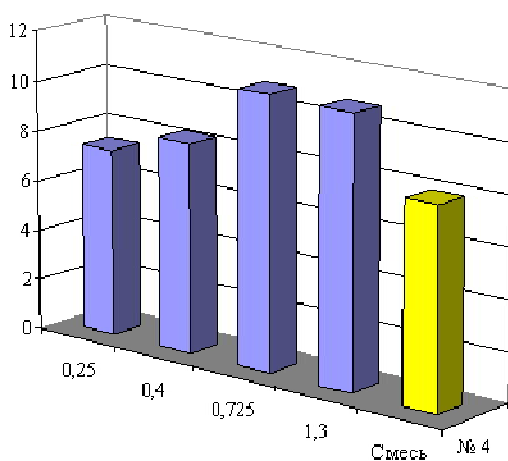
5.32-сурет. Шығудың №2 қоспаны бөлу кезіндегі түйіршіктердің құрамына тәуелділігі



5.33-сурет. Шығудың №3 қоспаны бөлу кезіндегі түйіршіктердің құрамына тәуелділігі



5.34-сурет. Шығудың №4 қоспаны бөлу кезіндегі түйіршіктердің құрамына тәуелділігі



5.35-сурет. Шығудың №4 қоспаны бөлу кезіндегі түйіршіктердің құрамына тәуелділігі

Ұсақ механикалық қоспаларды бөлуді зерттегеннен кейін өндірістік қондырғыларға сатылардың келесі геометриясын ұсынамыз:

1. сатылар горизонтқа 30 градус бұрышпен орналасуы керек;

2. саты орны шағылдырғыш мен индуктордан минимал қашықтықта болуы тиіс.

Гравитациялық өрісте тәжірибе жүргізілгенде қоспалар сатымен қозғалғандағы жағдайы зерттелді. Жеке компоненттер мен қоспалардың қозғалысын салыстыру үшін олардың сатымен қозғалу уақыты өлшенді. Екі компонентті қоспа параметрлері құраушы компоненттердің қозғалысымен шектеледі. Құм мен магнетиттің қозғалу уақыты бірыңғай компонент қозғалысы графигі шегінен аспайды.

Магниттік өрістегі тәжірибе магниттік фракцияның шығу проценті магнит өрісінің энергетикасына тәуелді болатынын көрсетті. Зерттеулер нәтижесі бойынша өндірістік қондырғыны құру үшін келесілер ұсынылады:

1. саты ені индуктор тісінің өлшемінен артық болуы тиіс, ол бөлудің сапасын жақсартады;

2. бөлінген фракцияны жинау шошақтары саты ені мен тістер ені айырмашылығынан құралады;

3. өндірістік қондырғыны индуктор тісіне тең активті зоналар санымен жасау.

6. МАГНИТСІЗ МЕТАЛЛ БӨЛШЕКТЕРДІҢ ЖҮГІРМЕЛІ МАГНИТ ӨРІСІМЕН ӨЗАРА ӘСЕРІ

Жүгірмелі магнит өрісінде бөлшектер қозғалысы.

Индуктордың жұмыс аймағындағы электр өрісі Максвелла /28/ теңдеуімен шешіледі:

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, & \operatorname{div} \vec{E} = 0, \\ \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, & \operatorname{div} \vec{D} = \rho \end{cases} \quad (6.1)$$

Ол келесі теңдеулермен толықтырылады:

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}, \quad \vec{j} = \gamma \vec{E} \quad (6.2)$$

мұндағы, $\vec{E}$ - электр өрісінің кернеулігі;

$\vec{B}$ - магниттік индукция векторы;

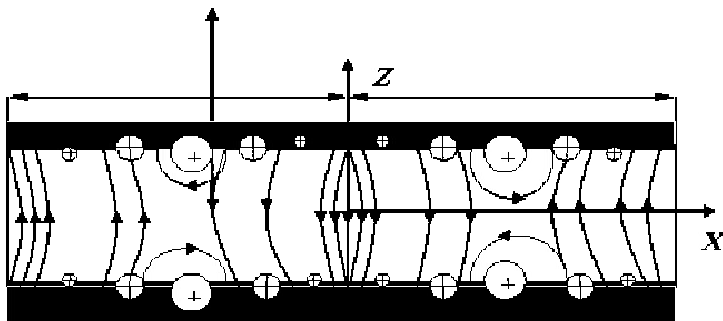
$\vec{D}$ - электроік ауысу;

ε_0 және μ_0 - электрлік және магниттік тұрақтылар;

ε және μ – ортаның қарастырылатын нүктесінде салыстырмалы магниттік және диэлектрлік өткізгіштік;

γ – ортаның меншікті электр өткізгіштігі.

Электрлік және сызықты қозғалтқыштарда катушка орамы пазалар /29/ салынады. Пазалар әсерінен магниттік өріс саңылауда күрделі сипатқа ие болады және есептеуге қиын болады. Сондықтан әдетте индукторлар беті паздары жоқ деп қарастырылады және оларда шексіз жұқа қабаттар орналастырады. Тапсырманы жеңілдету үшін болат сердечниктері $\mu_c = \infty$ қабылдайды және машина у осында шексіз өлшемге ие (6.1-сурет), яғни жазық параллель тапсырманы $B_u = H_u = 0$ болғанда қарастырады.



6.1-сурет. Саңылаудағы магниттік өрісті сердечниктердің тегіс бетінен орамды тарату сипаты

Магниттік өрістің индуктор саңылауындағы кернеулігі (6.1 суретте) екі құраушыға ие: H_X және H_Z , олардың жұмыс процестерінде негізгі мәнге H_Z ие. Сондықтан $H_Y = 0$ деп қана емес, сонымен бірге $H_X = 0$ және $H_Z = z$ координаты бойында тұрақты. Сәйкесінше x координаты бойындағы жүгірмелі өріс алынады:

$$H = H_Z = H_m \sin(t - x)$$

$$a = \pi / \tau . \quad (6.3)$$

Негізінде мұндай магниттік өріс болуы мүмкін емес, себебі бұл кезде Максвелла теңдеуі орындалмайды. Саңылаудың кейбір нүктелерінің проекциясын анықтасақ, онда $H_X = 0$ аламыз.

$$\text{rot}_k \bar{H} = \text{rot}_z H = 0 ,$$

Осылайша:

$$\text{rot}_y \bar{H} \neq 0 .$$

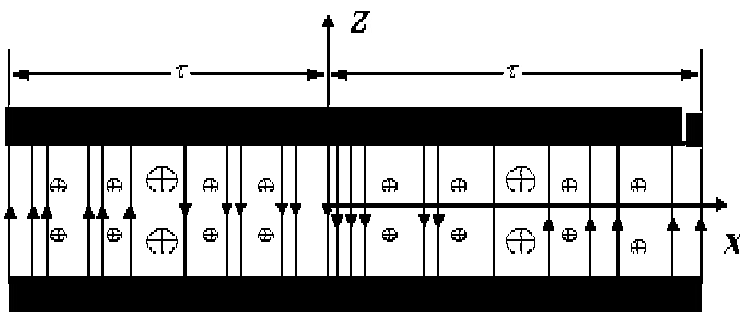
Саңылаудағы ток тығыздығы нөлге тең, сондықтан сондай болу керек:

$$\text{rot} \bar{H} = 0 .$$

(6.3) теңдеуін негіздегеннен кейін, $H_X = H_Y = 0$ болуы мүмкін, егер саңылаудың бойымен ток белгілі тығыздықпен таралса.

$$j = \alpha H_m \cos(\omega - \alpha x). \quad (6.4)$$

Тапсырманы әрі қарай жетілдіріп, орам тогын пазаларында емес және индуктор бетінде де емес саңылау қимасында δ өлшемімен таралған. Бұл кезде токтың көлемдік тығыздығы (6.4) сәйкес жүгірмелі толқын болуы тиіс.



6.2-сурет. Сердечниктер арасындағы саңылауда орамды таратуда магниттік өріс сипаты

Осыған байланысты орам пазалардан шыққан және саңылаудың қимасы бойынша жұқа өткізгіштер түрінде таралатын болса, қиманың пазалары болатпен толтырылған /30/.

Нақты орам өрістің негізгі гармоникалы бөлек құрады (6.3) формуласымен анықталады, сондай-ақ жоғары гармоника өрісі ұсақ дисперсионды бөлшектерге әсер етеді, олардың геометриялық өлшемдері полюсті бөлінумен τ салыстырғанда азырақ.

Жүгірмелі магниттік өрісте (5.3) теңдеуімен көрсетіледі, жазық шексіз жұқа сым жақтау орнатамыз, ол нормаль $\vec{n}$ z осіне параллель болуы тиіс, ал қабырғалары x және y осьтерінің бойымен бағытталуы тиіс (6.3 сурет). Жақтаулар кейбір шектік өлшемдерге ие: d – қабырға ұзындығы, x осінің бойымен бағытталған, l – қабырға ұзындығы, y осі бойымен бағытталған.

S жақтауының магниттік ағынынан өтеді (6.4 сурет),

$$\Phi = \int_S \vec{B} * \vec{n} dS, \quad (6.5)$$

біздің жағдайда (6.4 сурет)

$$\Phi = \Phi(x_c, t) = l \int_{x_c - d/2}^{x_c + d/2} B(x_c, t) dx, \quad (6.6)$$

мұндағы, x_c – жақтау ортасының координатынан аламыз:

$$\Phi(x_c, t) = 2lB_m\omega^{-1} \sin(\omega x_c - \alpha t) \sin\left(\omega \frac{d}{2}\right), \quad (6.7)$$

$$B(x, t) = B_m \sin(\omega x - \alpha t)$$

Жақтауда пайда болатын электр қозғаушы күшті анықтайық.

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

және ток:

$$I = -\gamma \frac{d\Phi}{dt}. \quad (6.8)$$

Біздің жағдайда:

$$I(x_c, t) = -\gamma \frac{d}{dt} \left(2lB_m\omega^{-1} \sin(\omega x_c - \alpha t) \sin\left(\omega \frac{d}{2}\right) \right) = 2lB_m\omega^{-1}\gamma\alpha \cos(\omega x_c - \alpha t) \sin\left(\omega \frac{d}{2}\right). \quad (6.9)$$

Токтың ең үлкен мәні:

$$\omega \frac{d}{2} = \frac{\pi}{2} + \pi k,$$

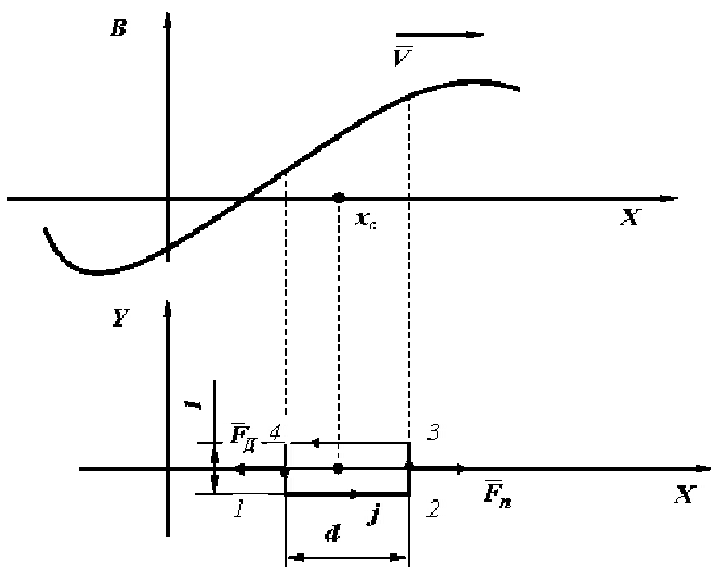
яғни

$$d = \frac{1}{\omega} (\pi + 2\pi k), \quad (6.10)$$

мұндағы, $k = 1, 2, 3, \dots$

$$d = \frac{1}{\omega} (\pi + 2\pi k)$$

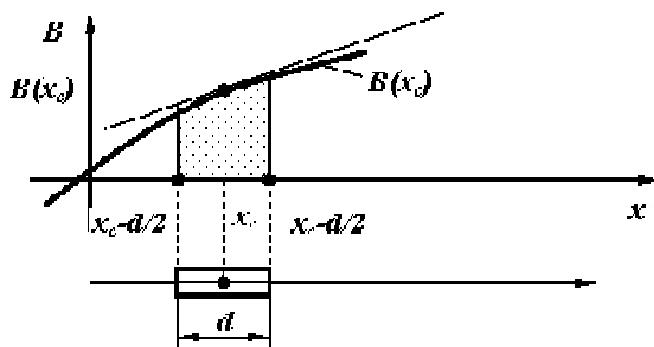
$$d = \frac{1}{\omega} (\pi + \pi k) \quad (6.11)$$



6.3-сурет. Тік бұрышты жақтау

Бұл жағдайда интеграл $\int_{x_c-d/2}^{x_c+d/2} B(x)dx$ штрихтелген трапеция көлеміне тең болады, жанама қима астында жатыр $B(x)$ графигіне x_c нүктесінде (сурет 6.4).

Аламыз:



6.4-сурет. Жақтаудың аз өлшеміндегі магнит ағынын анықтау

Уақыт t моментін тіркейік және бұл уақыт моментін токпен $I(x_c, t)$ қарастырайық, (5.5) формуласымен анықталады. Ток пен жақтау магниттік өрісте орналасқандықтан, өткізгіштің әрбір элементіне ампер күші әсер етеді.

$$\vec{F} = l * \oint_L \vec{B} * d\vec{l}$$

$d\vec{F} = l * \vec{B} * d\vec{l}$ бүкіл жақтауға әсер етеді.

Тікбұрышты жақтау $\vec{F}$ үшін әрбір телім күштерінің соммасынан құралады:

$$\vec{F} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{23} - \vec{F}_{34} + \vec{F}_{41}$$

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{34}, \text{ болғандықтан}$$

$$\vec{F} = \vec{F}_{23} + \vec{F}_{41} = l * \vec{l}_{23} * \vec{B} + l * \vec{l}_{41} * \vec{B} \text{ болады.}$$

x осіне проекциясынан, l қойып, аламыз:

$$F(x_c, t) = l(x_c, t) * l \left[-B \left(x_c - \frac{a}{2}, t \right) + B \left(x_c + \frac{a}{2}, t \right) \right].$$

Жақтауды жылдамдатқанда ω кішірейе береді, ал онымен бірге күште $\vec{F}$ кішірейеді, яғни орнатылған жылдамдықпен жұмыс істейміз. Жақтау өрісті қулайды, яғни $FA(x, t)$ тұрақты функция. Практикада ұсақ дисперстік ортада жұмыс істегендіктен, (5.5) теңдеуін жақтаудың геометриялық өлшемдері d және l индуктордың t полюстік қадамынан кіші жағдай үшін түрлендіру керек.

Біздің жағдай үшін:

$$F(x_c, t) = 2lI(x_c, t) * B_m \cos(\omega x_c - \alpha t) \sin\left(\frac{\omega d}{2}\right).$$

(6.5) ескеріп, нәтижесінде аламыз:

$$F(x_c, t) = 2lI_m \cos(\omega x_c - \alpha t) * \sin\left(\frac{\omega d}{2}\right) \cos(\omega x_c - \alpha t) \sin\left(\frac{\omega d}{2}\right) = 4l^2 B_m^2 \gamma \omega^{-1} \alpha \cos^2(\omega x_c - \alpha t) \sin\left(\frac{\omega d}{2}\right). \quad (6.6)$$

(6.6) теңдеуін талдап, қорытынды жасайық, жақтауға өріс жақтан күш түсетін болса, тұрақты және оның белгісі, яғни $\vec{F}$ проекциясының x осіне бағыты ω байланысты, ол жүгірмелі магнит өрісінің салыстырмалы жылдамдығы болып табылады. Содан:

$$\Phi(x_c) = l * d * B(x_c) = S * B(x_c), \quad (6.7)$$

мұндағы, S – жақтау ауданы.

біздің жағдайда:

$$\Phi(x_c, t) = S * B_m \sin(\alpha x_c - \omega t).$$

жақтаудағы ток:

$$I = I(x_c, t) = \gamma * l = -\gamma S \frac{dB(x_c, t)}{dt}, \quad (6.8)$$

біздің жағдай үшін:

$$I(x_c, t) = \gamma S B_m \omega \cos(\alpha x_c - \omega t). \quad (6.9)$$

Шексіз аз жақтау жағдайында жақтауға әсер ететін ампер күшінің тәуелділігін анықтау үшін келесі түрде жазуға болады:

$$F(x_c, t) = -\gamma S^2 \frac{\partial B(x_c, t)}{\partial t} * \frac{\partial B(x_c, t)}{\partial x_c}. \quad (6.10)$$

Біздің жағдайда қозғалмалы гармоникалы

$B(x, t) = B_m \sin(\alpha x - \omega t)$ амперлік күш тәуелділігі келесі

түрде болады:

$$F(x_c, t) = \gamma S^2 B_m^2 \cos^2(\alpha x_c - \omega t). \quad (6.11)$$

(6.8) теңдеуінде жақтау ауданы ескерілді және пішіні ескерілмеді. (6.8) теңдеуін түзу емес жақтауларда қолдануға болады. Ол үшін бір қалыпсыз магнитті өрісте тұрған тогы бар контурға нәтижелік күш әсер ететін қасиеттерді қолданайық, ол келесі формуламен анықталады:

$$\vec{F} = \text{grad}(\overline{P_m B}), \quad (6.12)$$

мұндағы, $\vec{P_m}$ - тогы бар контурдың магнит моменті келесі формуламен анықталады.

$$\overline{P_m} = 1S\overline{n} , \quad (6.13)$$

мұндағы, S – контур ауданы;

$\overline{n}$ - нормалдің контур жазықтығына векторы.

Біздің жағдай үшін магниттік өріс бір компонентті болғандықтан, яғни $B = B_x \overline{k}$, ал контур нормалі $\overline{n}$ - әрдайым оске коллиниар, контурдың геометриялық өлшемдері аз. Қарастырылатын уақыт моментін $I(x_c, t)$ - өзгермейді:

$$\begin{aligned} \overline{F} &= \text{grad}(\overline{P} \mu \overline{B}) = \text{grad}_k [I(r, t) S \overline{n} B(x_c, t) \overline{k}], \\ F &= S I(x, t) \text{grad}_x [I * B(x_c, t)] = S I(x_c, t) \frac{\partial B(x, t)}{\partial x} |x - x_c \end{aligned}$$

(6.8) ескеріп нәтижелік ампер күші:

$$F = -\gamma S^2 \frac{\partial B(x_c, t)}{\partial t} * \frac{\partial B(x, t)}{\partial x} |x - x_c , \quad (6.14)$$

Магнит емес бөлшектердің жүгірмелі магнит өрісінде өзара әсерін тәжірибелік зерттеу.

Магниттік өрістегі бөлшектердің қозғалуын тәжірибелік зерттеу мақсаты осы бөлшектердің қозғалуы болатын параметрлерді таңдау. Тәжірибені жүргізу үшін сызықты қозғалтқыш – индуктор және канал қолданылады. Индуктор ретінде, екі сердечникті, бір жұп полюстері, полюстік бөліну $\tau=105\text{мм}$, ұзындығы 235мм , ені 200мм 3 фазалы сызықты қозғалтқыш қолданылады. Фазадағы орамдар саны жүз елу. Зерттелетін бөлшектер мыс пластиналары, алюминий және үгінділер. Пластиналар шаршы пішінді қабырғаларының өлшемдері $30 \times 30\text{мм}$, $20 \times 20\text{мм}$, $15 \times 15\text{мм}$, $10 \times 10\text{мм}$, $8 \times 8\text{мм}$, $5 \times 5\text{мм}$, $2 \times 2\text{мм}$, $1.5 \times 1.5\text{мм}$. Алюминий үгінділерінің өлшемдері $0,4-0,6\text{мм}$, мыстікі $-0,3-0,6\text{мм}$. Индуктордағы әуе саңылауы 7мм – 50мм дейін 5мм қадаммен өзгерді.

Үлгілер бар төсеніш индуктор де 5мм қадамымен орналасты, әуе саңылауы биіктігі бойынша үлгілердің тітіркену тогы тістер ортасына және жылға бойынша орнатылды. Алынған қисықтарды талдап магниттік өрісте үлгілердің қозғалысын белгілеуге болады, олар ток күші мен әуе

3. Сызықты қозғалтқыштың әуе саңылауындағы қатты металл фракциялы төсеніш биіктік жоғарылаған сайын кері әсер етеді.

Басқару жүйесі қатты пульпа фазасының математикалық моделі болып табылады. Индуктордағы ампер күші $F = -0,3 - 0,6 \text{ Н/м}^2$, $V_f > 0$ орындау үшін келесі шарт орындалуы тиіс:

$$d > 0,45 [\gamma (1 + f + a)]^{-1}.$$

Теңдеулер жүйесін шешіп V_f қатысты индуктордың актив бөлігінің геометриясын табамыз.

$$1 > b \frac{V_s}{V_f}$$

Бұл шарттардың орындалуы қатты пульпа фазасының гравитациялық өрісте қозғалуын қамтамасыз етеді, металл емес бөлшектер «С» қабырғасына түседі және «В» терезесіне шығады, ал металдар ампер күші әсерінен "D" қабырғасына көтеріледі және «А» терезесі арқылы шығарылады.

4) Жүргізілген зерттеулер механикалық қоспалар бөлу бойынша технологиялық линияны құру үшін сызықты қозғалтқыштың магнитті өрісінің энергетикалық бағамдарына ие болуы керек.

Жүгірмелі магнит өрісінің сипаттамаларын зерттеу.

Өріс сипаттамаларын бағалау үшін ауыспалы магнит өрісінің индукционды тәсілі қолданылды. Өлшеу каналы индукционды хабарлағыштан, коммутирлеуші тізбектен және ЭВМ тұрады. Хабарлағышқа бағытталатын ЭДС тәуелділікпен сипатталады:

$$e(t) = \frac{-w d \Phi}{dt} = \frac{-w S d B}{dt}, \quad (6.15)$$

Мұндағы, $e(t)$ – ЭДС орам саны w бар катушкадағы индуктивтілік;

Φ, B , – зерттелетін магниттік өрістің индукциясы және ағын.

(6.15) теңдеуіне сәйкес массив типті индукционды хабарлағыштар көтеріледі, әртүрлі индуктивтікті катушкалар түрінде. Зерттеулерде ұзындығы 40 мм мыс сым үзгі хабарлағышы қолданылды. Осыған байланысты (6.15) теңдеуі келесі түрге ие:

$$e(t) = \frac{1 \alpha B}{dt}, \quad (6.16)$$

мұндағы, l – хабарлағыш ұзындығы, мм.

ЭВМ де түсетін сигналды жазу үшін бағдарлама осциллограф - Oscilloscope 2.51 қолданылады. Сигнал сандық мәндер түрінде 50 мс периодында текстік файлге жазылады. Бір файлда жалпы 551 сандық мән бар. Сандық мәндер жазылуының диапазоны минус 125 – плюс 125 бірлікке дейін.

Сандық мәндер салыстырмалы сипатта болады, өлшеу каналының калибровкасы жүргізіледі.

Магниттік кедергі ретінде (6.6-сурет) қондырғы қолданылады, ол статор- 1, беттік электротехникалық болаттан жасалған, магнит қатты балқымалы салмалары бар алты полюсті ротордан – 2 және хабарлағыштан – 3 тұрады.

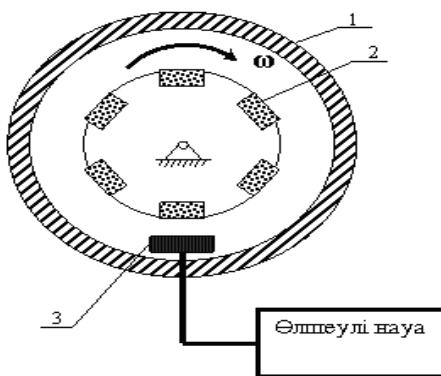
Магниттік индукция тітіркенген саңылауда статистикалық жағдайда Ш1-8 аспабымен өлшенді $B_{max} = 0,12$ Тл құрады. Хабарлағышқа бағытталатын ЭДС тәуелділікпен анықталады:

$$e_{max} = 1 V B_{max}, \quad (6.17)$$

мұндағы, l – хабарлағыш ұзындығы, мм;

V – магниттік өріс жылдамдығы, м/с;

B_{max} – магниттік индукцияның максимал мәні, Тл.



6.6-сурет. Кедергі туындату қондырғысы

Зерттелетін өріс жылдамдығын біліп калибрлеу коэффициентін табуға болады, оның көмегімен ЭВМ мәндері вольтке ауыстырылады. Мысалы, өрістің жылдамдығы 12 м/с болғанда калибрлеу коэффициенті $kt=0,0055/40=0,0001375$, яғни ЭВМ сандық мәні 0,0001375 вольтке сәйкес.

Өлшенген ЭДС вольт бойынша магниттік индукция мәнін қарастырылатын қозғалтқыш үшін анықтаймыз:

$$B_{max} = \frac{e}{lv}, \quad (6.18)$$

мұндағы, e – қарастырылатын сызықты қозғалтқыштағы ЭДС;

l – хабарлағыш ұзындығы мм;

v – қарастырылатын сызықты қозғалтқыштағы өріс жылдамдығы м/с;

B_{max} – қарастырылатын сызықты қозғалтқыштағы магнитті индукция-ның максимал мәні, Тл.

Сызықты қозғалтқыш саңылауында магниттік өрістің таралуын алдын ала бағалау. Зерттеу үшін сызықты қозғалтқыш №1 алынған. Қозғалтқыш ұзындығы 235мм және ені 200мм. Желідегі ток жиілігі $f=50$ Гц, кернеу 0– 220 В. Қарастырылатын сызықты қозғалтқыштағы өріс жылдамдығы келесі формуламен анықталады:

$$v\phi=2\tau f, \quad (6.19)$$

мұндағы, $v\phi$ – магниттік өріс жылдамдығы, м/с;

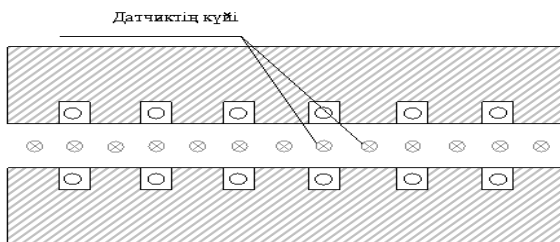
τ – полюстік қадам, мм;

f - қоректік ток жиілігі, Гц.

Сызықты қозғалтқыш үшін саңылаудағы магниттік өріс жылдамдығы 10,5 м/с. Ұзындығы $l=200$ мм хабарлағыш қолданылады. Калибрлеу:

$$k_t = (0,1125 / 812,5) \cdot 0,2 = 0,00002769$$

Хабарлағыш паздар мен тістер ортасында орналасқан (сурет–6.7). Барлығы қозғалтқыш бойымен 13 өлшеулер орындалды. Өлшеулер 3А қоректегіш ток күшінде орындалды.

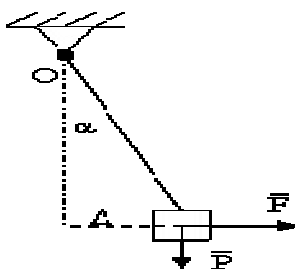


6.7-сурет. Хабарлағыштың орналасу сызбасы

Электромагниттік күшті анықтау үшін математикалық маятник сияқты конструкция қолданылды (6.8-сурет). Ол жіп пен полиэтилен конверттен тұрды, конвертке әртүрлі пішінді металл пластинкалар салынды. Барлық пластинкалар бірдей ауданға ие 25 мм^2 . Пластинкалар дөңгелек, тікбұрышты, үшбұрышты, шаршы пішінді болды, пластинкаларды дайындаудың үш металын қолданды – олар алюминий, мыс және алтын.

Берілген конструкция сызықты қозғалтқыш саңылауына орналастырылады. Маятник вертикаль, жүгірмелі өріске тіреліп орнатылады. Қозғалтқышты іске қосқаннан кейін ілме жүгірмелі магниттік өріске қарама- қарсы бағытта ауысады. Оңақтарды өлшем, конверттің тіреуден бөлінудің сызықты өлшемі фиксирленеді.

Іліну нүктесіне байланысты моменттер теңдеуі бойынша электромагниттік күш анықталады.



6.8-сурет. Маятник сұлбасы

Сонымен бірге күштің якорь тұтастығы мен күш өзгерісіне тәуелділігі анықталды.

Тәжірибе барысында сызықты қозғалтқышта №1 түзілетін электромагниттік күш аз, сондықтан оның әсерін өлшей алмаймыз. Пластина өлшемдерін жоғарылатсақ өлшеу дәлдігі төмендейді, себебі пластиналар өлшемі пазалардан артық болып кетеді. Сондықтан өлшеулер сызықты қозғалтқышта № 2 орындалды. Қозғалтқыш ұзындығы 420мм, ені 160мм. Полюстік қадам 180мм. Фазадағы орамдар саны 300.

7. ЭЛЕКТРЛІК БАЙЫТУ ӘДІСТЕРІНІҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

Электрлік байыту кезінде электр өткізгіштік, диэлектриялық өтімділік, үйкеліспен электрлендіру және (жабысу) адгезиядағы бастапқы материалдардың компоненттерінің айырмашылықтарын негізінен қолданылады.

Сепараторлардың камерасы және электр сепарациясы әдістеріндегі жұмыс ортасы, электр сепарациясының қолдануы, электр және механикалық күштер ол жұмыс істейтін, бөлетін бөлшектердің зарядтауы әдістері туралы ортақ мәліметтер 7.1-кестеде келтірілген. Дәнді және тозаң тәрізді материалдардың өңдеуінің әртүрлі әдісі, қолданылатын электр сепараторларының кеңес берілетін классификациясы 7.1 кестеде келтірілген.

7.1-кесте

Электр сепарациясы туралы негізгі мәліметтер

Атауы	Мазмұны
Сепараторлардың қолдану аймағы және түрлері	Байыту электр сепараторлар, жіктелуі электрсұрыптағыштар, электршанайықтыру, шлих талдаулары (электроталдауыштар)
Байытылған материалдардың бөлшектерін зарядтау әдістері	Ионизация (тәжді разряд, α - және β -сәулелену), үйкеліспен электрлендіру, индукция, зарядталған электродпен жанастыру, қыздыру, көрсетілген әдістердің құрылымы (екі, не одан аз)
Электрлі байыту кезіндегі әрекет күші	Электрлік күштер: электростатикалық, электрлік өрістің, олардың қосындысы. Механикалық күштер: ауырлықтар, үйкеліс, ортадан тепкіш, пондеромотролық, адгезия, олардың қосындысы

7.1-кестенің жалғасы

Сепаратор камерасындағы жұмыс ортасы	газобразды (ауа, әртүрлі газдар) атмосфералық қысымда, вакуум, сұйық диэлектриктер
Байытылатын материалдарды электрлік өріске жіберу	еркін құлау, қозғалмалы немесе қозғалмайтын электродтың көмегімен жіберу (мысалы, барабан), ілінген жағдайдағы жіберу
Электрлік байыту әдістері	1. Тәжді (тәжді разрядтағы өріс, бөлшектер иондаумен зарядталады) 2. Электростатикалық (электрлік өріс; бөлшектер басқа да әдістермен зарядталады). 3. Диэлектрлі (электростатикалық өріс; зарядталмаған пондеромоторлық күштер әсерімен бөлінеді). 4. Құрамдастырылған: а) тәжді-электростатикалық (тәжді разряд өрісі және электростатикалық өріс, бөлшектер иондану және басқа әдістерімен зарядталады), б) Тәжді-магниттік (тәжді разряд өрісі және магнит-тік өріс, бөлшектер ионданумен зарядталады), в) трибоадгезионды (бөлшектер трибоэлектрлік әсері көмегімен зарядталады, үзіп алу әсері және т.б)

Зарядталған денелердің әсерленуінен байқалғаны, бір атаулы электрленген денелер бір-бірімен тебіледі, ал әр атаулы электрленгендер – тартылады.

Электрлі тартылыс және тебіліс күштерінің сандық зерттеулерін ең алғаш Кулон жүргізіп, бұл күштердің әсерлесу заңдарын ашқан. 1789 жылы жанасқан әртүрлі потенциалдардан пайда болатын гальваникалық ток және электрлік зарядтардың қозғалысы – электрлік ток ашылды.

Элементар теріс зарядтарды тасымалдаушы бөлшектер электрон аталды. Барлық электрондар бірдей. Бұлардың

әрқайсысының массасы сутегі массасынан 1838 есе кіші. Электрдің элементар саны (бір электронның разряды) $e = 4,8025 \cdot 10^{-6}$ абсолютті бірлік $= 1,601 \cdot 10^{-19}$ к. Барлық электрлік заряд (оң да, теріс те) әрқашанда материалдық бөлшекпен байланысты.

7.2-кесте

Электр сепараторлардың жіктелуі

Байыту әдістері	Сепараторлардың құрылымы
Ұсақты материалдардың сепараторлары	
Тәжді	Барабанды, камералы, құбырлы, таспалы(конвейерлі), тілімшелі
Электростатикалық	Барабанды, камералық, ленталы
Диэлектрлік	Жазық, тесікті, диэлектрлік елеу
Құрамдастырылған: тәжді-электростатикалық	Барабанды
тәжді-магнитті	
трибоадгезиондық	
Ұсақ материалдардың сепараторлары	
Тәжді	Камералы (үстіңгі немесе астыңғы беріліс), құбырлы
Құрамдастырылған: тәжді-электростатикалық	Камералы (зарядқа және бөлшектерді отырғызу бөлек орындалады)
трибоадгезиондық	Барабанды

Электрлі зарядталған денені қоршаған кеңістік электрлі өріс болып саналады. Электрлі өрісте бір зарядталған өрістің сыртында тұрған екінші зарядқа әсер ететін энергия бөлінген. Зарядталған денеге әсер ететін өріс күші F , зарядталған дененің Q үлкендігіне тәуелді және осы дене орналасқан электрленген өрістің кернеулі аймағында E .

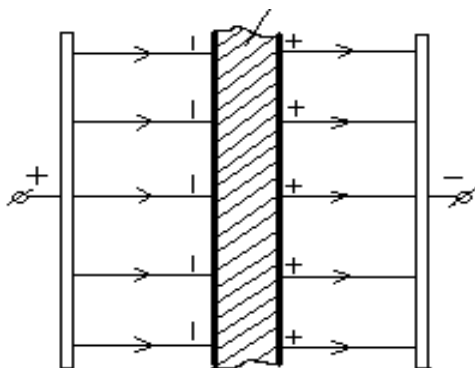
$$E = \frac{F}{Q} \quad (7.1)$$

Бұдан:

$$F = QE \quad (7.2)$$

Электр тогын өткізу жағынан барлық денелердің қасиеттері өзгеше. Өткізгіштер мен диэлектриктердің айырмашылықтары мынада: диэлектриктер белгілі бір жоғары температурада өткізгіштік қасиетке ие болады.

Өткізгіштер (металдар) денесінің бойымен электрондарды еркін өткізуімен сипатталады. Егер өткізгішті (металды пластинаны) А электр өрісіне салса (7.1-сурет), онда өрістің әсерінен еркін электрондар қарама-қарсы өріске ығыса бастайды, яғни негізгі қарсы бағытта жылжиды. Осының арқасында тілімшедегі нәтижелі өріс әлсірейді. Еркін электрондары немесе иондары өте аз денелерде өріс күші әсерінен дененің барлық көлемінде электрдің ығысуы тәжірибе жүзінде мүмкін емес. Мұндай денелерді өткізбейтіндер, диэлектриктер немесе изоляторлар деп атайды. Бірақ кейбір жағдайда молекулалар иондарға сілтіленеді (мысалы жоғары температура әсерінен).



7.1-сурет. Электр өрісіндегі өткізгіш

Мұндай жағдайда диэлектриктер изоляциялық қасиетін жоғалтып, қандай да бір мөлшерде өткізгішке айналады. Жаксы изоляторлар қатарына: янтарь, эбонит, плексиглас, фарфор, кварц, әйнек, парафин, керосин, минералды майлар, көптеген органикалық сұйықтар, газдар және т.б.

Диэлектриктердің ең маңызды сипаттамасы диэлектрикті өтімділігі болып саналады. Қатты денелердің диэлектрикті өтімділігі, құрылымдық ерекшеліктерінің әртүрлілігіне байланысты мағынаны қабылдайды. Вакуумның диэлектрлік өтімділігі нөлге тең, ал өзге заттардікі – бірден үлкен.

Егер электрлік зарядтар тыныштық күйде тұрса, онда электрлік тартылыс және тебіліс зарядтардың өзара орналасуы және шамасына тәуелді.

Осындай зарядтардан пайда болатын өрісті және олардың өзара әсерлесу күшін электростатикалық күш деп атайды. Электростатикалық өріс электр өрісінің бір көрінісі, онда күштердің уақытша тепе-теңдігі бар (өріс күштері және тыс күштер), осының арқасында электрлік зарядтардың қатынасы тыныштық күйі сақталады.

Кулон тапқан екі нүктелік зарядтардың өзара әсерлесу заңы және электростатиканың негізін құрайтын заң төмендегідей болады. Екі нүктелік зарядталған денелер бір-біріне тең күшпен, осы денелерді қосатын, қарсы бағытта түзу бағытпен әсерлеседі.

Күштің шамасы зарядталған денелерге тура пропорционалды және олардың арақашықтығының квадратына кері пропорционалды:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (7.3)$$

мұндағы: q_1 және q_2 – денелер зарядтары;

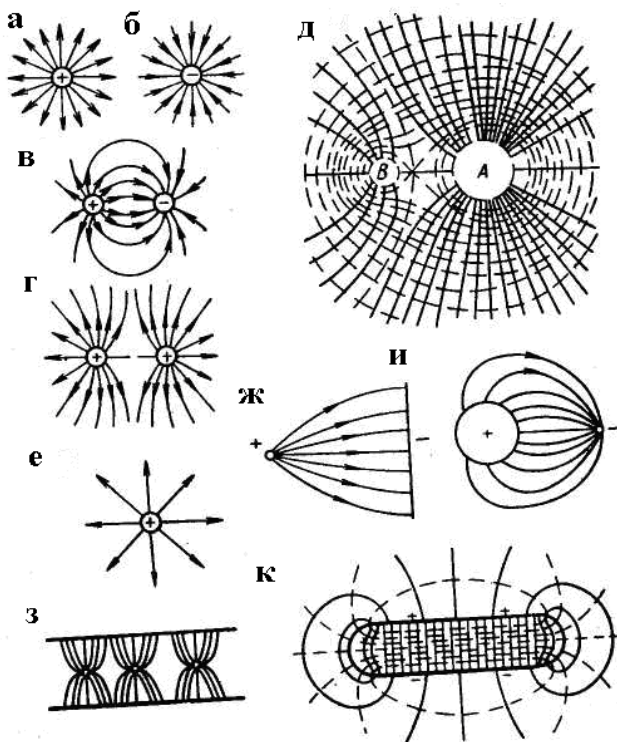
r – денелердің арақашықтығы;

F – зарядтардың өзара әсер күші;

$k = \frac{1}{\varepsilon}$ көрсетілімінен анықталған пропорционалдық

коэффициенті, мұндағы ε – ортаның диэлектрлік өтімділігі.

к коэффициенті ортаны физикалық қасиетіне, қоршаған зарядқа және қабылданған өлшем шамаларына e , r және F -ке тәуелді. Ең көп қолданылатын электрлік бірлік жүйелеріне электромагнитті CGSE_m (бірлік сантиметрге негізделген, грамм, секунд және электрлік тұрақтылық ϵ) және MKSA абсолютті тәжірибелік бірлік жүйесі (негізгі өлшенетін бірлік – метр, килограмм, секунд және ампер). Соңғысы СССР-да электрлік және магнитті өлшем үшін қабылданған (ГОСТ 8033 – 56). 1963 жылдан бастап халықаралық біртұтас өлшем бірлігі қолданылды (ГОСТ 9867 – 61).



7.2-сурет. Электр өрістерінің әртүрлі кескіндері

7.2-суретте күш сызықтары көмегімен электр өрістерінің әртүрлі кескіндері көрсетілген:

а және б – нүктелік оң және теріс зарядтарының өрісі;

в – екі әр атты абсолютті нүктелік зарядтардың өрісі;

г – екі тең бір атты нүктелік заряд өрісі;

д – екі бір тектес өткізуші шарлар өрісі (А заряды В зарядынан төрт есе үлкен);

е – біріккен зарядталған шар айналасындағы өріс;

ж – сым және параллель жазықтық арасындағы өріс;

з – сымдар параллель тілімше арасындағы өріс ;

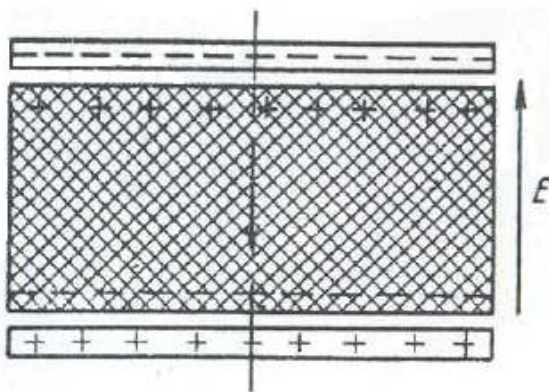
и – сым мен цилиндр арасындағы өріс;

к – екі аттас зарядталған параллель тілімшелер арасындағы өріс, параллель түзу сызықты кесінділер түрінен көрсетілген күш сызықтары.

Мұндағы барлық нүктелерде кернеу бірдей. Мұндай электрлік өріс біркелкі деп аталады. Шардың өрісі біркелкі емес, себебі шардың алыстауына байланысты өрістің кернеуі кемиді.

Біркелкі өріспен салыстырғанда біркелкі емес өрістегі электродтардың арасындағы потенциалдардың әртүрлілігі мен кернеулер арасындағы байланысы күрделірек.

Бірінші жағдайда потенциалдардың әртүрлілік градиенті, электродтардың ара қашықтығы потенциалдарының әртүрлілігін қарапайым бөлу жолы арқылы есептелмеуі керек.



7.3-сурет. Электр өрістер

Электр зарядына жақындатқанда диэлектриктер поляризацияланады, ал өткізгіштер әсерленуіне қарай электрленеді.

Онша үлкен емес кернеулі электр өрісінің ықпалынан диэлектриктің байланысқан электрлік зарядтары, оларға бағытталған күштерге қарай жылжиды, өрістің кернеулігі жоғарылаған сайын арта түседі. Оң зарядтар өрістің бағытына қарай ығыстырылып, ал терістер – қарама-қарсы бағытқа ығыстырылған болады. Электр өрісі жоғарылаған кезде зарядтар қайта өз қалпына келеді.

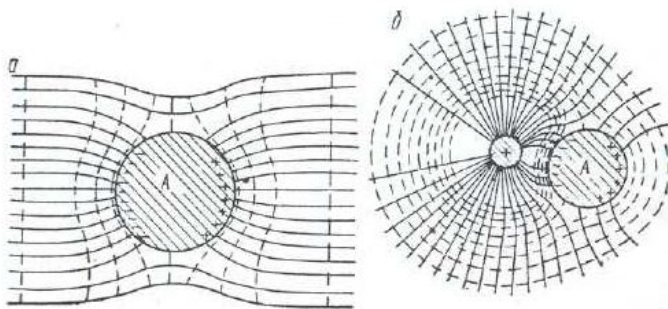
Полярлы диэлектриктерге электр өрісінің әсер етуі диполдердің айналымының әкеп соғады (полярлы молекулаларды), өріс бағытына қарай жүре бастайтын. Электр өрісінің әсерінен байланысқан электрлік зарядтардың және диэлектриктің диполдік молекулаларының бағыт алуы диэлектриктің поляризациясы деп аталады.

Поляризацияланған кезде диэлектриктердің бетінде әртүрлі белгідегі зарядтар қалыптасады. Оң электродқа қаратылған жақта теріс заряд, ал электродқа қаратылған жағында оң заряд пайда болады (7.3-сурет).

Бұл зарядтар, металды өткізгіште индуктивтіленген зарядтардан айырмашылығы, байланған, еркін емес зарядтар болып саналады, себебі оларды бір-бірінен ажыратуға, жерге тақауға және т.с.с., болмайды, магниттегі солтүстік полюстен оңтүстік полюсті ажыратуға болмайтын сияқты.

Егер электр өрісіне зарядталмаған өткізгішті енгізсе, ондағы тең мөлшердегі оң және теріс микрозарядтарға еркін әртүрлі атты зарядтарды қарама-қарсы бағытта еліктіретін күштер әсер етеді(металдарда тек электрондар ғана ығысады).

Өріске қарсы қаратылған өткізгіш жақтағы еркін зарядтардың ығысуы нәтижесінде, теріс заряд пайда, ал өріс бойына қаратылған жақта абсолюті шамаға тең оң заряд пайда болады.



7.4-сурет. Зарядталмаған шарда индукция болу кезіндегі электростатикалық өрістердің өзгерістері

Өріске салынған өткізгіште болатын еркін зарядтардың таралымы электростатикалық индукция деп аталады, ал бұдан пайда болған бетіндегі зарядтар – индукцияланған деп аталады.

4-суретте зарядталмаған өткізгіште А (шар) электростатикалық индукцияны өзгеруі салдарынан әртүрлі электростатикалық өрістердің мысалы келтірілген.

Электростатикалық өрістегі индукцияланған заряды кезінде, біркелкі емес индуктивтіленген зарядтардың бөлшектерін жан-жаққа ығысуын қамтамасыз ететін күш пайда болмайтынын атай кеткен жөн.

Өткізгіштердің индукциясы, диэлектриктердің поляризациясы секілді меншікті салмағының әсерінен бөлшектердің вертикалдан ауытқуына жеткілікті күш пайда болуымен сипатталмайды.

Сөйтіп кез-келген дененің әрбір элементарлы зарядын осы денені электрлік өрісіне орналастырса, өріс күші әсерін сезеді. Сонымен қоса, көрсетіліп кеткендей, бұл күштердің әсерінен диэлектриктер поляризацияланады, ал өткізгіштердің еркін зарядтары олар тегіс таралғанша өткізгіштердің бетінде ығысады.

Алайда, денелердегі зарядтардың тегіс таралуына жетуі олардың барлық микрозарядқа түсірген тең әсерлі күштердің нөлге қарайтынын білдірмейді (немесе осы күштердің нәтижелі

айналмалы моменті). Бұл тең әсерлі күштер (немесе айналмалы моменттер) нөлден ерекшеленеді және денелердің өзіне қойылған. Соңғыларының қозғалмаушылығы оларға әсер ететін электрлік өріс күшімен көптеген байланыстар реакцияларымен теңестірілуі арқылы іске асырылады (үйкеліс күштері, ауырлық күшімен және т.б.). Осы өрістегі зарядтар мен денелерге әсер ететін электрлік өріспен негізделген күш электрлік өрістің пондеромоторлық күштері деп аталады (латын сөзі *pondus* - салмақ). Пондеромоторлық күш – бұл жай механикалық күш, ал кернеулік – электрлік күш, заряд бірлігіне қатысты.

Электрлік өрістегі денелердің барлық қозғалысы энергия өрісіне байланысты болатындай, оның пондеромоторлық күшіне де байланысты.

Сонымен, электрлік өрісте болатын зарядталған бөлшектерге тартылыс пен тебілісі күштерінен басқа, электрлік өрістің біркелкі еместігімен анықталатын пондеромоторлық күштер де әсер етеді.

Шар тәріздес пішінді бөлшектерге әсер ететін пондеромоторлық күштердің шамасы келесі теңдеумен анықталады:

$$F_{\text{п}} = \varepsilon_1 r^3 - \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1} E \frac{dE}{dx}. \quad (7.4)$$

мұндағы, $F_{\text{п}}$ – пондеромоторлық күш;

ε_1 – ортаның диэлектрлік өтімділігі;

ε_2 – бөлшектің диэлектрлік өтімділігі;

r – бөлшектің радиусы;

E – электр өрісінің кернеулігі;

$\frac{dE}{dx}$ – оның максималды өзгеруінен алынған кернеулік.

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ болғанда $F_{\text{п}}$ күш теріс және бөлшек қарбаласқан бөліктен әлсіз өріске тебіледі; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – болса керісінше. Өйткені электросепарацияланған кезде бөлшектер орналасқан орта ауамен қамтылған $\varepsilon \approx 1$, онда

$$F=r^3 \frac{\varepsilon_2 - 1}{\varepsilon_2 + 2} E \frac{dE}{dx} \quad (7.5)$$

өткізгіштер үшін ($\varepsilon_2 \approx$):

$$F=r^3 E \frac{dE}{dx}. \quad (7.6)$$

$E \frac{dE}{dx}$ шамасы электр өрісінің мәніне тәуелді.

Біркелкі емес электр өрісінде, байытылған бөлшекке бір мезетте екі күш әсер етеді: электр өрісінің біркелкі еместігіне негізделген пондеромоторлық, және кулондық – бөлшектегі электр зарядының болуына негізделген.

Кулондық күш тіпті 1мм ірілік шамасындағы бөлшектер үшін, пондеромоторлық күштен жүз есе көп, сондықтан соңғысын әртүрлі есептеулер кезінде ескермеуге де болады. Материалдың бөлшектерінің ірілігі азайған сайын кулондық күштің рөлі өсе түседі, себебі ол $\frac{1}{r}$ функциясының шамасы

болып саналады.

Байытылатын материал бөлшегін зарядтау сепаратордың метал электродына тигізу арқылы орындалады. Соңында барлық бөлшектер біртекті заряд алады. Осы кезде көбірек заряд алатын өткізгіштігі жоғары бөлшектер, зарядталған электродтан тебіледі, ал электродтан еш заряд алмайтын диэлектриктер (онымен өзінің жанасуы кезінде), зарядталмаған қалпында қалады және сепаратордағы өз жолының бағытын өзгертпейді.

Электромагниттік өріс дегеніміз материяның ерекше түрі. Электромагниттік өріс зарядталған бөлшектер арасындағы байланыс арқылы жүреді. Ол магниттік және электрлік өріспен (индукциямен) сипатталады. Дискретті құрылым байқалса да (фотон), электромагниттік өріс кеңістікте үздіксіз тарай алады (толқындар). Гравитациялық өрістен тыс электромагниттік өрістің кеңістікте үздіксіз таралуы жарық жылдамдығына жақын. ($c=3 \cdot 10^8$ м/с). Ол жылдамдығына тәуелді зарядталған бөлшектерге күшті әсерін тигізеді.

Электрлік өріс – электромагниттік өрістің құбылысының жеке формасы; электрлік зарядпен немесе құбылмалы магниттік өріспен құрылады және электромагниттік өріс қысымымен сипатталады. Ол оған қатысты қозғалыссыз зарядталған денеге және бөлшекке күш әсерінен анықталады.

Электрлік заряд дегеніміз зарядталған бөлшектердің электромагниттік байланысының қарқындылығын анықтайтын көлем. Ең аз зарядты таситын ол қарапайым бөлшектер саналады (электрон – теріс, ал протон, позитрон – оң). Заряд санын зарядтары бар дененің күш әрекетінен анықтайды. Ол Кулон заңы бойынша анықталады.

Магниттік өріс дегеніміз, – электромагниттік өрістің формасының бір түрі. Қозғалыстағы электр заряды әрекетінен және атомдық магниттік тасушылардың (электрон, протон) спиндік магниттік моментінен пайда болады. Магниттік өріс оған қатысты қозғалыстағы зарядталған бөлшекке күш әсерінен анықталады (Лоренц күші).

Магниттік өрістің анализі мен есебі үшін теориялық негізі – потенциалдар теориясы қызмет атқарады. Магниттік байыту үшін арналған машиналар мен аппараттарда барлық электромагниттік процестер Максвелл теңдеу жүйесімен сипатталады.

Осындай әдіспен уақыт пен кеңістікте объективті қалыптасқан, магниттік және электрлік өрістің біркелкі біріккен материя формасы болып табылады. Осы өрістің бірінің уақыт пен кеңістіктегі кез–келген өзгерісі әсері екіншісінің өзгерісін тудырады. Статистикалық магниттік және электрлік өрісті электромагниттік өрістің жеке (шекті) жағдайы ретінде қарастырамыз. Ол сипаттамаларының бірін есепке алмайтындай уақытта жай өзгереді. Бұл жағдайда электромагниттік өрістің біртекті жүйесі екі тәуелсіз теңдеу жүйесіне бөлінеді деп қабылдаймыз:

$$\begin{aligned} \text{Электрлік өріс} \quad \operatorname{div} \mathbf{E} &= \rho \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} &= 0; \quad \operatorname{div} \mathbf{D} = \operatorname{div} \varepsilon \mathbf{E} = \rho. \\ \text{Магниттік өріс} \quad \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \mathbf{j} \quad \operatorname{div} \mathbf{B} = \operatorname{div} \mu \mathbf{H} = 0 \end{aligned} \quad (7.7)$$

коэффициенттері ε , μ , σ қарастырылған теңдеуде электромагниттік өрістің вакуумдағы шартпен салыстырғанда ортада таралу шарты:

$$D = \varepsilon \varepsilon_0 E_0; \quad B = \mu \mu_0 H_0; \quad j = \sigma E; \quad (7.8)$$

мұндағы, ε және μ материалды ортаның қатысты диэлектрлік және магнитті өтімділігі; ε_0 және μ_0 вакуумның диэлектрлік және магнитті өтімділігі; σ - меншікті электрөткізгіш.

Вакуумда σ ; ε және μ өрістің вакуумнан материалды ортаға өткенде қаншалықты күшеюін немесе әлсіреуін көрсетеді (газ, сұйық, қатты дене немесе плазма).

СИ жүйесінде $\varepsilon_0 = 1/4\pi \cdot 9 \cdot 10^9$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн\м. Гаусс жүйесінде (СГСМ немесе СГСЕ) $\varepsilon_0 = \mu_0 = 1$, сондықтан оны үнемі жібереді. μ бұл жүйедегі өлшемсіздігі Н пен В бір өлшемді екенін көрсетеді. Олардың аттарының айырмашылығы (эрстед және гаусс) зат пен вакуумдағы өрісті шектеу үшін керек.

Формуладағы орнын толықтыратын Н пен В айырмашылығы 4π , 1\с және 4π түріндегі коэффициенттердің болуы, олардың Гаусс жүйесінде жазылғандығын білдіреді. СГСЕ жүйесі ізденіс жұмыстарында үнемі қолда электромагниттік өрістің күш сызықтарының бір ортадан басқа ортаға өтуі кезінде, осы фазалардың бөлігінің бетіне түсу бұрышының тангенсі, осы ортаның өтімділігіне қатысты. Мысалы:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 \backslash \operatorname{tg} \alpha_2 = \mu_1 \backslash \mu_2 \quad (7.9)$$

Егер $t_1 = t_2$ болса, онда бұл теңдеу магнит күшіне қатысты F'_M :

$$F'_M = g \cos + y(v^2 + Lg \sin \alpha + v_0) \sqrt{v^2 + 2Lg \sin \alpha} / L^2 \quad (7.10)$$

Алынған формула анализі бұрыштың өсуінен бөлшектердің сепаратор жұмыс ауданынан өту (сепаратор өнімділігі) жылдамдығы да көбейеді. Бірақ магнитті бөлшектердің алу шартын сақтау үшін v_0 арту жылдамдығымен және бұрышымен қатар F'_M көбейту керек.

Жеке жағдайда горизонтальді қозғалыста ($\alpha = 0$)

$$F'_M = g + 2h\nu_0 / L^2 \quad \nu_0 = L \sqrt{(F'_M - g)} / (2h) \quad (7.11)$$

Беру жылдамдығын көбейту үшін магниттік күш F'_M пен сепаратор ұзындығын L көбейту керек.

Тік қозғалыста ($\alpha=0$):

$$F'_M = h(\nu_0^2 + Lg + \nu_0 \sqrt{g^2 + Lg}) / L^2 \quad (7.12)$$

ν_0 беру жылдамдығы кезінде магниттік күш ауырлық күшінен аз болады, себебі:

$$F'_M = hg \backslash L.$$

Өнімділікті көбейту үшін материалдың берілім күшін қоректендірушімен ν_0 және бөлшектегіш аппараттың жұмыс ауданына келетін бөлшек қабатының енін көбейту керек, алайда бұл жағдайда алынған магнит күшін қатысты көбейту керек. Бөлшектердің жеткілікті масса ағыны жылдамдығы кезінде барабанды сепаратордың қисық сызықты жұмыс ауданында бағыттағы бөлшекке әсер ететін және қарсы бағытта магнит күшін алып тастайтын ортадан тепкіш күшті міндетті түрде ескеру керек. Ортадан тепкіш күш электромагниттік емес бөлшектердің қалдығын жоюға әсер етеді, бірақ электромагниттік бөлшектерді сақтап тұру үшін қажет белсенді күшті тегіс көбейту үшін керек.

Материал сепаратордың жұмыс ауданында берілім жылдамдығын қоректендірушінің биіктігіне немесе қоректендіруші науа бұрышы мен ұзындығымен реттеледі.

Мысалы, қорек өзі ағызысымен берілген жағдайды қарастырамыз. Бөлшектің еңіс жазықтығы бойынша қозғалыс үдеуі:

$$g_0 = g \sin - g \cos t g \varphi = g \sin(\alpha - \varphi), \quad (7.13)$$

мұндағы, φ – үйкелу бұрышы.

Бастапқы моментте бөлшектің жылдамдығы нөлге тең деп алайық, онда қоректендіруші науа ұзындығы : $S_0 = 0,5g_0t^2$

$$t = 2S_0 / g_0; \quad \nu = g_0t$$

Бар мәнді g_0 және t_0 формулаға қоямыз:

$$v = \sqrt{2S_0 g \sin(\alpha - \varphi) / \cos \varphi} \quad (7.14)$$

(7.13) формуласы бойынша v_0 (7.14) формулаға қарағанда көп болуы мүмкін. Себебі соңғы жағдайда қисық сызықты қозғалыс және ортадан тепкіш күштің үзілу бөлшегі пайда болады. Өзі аққыш берілім жылдамдығы бұрышынан (α жоғарылаған сайын v_0 артады), қоректендіруші науа ұзындығына S_0 , үйкелу бұрышына φ , (φ өссе v_0 азаяды) және ағынның айналым радиусына байланысты (v_0 артады).

Магнитті бөлшекке (ильменит) әсер ететін магниттік күш мағынасын ЭВС типті сепараторда (электромагнитті, валкалі, құрғақ) анықтауға болады. Құрғақ сепараторда алып тастау тәртібінде тарту зонасы басында анықталады.

Дәнектердің орнын қиындықсыз ауыстыруын қамтамасыз ету қажеттілігінен ескеріп, қоректендіруші науаның еңіс бұрышы 45^0 деп қабылдаймыз. Қалған өлшемдердің мағыналары мынадай: $L=0,05\text{м}$, $h=0,004\text{м}$, $S_0=0,2\text{м}$, үйкелу бұрышы⁰.

Тарту зонасы басындағы бөлшек жылдамдығы:

$$v_0 = \sqrt{2S_0 g \sin(\alpha - \varphi) / \cos \varphi} = \sqrt{2 \cdot 0,2 \cdot 9,8 \sin(45^0 - 38^0) / \cos 38^0} \approx 0,78 \text{ м/с}$$

Ильменит дәнегіне әсер ететін меншікті магнит күші негізгі механикалық күш жиынтығына тең болу керек: дәнек ауырлығының радиалды құрушы күші:

$$g \cos \alpha = 9,8 \cos 45^0 \approx 6,9 \text{ м/с}$$

Қозғалыстағы дәнек инерциясы:

$$\begin{aligned} h(v_0^2 + Lg \sin \alpha + v_0 \sqrt{v_0^2 + 2Lg \sin \alpha}) / L^2 = \\ = 0,004(0,78^2 + 0,05 \cdot 9,8 \sin 45^0 + \\ + 0,78 \sqrt{0,78^2 + 2 \cdot 0,05 \cdot 9,8 \sin 45^0}) / 0,05^2 \approx 2,9 \text{ м/с}^2 \\ F'_m = 6,9 + 2,9 = 9,8 \text{ м/с} \end{aligned}$$

Сулы байытуда қоректің төменгі жағынан берілуі кезіндегі бөлшекті алу динамикасының ерекшелігі – тұтқыр орта болып саналатын сулы суспензиялар мен сұйық диэлектриктердегі бөлшекке бөлу күші мен ауырлық күшінен басқа, қозғалыс кернеуі және қозғалысқа қарсы күш (ұсақтарына–Ален күші, ұнтақтарына–Стокс заңы) әсер етеді. Осы өрнектердің мәндерін (7.14) теңдеудің оң жағына қойып, активті (белсенді) күштің бөлшектер ірілігі мен сепарация аймағының өлшеміне тәуелділігін аламыз. Ұнтақ бөлшектер мен кедей қалдықтарды ауырлық күшінен ондаған есе көп активті (белсенді) күштермен алуға болады. Оларды алу үшін сепарация аймағының L ұзындығын ұлғайту және биіктігін h кеміту керек. Алынатын бөлшектің сепарация аймағындағы қозғалысының траекториясының схемалық көрінісі көрсетілген. $L = v_0 t$; $t = L / v_0$ деп жазуға болады.

v тепе-тең жылдамдатылған деп қабылдайық, сонда $h = 0,5at^2$ және $v = at$. Осының негізінде $a = 2h / t^2$; $v = 2ht$, бірақ $t = L / v$, онда $v = 2v_0 / t$.

Стокс заңы бойынша ортаның қарсылық күші:

$$F_c = 18\mu v / (d^2 \rho) = 36\mu h v_0^2 / L^2,$$

мұндағы μ, ρ – ортаның тығыздығына және тұтқырлығына сәйкес.

Бөлшекке v жылдамдығын беруге қажетті күш, үдеуге тең, себебі біз меншікті күштерді қолданамыз

$$F_v = a = 2h / t^2 = 2hv_0^2 / L^2$$

Сұйықтықтағы ауырлықтың меншікті күші

$$F_a = g(\rho - \Delta) / \rho$$

немесе

$$F'_m > g \frac{\rho - \Delta}{\rho} + \frac{2hv_0^2}{L} \left(\frac{v_0}{L} + \frac{18\mu}{d^2 \rho} \right) \quad (7.15)$$

болуы керек.

Берілген мысалға мүмкін боларлық магнитті күш арқылы сепарация процесінің басқа да маңызды параметрлерін (бөлшектердің және жұмыс кеңістігінің өлшемдерін) тауып алуға болады.

d -ға қатысты (7.15) теңдеуін шешу арқылы келесі теңдеуді аламыз:

$$d = \sqrt{\frac{36\mu h v_0}{pL[F_m^t - g(p-\Delta)p]}} \quad (7.16)$$

мұндағы, d – алынатын бөлшектің (немесе флокуланың) минималды өлшемі.

Бөліну аймағының қажетті ұзындығын осыған ұқсас жолмен табамыз:

$$L = \frac{18\mu h v_0 \pm v \sqrt{2h(15\mu^2 h + d^4 \delta^2)} [F_m^t - g(p-\Delta)/p]}{d^2 p [F_m^t - g(p-\Delta)/p]} \quad (7.17)$$

Осы формулалардың негізінде сумен толтырылған кеңістік үшін 0,5м/с тең v_0 .

Мұндағы, K коэффициент ($K=0,1-0,17$); соленоид қолданатын қуаттылық; катушканың өту материалымен толудегейін ескеретін коэффициент; олардың меншікті қарсы тұруы.

Өріс кернеулілігінің шеткі жазықтықтан x осінің қашықтықтағы өшіру нүктесі:

$$H = i n a^2 \sqrt{2(a^2 + x^2)^{3/2}} \quad (7.18)$$

(7.17) формуласына сәйкес, H тан туындыны алып және оны (7.18) теңдеуіне көбейтеміз, магниттік күшті аламыз:

$$H = i^2 n^3 a^3$$

X -тің көбеюі күштің дәрежелік тәуелділікте көбеюіне әкеледі. Егер арақашықтық орамның радиусы үлесінде көрсетсек, онда күштің көбірек болатын арақашықтығын табуға болады:

$$HdH/dx = 3H_0^2/a \quad (7.19)$$

Осы мағынада магнит қозғалтқыш күш және радиустың көп күші максимумында жетеді. өрнегін ξ арқылы белгілейміз. (7.19) теңдеуін максимумға зерттейміз:

$$\begin{aligned} d\xi/dx &= (1-7\xi^2)(1+\xi^2)^5 = 0 \\ \xi_{\max} &= 1/\sqrt{7} = 0,378 \end{aligned}$$

Осы әдіспен соленоидтің магниттік өріс күші $x=0,378a_1$ кезінде максималдық болатынын анықтаймыз.

Сепаратор жұмыс аймағындағы бірыңғай емес өрісті көбейту мақсатында әлсіз магнитті минерал сепарациясында қолданатын ұшты полюс төбесінен бөлшекті жою кезінде тарту күші одан да кемиді. Кернеулікті, магнит өрісі күшін және магнитті және жоғары градиентті сепараторда қолданатын түрлі полюс пішінінде магнит қозғалтқыш күштің есебі үшін керек формулалар берілген.

8. ЭЛЕКТРЛІК БАЙЫТУ ӘДІСІНДЕ ҚОЛДАНАТЫН СЕПАРАТОРЛАРДЫҢ ТҮРЛЕРІ

Электрлік байыту жұмысын іске асыратын машиналар *электрлік бөлгіштер* деп аталады. Бұл бөлгіштердің өзіндік ерекшелігі олардың электр өрісін қолданып жұмыс істеуінде. Кеннің бөлгіштердің электр өрісінен өткізілуі нәтижесінде түрлі электрлік ерекшеліктері бар және әртүрлі үлкендіктегі бөлшектер түрлі траектория бойынша қозғалысқа түседі де қандай да бір байыту өніміне айналады.

Бөлгіштердің бойымен кеннің жүргізілуі барысында бұл бөлшектерге электр күштерінен басқа, механикалық күштер де әсер етеді. Бұлар – салмақ күші, орталыққа тарту күші (машиналардың кейбір бөліктерінде), сондай-ақ ортаның тебіну күші, бөлшектердің молекулярлық байланысу күші. Басқаша айтқанда, құрғақ магниттік айыру кезінде әсер ететін (магниттік күштен басқа) барлық күштер бұл үрдісте де әсер етеді.

Табиғаттағы барлық денелер оң немесе теріс электр зарядына ие. Егер де дененің екі қарама-қарсы заряды бірдей мөлшерде болса, бұндай дененің электрлігі әсерсіз болады.

Бөлшектерге заряд тасымалдаудың түрлі әдістері болады.

Егер де екі бөлшекті – диэлектрик пен өткізгішті электр өрісінде электродтардың біріне, мысалы оң электродқа орналастыратын болсақ, екі бөлшектің де оң электродқа қаратылған бетінде теріс заряд пайда болады, ал оған қарама - қарсы бетінде оң заряд пайда болады. Өткізгіштігінде, электр тоғын жақсы өткізуінің арқасында теріс заряд оң электродқа өтеді де жойылады. Осының салдарынан өткізгішке төменгі электродтың зарядындай заряд келеді де одан тебінеді. Диэлектрлігінде оның поляризациясының себебінен теріс заряд оң электродқа өте алмайды. Сондықтан екі қарама – қарсы тең дәрежедегі зарядқа ие бұл бөлшек электрлік күш бере алмайды және электродтан тебіне алмайды.

Қуаттандырылған электродтағы диэлектрліктер мен өткізгіштердің осы айырмашылығын негізге ала отырып, оларды электр өрісінде бір-бірінен ажыратып алуға болады. Электрлік бөлгіштердің алғашқы құрылғылары дәл осындай негізбен

жұмыс істейтін болған. Тәжірибеде, бірі жақсы өткізгіш, ал екіншісі жақсы диэлектрлік болатындай ойдағыдай минералдар үйлесі сирек кездеседі. Көбінесе электрлік өткізгіштігі жағынан өзара қатты айырмашылығы жоқ жартылай өткізгіштер мен диэлектрлер немесе жартылай өткізгіштер минералдар үйлесімдігі көптеп кездеседі. Мұндай кендерді байыту үшін бөлшектерге электр зарядын тасымалдаудың жоғарыда айтылған әдісі онша тиімді нәтиже бермейді.

Электр өрісінде зарядтардың пайда болу бастауының көзі сондай-ақ, тәждік разряд түрінде болуы мүмкін. Бізге белгілі мәліметтер бойынша, газдардағы электрлік разряд екі түрлі болып келеді: тәждік және ұшқындық.

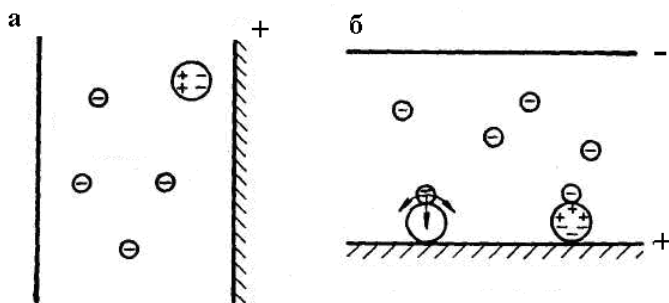
Ұшқындық разряд біртекті және біртекті емес электр өрісінде бола алады. Ол электродтарға жүктелген анықталған шектердегі кернеулердің жоғарылауы кезінде пайда болатын электродтар арасы газ сытылып шығуы түрінде болады. Бұл шектеулер электродтардың, пішіндері мен ауалық ортадағы (оның дымқылдығы, температурасы, тозаң концентрациясы және т.б.) күйінің арасындағы ара қашықтыққа байланысты болады.

Тәждік разряд тек біртекті емес электр өрісінде, жіңішке электродтар жақтауында кішігірім аумақтарда пайда болады және карама қарсы электродқа дейін таралмайды. Егер, біреуінің қисықтық радиусы аз болатын (сымтемір, шеге және басқа затқа), ал екіншісі жазықтау немесе қисықтық радиусы үлкен болатын екі электродқа мүмкіндік қуаттарының біршама әртүрлілігін тиістірсе, онда сым түріндегі электродқа жақын өріс кернеулілігі, жазық электродтағыға қарағанда әлдеқайда жоғары болады. Осының нәтижесінде мүмкіндік қуаттарының белгілі бір түрлілігінде жіңішке электрод маңайында ауаның иондалуына ұласатын тәждік разряд жүріп жатады. Ауаның қуатталған бөлшектері, яғни иондар тәждейтін электродтан карама - қарсы электродқа қарай қозғалыста болады. Яғни, бұл дегеніміз электродтар арасында электр тогы пайда болады, ол токты тәж тогы деп атайды. Бұл токтың көлемі электродтар мен олардың қуаттары арасында уақыт бірлігіне өтетін иондар мөлшерімен анықталады.

Электрлік сепараторлардың тәждейтін электродтары әдетте, жоғары қуатты кернеу көзінің теріс жағына жалғанады, ал керісінше электродтар оң жағына жалғанады (әдетте, оларды жерге қадайды).

Тәждік разрядтың пайда болуы иондалуымен жалғасады. Мұндағы түзілген оң иондар теріс қуатты тәждеуші электродқа қарай қозғалыста болады және оған өз қуатын береді. Теріс иондарға келер болсақ, олар бұған керісінше бағыттағы оң (жерге қадалған) электродқа қарай қозғалып, электродтар арасындағы кеңістікті өзімен толтырады. Бұл иондар өзімен тәждік сепаратордың ықпал аумағына кіретін материалдың барлық бөлшектерін қуаттайды. Ал ол бөлшектер электр өрісінің әсерімен қарама - қарсы белгідегі электродқа қарай қозғалып, сол жерде тұрақтайды.

8.1-суретте тәждік разряд өрісіндегі бөлшектердің қуатталу сызбасы келтірілген.



8.1-сурет. Тәждік разряд өрісіндегі бөлшектердің қуатталу сызбасы

Бөлшектер жерге қадалған электродқа қосылмаған кезде (4.2а-сурет), олар мұның нәтижесінде беткейлеріндегі теріс иондардың адсорбциясы нәтижесінде теріс қуат жинайды және сол электродқа тартылады. Бөлшектер жерге қадалған электродқа қосылған кезде (4.2б-сурет) біртегісте бөлшектердің қуатталу және разрядталу процесі жүреді. Мұнда бөлшектер қаншалықты өткізгіш қасиетке ие болса, олардың разрядталуы да соншалықты тез жүзеге асып отырады.

Электрлік бөлгіштерде короналық разрядтаумен қатар, радиоактивтілік сәулелендіру жолымен де ион алуға болады. Бұл мақсатта 140,3 күндік жартылай ыдырау кезеңі бар полония 210-ды қолдануға болады. Р-210 α -сәулелендіру энергиясы 5,3 Мэв-қа (млн.электрон-вольт) тең. Қалыпты жағдайларда иондардың ауадағы қозғалыс ұзындығы 3,8 см. Бұл жағдайларда бір α бөлшегі $1,5 \times 10^5$ жұп ион жаратады. Иондардың осы және басқа да көздері тәждік разрядтармен қатар электрлік бөлгіштерде қолданыла алады.

Сондай-ақ, электрлік бөлу кезінде, дірілді науаша түрінде немесе басқа да түрлі бөлшектердің қозғалуы кезінде пайда болатын, трибоэлектрлік қуаттар немесе үйкеліс қуаттары маңызды рөл атқарады. Мұнда кен қозғалатын науашаның материалы мен оның беткейінің жағдайы маңызды.

Эртектегі физикалық денелердің өзара үйкелісі кезінде олар көлемі абсолюттік жағынан тең, бірақ электрлік белгілері әртүрлі қуаттармен қуатталады. Дененің үйкеліс кезіндегі алатын қуат белгісі дененің табиғатына, беткейінің жағдайына және басқа да факторларға байланысты болып келеді. Сондықтан, бір дене жоғарыда атап өткен факторларға байланысты әртүрлі оң немесе теріс қуат алуы мүмкін.

Кейбір кристалдарды, сол кристалдардың ішіндегі екі кристалдың үйкелісінің нәтижесінде, алғашқысы оң, ал кейінгісі теріс қуат алатын, былайша айтқанда, бір трибоэлектрлік қатарға орналастыруға болады. Мұндай қатарларды Фарадей, Гезехиус және т.б. құрастырған. Гезехиус алғаш болып үйкеліспен қуаттану құбылысының электрондарының әрекетіне байланысты екендігін айтқан. Кейінірек, Я.И. Френкель үйкеліс арқылы қуаттану кезінде болатын құбылыстарды түсіндіретін, екі қатпарлық теориясын ортаға қойды.

Өңделетін материалдардың түрлі сыңарлары жеткілікті көлемде, әртүрлі заряд белгісін алатын болса, онда оларды электрлік айырғышта айыру сәтті аяқталады.

Кейбір денелерде заряд алудың көзі механикалық кернеулер, қыздыру немесе радий немесе жарықпен сәулелендіру болуы мүмкін. Мысалға, шынытас тілімшесінің қысылу кезіндегі тілімшенің қарама-қарсы беттерінде

пьезоэлектрлік зарядтар пайда болады. Кейбір кристалдардың, мәселен турмалиннің, қыздырылуы немесе олардың суытылуы, пироэлектрлік зарядтардың пайда болуына ұласады.

Электрлік бөлу кезінде тәждік разряд өрісінде зарядталған электродпен түйісу кезінде, минералдардың бөлшектерінен алынатын зарядтар және трибоэлектрлік зарядтар маңызды рөл атқарады. Заряд алудың басқа көздері болса, тек қана белгілі бір құрамада орналасқан минералдардың бөлінуі кезінде ғана тәуелді қызмет атқарады. Қандай-да бір электрлік бөлгіштерде электрлік бөлу кезінде бөлшектерді электрлеудің бір ғана тәсілі сирек қолданылады.

Көбінесе жоғарыда аталған тәсілдердің барлығы бірдей, ал тәждейтін электрод болмаған кездерде соңғы екі тәсіл қатарынан тең дәрежелі бөлшектерді электрлеу үрдісіне қатысады.

Электрлік байыту үрдісінде маңызды қызмет атқаратын басты электрлік қасиеттер электр өткізгіштік және диэлектрлік өтімділік қасиеттері болып табылады. Электр өткізгіштік минералдарда сырттан келген қосындылардың болуына өте қатты байланысты болады. Бұл қосындылар аз мөлшерде болған жағдайдың өзінде минералдардың электр өткізгіштігі бірден өзгереді. Өртүрлі әдебиет көздерінде келтірілген мәліметтердің сан алуан түрлілігін осымен түсіндіруге болады.

Өткізгіштік сипаты (ион немесе электрондар сияқты қозғалмалы зарядтардың тегіне қарай) иондық, электрондық немесе аралас болуы мүмкін. Электрлік байыту үрдісінде бөлшектердің электрондық өткізгіштігі рөл ойнайды.

Электр өткізгіштігі көлеміне қарай кристалдық денелер үш сыныпқа бөлінеді:

металдар (өткізгіштер), бұлардың электр өткізгіштігі 10^2 - 10^3 сим/м (симменс/метр) (10^4 - 10^5 ом⁻¹. ғсм⁻¹);

жартылай өткізгіштер, бұлардың электр өткізгіштігі 10 - 10^8 сим/м (10^2 -нен 10^{-10} -ға дейін ом⁻¹. см⁻¹);

өткізбейтіндер, бұлардың электр өткізгіштігі 10^{-12} сим/м (10^{-14} ом⁻¹. см⁻¹) және төмен.

Жартылай өткізгіштердің металдардан айырмашылығы тек қана электр өткізгіштігінің аздығында ғана емес, сонымен қатар

электр өткізгіштігінің температураға байланыстылығының дәрежесінде.

Металл-өткізгіштердің электр өткізгіштігі температураның жоғарылауымен азайса, жартылай өткізгіштерде электр өткізгіштік қасиеті керісінше, артады.

Электрлік байыту, негізінен алғанда, минералдық бөлшектер беткейінің қасиетіне байланысты болады. Сондықтан ол беткейлерді алдын-ала дайындау байыту үрдісінің нәтижелілігіне көп әсер етеді. Жоғарыда айтып өткеніміздей, қатты дымқыл материалды айыру үрдісі онша тиімді болмайды. Мұның себебі дымқылдық түрлі минералдардың электр өткізгіштік айырмашылықтарын азайтады. Сондықтан аталмыш тәсілмен байыту кезінде материал құрғақ болуы керек. Бұл үшін кей жағдайларда кенді арнайы алдын-ала кептіру қажет болуы мүмкін.

Кейбір материалдарды электрлік бөлудің тиімділігі 50–60°C және одан да жоғары температураға дейін қыздыру барысында артқандығы байқалған. Осы себептен өндірістік электрлік бөлгіштерді құрастыру кезінде материалды машинаның электрлік өрісіне орналастырмас бұрын қыздыратын құрылғылар қондырылады. Кеннің тозаң тектес бөлшектері жиі-жиі басқа да бөлшектерді орап алады. Бұл электрлік бөлудің тиімділігін азайтады. Сондықтан алдын-ала тозаңнан тазарту әдетте, байытудың көрсеткішін арттырады. Түйіршікті және тозаң текті бөлікшелер әртүрлі айырғыштарда байытылады. Ал тозаңнан тазарту ол да арнайы бөлек электрлік бөлгіштерде жүзеге асырылады.

Минералдардың электр өткізгіштігінің айырмашылығы аз болған жағдайда кендерді өз ішінде ірілігіне қарай сыныптарға бөлу, электрлік бөлу көрсеткішін тағы да арттырады. Электрлік бөлудің нәтижесі бөлшектердің беткейінің жағдайына және қасиетіне (яғни, электр өткізгіштігіне) байланысты болады.

Минералдар бөлшектерінің беткейінің кірленуі олардың электрлік қасиетін өзгертуі және сол арқылы ол минералдардың электр өрісінде ыдырауының тиімділігіне кері әсерін тигізуі мүмкін. Беткейлердің тазартылуы кейде таза суда араластыру

арқылы, кейде қатты сұрткілеу арқылы, кейде сірке және тұз қышқылдарының ерітіндісінде жасалады.

В.А. Рундквис және В.И. Выменецтің зерттеулері бойынша, шынытас беткейлерінің айдалған сумен жақсылап жуылуы және айырғышқа қойылмас бұрын құрғатылуы шынытастың цилиндрлік электродқа тартылуын күшейткен.

Зерттеулер көрсеткеніндей, диэлектрлілердің беткейінің электр өткізгіштігі олардағы дымқылдық пен ауаның адсорбциясына көп тәуелді болады. Сутартқыш диэлектрлілердің беткейінде дымқылдық жылдам адсорбцияланады. Бұл беткейдің электр өткізгіштігін арттырады. Ал су сіңірмейтін беткейлі диэлектрлілерде баяу адсорбцияланады. Мұндай жағдайда тиісінше электр өткізгіштік аса өзгермейді. Мысалы, су сіңірмейтін парафинде электрлік кедергі дымқылдық пен ауаның 0–70% –дық қатысында бірдей ($\sim 10^{16}$ Ом) болады. Ал, су тартқыш мәрмәрда бұл көрсеткіш 10^{14} – 10^{15} –тен 10^9 – 10^{10} Ом-ға дейін төмендейді.

Диэлектрлік минералдардың электрлік қасиетін өзгертуі олардың беткейіндегі электр өткізгіштік айырмашылығын қолдан арттыруға мүмкіндік береді.

Органикалық көпфазалық аумақты заттар минералдың беткейінде адсорбцияланып немесе химиялық әрекетке түсіп, сол беткейдің су сіңірместігін арттырады, суға жабысу қасиетін төмендетеді, адсорбцияланған дымқылдықтың мөлшерін азайтады және минералдың электр өткізгіштігін төмендетеді.

Электрлік бөлгіштер бір-бірінен өріс сипатына, электрлену әдісіне, құрастыру ерекшеліктеріне және басқа да белгілеріне қарай ерекшелінеді.

Электрлік бөлгіштердің жіктелуінің негізіне келесі негізгі белгілер кіреді:

1. Байыту жүргізілетін электрлік өріс сипаты. Осы белгілеріне қарай барлық бөлгіштер мына түрлерге бөлінеді:

а) байыту ауалық ортадағы электрстатикалық өрісте жүретін бөлгіштер;

б) сол сияқты, бірақ ауалық ортадағы тәждік разряд өрісінде; байыту кезектесіп, ауалық ортадағы тәждік разрядта және электрстатикалық өрісте жүзеге асатын бөлгіштер;

в) бөліну дымқыл диэлектрикалы ортадағы электрстатикалық біртекті емес өрісте жүзеге асатын бөлгіштер.

2. Электрлік бөлгіштердің соңғы түрі шектелген аумақта, минералогиялық сараптама кезінде мономинералды фракция алу үшін қолданылады. Трибоадгезионды бөлгіштердің электрлік өрісі болмайды және сол себептен олар электрлік бөлгіштерге жатпайды. Олар осы уақытқа дейін пайдалы қазбаларды байыту үшін қолданысқа ие бола алмады. Диэлектрлік және трибоадгезионды бөлгіштер техникалық әдебиеттерде көрсетілген.

Бөлгіштердің, оның жұмыс аумағының немесе шөктіретін электродтардың құрамалық ерекшеліктері. Осы белгілеріне қарай машиналардың келесі негізгі түрлерін бөліп айтуға болады: аунақшалы, атанақты, камералы, қатпарлық, құбырлық, таспалық және т.б.

Электрстатикалық бөлгіштерде байытуға түсетін материал оқтауланған металды электродқа келіп түседі, олардың барлық бөлшектері түйіспелі оқтам алады. Сонымен қатар, өткізгіштің бөлшектері белгісіне қарай электродпен бірдей көлемді оқтам алады және одан кері итеріледі.

Бағыттауыш емес – диэлектриктер оқшауланған электродтармен түйісу кезінде поляризацияланады, соңғы жағында әртатас пайда болады, ал қарама-қарсы жағында электрод оқтамамен бірге біраттас пайда болады және осы электродқа қатысты олар электрлік ортада болып саналады.

Электростатикалық бөлгіштердегі жақсы бөлінуі бөлетін минералдардың электроөткізгіштігі мен ірілігіне байланысты ұсақ кластардың материалының жіктелуінде болатын көлемді айырмашылық кезінде болуы мүмкін.

Егер материалды алдын-ала белгі электродына қатысты қарама-қарсы электрмен оқтауласа, онда өткізетін және өткізбейтін қозғалыс траекториясының бөлінуі ұшқыр болып келеді. Бұл кезде өткізгіштер электродқа түсе отырып өзінің оқтам белгісін ауыстырады және кері итеріледі, ал өткізбейтіндер – электродқа тартылады. Бұл үшін кейбір бөлгіштерде иондауды қолданады. Ол өткізбейтіндер қосымша белгінің шөктіру электродына қарама-қарсы иондармен

оқтауланатын, ұшқыр электродпен жүзеге асады. Бұл жағдай өткізбейтіндердің осы электродтарға тартылуын күшейтеді.

Бөлінетін материалдың бөлшегінің түйіспелі оқтамын қолданатын электростатикалық бөлгіштердің көп түрлері белгілі, алайда іс жүзінде олардың кейбіреуі ғана қолданысқа ие болды.

Джонсонның аунақшалы екікаскадты электрстатикалық бөлгіші, бастапқы материалды ірілігіне қарай әртүрлі екі өнімге бөлетін, жіктейтін айналмалы жерге қосылған электродтан А тұрады (8.2-сурет). Өнімдердің әрқайсысы айналмалы жерге қосылған электродтар каскадына келіп түседі. А және В электродтары мыстан, жезден немесе тоттанбайтын болаттан дайындалады және оның диаметрі 75, ал ұзындығы 2400 мм болады.

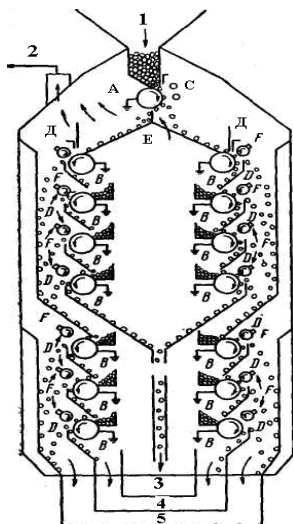
«А» электродына төтеп беретін қозғалыссыз оқтауланған біраттас электродтар С, өз алдына 5-6 мм диаметрлі өзекті сипаттайды, ал шөктіру электродтарына F қарсы тұратын айналмалы электродтардың Д диаметрі 25 мм болады. Түсіретін қылшақ F электродтарды Д тазалау үшін қызмет етеді. С және Д электродтарына жоғары кернеу түседі.

Бұл электродтардың оқтам белгісін, жоғарыда айтылған минералдарды келтіру құбылыстарын қолдану үшін соған байланысты етіп таңдайды. Бұл бөлгіштерде бөлшектер түйіспесімен, электродтармен және бөлшектер үйкелісімен пайда болатын электрлендіру үлкен орын алады. Бөлу алдында кенді 80–120°С–қа дейін қыздырады. Электродтар 35–60 об/мин жылдамдықпен айналады, осыған байланысты жоғары жылдамдықтар едәуір ұсақ материалдарға, бөлгіш минералдардың айырмашылығы үлкен болған кезде қолданылады. С электродтарының әлеуеті 3-6 кв аралығында өзгереді, ал Д электродтары – 5-18 кв аралығында. В және Д электродтары арасындағы ток 5 мА тең; 1м ұзындыққа В аунақшаларының өнімділігі 1–2 т/сағ құрайды.

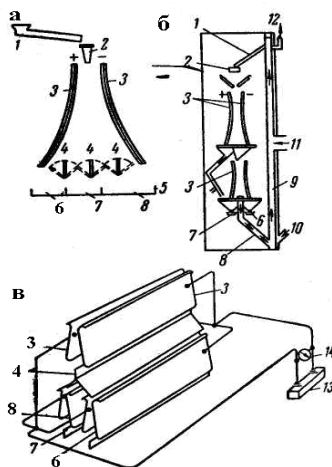
АҚШ фабрикаларының біреуінде осындай құраманың 12 аунақшалы бөлгіште кианит пен пироксеннен вермукулитті бөліп алу өндірілген. Материал әртүрлі машиналарда -3+0,5мм және -0,5мм сыныптарына бөлшектенген. Бөлу алдында кенді

кыздыру температурасы 120° -қа жетті. Вермикулиттің бастапқы құрамы 32 % кезінде оның концентраттағы құрамы 96,5 % -ға тең болды, ал алынған кезде 92,4 % -ды құрады.

Трибоэлектростатикалық камералы бөлгіштердің сұлбасы 8.2-суретте көрсетілген. Сегментті электродпен жабдықталған алюминий құбырдан тұратын камералы бөлгіштер 8.2-суретте а, б, ал тілімшелі электродтармен жабдықталғандар 8.2 в - суретте көрсетілген.



8.2-сурет. Джонсонның аунақшалы екі каскадты электростатикалық бөлгіші
1-Бастапқы кепкен және шансыз кен; 2- Шаң ұстағыш; 3 - қалдық;
4- екі аралық өнім; 5 - концентрат



8.3-сурет. Трибоэлектростатикалық камералы бөлгіштердің сұлбасы
а - бір секциялық; б - екі секциялық; в - үш секциялық;
1 - лоток; 2 - бағыт беретін жүйелер; 3 - электродтар;
4 - бөлетін шибелер;
5 - қабылдағыш; 6 - кварцпен бай фракция; 7 - екі аралық өнім;
8 - фосфорит бай фракция;
9 - элеватор; 10 - кен; 11 - газ 175-260°C; 12 - газ 95°C; 13 - ток; 14 - басқару пульті

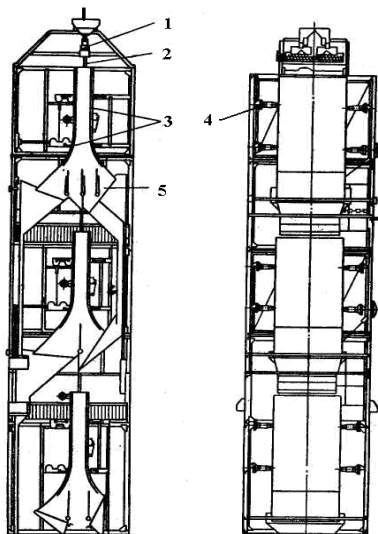
Бұл бөлгіштерде материал діріл науашасында немесе басқа да әдіспен трибоэлектрлік заряд алады, әрі жоғары кернеу беріліп тұратын электродтар 3 арасына еркін құлайды (8.2 а,б-сурет).

Өнеркәсіп бөлгіштерінің мұндай түрі үш бөлікті болып шығарылады, мысалы, фосфоритті кендерді байытуға ойлап шығарылған трибоэлектростатикалық камералы бөлгіш ГИГХС секілді (8.3-суретте).

Камералы сепараторлардың құрылысы өте қарапайым болып келеді. Қозғалатын бөлшектері жоқ, алайда, қатты биіктікті қажет етеді. Электродтардың әр жұбы, 23м биіктікке ие. Электродтар арасындағы қашықтық 0,2 метрден 0,3 метрге дейін болады. Бөлгіштің өндірістік қуаты ~ 2 м/сағ.

Соңғы жылдары тәжді разряд пен электростатикалық өріс қатар істейтін электрлі бөлгіштер көп қолданысқа түсе бастады. Бұл екі өрістің бір машинадағы терме үйлесі минералдардың электр өткізгіштігіне қарай бөлінуін жақсарттады.

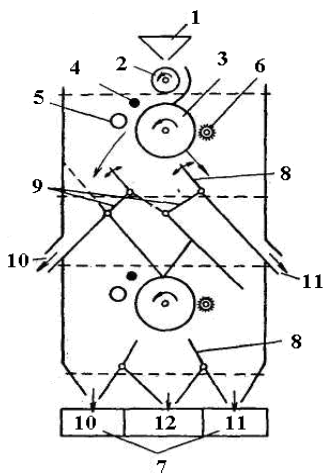
Мұндай бөлгіштерде (8.4-сурет) екі шөктірмелі электрод болады (3) бұлар бір-бірінің астына орналасады, әр шөктірмелі электродқа қарама қарсы тәждеуші орналасады (4) және тәжді разряд өрісі мен электростатикалық өріс тудыратын ауытқытушы электрод (5) орналасады.



8.4-сурет.

Трибоэлектростатикалық
камералы бөлгіш ГИГХС

- 1 - қамтамасыз ету; 2 - бағыт
беретін жүйелер;
3 - электродтар; 4 - изоляторлар;
5 - бөлетін шиберлер



8.5- сурет. Тәж-электростатикалық
бөлгіштер

- 1 - бункер; 2 - барабаны бар
қамтамсыз ету; 3- электрод
4 - тәждік электрод; 5 - бағытты
электрод; 6 - щетка;
7 - қабылдағыш; 8 - бөлетін
шиберлер; 9-қабырғалар;
10-өткізгіштер; 11-өткізбеушілер;
12-екі арлық өнім

Шанапқа (1) қамтамасыз ету электрожылытумен беріледі. Ол жерден атанақты қоректендіргішпен (2) үстіңгі шөктірмелі электродқа жеткізіледі. Онда үш өнім бөлінеді: өткізгіштер, өткізбейтіндер және өндірістік өнім. Бөлуші сұқпажапқыш (8) өнімнің шығуын қадағалауға мүмкіндік береді. Ал жылжымалы қабырғалары (9) – алғашқы айыру кезінде қандай да бір өнімді төменгі шөктірмелі электродқа бағыттайды. Төменгі шөктірмелі электродта да үш өнім бөлінеді. Атанақтарды өткізбейтіндерден тазарту үшін қылшақтар қондырылады.

Бұдан бұрын айтып өткеніміздей тәж-электростатикалық бөлгіштерде байытылатын материалдың бөлшектері кезегімен алдымен тәжді разряд өрісінен, содан соң электростатикалық өрістен өтеді.

Бөлу барысында материал бөлшектеріне ықпал ететін күштер шөктірмелі атанақ – электродтың айналу қарқынына қарай тынымсыз өзгеріп отырады. Олардың траекториясын ұстап тұрғыш және ажыратқыш күштер мен олардың бағыты анықтайды. Бұл күштерге: ауырлық күші, бөлшектің зарядына қатысты орталыққа тарту күші, және бөлшектің атанақ беткейіне жабысу күшін жатқызамыз. Соңғы аталған күштің онша жұқа емес бөлшектерге рөл аз. Егер магнитті тартылыс күшін электрлік күшке $F_{эл}$ алмастыратын болсақ, механикалық күштер қатынасында атанақты магнитті және электрлі айырғыштардағы бөліну үрдісі бір біріне ұқсас болады.

Минералды бөлшектер шөктірмелі электродқа оның жоғарғы бөлімінде беріледі және атанақпен бірге айналады. Олар алғашқыда шөктірмелі электродпен түйісу нәтижесінде зарядталады, содан кейін тәжді разряд аймағына барып, тәждейтін электродтан шөктірмелі электродқа қозғалып тұратын иондардың адсорбциясының есебінен зарядталады. Минералдардың иондалу зарядының белгісі атанақ зарядының белгісіне қарама-қайшы болады. Әрі ол иондалу аймағының басында нөлден басталып шөктірмелі және тәждеуші электродтар арасындағы ең аз қашықтық аймағында барынша артады. Содан соң қайтадан азаяды.

Өткізбеушілердің бөлшектері салыстырмалы алғанда өз иондау зарядын шөктірмелі электродқа аз береді. Ал өткізгіштер олардан гөрі жылдам разрядталады. Бұл жылдамдық иондау зарядының мөлшерімен және бөлшек пен шөктірмелі электрод арасындағы түйіспелі электрлі кедергімен анықталады.

9. КЕНДІ ТАЛДАУ

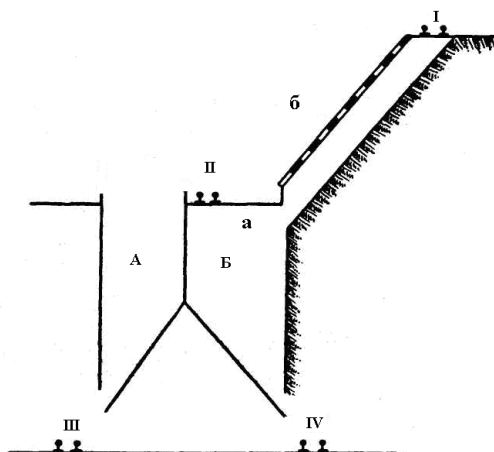
Кенді байытудың бұл түрі алаңдарда, таспаларда, үстелдерде, астауларда және елеуіштерде іске асырылады.

Енді бұл аппараттарды құрылғы жобасына және қалай іске асатындығына тоқталамыз.

Алаңды қолданған кезде байытылатын пайдалы қазба үнемі қозғалыссыз болады. Негізгі шикізат қолмен айырылатындықтан алаң беті темірмен қапталған тегіс, әрі жылтыр ағаштан жасалады. Қазіргі кезде мұндай алаңдар байыту зертханаларында үлгі алу үшін өңделінетін заттарда қолданылады.

Қолмен өңдеуде қолданылатын бұл алаң беті 12,5 мм болат қаңылтырмен қапталған тар табаншамен жабдықталған (9.1-сурет). Қажетті материал вагоншалар арқылы табаншамен қозғалмайтын елгезерлерге жеткізіледі (елгезердің саңылаулары 25 мм болады). Торлы елгезердің үстіндегі көлемі 25×200 мм-дей болатын материалдар алаңға жөнелтіледі. Бұл жерде қолмен өңдеу іске асырылады, кейде бұл екі тісті ұсатқыш арқылы іске асады (балғамен ұсатылып, сумен шаю арқылы). Руда табаншадағы тасымалдаушы вагоншалар арқылы жеткізіліп отырады.

Бұл құрылғы өте төменгі еңбек өнімділікті болып табылады.



9.1-сурет. Пайдалы қазбаларды қолмен өңдеуге арналған алаң

Таспаларда өңдеу көбінесе (жетекті және кергіш) екі барабанға керілген резеңкеленген соңсыз тегіс таспадан тұрады. Таспаның екі жағы роликтерге кигізіледі.

Бұл таспалар резеңкеден, түйенің жүнінен, кендірден және т.б. заттардан жасалады. Бұл таспалардың көлік таспаларынан өзгешелігі төменгі жылдамдықпен айналуында, жылжымайтын ернеушелерінде және айырылған металл бөлшектерін қабылдап алатын құрылғыларында.

Өңдеуші тегіс таспаның жылдамдығы 0,3–0,4 м/сек-тан асып кетпеуі қажет, ал ені 1,2 метрден жалпақ болмауы керек. Сондай-ақ, бұл таспалардың дөңгелек үстелдерден және осы орайдағы өзге құрылғылардан өзгешелігі материалды белгіленген қашықтыққа тасымалдай алуында.

Бұл таспалар белгілі дәрежедегі өрлерге орнатыла алады (15°-тан аспайтын өрлерге) және едәуір биіктікке материалдарды шығаруға септігін тигізеді. Бірақ, материал ірі болған сайын өр де соғұрлым төмен болуы қажет.

Көлденең тасымалдайтын таспалар жоғарыға қарай да әрекет ете алады. Бірақ, айналым радиусы 40 метрден кем болмауы қажет.

Иілгіш таспалар онша ірі емес материалдарды тасымалдау үшін қолданылады (70-80мм аспайтын). Онымен егер өте үлкен кесектерді тасымалдайтын болса тез тозып қалады. Мұндай жағдайда иілгіш таспалардың орнына пластиналы таспалар қолданылады.

Таспадағы тасымалданатын материал қабатының қалыңдығы ондағы ең үлкен кесектердің көлемінен асып кетпеуі қажет.

Таспаның ені 800 мм немесе одан да енді болғанда іріктеушілер екі жағына да қондырылады. Әрбір іріктеушінің арасы да 1 метрден кем болмауы керек. Ол кейде 1,25, 1,5 және 2 метрге дейін барады.

Сұрыптаушылар материалдың ұсақ бөлігін өзінен түсіріп тастайды, ал қалған ірі бөлігін арнайы воронкаға апарып төгеді. Таспаның ұзындығы іс жүзінде 30 метрге жетеді.

Әртүрлі ұсақтықтағы материалдар мен әртүрлі жылдамдықтағы таспаларға қатысты әртүрлі ендіктегі

сұрыптаушы резеңке таспалардың өнімділігі 9.1 кестеде көрсетілген.

9.1-кесте

Жыныс тандаушы таспалардың өнімділігі, т/сағ

Таспаның ені, мм	Класс, мм				
	25-50	50-100	+50	+75	+100
	Жылдамдық, м/сек				
	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
650	10	19	31	-	-
800	13	24	38	48	64
1000	16	30	50	61	82
1200	19	37	60	75	100

Пластиналы таспалар өзгеше буынша үзбелерден тұрады. Олар бір-бірімен топса арқылы жалғасқан металл пластиналардан тұрады.

Оған материал таспаның соңынан ғана жүктеледі. Таспаның өнімділік бұрышы 25–30 °С дейін барады.

Металл таспалар жұлдызшалы көпқырлы барабандарға керіледі. Барабанның жұлдызшаларының ұзындығы тасымалдаушы буындарының ұзындығына тең. Пластиналы таспалардың ұзындығы 20–25 метрге дейін жетеді.

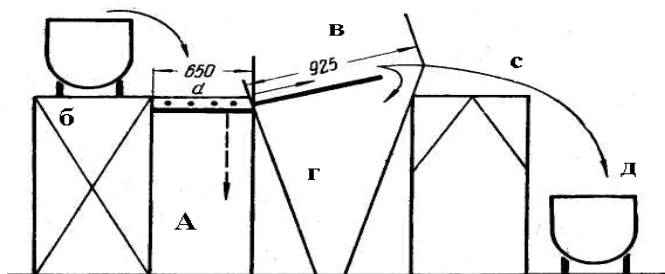
Таспалы тасымалдаушылар секілді пластиналы тасымалдаушылар да еніне қарай бөлек-бөлек бөлімдерге бөлінеді. Таспадағы бөгеттермен екі сыңарға бөлініп жұмыс істейді. Таспада екі бөгет орын алған. А нүктесіндегі сұрыптаушы кенді тартып алып, оны *a* бөлімшесіне лақтырады. Б нүктесіндегі сұрыптаушылар *b* бөлімшесіндегі колчедан қышқылын тартып алады. Осылайша алынған үш өнім (көмір, кен, колчедан қышқылы) бөгеттер мен астаулардың көмегімен таспаның ең басына тасталады.

Егер алынған сыңарлардың шикізаты көп болатын болса, онда таспадағы өнімдердің бөлінуі де осыған сәйкес өзгертіледі.

Мұндай жағдайда шикізат *a* және *b* бөлімшелеріне бағытталады да, тартып алынған кен А нүктесіндегі таспаның орта бөлімінде орналасқан сұрыптаушыларға лақтырылады.

Сонымен қатар, таспамен жұмыс істеуді және орнатылған қалқа бөгеттерді қолданудың өзге де жобалары бар. Бөгеттердің саны мен орналасуы таспаның еніне әсер етеді. Негізінде таспаның ені тасымалданатын материалдың ірілігі мен көлеміне байланысты болады, бұған қоса материалдың сапасына, таспаның қозғалыс жылдамдығына және өңдеу шарттарына да байланысты (сонымен қатар, бөгеттердің санына да қатысты).

Металдан жасалған таспалардың жоғарғы жағы тор тәріздес болуы да мүмкін. Мұндай жағдайда ұсақ материалдар көлденең жатқан торлардың арасындағы саңылаулардан өтіп, іріктеу тәсілін жақсартады.



9.2-сурет. Жылжымайтын үстелдің құрылғысы мен қызмет етуінің жобасы

Сонымен қатар, іріктеуді жүк арту бөлімі тікелей жүк түсіретін жерде орналасқан тасымалдаушы жүкартқыштар арқылы да іске асыруға болады.

Пластиналы тасымалдаушылардың доңғалақтар мен пластинаның шеттерін жауып тұратын ернеулерінің болуы тиіс.

Алаңшаның деңгейі мен таспаның деңгейінің арасы 0,7–0,9 метрден асып кетпеуі тиіс.

Жылжымайтын үстелдерде жоғарыда айтылған алаңдардың ерекшеліктерінің бәрі бар. Олар тек жеке бөлшектермен ғана ерекшеленеді.

Бұл құрылғыда шикізатты алғаш өңдеу күбідегі судың деңгейінен 25–50мм төмен орналасқан торлы алаңда іске асырылады. Мұнда басқа алаңнан келген шикізат аударыстырып

қопсытылады. Майда үгінділер (25–50 мм ұсақ болғандары) күбіге түседі, ал жуылған ірі бөлігі жылжымайтын еңкіш үстелге барып түседі.

Бөлгіштер С алаңында орналасқан. Олар шығаруға жарамды минерал бөліктерін тартып алып, оларды вагоншаларға немесе төменде орналасқан қамбаға лақтырады.

Үстелде қалған материал саңылау арқылы бункерге түседі. Бұл құрылғыда ылғалды електен өткізу және өңдеу алдында шаю ісі қолданылады. Мұның жобасы суретте көрсетілген.

Ұсақ ұнтақтарды (зүбәржат, алмас т.б.) өңдеу үшін астынан жарық түсіп тұратын едені мөлдір жылжымайтын үстелдер қолданылады.

Минералдарға әртүрлі жарықпен сәуле түсіріп өндіру әдісі тек 2 мм-ге дейінгі түйіршіктерге қолданылады.

Дөңгелек үстел ернеуінен ортасына қарай еңкіш және тегіс айналмалы дөңгелек дисктен тұрады.

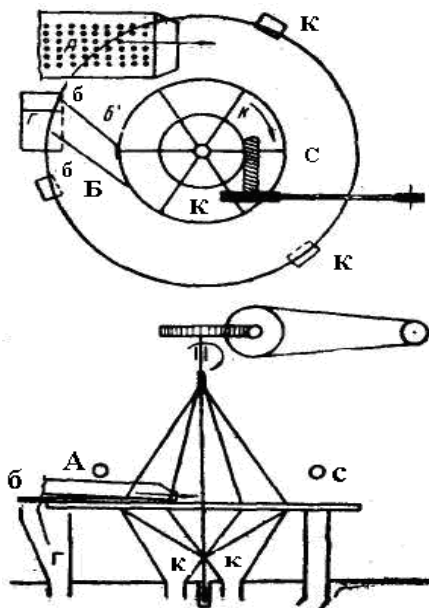
Шикізат елгезерден өтіп сағат тілімен айналатын үстелге түседі. Үстелдің ернеулерінде іріктегіштер орналасқан. Олар іріктелген түйірлерді алып лайықты қабылдағыштарға лақтырады. Үстелдің үстінде қалған материал жылжымайтын пышақ арқылы науаға түсіріледі.

9.3-суретте негізгі тік тісті берілісінде жетегі бар, жоғарғы жағында бұрамдықты беріліс орнатылған бір бағытты үстелдің құрылым жобасы көрсетілген.

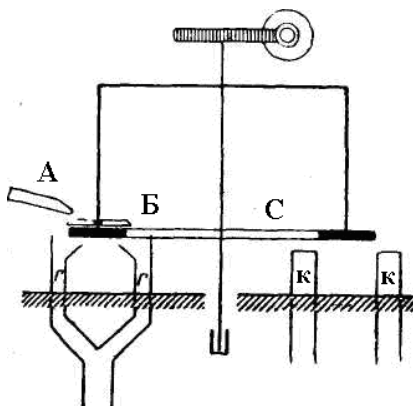
Екі бағытты үстелдер айналма тәріздес (жоғарғы жетекпен) және катокты (төменгі жетекпен) болады.

Стандарт дөңгелек үстелдердің сыртқы диаметрі 2,5 метрден 8 метрге дейін барады.

Негізінде дөңгелек үстелдерде де таспалардың технологиялық параметрлері болады. Айтар болсақ, диаметрі $D_{\text{ср}}$ болатын үстел, ұзындығы $L=\pi D_{\text{ср}}$ болатын таспаға ұқсас болады. Таспаның жылдамдығы үстелдің айналым жылдамдығына бірдей болады.



9.3-сурет. Тік тісті берілісінде жетегі бар, бұрамдықты беріліс орнатылған бір бағытты дөңгелек үстелдің құрылым жобасы



9.4-сурет. Айналма түріндегі екі тарапты дөңгелек үстелдің құрылым жобасы

Таспамен салыстырғанда үстелдердің артық жақтары бар. Оларға мыналар жатады: шағын болуы, құрылысының қарапайымдылығы, бөлініп алынған өнімді тасымалдайтын арнайы таспалардың болмауы т.б.

Бірақ үстелдер бір уақытта бөліп, әрі тасымалдай алмайды. Сондықтан үстелдер байытылған өнімді қабылдап алатын шикізат берілетін жерге жақын болған жағдайда ғана құрылады. Іс жүзінде үстелдер таспалардан сирек кездеседі.

Осы мақсатта үстелдің тазалағыш пышағы қажетті биіктікке орнатылады.

Таспалардағы секілді үстелдерде де түріне қарай әртүрлі сыңарлар қолданылады. Жалпақ түйіршіктерден басқа барлық түйіршіктер шеңберлі дискінің сырт жағына бағытталады да, б нүктесіне түсіріледі. Ал жалпақ түйіршіктер әрі қарай кетіп үстелдің үстіне 0,5 h саңылаумен орнатылған келесі пышаққа қарай барып, б нүктесінде басқа бөлімге өтеді. Одан әрі үстелдің үстіндегі ұсақ түйіршіктерді тазартатын тазалығыш пышақ орнатылады.

Кейбір кездерде үстелдің айналу бағыты қарама-қарсы жаққа бағытталады. Мұндай кезде пышақтардың орналасуы өзгертілуі тиіс. Ал олардың сандарын арттыруға да болады.

Үстелдің жұмыс істеуін жақсарту үшін електің жүк түсіретін тұмсығы сирек болуы тиіс. Осылайша ол ірі түйірлерді араастырып отырады.

Кен байыту үшін қарапайым жылжымайтын астаулар да қолданылады. Мұндай астаулардың ені ең үлкен кесектердің үш есе көлемінен кем болмауы тиіс. Сонымен қатар, кесектің үлкендігі жұмыстың қағидаларына және материалды бақылауға ыңғайлы болуы тиіс.

Астаулардың тереңдігі жайылған материалдың екі есе биіктігіне тең болуы керек.

Өте ірі көмірлер үшін олардың ылғалдылығын, қаттылығын, меншікті салмағын және олардың түйірлерінің көлемін ескере отырып, ену бұрышы $\alpha=18-30^\circ$ болатын астаулар қажет. Ауыр кендерді тасымалдау үшін ену бұрышы одан да үлкен болуы тиіс. Мысалы, ірілігі 25мм үлкен ену бұрышы 45° астаулар қолданылады.

Іріктеу кезінде қозғалып келе жатқан материалдар легі астаудың кернеуінің жоғарғы жағында айналмалы соңы бар арнайы ості қақпақпен тоқтатылуы мүмкін.

Егер еніс бұрышы материалдың үйкеліс бұрышынан кіші болатын болса, онда іріктеуден кейін материал қандайда бір арнайы құрылғымен араластырылады (қырғыш секілді).

Мұндай астаулардың түбі тор тәріздес етіп жасалады. Сол уақытта тасымалдау кезінде ұсақ түйіршіктер тордың астына түсіп, кен байыту әрекеті жақсарады. Тәжірибеде көрсетілгеніндей сына тәріздес түйірлер кейде тордың саңылауларына тұрып қалады да материалдың араласуын қиындатады.

Кен байыту фабрикаларында жылжымайтын астаулар материалды өңдемес бұрын (мысалы, майдалаудан немесе тасымалдаудан бұрын) ірі кесектерін ажыратып алу қажет болған жағдайда қолданылады. Сондай-ақ, өзге де заттарды жаңқа, патрон, арқан және металл бөлшектерін де айырып алу үшін қолданылады.

Кеннің өте ірі кесектерін және өзге заттарды іріктеп алу эксцентрикті жетегі бар тербелмелі астаулар арқылы іске асырылады.

Мұндай астаулардың өнімділігі баршаға аян мына формуламен есептеледі:

$$Q=60 B h S n \gamma k \text{ м/сағ,} \quad (9.1)$$

B – астаудың ені, м;

h – астаудағы материал қабатының биіктігі, м;

S – астаудың қадамы ($S = 2r$, мұндағы r – эксцентриситеттің көлемі, м);

n – бір минуттағы тербеліс саны;

γ – шикізаттың көлемдік салмағы, т/м³;

k – астауды материалмен толықтыру коэффициенті.

Материалдың жақсылап араласуы үшін астау материал берілетін жаққа қарай 5-8° бұрышпен орналастырылады.

Мұндай астаулардың ені 750–1500мм болады. Таспалар мен үстелдердің астаулардан тыныш жұмыс істейтіндігі анықталған; астаулардағы іріктеу көбіне қолайсыздыққа

жетелейді, әрі бұл топтағы өзге құрылғылармен салыстырғанда нәтижесіздеу.

Іс жүзінде астаулармен іріктеу қосымша операциялар үшін қолданылады.

Сондай-ақ, пайдалы қазбаларды іріктеу бір-бірінен белгілі қашықтықта орналасқан мықты параллель елеуіштерден тұратын жылжымайтын тор елеуіштерде де іске асырылады.

Мұндай елеуіштер де жылжымайтын астаулар секілді байытылатын материал жай ғана сырғып қажетсіз заттардан арылуы үшін дәл сондай еңіспен ұсатқыштар мен тасымалдағыштардың алдына орнатылады. Жылжып келе жатқан материалды баяулатып, оны байыту жолын жақсарту мақсатында елеуіштердің соңғы жағына өткізгіш қалқан тәрізді құрылғы орнатуға болады.

Кен үшін қолданылатын қарапайым торлар елеуіштердің өнімділігі, ұзындығы 3,5 метрден 4,5 метрге дейін, торлардың арасы 25 мм болатын 1м² елек өнімділігі 60 т/сағ тең.

Іріктеу үшін қолданылатын жылжымайтын тор елеуіштердің қарапайым елеуіштерге қарағанда ену бұрышы аз болуы тиіс, әрі өзге заттар мен іріктелген кесектерді қабылдап алатын құрылғылары да болуы қажет.

Түсімен, қалпымен және меншікті салмағымен ерекшеленетін арнайы сыңарларды іріктеу тор шілтері горизонталь бағытта тербелетін елеуіштерде іске асырылады.

Симметриялы емес түрде, яғни алға-артқа тербелу, өңделетін материалды жақсылап қопсыту және ұсақ бөліктерді түсіріп тастау бұл құрылғының пайдалы жақтарына жатады.

Тербелмелі елеуіштер қолмен өңдеуде таптырмайтын әдіс.

Мұндай елеуіштің қос иінді механизмінің көмегімен симметриялы емес түрде сілкілеусіз тербелетін жазық шанағы болады.

Шикізат саңылаулары 100мм болатын өте қысқа елеуіштердің үстіне келіп түседі. Елеуіштің үстіндегі өнім елеуіштің екі жағында орналасқан іріктеушінің көмегімен жайылады. Елеуіштің астына кеткен 100 мм-ден кіші өнім төмендеу орналасқан саңылауларының арасы 2мм болатын ұзын електің үстіне барып түседі. Бұл жердегі алынған 25–100мм

арасындағы өнім бүйірдегі айналма науалар арқылы шығып, ол жердегі іріктеушілер арқылы қолмен байытылып, қайтадан науаның тұлғасымен жылжи отырып сыртқа шығарылып тастайды.

Осы жол арқылы елеуіштен байытылған екі түрлі (100мм ірі және 25-100мм арасындағы) және байытылмаған бір өнім алынады (0-25мм арасындағы).

Алынған материал елеуіштің тұлғасымен бірге тербелетін науалар арқылы тасымалданады.

Мұндай елеуіш туралы мағлұмат 9.2-кестеде көрсетілген.

9.2-кесте

Симметриялы емес тербетілістерімен жазық елеуіштер туралы деректер

Елеуіш- тің ені B, мм	Q, т/сағ	Елеуіш- тің ұзынды- ғы L, м	Елеуіш саны, шт.	Елеуіш- тің тербелісі S, мм	1 минутта тербеліс саны, n	Елеуіш- тің салмағы G, кг
1000	120	10	2	200	69	6000
1000	120	15	3	200	69	10400
1250	150	20	3	250	62	15700
1500	200	10	2	200	69	6700
1500	200	20	3	250	62	16900
1750	250	20	3	300	56	13200
2000	320	20	2	250	62	16400

Негізінде мұндай елеуіштер ғимараттың жоғарғы кабаттарына орнатылады. Олардың өнімділігін арттыру үшін оларды материал берілетін жаққа қарай біраз өрлетіп қояды.

Мұндай елеуіштер сұрыптауға, өңдеуге, тасымалдауға және алынған өнімдерді бункерлерге таратуға септігін тигізеді.

Мұндай елеуіштің кемшілігі – құрылғыларының күрделі болуы және аса қымбат болуында.

Мұндай елеуіштің жұмыс атқаратын барлық аймағы және құрастырылатын құрылғылары күн сәулесімен немесе электр жарығымен жарықтандырылуы қажет. Шырақтар әр 2метр сайын жұмыс алаңынан 1,5 метр биіктікке асылуы тиіс. Техника

қауіпсіздігінің талаптарын ескере отырып, жарылысқа төзімді шырақтар қойылуы қажет.

Соңғы жылдары кен байытуда сыртқы ерекшеліктермен іске асырылатын қондырғылар қолданыла бастады. Бірақ, ондағы қолмен атқарылатын жұмыстар механикамен алмастырылды.

Мұндай құрылғыларға фотоэлементті аппараттарды, рентген әдісін қолданатын ДОНУГИ құрылғыларын және т. б. жатқызуға болады.

Мұндай аппараттың қызметі мен құрылым жобасы 9.5-суретте көрсетілген. Тасымалдаушы таспаға толқын тәріздес қоректендірушінің көмегімен шикізаттың ірі түйіршіктері 0,3–0,4метр қашықтықтан бірінен соң бірі беріліп отырады.

0,5 м/сек жылдамдықпен жүріп жатқан түйіршіктердің жоғарғы жағына электр жарығымен сәуле түсіріледі.

Түйіршіктердің жоғарғы қабатының құрылымына сәйкес, жарық әртүрлі қарқындылықпен кейбір бұрыштарда түйіршіктерден шағылысып фотоэлементке бағытталады. Көмір түйірлері өткен кезде одан шағылысқан жарық фотоэлемент пен оның қосу тізбектерінде электр тогын жаратады. Ол да электрлі лампалы күшейткіштің көмегімен күшейеді.

Электр тізбегіне де соленоид қосылған. Үзік сызықпен көрсетілгеніндей, соленоидтің өзекшесі бөгет қояды. Ол контактының көмегімен электр тізбегін тұйықтайды.

Осылайша, көмір кесектері жарық сәулесінің астынан өткен кезде кесектер қабылдаушы науаға түскенге дейін соленоид қалқаны тоқтатып тұрады, әрі серіппе контактты тұйықтап сығылмай қалады. Осы кезде соленоид ажыратылып, қалқа оның ауырлық орталығымен қосарлана алмағандықтан геометриялық орталықпен өзінің бұрынғы қалпына қайтып келеді. Осы кезде аппарат кенді қабылдауға дайын болады. Екінші электр тізбегінің орнына уақыт релесі қосылуы да мүмкін.

Таспаның үстіне тасымалдаушыны бөлімдерге бөліп тұратын ұзына бойы тігінен қалқалар орнатылған. Олардың саны толқын тәріздес қоректендірушінің тереңдік санына сәйкес келеді.

Тасымалдаушылар қысқа, ал аппараттың өнімділігі көп болуы үшін, таспаға қарқынды жарық түсірілген жер мен оның жүкті жеткізетін жерінің ара қашықтығы жақын болуы қажет.

Жүйелі түрде құрылған аппараттарда жарқырауына қарап ажыратылатын бірнеше өнімді ажыратып алуға болады. Бірақ қалқалардың орнын ауыстырып отыруы міндетті болған әрбір аппараттың тәртібі токтың күшіне қарай орнатылады.

Аппараттың негізгі элементтері мен іріктеу орындарының санын анықтау, іріктеу орындарының саны іріктелетін материалдың санына қатысты болады. Бір іріктеушінің өнімділігі мынаған тең:

$$a = \frac{Qx}{100g}; \quad (9.2)$$

мұндағы, Q – іріктеуге түсетін материалдың саны т/сағ;

x – түскен материалдан іріктеліп алынған сыңардың саны %;

g – іріктеушінің еңбек өнімділігі т/сағ.

Іріктеушінің еңбек өнімділігі іріктеліп алынған (барлық) түйірлердің ірілігіне және меншікті салмағына қатысты. Сонымен қатар, іріктеу жүргізілетін ерекшеліктерінің (түсі, жарқырауы, формасы, меншікті салмағы) дәрежесіне де қатысты. Бұл айтылған ерекшеліктер сирек болған сайын, сыңардың түйірлері жылдамырақ бөлінеді.

Осылайша, салмағы g кг болатын кесекті өңдеуге T сек уақыт кететін болса, онда бір секундта q/T кг өнім өңделеді. Ал сағатына:

$$q_i^n = \frac{3,6g}{T} \text{ т.} \quad (9.3)$$

Қажетті іріктеушілердің саны былайша анықталады:

$$a = \frac{QxT}{100 \cdot 3,6g} = \frac{QTx}{360g} = 0,03 \frac{QTx}{g}. \quad (9.4)$$

Әрбір кезең үшін іріктеудің нормасы дұрыс жүргізілген техникалық нормаландырудың көмегімен анықталады.

Қолмен байыту кезінде үстелдер мен таспалардың жоғарғы жұмыс қабатының енін өндірілуге түсетін материал санының өнімділігін айқындау арқылы анықтауға болады.

$$Q = 3600bh \gamma \text{ т/сағ}; \quad (9.5)$$

b – жайылған шикізат қабатының ені, м;

h – шикізат қабатының биіктігі, м;

γ – шикізат қабатының көлем салмағы, т/м³;

v – материалдың тасымалдау жылдамдығы, м/сек;

k – материал қабатын толықтырып отыру коэффициенті. Ол 0,2-0,3 деп қабыл етілген. Ал өте қолайлы жағдайларда 0,4-0,6 деп қабыл етіледі.

Бұдан келесі шығады:

$$b = Q/3600 h \gamma v k \text{ м.} \quad (9.6)$$

Материал түйіршіктері жұмыс алаңынан сырғанап кетпеуі үшін, жұмыс алаңы материал қабатынан әлденеше енді болуы тиіс:

$$b = (0,8-0,9)B, \quad (9.7)$$

бұл жерден
$$B = \frac{b}{(0,8-0,9)} M.$$

Таспаның (жалаң қабат) ұзындығы былай анықталады:

$$L_1 = a L + C, \quad (9.8)$$

a – өңдеу орнының саны.

L – іріктеушілердің ара қашықтығы, м.

C – іріктеушілер мен таспа айналатын барабандардың ара қашықтығы. (негізінде ол 2–3–5 м –ге тең).

Қосарлы таспаның ұзындығы:

$$L_2 = a L / 2 + C. \quad (9.9)$$

Іріктеуші үстелдерді есептегенде негізінде олардың сыртқы диаметрін анықтайды.

Дара үстелдерде:

$$\pi D_{cp} + a L + c \text{ (м).}$$

Қосарлы үстелдерде:

$$\pi D_{cp} + a L / 2 + c \text{ (м).}$$

D_{cp} - үстелдің айналым шеңберінің орташа диаметрі, м;

Үстелдің сыртқы диаметрі мынаған тең:

$$D = D_{cp} + B \text{ (м),} \quad (9.10)$$

B – үстелдің жоғарғы шеңберінің ені, м.

Егер үстелдің айналым шеңберінің орташа диаметрі белгілі болса, онда үстелдің айналым санын оңай анықтауға болады.

$$Y = \pi D_{\text{ср}}^n / 60 \text{ (м/сек)}, \quad (9.11)$$

n – үстелдің бір минуттағы айналым саны.

Одан мынадай формула туындайды:

$$n = 60v / \pi D_{\text{ср}} \text{ (об/мин)}. \quad (9.12)$$

Өңдеуші таспалар мен үстелдердің жұмсалған қуатын анықтау аса қиын емес. Ол қарапайым жолмен анықталады.

Кен байытудың техникалық жобасының сыртқы ерекшеліктерін қарастырғанда бұл әдіс айтарлықтай нәтиже бермейтінін байқаймыз (9.5–суретте көмірді іріктеген кезде). Кейбір жағдайларда ғана шикізатты жеңіл түрде байытқанда (мысалы: Донецк антрацитін байытқан кезде; 9.6–сурет) дайын өнім алуға болады.

Жеке жағдайларда қарастырылып отырған байыту түрі алғашқы өнім дайындауда, мәселен, марганец кен үшін, байыту сапалы өнім бере алады.

Сәйкес келетін нәтижелер үрдісті жүргізу кезінде бірнеше басты операциялы кезеңдермен қамтамасыз етілуі мүмкін.

Электронды жиындыны алдын ала қолмен талдау, алғашқы өнім дайындау және пневматикалық сепарациямен өңдеу 9.7-суретте берілген [18]. Пиролизді термоөңдеуді қолданумен қалайы мен қорғасын – дәнекерге, металл корпустары – темір қорытпаға алынады.

Электронды жиындағы заттық құрамына тәуелді алынған мыс қорытпа стандартты технология бойынша электрхимиялық ерітумен қайта өңделеді немесе күміспен легірілген мыс-алюминийлі қоланы дайындауға пайдаланылады.

Пиролизді термоөңдеу кезінде шығатын газ негізінен тауарлы көміртек оксидімен берілетіні газ фазасын зерттеу негізінде анықталды.

Электронды сынықтың жасалған технологиясы қолмен кенді өңдеуден бас тартуға, типтік қондырғыны (пиролизді және индукционді пештер) пайдалануға, газдарды қайта пайдалану мәселесін шешуге мүмкіндік береді.

Техника-экономикалық есептеулер термо өңделген органикалық материалдарды қорыту алдында қолмен бөлудің, сондай-ақ электронды сынықтың мыс қалдықтарын өндеудің тиімділігін көрсетті.

Қолдан талдаған өнімге қарағанда аппараттан байытылған өнім ішкі белгілері төмен.

Бұл әрбір бөлігінің жеке өңделуінің қажеттілігімен түсіндіріледі. Дәл осы себептен үрдіс көрсеткіштері экономикалық тұрғыдан қанағаттандырылғыш емес. Бірақ, үрдіс өзі қиындығымен ерекшеленбейді және жағдайларда жеткілікті жоғары сапалы көрсеткіштер береді. Сол үшін де, жеке көрсеткіштерді бағалап, жоғары концентраттық шығу кезінде шикізаттың шығыны аз болатынын көрсеткен жөн, әрі қосымша қызмет көрсетулері, яғни бір тонналық өнім үшін (су шығыны, электр энергиясы өнімді бақылау кезіндегі шығын) өзгелерден жоғары болмайды.

Механикаландырылған тәсілде өнімнің өзіндік төлемінің шығыны орта мөлшерде, ал қолдан жасау кезінде бұл көрсеткіш өте жоғары болады.

Қазіргі уақытта, отандық өнеркәсіпте радиометриялық байытудың авторадиметриялық, гамма-абсорбциялық, рентгенді-радиометриялық, фотоядерлі, нейтронды-абсорбциялық, нейтронды-белсендендіргіш, рентгенлюминесценттік және фотометриялық әдістері пайдаланылады [1].

Сұрыптауға, сондай-ақ, бөлінетін материалдардың электрлік, магниттік, жылыту, серпімді және т.б. қасиеттері сияқты бөлетін белгі ретінде қолданылатын әдістерін жатқызуға нұсқаулық беріледі.

Қолданылатын техникалық құралдарына тәуелсіз, сұрыптау үрдісін іске асыру үшін келесідей операциялар:

- пайдалы қазба үлесінің сортын анықтау;
- берілген сапаның мөлшерін бөліну өнімдерінің қабылдағышына бөлу болып табылады.

Бағалы сыңардың құрамын (үлес сапасы) әртүрлі жанама әдістермен анықтауға болады. Материал үлесінің сапасын анықтау әдістеріне жалпы талап – экспрестілік пен берілген операцияны материал мен үлесті талдауға дайындаудың күрделі

әдістерін кедергісіз жүргізу мүмкіндігі болып табылады. Қолға алынатын жанама параметрді әдетте, үлес сапасының көрсеткішіне ауыстыру талап етілмейді. Пайдалы қазбаның үлесін қандай да бір сортқа жатқызатын көрсеткішті бөлінетін белгісі деп атайды.

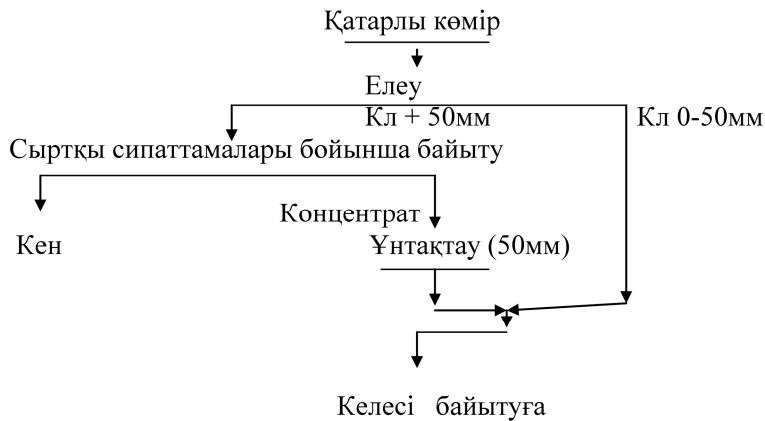
Байытылатын материалдың үлесі сапасындағы айырмашылықтар мен сапаны анықтаудың қолданылатын әдісінің нақтылығы бірқатар жағдайларда, бірнеше сорттарды бөлуге қол жеткізеді, бұл көп өнімді сұрыптауды жүзеге асыру үшін алғышарттарды дамытады.

Үлес сортын анықтау құралдық және көзбен тексеру әдісімен жүргізіле алады, ал үлестерді материалдың ағымынан шығару механикаландырылып немесе қолмен жүзеге асырыла алады.

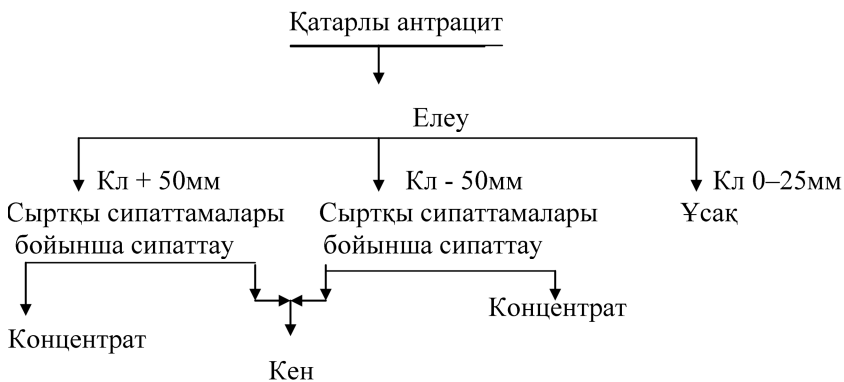
Пайдалы қазбаны сұрыптау үрдісін жүзеге асыру үшін байытуға дайындау, бөлшектерді белгілі бір сортқа жатқызу және олардың ағымынан материалды бөлу бойынша операцияларын орындау талап етіледі.

Объектіні белгілі бір сортқа жатқызу үшін, оның кез-келген қасиеттері немесе қасиеттердің кез-келген сыңары қолданыла алады, мысалы, электрлік, магниттік, гравитациялық, жылыту, механикалық қасиеттері, сәулеленулердің затпен өзара әрекеттесу әсерлері және т.б.

Егер сұрыпталынатын материалдың мөлшеріне сәулеленудің ағымын бағыттаса, онда мөлшердің құралатын зат сәулеленуімен өзара әрекеттесіп, қарқындылығын немесе сәулелену құрамын өзгертетін болады. Осы сәулеленудің параметрлерін сәулеленуді қабылдағышының көмегімен тіркей отырып, мөлшер затының қасиеттері туралы ақпаратты алады.



9.5-сурет. Көмірді іріктеген кездегі байыту



9.6-сурет. Донецк антрацитін байыту



9.7-сурет. Электронды жиынды байытуға дайындау

Сәулеленулерді қабылдағыштарының қасиеттерін мөлшерді материалдың ағымынан шығаруды жүзеге асыратын құралмен келістіру үшін ақпаратты қайта өндеу торын (жобасын) қосады. Құрылғының барлық негізгі блоктары арасында пайдалы қазбаны сұрыптау үшін мөлшер қасиеттерінің өлшеу қиыспаушылығын азайтатын сүзбе буындары бекітілуі мүмкін.

Автоматты түрдегі сұрыптау кезінде электрондық жоба ақпаратты қабылдауды, оны алдын ала берілген алгоритм бойынша өндеуді және берілген қасиеттері бар бөлшектерді жоюдың басқаратын дабылын өндеуді жүзеге асырады. Ақпаратты өндеу жобаларын шиеленістіру үлес көлемін есепке

алумен, үлесті белгілі бір сортқа жатқызуға арналған критерийлердің шиеленісуімен байланысты.

Ауа – тау жынысы орталарын бөлу шекарасы үшін келесіні жазуға болады:

$$\Phi_0 = \Phi_n + \Phi_r.$$

Φ_r сәулеленудің бөлігі кесек беткейінен көрінеді, ал Φ_n -тың басқа бөлігі тау жынысына енеді. Тау жынысында сәулеленудің өтуі Φ -тің сіңуімен, Φ_σ сәулеленуінің шашырауымен және кейде жаңа сәулеленудің толқынның өзге ұзындығымен генерациялауымен бірге жүреді. Φ_t сәулеленуінің кейбір бөлігі кесек арқылы өтеді. Тау жынысына енген сәулелену келесіге тең болады:

$$\Phi_n = \Phi_\sigma + \Phi_\mu + \Phi_t. \quad (9.13)$$

Және осыдан
$$\Phi_0 = \Phi_r + \Phi_\sigma + \Phi_\mu + \Phi_t. \quad (9.14)$$

Егер теңдіктің сол жақ және оң жақтарын Φ_0 -ке бөлетін болсақ, онда келесіні аламыз:

$$1 = r + \sigma + \mu + t, \quad (9.15)$$

мұндағы, r , σ , μ , t – сәйкесінше, шағылысу, шашырау, сіңу, өткізу коэффициенттері.

Кейбір минералдардың сәулеленуінің белгілі бір энергияларында кесекте басқа энергетикалық спектрдің жаңа сәулеленуі генерирленеді. Осы жаңа сәулелену алғашқы сәулеленуді сіңіру кезінде туындайды.

Сәулеленудің зат арқылы өтуінің ұсынылған жобасына сәйкес, сұрыптаудың радиометриялық әдістерінің бірнеше түрлерін бөлуге болады.

Сәулеленуді шағылыстыру коэффициентіндегі ерекшеліктерді пайдаланатын бірінші әдіс үшін айналық және диффузиялық шағылысуды жағдайлары мүмкін және жоғарыда айтылғандай, пайдалы дабылдың кедергілерін азайту үшін әртүрлі сүзбелерін бекіту талап етіледі.

Шашырату коэффициентіндегі ерекшеліктерді пайдалана отырып, радиометриялық сұрыптауды жүзеге асыру өтіп кеткен және генерирлейтін сәулеленудің бөлшегін пайдаланумен

сұрыптаудың радиометриялық әдістері сәйкесінше, абсорбционды және авторадиметриялық аттарына ие болды. Айта кететіні, авторадиметриялық әдіс сәулелену көзін қолдануды талап етпейді, өйткені, кендердің табиғи радиобелсенділігінің айырмашылығын пайдаланады (Φ_p).

Сұрыптау көрсеткіштеріне шешуші әсер ететін шикізат қасиеттеріне: минералдардың заттық құрамы мен бөлу сипатын, құнды сыңардың мазмұны мен жол-жөнекей бағалы сыңарлардың болуын, гранулометриялық құрамды, бағалы сыңарды мөлшерлерде (кесіктерде) теңдей емес бөлу деңгейі, сондай-ақ, бағалы сыңардың мазмұны мен бөлгіш белгісі ретінде пайдаланылатын өлшеуіш параметр арасындағы сәйкес келу деңгейін жатқызады. Барлық аталған қасиеттерді анықтау пайдалы қазбаны үйрену, оны барлау мен байытушылыққа зерттеу кезінде жүргізіледі.

Бағалы сыңардың шикізатта мазмұндауы оның құнын анықтайтын негізгі сипаттама болып табылады. Пайдалы сыңардың кесектің құрамында (мөлшерде) кейбір минималды (шектелген) болуы бар, осы кезде ол тәжірибелік құндылыққа ие. Бағалы сыңардың кесекте шектелген мазмұндануы байыту техникасы мен технологиясының дамуымен, сондай-ақ, экономикалық факторлармен анықталынады.

Заттық құрамның сұрыптау үрдісіне әсер етуі әртүрлі болып келеді. Айталық, құрамында химиялық буынның мазмұндауын тіркейтін, мысалы, нейтронды және гамма-сәулеленуді пайдаланатын, әдістерді пайдаланған кезінде, осы химиялық буынның минералдардың қайсысына кіретіні маңызды емес. Өзге жағдайларда, минералдың химиялық құрамының өзгерулеріне өте сезімтал әдістері мен қосылулар нысандары қолданылады. Мысалға, люминесценттік сұрыптау люминесценция материалдарының құбылыстарын кристалданған торға атомдарды немесе люминогендердің ортақ аттары бар бүтін топтарды қосудың арқасында пайдаланады. Қосылулар құрамын өзгерту сұрыптау үрдісінің нашарлауына алып келеді.

Материалдардағы маңызды емес қоспалар сұрыптау үрдісінің талғамдылығын жоғарылату мүмкіндіктерін дамытатын мысал. Мысалы, В.И. Ревнивцев көрсеткеніндей,

шынытастың сәулеленуі кезінде темірдің, титанның, алюминийдің, қоспалары, фотометриялық сұрыптауда пайдалану үшін жеткілікті, оған түрлі-түсті рендерін береді.

Сұрыптау көрсеткіштерін анықтайтын пайдалы қазбаның қасиеті ретіндегі гранулометриялық құрамы, ол пайдалы қазбаны өңдеу, тасымалдау мен дайындау үрдісінде қалыптасады. Осы кезде, гранулометриялық құрамның қалыптасуына негізгі әсерді пайдалы қазбаның физико-механикалық қасиеттері, уатым әдістері, тасымалдау жүйесі мен өзге де факторлардың бірқатары әсерін тигізеді. Осы барлық факторлардың әсері сұрыптаудың көрсеткіштерін жақсартуы немесе оның үрдісін шиеленістіруі мүмкін.

Мөлшерлік сұрыптаудың көмегімен жіктелмеген материалды (тау массасын) $-500+0$ мм ірілік диапазонында қайта өңдейді; кесекті режимдерінде материалдың ірі сыныптарын сұрыптауға тырысады, бұл іріліктің азаюы кезіндегі үрдістің өнімділігінің қарқынды төмендеуімен шартталған.

Қазіргі уақытта, сұрыпталуға бағытталатын бөлшектер көлемінің жоғарғы шегі 300 мм-ді құрайды, төменгісі сұрыптаудың қолданылатын әдісіне тәуелді болып келеді. Мысалға, енетін сәулелендірулерін пайдаланған кезінде ол 25 мм-ді құрайды, ал көзге көрінетін сәулелендірулерін қолданған кезінде – 5 мм-ді, кейде одан да азды құрайды. Көбінесе ұсақ сыныптардың құрамында, әдетте сұрыптау әдісімен байытылмайтын, бағалы сыңардың жоғары мазмұндауы болады, бұл оларды қалдықтарға бағыттатпайды, ал оларды сұрыптау концентраттарымен біріктірген кезінде біріктірілген өнімдердің сапасы төмендейді. Бұл айыруға арналған ірілік сыныптарын таңдауды қиындатады және гранулометриялық құрам туралы мәселені минералды шикізатты байытуды бағалау кезінде шешуге талап етілетін сұрақтардың қатарына қояды.

Айырғыштардың көбісі материалды байытуды 2-ге тең анағұрлым көп немесе анағұрлым аз бөлшектер диаметрлерінің (модульнің) қатынасымен рұқсат ететінін есепке ала отырып, бөлінген сыныптардың максималды саны 5-7 құрайды.

Ірі кесектілікті материалдың гранулометриялық құрамын зерттеу үшін фотопланиметрикалық әдісті қолданады. Бұл әдіс кесектілікті материалдың массасын суретке түсіруінде, мысалы, оның уатымынан кейін, суретке түсірілетін бөлігінің жағы максималды кесектің үш диаметрінен кем болмайтындай қорытындыланады. Сурет бойынша бір сыныпқа жатқызылатын кесектерді бөледі және әрбір сыныптағы кесектердің жатық проекцияларымен алынатын соммалық алаңдарын анықтайды. 1-сыныбының соммалық алаңының, кадрдың бөлінген алаңына қатынастар сыныптың шығуын береді. Өлшеу нақтылығын жоғарылатуды суретке түсірілетін алаңдар санының ұлғаюы арқылы қол жеткізеді.

Сыңарлардың түс қатынасындағы маңызды дәрежедегі контрасты кезінде түрлі-түсті суреттің көмегімен кесектер мен ірілік сыныптары бойынша бағалы сыңардың мазмұнын бөлуді үйренуге болады. Осы әдісті пайдалану, байытуды зерттеген кезінде, әсіресе ірі кесектілікті өнімдерін (шикізаттарын) зерттегендегі еңбек сыйымдылығын маңызды дәрежеде төмендетеді.

Пайдалы қазбаны сұрыптаудың нәтижелілігі гранулометриялық құрамымен бірге *бағалы сыңарды* пайдалы қазбаның кесектерінде *бөлуімен* анықталынады. Пайдалы қазбаны өңдеу мен оны ары қарайғы ұсақтату кезінде үш түрдегі кесектерін алады: тек пайдалы материалды ғана құрамдайтын; тек жыныстық минералдарын ғана құрамдайтын; пайдалы және жыныстық минералдарын құрайтын кесек-қауышпалары.

Қауышпалардың болмағаны кезінде, ең жоғары көрсеткіштер минералдарды толығымен ашу кезінде алынуы мүмкін. Кесек-қауышпасында бағалы минералды бөлудің үш нысанын қарастыруға болады: қауышпаның бүтін объектісі бойынша беткейге жеке сеппеліктерінің шығуымен теңдей (I), шоғырланған, ол кезде бағалы сыңардың кесектің беткейіне шығуы бар (II), және шоғырланған, бұл жағдайда бағалы сыңардың беткейге шығуы жоқ (III).

III түрінің қауышпаларын енетін сәулелендірулерін пайдаланған кезінде ғана концентратқа бөлуге болады. I және II түрлерінің қауышпаларын көрінетін диапазондағы сәулелендірулерді пайдаланумен материалдан бөлуге болады.

Байыту үрдісінің көрсеткіштері бірінші кезекте, бөліну жүргізілетін қасиеттеріндегі сыңарлардың әртүрлілігімен анықталады. Радиометриялық сұрыптаудың пайда болуымен пайдалы қазба қасиеттерінің қарама-қарсылық түсінігі туындады. Бұл түсінік бағалы сыңардың құрамында кеннің кесектерінің әртүрлі мөлшердегі ауытқуларды көрсетеді. Жеке кесектердегі немесе мөлшерлердегі бағалы сыңардың құрамындағы ауытқуларды бағалау үшін орта шаршы ауытқуды қолдануға болады.

Қарама-қарсылықты бағалау үшін кесектің құрамында бағалы сыңардың мөлшерін кеннің орта мөлшерін орташа теңестірілген қатысты ауытқуын пайдалану дұрысырақ екендігін В.А. Мокроусов дәлелдеген және оны қазіргі кезде көптеген зерттеушілер қабылдады.

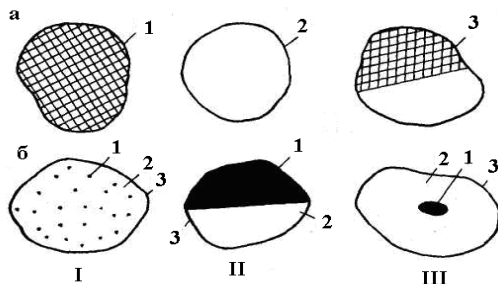
Осы көрсеткішті іріліктің тар сыныбының қарама-қарсылығын анықтау үшін пайдаланады:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |\alpha_i - \alpha| q_i}{\alpha}; \quad \sum_{i=1}^{i=n} q_i = 1 \quad (9.16)$$

мұндағы, n – кесектердің саны;

α_i , α – бағалы сыңардың мөлшеріне сәйкесінше, 1-ші кесегінде және кенінде (сыныбында), %;

q_i – сынаманың жалпы массасындағы кесек массасының үлесі, бірлік үлесі.



9.8-сурет. Пайдалы қазбаның кесектерінде бағалы сыңарды бөлу:

а – кесектердің сан алуан түрлері; б – қауышталардағы бағалы минералды бөлу формалары

Қарама-қарсылық көрсеткішінің маңызды артықшылықтарының бірі– В.А. Мокроусов бойынша, пайдалы қазбаларды байытуда кең пайдаланатын байытылғыштық иілімімен байланысы болып табылады.

Айталық, егер байыту қисықтарын шығу координаталарына қоятын болсақ, кеннің (кеннің тар сыныбының) кесектерінде немесе мөлшерлерінің құрамында бағалы сыңардың мөлшері, онда осындай қисықтар бойынша берілген кенді немесе сыныпты сұрыптау кезіндегі шекті технологиялық көрсеткіштер туралы айтуға болады. В.А. Мокроусов осы қисықтарды «қарама-қарсылық қисықтары» деп атауды ұсынды.

Қарама-қарсылық көрсеткіші 0-ден 2-ге өзгере алады және берілген кенді сұрыптаумен байытудың қағидаттық мүмкіндіктері туралы айтуға қол жеткізеді.

Байыту тәжірибесінің негізінде контрастілік көрсеткіш бойынша кендерді келесідей санаттарға шартты түрде бөледі: контрастілі емес ($M < 0,5$), төмен контрастілі ($M = 0,5 \div 0,7$), контрастілі ($M = 0,7 \div 1,1$), жоғары контрастілі ($M = 1,1 \div 1,5$) және ерекше контрастілі ($M > 1,5$).

Бағалы сыңар мөлшері бөліну белгісіне *сәйкес келу деңгейі* контрастілікпен бірқатар, радиометриялық байытуға келіп түсетін кеннің маңызды сипаттамасы болып табылады.

Жоғарыда айтылғанындай, кесектердің контрастілігін бағалау тікелей өлшенген, анықталынатын сыңардың мөлшері бойынша жүреді. Дегенмен, пайдалы қазбаны сұрыптауда мөлшердегі (кесектегі) бағалы сыңардың құрамын анықтау үшін құрамды анықтаудың жанама әдістерін пайдаланады. Мысалға, сұрыптаудың радиометриялық әдістерінде құрамындағы сыңарлардың мөлшері туралы тіркелінетін сәулеленулердің қарқындылығы бойынша айтады. Берілген жағдайда сәулеленудің қарқындылығы бөлінетін белгі ретінде алға шығады, ол бойынша кескіннің концентратқа және қалдықтарға бағытталуы жүреді. Бағалы сыңар құрамын, бұл жағдайда кескіндерді теңдей ықтималдықпен қалдықтарға да, концентратқа да жатқызуға болады, *шекаралық мөлшері* деп атайды, ал соған сәйкес келетін тіркелінетін сәулелену қарқындылығының мағынасын *бөлінетін белгінің шекаралық*

мағынасы деп аталады. Осы кезде, әрине, байыту көрсеткіштері Π бөлінетін белгінің α бағалы сыңардың мазмұнына сәйкес келу деңгейімен анықталады. Сәйкес келуді бағалау $\Pi = f(\alpha)$ координаталарында құралған корреляциялық алабы және байланыс тарлығын бағалауға арналған сипаттамаларына – корреляция коэффициенті мен корреляциялық қатынастары бойынша жүргізіле алады.

Бағалы сыңардың мөлшерін жанама әдіспен анықтау кезінде байланыс тарлығына келесідей факторлар әсерін тигізеді: байытылатын материал ірілігінің ауқымы, қолданылатын сәулеленудің түрі, оның сыңарлар беткейінің арақатынасын өлшеу әдісі. Айталық, машина сыныбын 2-ге тең модулімен байыту кезінде кесектердің массасы біршама ерекшеленуі мүмкін. Сондықтан, кесектен сәулелену қарқындылығын оның көлемдерімен ара қатынастыру керек. Өлшеудің сан алуан әдістерінде барлық кесектен (үлестен) сәулеленуді анықтайды немесе мөлшердің (кесектің) жеке учаскілерінің сапасын өлшейді. Мөлшердің (кесектің) бөлек учаскілерін сынамалау жағдайында барлық қолға алынған ақпараттан бөліну белгісін қалыптастыруға тура келеді.

Бөліну белгісі мен бағалы сыңардың мөлшері арасындағы сәйкес келу деңгейін Анри байыту қисықтарын салыстыру арқылы анықтауға болады. Олар кен кесектерін бөлінушілік белгісі бойынша нақ сол кеннің контрасттілік қисықтарымен топтастыруында құрастырылған. Сәйкес келу деңгейінің сандық сипаттамасын Π бөліну белгісінің көрсеткіші береді. Ол бөлінушілік белгісі бойынша топтастырылған, сыңардың кеннің құрамында орта мөлшерінен, бағалы сыңардың фракциялардағы құрамының орта теңестірілген қатысты ауытқуы болып табылады.

$$\Pi = \frac{\sum_{i=1}^{i=j} |(\alpha_j - \alpha) \gamma_i|}{\alpha}; \quad (9.17)$$

мұндағы, j – фракциялардың саны;

α_j , α – бағалы сыңардың сәйкесінше, фракцияда және сынамадағы мәні, %;

γ_i – фракцияның шығуы, үлес бірлігі.

Π көрсеткіші M көрсеткішіне ұқсас анықталатындығынан, оны фракциялар бойынша топтастыруды есепке алумен құрастырылған, M көлемін анықтауға арналған формулаларын пайдалана отырып, байыту қисықтарымен де анықтауға болады.

$\Pi/M = \mathcal{E}$ қатынасы бөліну белгісінің сыңар мазмұнына сәйкес келуін сипаттайды және бөліну белгісінің *тиімділігі* деп аталынады. Өзге теңдей шарттарында тиімділік жоғары болған сайын, бөліну белгісі соғұрлым сәтті таңдалған болады және бөліну үрдісінің соғұрлым жоғары көрсеткіштеріне қол жеткізілуі мүмкін.

Сұрыптау үрдісінің тиімділігін бағалау: өзге де кез-келген бөлу үрдісі сияқты сұрыптау бөлу өнімдерінің сапасы мен шығуы, бағалы сыңарды өнімдерге алу, шоғырлану деңгейі, тиімділік сияқты көрсеткіштердің көмегімен бағалана алады.

Маңызды дәрежедегі ірі материалдарын сұрыптау сияқты сұрыптаудың ерекшеліктері, кейбір үрдістерде көрінетін айырмашылықтардың бар болуы мен қолданылуы, сәулеленулердің затпен өзара әрекеттесу нәтижелерін пайдалану бағалаудың жедел әдістерін қолдануға көмектеседі.

Қолмен сұрыптау үрдісінің тиімділігі үш негізгі көрсеткіштерімен сипатталынады: бос жынысты сұрыптау коэффициентімен ε ; қалдықты ластанғандығымен P_k ; жұмыс істейтін сұрыптаушылардың санымен және олардың еңбегінің өнімділігімен.

Бос жынысты сұрыптау коэффициентін ε (%) келесі формула бойынша анықтайды:

$$\varepsilon = 100Q/Q_p, \quad (9.18)$$

мұндағы, Q мен Q_p – сәйкесінше, сұрыпталынған және бастапқы кендегі бос жыныстың массасы, т.

P_k (%) қалдықты ластанғандықты келесі формула бойынша анықтайды:

$$P_k = 100Q_k/D, \quad (9.19)$$

мұндағы, Q_k – кенде сұрыптаудан кейін қалған бос жыныстың массасы, кг; D – сұрыптаудан кейін қалған кен сынамасының массасы, кг.

Бос жынысты сұрыптау коэффициенті мен қалдық ластанғандығын сондай-ақ, фотометриялық сұрыптау көрсеткіштерін бағалау үшін де пайдаланады. Осы көрсеткіштерді сұрыптаудың кез-келген үрдісін бағалау үшін қолдануға болады, егер ББА (бөліну белгісінің аппаратурасы) кесектерінің сапасын бағалау үшін аппаратурасы бар болса.

Шекті рұқсат етілген нәтижелерді бағалауды, бағалы сыңардың жоғалымдарын талдау мен жоғалымдардың себептерін анықтауды келесідей әдістеме бойынша жүргізуге болады. Жоғалымдардың барлық көздерін төрт топқа бөледі, топтардың әрқайсысы тиімділік көрсеткішімен бағаланады. Үрдістің жалпы тиімділігін E_0 (үлес бірлігі) топтардың әрқайсысының тиімділігінің туындысы ретінде алады:

$$E_0 = E_p E_n E_c, \quad (9.20)$$

мұндағы, $E_p E_n E_c$ – сәйкесінше, бөлек сыңарларды, бөліну белгісін, үрдістің күйге келтіруін, байыту аппаратының (айырғыштың) жұмысын, үлес бірлігін ашу тиімділігі.

Егер кеннің құрамындағы бағалы сыңардың мөлшері α болса, онда идеалды жағдайында, сыңарларды толығымен ашуда концентраттың α -ға тең шығуын, ал қалдықтардың шығуын сәйкесінше, $(1-\alpha)$ алуға болады. Концентрат құрамындағы бағалы сыңар мөлшерінің кендегі орта мөлшері ауытқуы концентрат үшін $(1-\alpha)$ және қалдықтар үшін $(0-\alpha)$ болады.

Мұндай теориялық өнімдерінде пайдалы сыңар мазмұндауының оның кеннің құрамындағы мөлшерінен орта теңестірілген ауытқуы осы мөлшерге жатқызылған, P кенінің көрсеткіші деп аталынады және келесідей мәні бойынша анықталынады:

$$P = \frac{|(1-\alpha)\alpha| + |(1-\alpha)(0-\alpha)|}{\alpha} = 2(1-\alpha). \quad (9.21)$$

Сұрыптаудың нақты қол жеткізілетін нәтижелері, пайдалы қазба сыңарларын толығымен ашуға қарағанда, әрдайым төмен болады және қарама-қарсылық қисықтары бойынша анықталады. Контрастілік көрсеткішінде бағалы сыңардың сеппелілігі, сыңарлардың бітіп кету сипаты, олардың

шекараларының бекемділігі, ұсатқыш құрал-жабдығының сипаттамасы мен жұмыс істеу режимдері көрсетіледі.

Контрастіліктің сыңарлар дезинтергациясының идеалды тиімділігіне қатынасы берілген контрастіліктің пайдалы қазбасын өңдеудегі E_p (үлес бірлігі) ашу тиімділігін көрсетеді:

$$E_p = M/P. \quad (9.22)$$

Осы қатынас контрастіліктің тиімділігін көрсетеді.

Сұрыптауды бағалы сыңардың мөлшері бойынша емес, құрамын тек жанама түрінде ғана бейнелейтін, кейбір бөліну белгісі бойынша жүргізеді, бұл сұрыптау тиімділігінің төмендеуіне алып келеді. E_n бөлу белгісінің тиімділігін бөліну белгісі мен контрастілік көрсеткіштерінің қатынасы ретінде анықтайды:

$$E_n = \Pi/M. \quad (9.23)$$

Берілген контрастілік кезіндегі пайдалы қазбаны байытудың теориялық нәтижелерін, берілген шекаралық мөлшерімен бөлінудің қабылданған белгісінде, бағалауды Γ шекаралық мөлшері көрсеткішінің (үлес бірлігі) көмегімен төменгі мағына бойынша жүргізеді:

$$\Gamma = [(\beta - \alpha) \gamma_k + (\alpha - \nu) \gamma_{xb}] / \alpha. \quad (9.24)$$

Шекаралық мөлшерімен көрсеткіші бағалы сыңардың β концентраты мен ν қалдықтарында мөлшерін осы құрамындағы жатқызылған оның α кеніндегі мөлшерін ауытқулардың қатысты орта теңестірілуі болып табылады.

β концентратының берілген сапасы мен бастапқы α -ғы бағалы сыңардың әйгілі мөлшері кезінде ν қалдықтарының мөлшері, γ_k концентраты мен γ_{xb} қалдықтарының шығуларын бөлінудің таңдалған белгісі бойынша құрастырылған байыту қисықтары бойынша анықтайды.

Шекаралық мөлшері Γ көрсеткішінің Π бөліну белгісіне қатынасын E_n (үлес бірлігі) шекаралық мөлшері күйге келтіру тиімділігі деп атайды.

$$E_n = \Gamma/\Pi. \quad (9.25)$$

Сұрыптау үрдісін жүзеге асыру үшін қолданылатын аппаратураның (айырғыштың) бағалы сыңардың мөлшеріне, кесектер көлемдерінің өзгеруіне, қауышпалар түрлері мен айырғыштың жұмыс істеу тиімділігін E_c (үлес бірлігі) анықтайтын өзге де факторларларға сан алуан сезімталдылығы болады. Ол төменгі мағына бойынша анықталады:

$$E_c = C/\Gamma; \quad (9.26)$$

мұндағы, C – айырғыш көрсеткіші, үлес бірлігі.

C айырғыш көрсеткіші Γ шекаралық мөлшері көрсеткішін анықтау үшін келтірілген мағына бойынша, тек қана $\beta, \nu, \gamma_k, \gamma_{xv}$ бөлінудің тандалған белгісін пайдаланатын нақты байыту аппаратында берілген пайдалы қазбаны байыту нәтижелерінен алатындығы ерекшелігімен анықталады.

Жеке тиімділіктердің мәндерін есепке ала отырып, жалпы тиімділік E_o (үлес бірлігі) келесіні құрайды:

$$E_o = \text{МПГС}/(\text{РМПГ}) = C/P. \quad (9.27)$$

C айырғыш көрсеткішінің P кеннің көрсеткішіне қатынасын И.М. Верховский жалпы технологиялық тиімділік деп атады.

E_p, E_n, E_{ν}, E_c жеке тиімділіктерінің мәндері бойынша осы пайдалы қазбаны сұрыптауды жетілдіру мүмкіндіктері туралы айтуға болады. Мысалға, E_p -дің төмендеуі пайдалы қазба қасиеттерінің немесе оны айырғышқа әзірлеу сапасының нашарлауы туралы куәландырады. E_n бөліну белгісінің тиімділігі бірқатар бөлінетін белгілерінің ішінен ең жоғары тиімділікті қамтамасыз ететінді тандап алуға көмектеседі. Айырғыштың жұмыс істеу тиімділігі мен шекаралық мазмұндауды білу нақты кенге арналған байыту аппаратын таңдауға және бөліну шекарасын белгілеуге негізделген жақындауға көмектеседі.

Пайдалы қазбаларды сұрыптау технологиясы

Сұрыптаудың негізгі технологиялық міндеттеріне төмендегілерді жатқызуға болады:

1. бұдан кейінгі байытусыз пайдалану үшін жарамды таза минералдарды немесе жай минералдарды бөлу;
2. бағалы сыңарды алдын-ала шоғырландыру;

3. пайдалы қазбаны бөлек технологиялық түрлерге бөлу;
4. ірі кесекті концентраттарды химиялық, металлургиялық өңдеу үшін алу;
5. өзге әдістерімен алынған алғашқы кездегі концентраттарды жетілдіру.

Сұрыптаудың жоғарыда аталған технологиялық міндеттердің әрқайсысының өзінің ерекшеліктері бар.

1. Пайдалы қазбалардың таза сыңарларын алудың технологиялық тапсырмасы бұрынғы кездегі технологиялық тапсырмалардың бүтін жиынтығында маңызды дәрежедегі үлеске ие болды және өздігінен пайда болған металдардың кен орындарының түгесуі кезінде мағынасын жоғалтты. Қазіргі уақытта, берілген технология бағалы, жартылай бағалы және жасанды тастарын өңдеуде қолданылады.

2. Технологиялық тапсырманың екі қосымшасы бар: кондиционды және кондиционды емес (теңгерімнен тыс) кендер. Кондиционды кендерді алдын-ала байыту кезінде байыту фабрикасының өндірістік қуаттылығын жоғарылату мен өнімнің өзіндік құнын төмендету міндеті алдыға қойылады. Сұрыптау кезінде қосымша шығындардың туындау қауіпі болады, сондықтан, үрдісті күйге келтіруді бағалы сыңарда үйіндінің мазмұндауымен қалдықтарды бөлуге жүргізеді. Бұл кезде жалпы алудың төмендеуі болмайды, ал кейбір жағдайларда, жоғарылауы болады, өйткені келесі байыту қайта бөлісуге, мысалы, анағұрлым бай өнім флотацияға жіберіледі. Алдын-ала байыту кен байыту комбинатының өндірістік қуаттылығын жоғарылату, қалдықтарды құрылыс индустриясының қажеттіліктерін пайдалану (ұсақ тас және басқалары) алғышарттарын дамытады, ұсақтау мен ұнтақтау шығындарын үрдістен бос жыныстың ірі кесекті бөлігін шығару есебінен төмендетуге қол жеткізеді. Кондиционды кендерін байытуда қалдықтарды шығару бастапқыдан 20-50%-ға жетеді.

Кондиционды емес кендерді алдын-ала байыту кезінде бағалы сыңардың минималды рұқсат етілген мөлшері бар концентраттың максималды шығуын алу мақсатын алға қояды. Кондиционды емес кендерін алдын-ала байыту теңгерімнен тыс кендеріндегі бағалы сыңардың шығындарын төмендетеді және

істегі байыту өндірістің қызмет ету мерзімін ұлғайтуға немесе шикізатпен қамтамасыз етілуін жақсартуға қол жеткізеді.

3. Технологиялық тапсырма кенді өздерінің қасиеттері мен заттық құрамы бойынша ерекшелікті болып келетін жеке технологиялық түрлерге алдын-ала бөлуді қарастырады. Осы міндетті шешу кезіндегі ең бастапқысы – бөліну талғамдығын жоғарылату болып табылады. Мысалға, сульфид кендерінің тотықтандырылған және тотықтандырылмаған түрлері маңызды деңгейдегі әртүрлі технологиялар бойынша қайта өңделулері тиіс. Бағалы сыңардың бірдей емес мөлшері бар кендер әртүрлі жобалар бойынша қайта өңдеу кезінде анағұрлым көбірек алуды қамтамасыз етеді. Осы міндетке кеннің түрін, оның байытылғыштығын минералды-спутникті анықтайтын жағдайды жатқызуға болады және технологиялық түрлерді бөлу байыту көрсеткіштерін маңызды дәрежеде жақсартуға (мысалға, радиорезонансты әдіс сульфиттермен байланысты шеелитті және силикаттармен байланысты шеелитті бөлуге көмектеседі) қол жеткізеді.

4. Технологиялық тапсырма берілген іріліктегі концентраттарды алуда қорытындылады. Ірі кесекті концентраттардың тұтынушылары ретінде металлургиялық кәсіпорындар болып табылады. Ірі кесекті концентраттарды екі әдіспен алуға болады: жұқа дисперсті концентраттарды түйіршіктеумен немесе егер пайдалы қазбаның сеппелілігі кесекті түрінде сұрыптау арқылы қол жеткізілетін болса. Мұндай тапсырманы шешудің мысалы ретінде, мартен өндірісіне жүретін ірі кесекті концентратты алатын Криворож бассейнінің «Глубокая» шахтасында темірді мазмұндайтын кендерін байыту қызмет ете алады.

5. Технологиялық тапсырма – байытудың өзге әдістерімен алынған концентраттарды сапаландыру. Айталық, мысалға, араласқан марганец кендерін жуу концентраттарын фотометриялық айырғыштар көмегімен тотыққан және марганецтің карбонатты минералдарына бөлу байытудың гравитациялық, флотациялық және магниттік әдістеріне қарағанда жақсырақ нәтижелерін береді.

Сұрыптау үрдісінің режимі материалдың көлік ағымын ұйымдастыру әдісімен және материалдың ағымынан

шығарылатын мөлшердің сипаттамасымен анықталынады. Сұрыптаудың ерекшелігі – пайдалы қазбаны көліктендірудің міндетті операцияларының болуы және түйіршіктерді ағымынан бөлу болып табылады.

Пайдалы қазбаны көліктендіру конвейерлі көлігінің көмегімен бірыңғай тығыздалған ағынымен жазықтықта орналастырылған түйіршіктерді бір бірінен бөлінуімен жүзеге асырылады.

Көліктендірудің бес түрлі әрқайсысында материалды ағымнан бөлуді бір кесек немесе мөлшерлер бойынша жүргізуге болатындығынан, он түрлі технологиялық режимдерін бөлуге болады. Сұрыптау тәжірибесінде тек бес түрлі режимдер ғана өздерінің қолданысын тапты.

Мөлшерлік режимдері бөліну өнімдерінің жоғары емес сапасында үлкен өнімділікті қамтамасыз етеді. Сұрыптаудың кесектік режимдері бөліну режимдерінің жоғары сапасын қамтамасыз етеді. Сұрыптау кезіндегі өнімділік мөлшерлік режимін қолданғанға қарағанда, кесекті режимінде төменірек болып келеді.

Әдетте, пайдалы қазбаларды сұрыптауға дайындау кезінде екі өзара байланысқан міндеттерді шешеді:

1. Сұрыптау операциясынан максималды нәтижені қамтамасыз ету;

2. Сұрыптау үрдістерінің қалыпты ағымын қамтамасыз ету.

Осы екі міндеттерді шешуді пайдалы қазбаны ірілігі бойынша дайындау мен сұрыпталылатын бөліктердің беткейін дайындау арқылы қол жеткізеді.

Пайдалы қазбаны ірілігі бойынша дайындау үшін пайдалы қазбаны бұзу (өңдеу мен ұсақтату үрдістерінде) мен елеу операцияларын қолданады.

Бұзудың мақсаты – берілген ірілікке дейін жеткізуінде, пайдалы қазба сыңарларының сұрыпталылатын сыныптарының берілген шығуы кезіндегі (γ_i) максималды ашуында (R) қорытындыланады:

$$R \rightarrow R_{\max}; \quad \sum_{i=1}^n \gamma_i \leq \gamma_{\text{бер}}, \quad (9.28)$$

немесе сыңарларды дайындау үрдістерінде тұрақты ашуында және сұрыпталынатын сыныптардың максималды шығуы, кезінде:

$$R \geq R_{\text{бер}}; \sum_{i=1}^n \gamma_i \rightarrow \gamma_{\text{max}}. \quad (9.29)$$

Сұрыпталуға бағытталатын сыныптардың шығуын ұлғайту сұрыптау операцияларын жүргізу нәтижесін жоғарылатады.

Сұрыптаудың негізгі режимі – кесектіні пайдаланған кезінде үрдістің өнімділігі сұрыпталынатын кесектер көлемдерінің азаюында қарқынды түрде төмендетілетіндігінен сұрыптауды іріліктің анағұрлым ірі сыныптарынан бастаған дұрыс болып келеді.

Одан бөлек, осығанға дейін ашылған сыңарлар ірілігінің төмендеуі сұрыпталынатын сыныптардың шығуының төмендеуіне және бір уақытта, сұрыпталынбайтын сыныптардың шығуының уақытша ұлғаюына алып келеді. Сұрыптауға ірілігі 250-ден 5 мм-ге дейін материалды (жиі кезде анағұрлым ұсақ сыныптарын сұрыптайды) 2-3 модуліндегі іріліктің ұсақ сыныптарына бөлумен бағыттайды.

Өңдеудің бұрғы жарылыстық әдісі кезіндегі γ (%) сыныбының +5 мм шығуы комбайндыққа қарағанда жоғары екендігі көрініп тұр. Бұл жағдайды сұрыпталатын сыныптардың шығуын ұлғайту үшін пайдалануға болады.

Сұрыпталатын сыныптың шығуын (мысалға, +3 мм) жақ ұсатқышының түсіру саңылауының көлемін өзгерту арқылы басқаруға болады.

Тар сұрыпталатын сыныптан, идеалды шарттарында, барлық ашылған материалдарын (мысалға, галитті) γ_k (%) қалдықтарға бөлуге болады:

$$\gamma_k = \gamma = d_1 + d_2 \alpha_r / 100, \quad (9.30)$$

мұндағы, $\gamma = d_1 + d_2$ – сыныбының шығуы, %;

α_r – осы сыныптағы ашылған галиттің мазмұндауы, %.

Жалпы жағдайда, n ірілік сыныптарын сұрыптау кезінде қалдықтардың теориялық шығуы γ_{xb} (%) келесіні құрайды:

$$\gamma_k = \sum_{i=1}^n 1\gamma_i \alpha_{ji} / 100, \quad (9.31)$$

мұндағы γ_i – сұрыптауға келіп түсетін i -сыныбының шығуы, %; α_{ji} , i – сыныбындағы j -ашылған сыңарының мөлшері, %.

Сұрыптау үрдісіндегі қалдықтарға шығулар (үрдіс тиімділігінің негізгі көрсеткіші) сұрыпталынатын сыныптардың шығуынан және сыңарларды ашуынан, яғни дайындау операцияларына тәуелді болып келетіні көрініп тұр.

Сұрыптау тиімділігі мен үрдісті қалыпты түрде жүргізу бөлінетін материалдардың беткейінің жағдайына тәуелді. Бұл тек төменгі дәрежедегі сіңу қабілеттілігіне ие болып келетін фотометриялық сұрыптау сияқты әдіске ғана жатқызылмайды. Мысалға, уран кендерін авторыдиометриялық сұрыптау әдісі кезінде кесектер беткейлерінің ластануы анағұрлым әлсіз, оңай бұзылатын бағалы сыңарлармен жүреді, бұл бағалы сыңарды бөлу геометриясының өзгеруіне, оның қалдықты өнімдерімен бірге жоғалымдарына және бөліну шекараларының жылжуына алып келеді. Оптикалық ауқымның сәулеленулерін пайдаланатын әдістері үшін беткейдің ластануы үрдістің талғамдылығының бұзылуына алып келеді, ол өз кезегінде, бөліну өнімдерінің өзара ластануына алып келеді.

Жоғарыда аталған құбылыстарды жоққа шығару үшін, әдетте, беткейді дайындаудың екі әдісін пайдаланады: пайдалы қазбаны жуу және ары қарай оны кептіру; дірілді және шанды сорып алуды бірлесіп немесе бөлек әсер еткізудегі беткейді тазарту.

Сұрыптау үрдісінің өнімділігі қолданылатын режиммен анықталынады. Айталық, мөлшерлік режимдері кезінде сұрыптау өнімділігі көлік құрылғыларының өнімділігіне тең. Дискретті-мөлшерлік режимінде, яғни көлік сыйымдылықтарында сұрыптауда, сұрыптау операциясының өнімділігі мөлшерді анықтау уақытысымен t_0 шектелінеді және кейбір рұқсат етілген мәнінен t_0 асып түспеуі қажет, бұл жағдайда технологиялық үрдістің уақытша режимі бұзыла бастайды. Осылайша, сыйымдылықтағы мөлшердің сортын анықтау уақыты тасымалдау технологиясының шарттары

бойынша рұқсат етілгеннен асып түссе, онда сортты анықтаудың бірнеше бекеттерінің (радиометриялық бақылау бекеттерін РББ) бекітілуі керек. РББ сандары $n \geq t_c / t_{\text{бер}}$.

Кенді сұрыптаудың ағымды-мөлшерлік режимінде, мысалға, таспалы конвейердің көмегімен іске асырылған, мөлшердің сортын (немесе бөлінетін белгісін) анықтау уақытын ауқымды қызмет көрсету теориясын пайдалана отырып, анықтауға болады. Мөлшерге қызмет көрсету $P_{\text{уак}}$ ықтималдылығы 1-ге тең. Уақыттағы бөліну белгісі кездейсоқ қызмет болып табылады. $t_{\min} \leq 0,5\omega_{\max}$ мәні бойынша анықталатын бірегей өлшеудің созылымдылығы кезінде, мұндағы $\omega_{\max}$ – бөлінетін белгінің өзгерулерінің анағұрлым көп жиілігі, В.А. Котельникованың теоремасына сәйкес, бөлінушілік белгінің қозғалатын материалдың сапасы туралы ақпараттың жоғалымдары болмайды.

Осы жерден, қызмет көрсету уақыты $t_{\text{уак}} \geq t_{\min}$, яғни $t_{\text{уак}} = t_{\text{ж}}$ (рационалды, немесе керек мағыналардың ең жоғарысы), бөлінушілік белгінің мағынасы бойынша бөлінуге тиесілілердің ішінен кеннің анағұрлым аз партияларын бекіту датчигінен жылжу уақыты бар.

Ағымды-мөлшерлік режим $Q_{\text{п-п}}$ кезіндегі өнімділік (т/сағ) келесі мағынадан анықталады:

$$Q_{\text{п-п}} = 3600 m_{\text{п}} / t_{\text{уак}}; \quad (9.32)$$

мұндағы, $m_{\text{п}}$ – элементарлы мөлшердің массасы, т; $t_{\text{уак}}$ – элементарлы мөлшерге қызмет көрсету уақыты, с.

Ірілігі -100+20мм сыныбы үшін элементарлы мөлшердің массасы 5-8 кг құрайды. Анағұрлым ұсақ сыныптарды сұрыптау элементарлы мөлшердің массасын қарқынды қысқартуды талап етеді.

Ағынды-кесекті режим кезіндегі өнімділік тасымалдайтын құрылғының өнімділігімен анықталады, егер жою тасымалдайтын құрылғыны тоқтатусыз жүргізілетін болса. Кесекті ағыннан тасымалдайтын құрылғыны тоқтатумен шығару өнімділікті төмендетеді, және осы төмендеу шығарылатын кесектердің санымен анықталынады.

Айырғышты жүзеге асыратын кесекті режимінде пайдалы қазбаның кесектері бірінің артынан бірі белгілі бір қашықтықта жүреді. Бастапқы шикізат бойынша айырғыштың өнімділігіне келесідей факторлар әсерін тигізеді: бөлшектердің диаметрі, қайта өңделінетін шикізаттың тығыздылығы, бөлшектердің қозғалу жылдамдығы мен олардың арасындағы қашықтық. Бөлшектердің қозғалу жылдамдығы мен олардың арасындағы қашықтық бөліну белгісін анықтайтын аппаратураның сипаттамаларымен, сондай-ақ, бөлшектердің жоюын жасайтын атқарушы механизмнің тез қызметімен шектелінеді. Көптеген жағдайларда, шектеулер атқарушы механизмнің тез қызметімен анықталатындығын есепке ала отырып, айырғыштың өнімділігі Q_k (т/сағ) кесекті режимінде келесі формула бойынша анықталады:

$$Q_k = 3600V\rho n; \quad (9.33)$$

мұндағы, V – кесектің көлемі, m^3 ; ρ – кесектің тығыздылығы, t/m^3 ; n – атқарушы механизмнің жұмыс істеп кету жиілігі, c^{-1} .

Айырылатын кесектердің формасын шар тәрізді ретінде қабылдай отырып, келесіні жазамыз:

$$V = \pi d_{орт}^3 / 6; \quad (9.34)$$

мұндағы, $d_{орт}$ – кесектің орта диаметрі, m .

Материалдың әртүрлі ірілігі үшін атқарушы механизмнің жұмыс істеп кету жиілігі өзгермейді деп тұжырымдап, айырғыштың өнімділігін келесідей формула бойынша анықтауға болады:

$$Q_k = 3600\pi d_{орт}^3 n / 6 = 600\pi d_{орт}^3 n. \quad (9.35)$$

Айырғыштың өнімділігі материалдың тығыздылығы мен атқарушы материалдың тез қызмет етуіне тура пропорционалды тәуелді екендігі көрініп тұр. Өнімділікті анықтайтын негізгі фактор – бөлшектердің ірілігі болып табылады. Бөлшектердің диаметріне, материалдың тығыздылығына және атқарушы материалдың жұмыс істеп кету жиіліктеріне бөлгіш өнімділігінің тәуелділігі байланысты.

Тегіс кесекті режимін іске асыратын айырғыштардың өнімділігі маңызды дәрежеде жоғары. Өнімділікті жоғарылату

айырғыштың аймағын кенді берудің көптеген жалған немесе шынайы каналдарын қалыптастыру және оларға бөлу белгісін анықтауға арналған бір немесе (бұл көп каналды айырғыштарында болады) құрылғыларымен қызмет көрсету арқылы ұлғайту салдарынан мүмкін болды.

Кесектер кесекті режим үшін қабылданған жіберіп алулар кезінде де қоректендіргіш құрылғының жазықтығы бойынша шашыраңқы түрде жылжыйтынын есепке ала отырып, тегіс кесекті режимдегі өнімділікті $Q_{\text{т.к.}}$ (т/сағ) төмендегі формула бойынша анықтауға болады:

$$Q_{\text{т.к.}} = 3600V'\rho n; \quad (9.36)$$

мұндағы, V' – бір уақытта, барлық жалған және шынайы каналдары бойынша айырғыш аймағына кіретін кесектердің келтірілген көлемі, м^3 .

Бір уақытта қарау аймағына кіретін кесектердің келтірілген көлемі,

$$V' = V_k; \quad (9.37)$$

мұндағы, V – бір кесектің көлемі, м^3 ($V = \pi d^3/6$); k – жалған немесе шынайы каналдардың саны.

Каналдардың саны келесі формула бойынша анықталынады:

$$k = k_3 B / d_{\text{орт}}; \quad (9.38)$$

мұндағы, k_3 – айырғыш аймағын ені бойынша толтыру коэффициенті; B – айырғыш аймағының ені, м ; $d_{\text{орт}}$ – сұрыпталынатын кесектің орта диаметрі, м .

$$\text{Сол кезде:} \quad V' = V k_3 B / d_{\text{орт}}. \quad (9.39)$$

V' мағынасын (9.37) формуласына қоя отырып, келесіні аламыз:

$$Q_{\text{т.к.}} = 3600 V k_3 B \rho n / d_{\text{орт}} = 3600 \pi d_{\text{орт}}^3 k_3 B \rho n / (6 d_{\text{орт}}) = 600 \pi d_{\text{орт}}^2 k_3 B \rho n. \quad (9.40)$$

Өнімділікті жоғарылатуды айырғыш аймағын ұлғайту мен жалған немесе шынайы каналдарын тығыздау есебімен қол жеткізуге болады.

Тегіс кесекті режимінің өнімділігі кесектіге қарағанда қанша есеге көп екенін анықтайық:

$$Q_{\text{т.к.}}/Q_{\text{к}} = 600\pi d_{\text{орт}}^2 k_3 B \rho n / (600\pi d_{\text{орт}}^3 \rho n) = k_3 B / d_{\text{орт}} = k. \quad (9.41)$$

Тегіс кесекті режимінің өнімділігі кесектіге қарағанда (d^3 -ке пропорционалды) сұрыпталынатын материалдың ірілігінің төмендеуіне азырақ сезімтал болып келеді (d^2 -ке пропорционалды).

Сұрыптаудың авторациометриялық әдісін табиғи-радиоактивті кендерін байыту үшін пайдаланады. Уран, торий кендері альфа-, бета және гамма-сәулеленуін генерирлейді, бірақта, кесектің немесе мөлшердің сортын анықтау үшін тек қана гамма-сәулеленуді пайдаланады. Альфа- мен бета-сәулеленуін кен және қоршаған ортасы қатты сіңіріп алады және олар бағалы сыңарды мазмұндауы туралы сенімді көз ретінде қызмет ете алмайды. Құрамында калийді мазмұндайтын кендер бета-сәулеленуді генерирлейтін калий-40 изотропын мазмұндайды, ол ұқсас себептерінен кесекті сұрыптау үрдістері үшін қолданымсыз. Бета-сәулеленуі калийді мазмұндайтын кендерін байытудың ұсақтатқан өнімдерінің сапасын артықшылықты бақылау үшін қолданылады.

Авторациометриялық сұрыптаудың негізгі объектісі – таза урандық және кешенді уран кендері болып табылады [1].

Уранды мазмұндайтын кендердің сипаттамасы (Б. В. Невский мен В. А. Мокроусов бойынша) төменде келтірілген.

Уран кендері ерекшеліктерінің бірі – уран минералдарының (уранның қаралары) морттылығы мен кен таситын ерітінділерінің әлсізденген, жарықшақты кен жыныстарына енуімен байланысты кендердің қалыптасуының генетикалық ерекшеліктерінің салдарынан уранның ұсақ сыныптардағы таңдамалы концентрациясы болып табылады. Кеннің жіктері әлсізденген жерлер бойынша болады, яғни кен таситын минералдарының шоғырлану жерлері бойынша, бұл сондай-ақ, уранды ұсақ фракцияларға талғамды ауыстыруға әрекеттеседі.

Сұрыпталынатын кесектер ірілігінің төменгі шегі – 25 мм болып табылады, өйткені кесектер көлемдерінің ары қарайғы

төмендеуі тіркелінетін сәулеленудің қарқынды түрде азаюына алып келеді.

Уран кендерінің жоғарыда аталған ерекшеліктерін есепке ала отырып, оларды көптеген радиометриялық байыту фабрикаларында қолданылатын жоба бойынша сұрыптайды.

Уран кендерінің сынамаларын сұрыптау нәтижелері (И. Д. Гуров бойынша) төменде келтірілген.

Витватерсранд (ОАР) кен орнындағы кешенді алтын-уран кенінің радиометриялық айырғышының нәтижелері 9.3-кестеде көрсетілген.

Алтын-уран кенінің қолмен сұрыпталуы дауыстық дабылымен және бай кесектерін қолмен жоюымен сцинтилляциялық құрылғыларының сортын анықтау құрылғысы ретінде пайдаланумен жүргізілген.

Радиоактивті кендерінің кейбір түрлері үшін құрамында оптикалық қасиеттері бар уранның мазмұндауы корреляциясының жоғары деңгейінің әсерінен сұрыптаудың авторадометриялықтан фотометриялыққа ауысуы мүмкін болады, бұл іріліктің төменгі шегін төмендетуге және айырғыштың өнімділігін жоғарылатуға қол жеткізеді.

Кен орындарының бірінде сирекжерлі тантал-ниобиевті кенінде бағалы сыңарлардың (тантал, ниобий) сыйғызатын жыныстар мен кен қатарындағы соммалық мазмұндауының ара қатынасы 1:40 болған кезінде әрбір буынның мазмұны табиғи-радиоактивті торийдің мазмұндауымен тығыз корреляцияланған болып шықты. Осы кендердің құрамында торийдің төмен мазмұндауы әсерінен олар гамма-сәулеленудің жоғары емес қарқындылығымен сипатталынады және жоғарылатылған сезімталдылықты айырғыштарын қолдануды талап етеді, ол айырғыштар ретінде эстафеталық түріндегі айырғышты пайдаланған. Авторадометриялық сұрыптау кезінде кесекті режимде ірілігі – 250+80мм – 50 т/сағ; -80+50мм - 27 т/сағ; - 50+20мм – 13 т/сағ өнімділік қамтамасыз етіледі.

9.3-кесте

Витватерсранд (ОАР) кен орнында алтын-уран кендерін
сұрыптаудың нәтижелері

Өнім	Шығын, %	Уранның үлесі, %	Уранның бөліп алу дәрежесі, %	Алтынның үлесі, г/т	Алтынның бөліп алу дәрежесі, %
Колмен талдау					
Концентрат	82,2	0,0188	99,1	14,5	99,3
Қалдық	17,8	0,0008	0,9	0,44	0,7
Бастапқы кен	100	0,0156	100	11,65	100
Авторadiометриялық талдау					
Концентрат	77,75	0,0199	99	14,85	99,2
Қалдық	22,25	0,0007	1	0,39	0,8
Бастапқы кен	100	0,0156	100	11,65	100

Кесек сортының өзгеруінің эстафеталық қағидасын пайдалану сәулеленулердің жоғары емес қарқындылықты кендерін авторadiометриялық әдісімен байытуға қол жеткізеді.

Темір кендері В. И. Базаре бойынша радиометриялық сұрыптаудың жобасымен өңделеді.

Радиометриялық байыту фабрикаларын отандық өндірістегі бөлгіштерімен қамтамасыз етеді. Сұрыптау аппаратурасын жайғастырудың шашыраңқыраған жобасы қолданылады: материалдың ағымын қалыптастыру, сәулелену құрал-жабдығы, жоятын механизм тасымалдаушы құрылғысында шоғырланады, ал бөлгіштердің электронды блогы реттеуші орнына жұмыстың қауіпсіз шарттарын қамтамасыз ету үшін шығарылады.

Люминесцентті сұрыптау минералдардың суық жарығындағы (люминесценциядағы), олардың рентгендік немесе ультра күлгін сәулесімен сәулеленуі кезінде туындайтын айырмашылықтарды қолданады. Сәулелену көзінің түріне тәуелді рентгенді-люминесцентті (РЛ) және фотолюминесцентті (ФЛ) сұрыптауларды ажыратады.

Рентгенді-люминесцентті сұрыптауда сәулеленулердің көздері ретінде рентген құбырлары мен изотоптарды пайдаланады. Изотоптармен сәулеленуі шектелген түрде қолданылады, көбінесе геологиялық жұмыстарына арналған айырғыштарында.

Люминесценция құбылысы кейбір минералдардың сәулеленуі кезінде көрінеді. Генерирлейтін сәулеленудің спектрлі құрамы минералдың қасиеттері мен сәулеленулер көздерінің спектріне тәуелді болып келеді. Генерирлейтін жарықтың қарқындылығы мен спектрлі құрамына әсер ететін минералдардың құрамына келесілер жатқызылады: люминесцирлейтін қоспалардың (люминогендердің) құрамы; люминесценцияның қоспа-өшіргіштерінің құрамы; тәжірибені жүргізу шарттары (минералдың температурасы, ылғалдылығы).

9.4-кесте

Танталды-ниобий кенін авторадиметриялық сұрыптау нәтижелері (О.А. Архипов пен С. С. Гусев бойынша)

Бастапқы кен			Концентрат		Қалдық	
Класс, мм	Шығым %	Пайдалы компонент- тердің үлесі	Кен шығымы, %	Пайдалы компонент- тердің үлесі	Кен шығымы, %	Пайдалы компонент- тердің үлесі
-250+80	25,6	0,81	9,34	1,88	16,26	0,195
-80+50	15,7	1,02	7,06	2,05	8,64	0,175
-50+25	14	1,07	6,09	2,24	7,91	0,198
-250+25	55,3	0,93	22,49	2,03	32,81	0,187
-25+0	44,7	1,08	44,7	1,08	-	-
-250+0	100	1	67,19	1,39	32,81	0,187

Люминесценция құбылысы кристалды тордың жасалуы мен құрамына негізделген минералдарға, шеелит, повеллит және құрамында UO_2^{2+} уранил-ионды мазмұндайтын уранның гипергендік минералдарының басым бөлігін жатқызуға болады. Бұл топқа тұрақты люминесценцияға ие болып табылатын алмасты да жатқызуға болады.

Минералдардың люминесценция құбылысы люминоген қатысуын туындатуы мүмкін. Люминогендер ретінде уран, сирек жер элементтері, марганец, хром қолданылады. Ал рубидийдің, стронцияның, теллурдың, сурьманың, молибденнің,

титанның люминогендік қасиеттері аз қарастырылған. Олардағы люминогендік құрамы 10^{-3} -тен бірнеше пайызға дейін тербеліске ие болады. Мысалы, флюорит, циркон, корунд үшін люминоген болып сирек жер элементтері табылады. Кейбір минералдар алуан түрлігіне қатысты қоспалар көмегімен люминесцирленеді, мысалы: кальцит, арагонит, опал, сфалерит, топаз.

Темір мен никель қоспасы люминесценцияны өшіру рөлін жиі атқарады. Люминесценцияның өшуі кей-кездерде қалпына келтірілмейді, және ол жоғары температура кезінде байқалуы мүмкін. Сонымен, мысалы, алмасты 120^0 -қа дейінгі жоғары температурада қыздыру жарықты толық өшіруге алып келеді. Кей-кездерде люминоген концентрациясының жоғарылауы жарықты өшіруге алып келеді (концентрациялық өшу). Негізінде сұрыптаудың люминесценттік әдісін алмастардан тұратын кендерде қолданылады. Алмастарды айырудың пайда болуы М.Е. Богославский жұмысымен, яғни таспалық типті люминесценттік айырғышпен тікелей байланысты.

Өндірісте люминесценттік әдісті қолдану облысының көбеюі, әдіс пен аппаратты сұрыптау үшін өзін-өзі көрсетуі бойынша бірнеше кезеңдерде жүзеге асады. Негізгі кезеңдерді атап өтейік: концентраттарды жетілдіру мақсатымен тексеру партиялары мен сұрыптау әдісін жетілген фабрикаларға өткізу; бабына жеткізу үшін, майлық үрдіспен қатар, электрлік және магниттік айырғыш; ауыр орталарда жетілдіру үрдісін шығарып тастау. Алмас кенін «Констракшинс электрик Шарлеруа» атты Бельгия фирмасының айырғышында рентгенді-люминесценттік сұрыптау кезінде жоғары нәтижелерге ие болдық.

Люминесценттік сұрыптау үшін аппаратураның шығуы басқа режимдерде люминесценттік айыруды іске асыруды орындауды қамтамасыз етеді. Бұл жағдай айырғыштар өндірісін жоғарылатуға көп септігін тигізді, ал әдістің өзі алмастан тұратын шикізат көзін қамту кезінде негізгі әдістердің бірі болып есептелінді. Люминесценттік сұрыптауды өндірістік қамту кезіндегі деңгейде флюориттік және шеелиттік кен байлықтарының технологиясы жатыр. Флюориттің люминесценттік сәуле шашуы жалпақ сызық түрінде болады және 432 нм аумағында барынша сәуле шашады. Құрамында

түрлі минерал кальциті бар флюориттік кендердің люминесценттік сұрыптау нәтижелері 9.5-кестеде келтірілген.

Шеелиттік кендер люминесценттік сұрыптау үшін өте пайдалы нысан болып есептеледі. Себебі, спектрдің көрінетін бөлімінде шеелиттік кендердің жарықтануы, үнемі 420 нм көрсеткіші бойынша болады. Сонымен қатар, фото– және рентгенді–люминесценттік сұрыптауды қолдану барысында өте жақсы нәтижелерге алып келеді. Микроклиннің (калийдің бір түрі) люминесценциясының спектрлерін, альбиттің (натрийдің бір түрі) және кварцтың сыйымды минералдарын зерттеу бұл минералдардың рентгенді–люминесценттік сұрыптауларының мүмкін екендігін көрсетеді.

9.5-кесте

Алмас кенін «Констракшинс электрик Шарлеруа» атты Бельгия фирмасының айырғышында рентгенді–люминесценттік сұрыптау кезіндегі нәтижелері

Сепаратордың өнімділігі, кг/сағ.	5	5	0,6
Класс ірілігі, мм	-10+4	-4+1,8	-1,8+0,8
Қалдық шығыны, %	>90	97	97
Алмаздардың қалдықтағы үлесі, %	6	1	0,5-1

Фотонейтронды сұрыптау негізі КСРО-да қаланған. Бұл әдісті Г. В. Горшков ұсынған, ал 1966 жылы мемлекеттік аппараттың көмегімен оны қолдана бастады [1].

Бериллий изотобы көптеген изотоптардан ерекшеленеді, оның ерекшелігі – фотонейтронды реакциясының өте төмен (1,665 МэВ) болуы, яғни гамма-кванттар энергиясының шегі, ал ол арқылы нейтрондар жіберілуі басталады (басқа изотоптардың басым көпшілігі 6-20 МэВ шегінде болады). Бұл жағдай $Be + \gamma \rightarrow Be + n$ түріндегі фотоядерлі реакция көмегімен бериллий кендерін байыту, яғни, гамма-сәуле тарату әсерімен бериллий изотопының қасиеттерімен нейтрондарды басқа изотопқа айнала отырып шығару негізінде жатыр.

9.6-кесте

Флюорит кенін люминесцентті сепарациясының нәтижелері
(М. И. Лосев пен Э.Г. Соколов бойынша)

CaF ₂ дақ түсіру	Үлгідегі CaF ₂ үлесі %	Концентрат		Қалдық		Сепара-ция эффектив-тілігі	Сорт-тау түрі
		Шығын,%	CaF ₂ мөлшері %				
Кальцит үлесі 0,85-1,5%							
Ірі	9,8	69	13,8	31	1	0,69	ФЛ
Майда	29,4	69,6	36,6	30,4	13,1	0,47	ФЛ
Ірі	10,4	61,8	16,2	38,2	1	0,84	РЛ
Майда	30,2	84,6	32,8	15,4	1,6	0,81	РЛ
Кальцит үлесі 44,6-62,7%							
Ірі	10,1	45,6	14,6	54,5	6,1	0,67	ФЛ
Майда	17	70,2	21,8	29,8	6	0,53	ФЛ
Ірі	9,8	63,9	13,7	37,1	3,2	0,70	РЛ
Майда	15,6	75,4	19,3	24,6	4,3	0,74	РЛ

Ескерту: ФЛ-фотолюминесцентті, РЛ-рентгенлюминесцентті сорттау.

9.7-кесте

Шеелит кенін фотолюминесценттік сұрыптау нәтижелері (В. А. Мокроусов пен В.А. Лилеев бойынша), %

Өнім	ШЫҒЫМ	Үлесі	Бөліп алу дәрежесі
Концентрат	32	1,48	77,7
Өндіріс өнімі	16,6	0,51	13,9
Қалдық	51,4	0,10	8,4
Бастапқы кен	100	0,61	100

Сәуле шашу бастамасы ретінде сурьма изотопы гамма-кванттар энергиясымен 1,693 МэВ қолданылады, ол өз алдына фотонейтронды сұрыптаудың талғамдылығын едәуір қамтамасыз етеді. Бұл жағдайларда талғамдылық кен түріне байланысты өзгермейді. Осы үрдіс бериллдік, гентгельвиндік, фенакитовтық және бертрандит-фенакиттік кендерінде қолданарлық.

Кендерді рентгенді-флюоресценттік әдіспен байыту
нәтижелері, %

Бағалы компонент, кен	Кен- дегі үлесі	Концентрат			Қалдық		
		Шығын	Үлесі	Бөліп алу дәреже-сі	Шығын	Үле сі	Бөліп алу дәрежесі
Қалайы Sn	0,187	50,5	0,297	80,2	49,5	0,07	19,8
Вольфрам	0,232	54	0,37	86,1	46	5	13,9
Кобальтты	0,361	44,6	0,623	77	55,4	0,07	23
Цезийлі	0,167	18,1	0,832	90,2	81,9	0,15	9,8
Марганецті:	0,36	32	0,912	81,1	68	0,02	18,9
Тотық						0,1	
минералдар	12,4	13,7	88,4	97,9	86,3		2,1
Карбонат						0,3	
минералдар	87,6	13,7	11,6	1,8	86,3	99,7	98,2

Кендерді фотонейтронды тәсілдерімен алдын-ала байытылған және байытылмаған флотациялық байыту нәтижелері төменде (В.А. Мокроусов бойынша) көрсетілген.

Ірі сыныптардың фотонейтронды сұрыптау қалдықтардың құрамында флотациондық қалдықтарға қарағанда бағалы сыңарлар аз болатындығы кестеден көрініп тұр.

Нейтронды-активациялық сұрыптау кезінде, кенді нейтрондар ағымымен сәулелендіру кезінде пайда болатын келтірілген жасанды радиоактивтілікті қолданады. Әдістің негізгі ерекшелігі қосымша сәуле шығару сәуле шығарылғаннан кейін бірнеше уақыт істе болатынына негізделеді. Нейрондармен сәулеленген кезде көптеген элементтер іске қосылады, бірақ генерирленетін сәулеленуге енетін негізгі кіріс бір немесе бірнеше изотоптармен енгізіледі, ол өз алдына берілген үрдісті жүзеге асыру мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

КСРО-да нейронды-активационды үрдіс флюоритовты кендерді ірі аумақтық сұрыптау кезінде өз қолданысын тапты.

Бөлшектеп сұрыптау үшін КСРО-да жана қондырғы СО-2 құрылды, оның құрамына кен дайындау бөлімі, нейрондық таратқыш СО-2М, кен сұрыптау бөлімі мен нейрондық таратқышты басқару тетігі, сұрыптау бөлімі, дайын өнім бөлімі, үрдісті бақылау және экспресс-тексеру бөлімі, активациялық сараптамалар бөлімі кіреді.

Нейрондық таратқыш СО-2М – ядролық аралық сынау жиынтығы, бұл таратқышта уран ядросын бөлу реакциясын іске асыру нейрондардың сыртқы бастамасын енгізу кезінде жүзеге асады.

Сұрыптау бөлімінде айырғыш орналасқан, оның өнімділігі 0,5–тен 10 т/с өзгеруі мүмкін. Бұл қондырғы құрамына қарай фтор, натрий, алюминий, ванадий, мырыш, мыс, вольфрам, хлор, барий, сирек жерлік және химиялық элементтерді өзара байытуды қамтамасыз етеді.

СО–2-ды байытылған бөліктердің ірілігі 35-тен 5мм дейін құрайды. Ірілігі -35+25мм, құрамында 34% CaF_2 бар флюориттік кенді байыту кезінде, 90,7% алып тастау арқылы құрамында 44,5% CaF_2 бар концентрат алынды. Шыққан қалдық 30,6% - ды құрады.

Нейронды-активациялық әдісті кеңінен қолдану, нейрондардың жоғарғы тығыздығы бар нейрондық бастамаларды қолданудың керектілігімен сақталған.

Рентгенді–флюоресцентті сұрыптау үрдісі қосымша сипаттамалық сәулелендірудің интенсивтілігіндегі айырмашылықты қолданады. Сәулелендіру негізіне байланысты гамма-флюоресценттік және рентгенді-флюоресценттік тәсілдерді анықтайды. Бета-сәулелендіру негізін қолдану кезінде бета-флюоресценттік тәсіл алынады. Гамма және рентгенді-флюоресцентті тәсілдер 20-дан 74-ке дейінгі атомдық нөмірі бар элементтердің құрамын анықтауға мүмкіндік береді.

Қалайыланған, қалайылы-вольфрамды, вольфрамды, қорғасынды-мырышты, мысты-никельді, кобальттік, марганецтік кендерді, калий құрамдас пегматиттерді, кабаттастарды, және калийлік тұздарды сұрыптау үшін, қазіргі заманда рентгенді-флюоресценттік әдісті қолдану мүмкіндігі дәлелденді.

Кейбір пайдалы қазбаларды рентгенді-флюоресценттік әдіспен байыту нәтижелері 9.7 - кестеде көрсетілген.

Рентгендіфлюоресценттік тәсіл ірі қалайыланған кенді аумақтық сұрыптауда, және аз аумақтық пен бөлшектеп сұрыптау үшін қолданыла алады.

Аз аумақтық сұрыптау 5-8кг масса кезінде -100+20мм сыныбына қатысты өндірістік талаптарда қамтылған. -20+0мм сыныбын сұрыптауға тек бөлшектің едәуір азаюы кезінде ғана жіберуге болады.

Абсорбциондық сұрыптау сәулеленудің түрлер мен бағалы сыңарлар арқылы өтуі кезіндегі әлсіреуінің айырмашылығында қолданылады. Қолданылған сәулеленуге байланысты гамма-абсорбциондық, нейронды-абсорбциондық, рентгенді-абсорбциондық, фотоабсорбциондық әдістер анықталады. Осы әдістердің кез-келгенін қолдану кезінде, бөлшектің өлшемінің өткен сәулеленуге деген әсерінің орнын толтырылуы туралы сұрақ туындайды.

Гамма-абсорбционды әдісті көмір байыту үшін В.Д. Горошко 1956 жылы ұсынған. Бұл әдістің әмбебаптылығы оны темірден жасалған, хромдық, сынаптық, сурьманді-сынаптық, қорғасындық кендерді сұрыптауда қолдануға мүмкіндік беретіндігінде.

Темір кендерін байыту кезінде мартеновский өндірісі үшін ірі бөлшектік шикізат (+30 мм) алу тапсырмасы қойылады. Темір кендерді сұрыптаудың гамма-абсорбционды әдісі кезінде, ажыратылатын бөліктердің ірілігіне келетін әсердің босаңдауы, ірілік сыныбын анықтау арқылы -250+100; -100+50; -50+25; мм және сәулелендіру негізі ретінде қолданылатын изотоптар арқылы америция -241, кадмий -153, кобальт -57, жүзеге асады, олар сәйкесінше мына активтілікке ие 55,5*10; 74*10 және 126*10. Кіші сыныптар бойынша оңтайлы өнімділік сәйкесінше 24; 17,5; 2 т/с құрады.

-250+100 мм сыныбын сұрыптауды санауыш сәулелендіру арқылы бас дабылда құрылған көлік түрі РС-2Ж айырғышында іске асыруға болады. -100+50 мм сыныбы үшін РСК-4 айырғышы ойлап табылды.

РС-2Ж айырғышында хромдық кенді гамма-абсорбциондық сұрыптаудың қолданылу мүмкіндігі дәлелденді, бұл кезде 55,7% Cr_2O_3 құрамдас концентрат алынды және қалдығының құрамында 18,25% Cr_2O_3 бар екені анықталды.

Нейтронды-абсорбционды сұрыптау кадмийден тұратын, борлы, литийлі кендерді байыту, сонымен қатар, -200+25 мм

іріліктегі сирек жер кендері үшін қолданыла алады. Қазіргі таңда бұлар негізінен борлы кендерді байыту үшін қолданылады. Борлы кендерді сұрыптауды жүзеге асыру мүмкіндігі, жылу нейтрондар ағымының бор ядросы арқылы карпу, тоқтау, және бәсеңдеуі, борлы кендердің түр құраушы элементтеріне қарағанда бірнеше ретте жоғары болуына байланысты түсіндіріледі. Сонымен қатар, еліміздегі бор кендерінің басым бөлігі орташа сортты күрделі байытылған кендермен ұсынылған, ал бордың шикізат базасының кеңеюі, дәстүрлі әдістермен толық байытыла алмаған кендерді қайта өңдеуді жүзеге асыру мақсатында орындалуда. Нейтронды-абсорбционды сұрыптау жоғары көрсеткіштерді қамтамасыз етеді және байытудың тізбектік үрдісімен жақсы ұштастырылған (күрделі орталарда). Нейтронды-абсорбционды әдістің өнімділігі, бөліктің қозғалысы жылдамдығының ұлғаюын анықтау нақтылығының төмендеуінсіз қамтамасыз ететін, бөліктің сұрпын анықтау үшін жасалған эстафеталық әдісті қолдану кезінде жоғарылауы мүмкін.

1 т кенді нейронды–абсорбционды әдіспен байыту бағасы 0,8 сомнан аспайды. Сұрыптаудың фотоабсорбционды әдісі тұнық минералдарды тұнық емес минералдардан бөлу үшін, мысалы, тұнық шынытасты бос сұрыптың тұнық емес минералдарынан қолданылады.

Фотометриялық сұрыптау кезінде, спектрдің көрінетін бөлігіндегі бөліктен минералдың түсі, жылтырлығы мен тұнықтығын сәулелендіруді көрсету кезіндегі бақылау үшін визуалды түрде шығарылатын бөлуші сынарлардың орны ерекше қолданылады. Бөлік сұрпын құралмен анықтау кезіндегі айырмашылық, таңдалынған бір немесе бірнеше толқынның ұзындығындағы шағылысу коэффициентінде және шағылысу, айнадай немесе диффузиялық сипатта тұнық минералдарды сейілдіру немесе өткізу коэффициентерінде көрінеді.

Фотометриялық сұрыптаудың ерекшелігі, оның кең ауқымды мүмкіндігі мен қолданылуы екі себеппен түсіндіріледі:

геологтар барлық минералдарды түсі, жылтырлығы мен тұнықтығы ережесін қолдана отырып, сонымен қатар, ең тұрақты сипаты болып табылатын екінші қасиетіне қарап

сипаттаған. Бұл оның зат пішінін және керек жағдайда, құрал-саймансыз іске асыру кезіндегі сұрыптау үрдісін бақылау бойынша сирек кездесетін мүмкіндіктерді ұсынады;

спектрдің көрінетін бөлігі барынша зерттелген, ол сәуле шашу, қабылдау, сәулелендіру қатынасы, бағытталған-бейнелі (айналық) немесе диффузиялы-бейнелі сәулеленуді ерекшелеу, осы немесе басқа поляризация кеңістігін ерекшелеу сияқты техникалық құралдар толқынының кең ауқымына ие.

Қазіргі жағдайда 300мм дейін іріліктегі материалдарды байытуға мүмкіндік беретін фотометриялық аспаптар құрастырмасының кең ауқымы жинақталған; жоғары өнімділік беретін аспап бар, ол 1мм дейін диаметрі бар қосқышты анықтауға мүмкіндік беретін, өте үлкен бөлшектік материалдардың көпқабатты арнайыланған ағымында сұрыптама жүргізуді жүзеге асырады.

Еліміздегі және шетелдегі фотометриялық байыту технологиясын меңгеру мен жасап шығару тәжірибесі әртүрлі пайдалы қазбалар бөлімінде терең жинақталған. Бұл үрдіс бағалы тастарды анықтау үшін пайдалы екені дәлелденген, мысалы, зүбәржат (изумруд), отқа төтеме арзан шикізатты байыту кезінде. Фотометриялық айырғышты түсті, қара, игі, сирек, радиоактивті кендер, кен ретінде саналмайтын пайдалы қазбалар, тау химиялық шикізат, пайдалы қазбалар отыны үшін пайдалану мүмкіндігі көрсетілген.

Фотометриялық сұрыптау көбінесе іріліктің кіші сыныбын байыту сұлбасында елеу операциясынан кейін қосылады, ал кейбір жағдайларда қауышпалардың ірі бөлшектерде көрінуі арқылы.

Фотометриялық және гравитациялық байытудың жинақталған сұлбасы 8.5-суретте көрсетілген.

Электрметриялық сұрыптау ажырататын бөлшектердің электрлі қасиеттерінде қолданылады және жаңа әдіс болып табылады. Электрметриялық сұрыптау кезінде минералдардың электр өтімділігі мен диэлектрлігі арасындағы айырмашылықты қолданады.

КСРО-да радиотолқын көмегімен өтімділікті өлшеудің түйіспесіз тәсілі басым түрде зерттелуде, оны радиорезонанстық әдіс деген атауға ие болды. Қара металдар (магнетитті, титанды-магнетитті, магнитті) кенін, түсті металдар (қорғасынды,

қорғасынды-мырышты, қалайылы, мысты-никельді, вольфрамды) кенін, сирек кездесетін металдарды осы берілген әдіспен сұрыптау үшін оңтайлы талаптар бар екені көрсетілген.

Бөлшек кедергісін түйіспеге өлшеу кезінде электрометриялық сұрыптау «Ор Сортиер» фирмасының М10 кондуктометриялық айырғышында іске асады. Осы айырғышта әртүрлі кендерді тексеру нәтижесі 8.9-кестеде көрсетілген. Бұл берілгендер электрометриялық сұрыптауды қолдану дәрежесінің жоғары екенін көрсетеді.

Сұрыптаудың әртүрлі әдістері кезінде қолданылатын физикалық қасиеттердің әртүрлілігі кейбір технологиялық тапсырмаларды шешуге оңтайлы қызмет атқарады. Сонымен, мысалы, кешенді вольфрамды кеннен технологиялық түрлілікті (силикатты-шеелитті, сульфитті-шеелитті) люминесценция мен өтімділіктегі айырмашылықты қолдана отырып алу мүмкіндігі кондырылған.

Вольфрамды кеннің силикатты-шеелитті және сульфитті-шеелитті түрлілігінің өтімділігінің айырмашылығы сульфитті-шеелиті өнімді алу үшін қолданылады, ал силикатты-шеелитті типтер түптік құрамадан рентгенділюминесцентті сұрыптау көмегімен ажыратылады.

Жартылай құраушы кендерді зерттеулер нәтижесі бойынша олардың фотометриялық және гамма-абсорбционды сұрыптауды байыту үшін қолайлы екені дәлелденген. Фотометриялық сұрыптау қалған қалдықтан амфиболды (қара түсті минерал) даралайды, ал концентратқа – ашық түсті минералдарды: поллуцит, құйма қалақ, шынытас. Гамма-абсорбционды айырғыш поллуцитті өнімді және поллуцитті емес сирек металды кенді айқындауға мүмкіндік береді.

Сұрыптаудың әртүрлі әдістерін құрастырудың жеке мысалдары осы типті кірістердің болашағы зор екенін көрсетеді және болашақта әртүрлі әдістерді құрастыру бір ғана айырғышта жүзеге асатын болады.

Керекті әсерлікті есептеу кезінде есте сақтау керек негізгі факторларды қарастырайық.

Сұрыптау кезінде төмендегілерді ескеру қажет:

- көрсеткіштер жақсарады және өндіріс өнімділігінің жұмысы ұзарады;

– осыған дейін байытылмаған пайдалы қазбаларды байыту мүмкіндігі туындайды;

– өнімді жаңа тұтыну қасиетімен алу мүмкіндігі туады, мысалы, тұнық шынытасты ірі бөлшектік түрде және т.б.

Сұрыптауды енгізу әсерінің кешенді түрде пайда болуы өте жиі кездеседі.

Сұрыптау операциясын енгізу, балансталған кендерді қайта өңдеуге жұмылдырумен байланысты кен орнын пайдалану мерзімін ұзартады, ал жерасты талаптарына сай сұрыптауды қолдану кеннің құнарсыздануын төмендету, тасымалдауға кететін шығынды азайту мен өңделген кеңістікті бөлшектеп толтыру үшін жағдайлар туғызады.

Сұрыптау сәйкесінше, байыту фабрикаларына да келесі мүмкіндіктерді береді:

– жеке сұлбалар бойынша олардың қайта өңделу нәтижелері үнемді болып келетін кендердің типтерін анықтау;

– бастапқы өнімнің бір бөлігін үйінді қалдыққа шығару, ол 1 т дайын өнімді алудағы шығынды азайтуға және фабриканың өнімділігінің жоғарылауын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді;

– байытылатын өнімді болашақта өңдеудің ең қарапайым үрдісін қолдану;

– қалдықты ірі бөлшектік түрде шығару жолымен дайындауға кететін шығынды азайту;

– улы заттармен қоршаған ортаны ластауды азайту, мысалы, фоторенгенттермен.

Игеруге кеткен шығын көптеген факторлармен анықталады. Сұрыптау әдістері үшін капиталды және пайдаланылған шығындардың бетке ұстар деңгейін, әртүрлі пайдалы қазбаларды қайтадан өңдейтін өндірістердің көрсеткіші бойынша бағалауға болады.

Сұрыптау әдісі бойынша радиоактивті кендерді байыту бағасы қайта өңделген кеннің 0,4–1,12 тг/т бөлігін немесе үрдістен шығарылған 1,6–2 тг/т қалдықты құрайды. Алдымыздағы шығын мен күткен экономикалық көрсеткіштерді салыстыру кезінде, сұрыптау операциясын байыту үрдісіне қосу туралы маңызды шешімді қабылдау мүмкіндігі шеттетілмейді.

10. КЕНДІ ПІШІНІ, ҮЙКЕЛУ ӘРЕКЕТІ ЖӘНЕ СЕРПІМДІЛІГІ БОЙЫНША БАЙЫТУ

Кейбір пайдалы қазбаларды өңдеу мен қайта өңдеу кезінде оның сыңарлары кескіндерінің қалпында ерекшеліктер байқалады (көмірлер, тақтатастар, қабаттас пен талшықтасты құрамдайтын кендер, олар үшін сыңарлар кескіндерінің қалпындағы айырмашылық олардың жеке қасиеттерінің салдарлары болып табылады) [1]. Бөлшектерді пішін бойынша бөлу қандай да болса сыңардың бөліну өнімдеріндегі концентрациясына алып келеді.

Жеке жағдайларда байыту мәшинелері жұмыстарының ерекшеліктерімен шартталған, мысалы ұсатқыштардың, бөлшектер қалпындағы айырмашылықтардың көрінуін байқайды. Мысалға, тау жыныстарын құрылысқа арналған қиыршық тасқа ұсатқан кезінде, ұсату өнімдерінде «пеш табандық» (пластинкалық) пішін бөлшектері пайда болады, олар қиыршық тасты бетонға арналған толтырғыш ретінде пайдаланған кезінде оның бекемділігін төмендетеді. Дайын өнімнің құрамында «пеш табандық» бөлшектердің азаюы қиыршық тас сапасының жоғарылауы ретінде қарастырылуы мүмкін.

Әртүрлі пішінді бөлшектердің сызықтық көлемдерінің арақатынасы (В.Г. Деркач пен П.А. Копычев бойынша) төменде келтірілген.

Сыңарлар қалпындағы ерекшеліктерді пайдалана отырып, бөлшектерді бөлу үшін келесідей төменгі әдістер пайдалануы мүмкін: арнайы рәсімделінген елейтін беткейде елеу; әртүрлі пішіндегі бөлшектердің үйкелу коэффициенттеріндегі айырмашылықтарды пайдалана отырып байыту; бөлшектер қалпындағы ерекшеліктермен шартталған ортада бөлшектердің қозғалу жылдамдықтары бойынша бөлу; бөлшекті аппараттың жұмыс беткейімен байланыс алаңы бойынша бөлу; бөлінудің құрамдасқан әдістері.

Пластинкалық немесе ұзынша қалпындағы бөлшектерді елеу жолымен бөлу дөңгелектерден квадраттыққа, квадраттықтан тік бұрыштыға, тік бұрыштыдан саңылау

түріндегі тесіктеріне ауысу кезінде жақсартылады. Фракцияланған қиыршық тастың сапасын «пеш табанды» пішін бөлшектерін бөлу есебінде жоғарылатуды резенке ішекті елейтін беткейлерін пайдалана отырып, яғни квадраттықтан тік бұрышты тесіктеріне ауысуды қолданумен қол жеткізеді.

Пішін бойынша байытуға арналған айырғыштардың жобасы 25- суретінде келтірілген. Анық көрінетін пластинкалық қалпы бар қабаттасты бөлу үшін тек саңылау түріндегі елейтін беткейді ғана орындау жеткіліксіз, өйткені, қабаттас пластиналардың саңылау арқылы өтуі үшін олардың елейтін беткейге перпендикулярлы немесе иілмелі бағытталуы қажет. Мұндай бағытталу l бұрыштарынан қалыптасқан шатыр тәрізді елеудің көмегімен қол жеткізіледі (10.1 а, б-суреттерін қараңыз). Осы кезде саңылау арқылы өтетін қабаттас пластинкасының (2) максималды қалыңдығы $h_{\max}$ d_c саңылауының көлемінен аз болып келеді. Тік аралықтарын (3) бекіткен кезінде елеудің саңылаулары арқылы өтетін d_c қабаттас пластинкаларының қалыңдығы ұлғайтылатын болады.

Осылайша, саңылау арқылы өтетін h қабаттас пластинкаларының қалыңдығы l бұрышы сөрелерінің α иілу бұрышымен немесе тік орта_бөлгіштердің (3) биіктігімен анықталынатын болады: $h = d_c \sin \alpha$. $\alpha = 0$ кезінде елеуіш арқылы дөңгелек және ұзынша пішіндегі бөлшектері өтетін болады. α иілу бұрышының ұлғаюы кезінде бөлінетін бөлшектердің қалыңдығы өсетін болады және $\alpha=90^\circ$ кезінде $h = d_c$ жетеді.

Профильденген беткейін пайдалану арқылы пішін бойынша байыту үрдісі қабаттасты забойдан (забойлік шикізатын) алу үшін негізгі байыту аппараты ретінде қолданылатын СМ-13 елегінде іске асырылған. Қайта өңдеу жобалары осы кезде қорларға, кенде қауышпалардың болуына, кесіктердің ірілігіне (1; 0,6; 0,3м), кристалдардың алаңына, өндіру агрегаттарының өнімділігіне тәуелді болады. Қауышпалардың құрамы бойынша келесідей кендерді бөледі: 5 %-ға дейін – қауышпаларға кедей, 5 – 20 % – орта, 20 %-дан көп – қауышпаларға бай. Келтірілген факторларға тәуелді қайта өңдеудің қарапайым және күрделі жобаларын бөледі. Пішін бойынша ұсақтау мен байытудың

қарапайым технологиялық жобаларын қайта өңдеудің 2-ден 5 м³/сағатқа дейінгі мөлшері кезінде пайдаланады. Кеннің неғұрлым көбірек өнімділігі мен қауышпалар бойынша байырақ болған кезінде, забойлық шикізатын алудың күрделі жобаларын, пішін бойынша байыту операцияларын және сыртқы белгілері бойынша қолмен сұрыптауды қолдана отырып, пайдаланады. Қабаттастың сапасын сақтау үшін оның қайта өңделуін жылжымалы қабаттасты таңдайтын бекітілімдердің (СВУ-1, СВУ-2, УС-1) көмегімен жүргізеді, олар СВУ-1, СВУ-2 бекітілімдерінде концентраттың 6 – 20 % және қарапайым жобалар бойынша қайта өңдеуде 20-70 % шеңберінде қоқыстанғаны кезінде 90 %-ға дейінгі қабаттасты алуға қол жеткізеді.

Бөлінетін сыңарлар бөлшектерінің айырғыштың жұмыс беткейімен өзара әрекеттесу әсерлеріндегі айырмашылықтарды пайдаланатын пайдалы қазбаларды байыту үрдістерінің тобына серпімділік, үйкелу, нысан бойынша байыту, термоадгезиялық айыру, негізінде жұмыс беткейімен өзара әрекеттесудің бірнеше әсерлерінің сыңары қойылған әдістер кіреді.

Әдістердің берілген тобындағы бөлу үрдісі көлемді немесе беткейлік қасиеттерді бір операцияда пайдаланумен бірге жүреді. Бөлу үрдісіне әсер ететін факторларға бөлінетін кескіндер қалыптарының өзгеруін, қауышпалардың мазмұндалуы, минералдың ылғалдылығын жатқызады.

Айырылатын материалдың қасиеттерін басқару іріліктің тар сыныбын бөлуге, қажетті жағдайларда материалды кептіруде қорытындыланады. Нақты байытылғышты машиналарда айырғыштың жұмыс беткейінің қасиеттерін басқару шектелген. Мысалы, жұмыс беткейінің иілу бұрышын, айналу жиілігін, жұмыс беткейі дірілінің жиілігі немесе амплитудасын дымқылдау, өзгерту арқылы материал кескіндерінің жұмыс беткейіне үйкелу коэффициентін, материалды беру нүктесін және т.б. басқаруға болады.

Осы берілген топқа біріктірілген байыту үрдістері, қазіргі уақытта, теңдей емес бекемді тұқымдарынан жасалған бетонға арналған жоғары сапалы толтырғыштарды, құрамында сілекей

бар шикізаттан жасалған кондициондық өнімдерін алу үшін кейбір өзге де мақсаттар үшін қолданысын табады.

Бөлу әдістерінің қарастырылатын тобының дамуы мен әлеуеттерін үрдістер теориясын жетілдірумен, айырғыштардың жұмыс беткейі қасиеттерінің бағытталған өзгертуінің жаңа әдістерімен байланыстырады.

Сыңарлардың серпімділігіндегі айырмашылықтарды пайдаланумен байыту тұрақты қасиеттері бар айырғыштың жұмыс беткейімен бөлінетін бөлшектердің өзара әрекеттесуіне негізделген [1]. Мұндай беткей ретінде көбінесе плита болады, ал өзара әрекеттесу әсері бөлшектердің плитамен соқтығысулары кезінде көрінеді. Соқтығыстық өзара әрекеттесу үшін соқтығысатын дененің белгілі бір кинетикалық энергиямен хабарламасы, яғни жылдамдығы талап етіледі. Бұл шарт кішігірім тығыздылық пен тұтқырлықты ортада орындалады. Тәжірибеде осындай орта ретінде әуе болып табылады, бұл серпімділік бойынша байыту үрдісін «кұрғақ» үрдістерге жатқызуға көмектеседі.

Тәсіл серпімділік бойынша бөліну белгілі бір қасиеттері бар бөлшектердің қандай да болса өнімдегі концентрациясына алып келетін тәжірибелердің жағдайларында пайдаланылуы мүмкін, мысалы, құнды сыңардың мазмұны бойынша, анағұрлым бекемді бөлшектердің мазмұндауы бойынша.

Серпімділік бойынша бөлінуді соққының классикалық теориясының тұрғысынан түсіндіреді, осы кезде идеалданған форма бөлшегінің (шардың) жатық немесе иілмелі бекітілген плитаға соққысын қарастырады.

Үрдістің келесідей кезеңдерін бөліп қарастырады:

- бөлшектің плитаға қарай жылжуы;
- бөлшектің плитаға соққысы және бөлшек пен плитаның соққы кезінде майыстырылуы;
- бөлшек пен плита формасын қалпына келтіру және кинетикалық энергияның бөлшекке хабарламасы;
- бөлшектің плитадан жылжуы.

Бөлшектердің плитаға қарай жылжуы берілген биіктіктен еркін құлау арқылы немесе лақтырушының көмегімен ұйымдастырылуы мүмкін. Еркін құлау кезінде бөлшектердің

қозғалу бағыты анықталған, қорға қойылатын энергия құлау биіктігінің өзгеруімен мөлшерленеді және осы әдіске артықшылықты назар аударылады. Плитаға жанасу кезеңінде бөлшек u_1 жылдамдығына жетеді.

Екінші кезең бөлшектің плитаға жанасу кезеңінен бастап, бөлшектің соққы кезінде нөлге дейін құлау жылдамдығы уақытына дейін созылады. Осы жағдайда, бөлшек те, плита да серпімді, пластикалық деформацияға ұшырайды. Майыстыру істегі күштің бөлшек немесе плита материалының қарсыласу күшінен асып түскеніне дейін жүреді.

Бірақ, бөлшектің плитаға өзара әрекеттесу күші импульстік сипатта болып және жылдамдықтың нөлге тең болғаны кезінде бөлшектің өлшеміне теңескені жағдайында, серпілмелі деформацияның күштері бөлшекке әсер ететін ауырлық күшінен асып түсетін кезеңі келеді. Осы уақыт үшінші кезеңнің бастамасы болып табылады.

Бөлшек пен плитаның формасын қайтадан қалпына келтіру серпілмелі деформациялардың есебінен жүреді. Үшінші кезеңнің аяғында бөлшек u_2 -ге тең жылдамдыққа ие болады және плитадан айырылады.

Бөлшектің жатық плитаға тікелей орталықты соғуы кезінде (6.1-сурет) u_2 жылдамдығының векторы u_1 жылдамдығының векторына тікелей қарама-қарсы.

$k_s = \frac{u_2}{u_1}$ қатынасы жылдамдықты қалпына келтіру

коэффициенті атына ие болды. Жылдамдықтың бөлшегіне хабарлама h_1 биіктігінен еркін түсу есебінен жүзеге асырылғанын және бөлшектің плита үстіне көтерілуі бөлшектің плитадан айырылу кезеңіндегі жылдамдығымен анықталынатындығын қабылдай отырып, келесідей жазамыз:

$$u_1 = \sqrt{2gh_1}; \quad u_2 = \sqrt{2gh_2}; \quad (10.1)$$

мұндағы, h_1 – бөлшектің плитаға лақтырылу жылдамдығы; h_2 – бөлшектің плитаның үстінен көтерілу жылдамдығы; g – еркін түсу жылдамдығы.

Сол кезде

$$k_s = u_2/u_1 = \sqrt{2gh_2}/\sqrt{2gh_1} = \sqrt{h_2/h_1}. \quad (10.2)$$

Бөлінетін сыңарлардың физикалық қасиеттеріне тәуелді k_g 1-ден 0-ге дейін өзгеруі мүмкін.

Бөлшектердің бөлетін беткейге тікелей орталықты соғылуы кезіндегі пайдалы қазбалар сыңарларының жылдамдығын қалпына келтіру коэффициенттеріндегі айырмашылықтар діріл айырғышында қолданылды. Айырғыш дегеніміз – үш секциялы жәшік болып табылады, оның орталық бөлігінің түбі беткейлерді бөлетіннің орынын атқаратын серпілмелі секциясынан жасалған. Жәшіктің орталық секциясының үстінен бұрыштық бейнесі бекітілген. Дірілдерді айырғышқа хабарлау мен қорды серпілмелі торға беру кезінде үлкенірек серпілімге ие тесіктері бұрыштық сәулеленуге қол жеткізеді және одан сәулелене отырып, қабылдағыштарына түседі. Азырақ серпілімдікке ие, пайдалы қазбаның кесіктері азырақ биіктікке көтеріліп, бұрыштық I сәулеленуге жетпей, айырғыштың орталық секциясында қалады және одан еркін түсуде түсіріледі. Айырғыштың нәтижелері кесіктердің серпілмелі тормен өзара әрекеттесуіне ғана емес, ол сонымен бірге, бұрыштық сәулеленуге де тәуелді болып келеді.

Пайдалы қазба бөлшектерінің плитамен соққылы өзара әрекеттесуінің әсерлерін пайдаланудың өзге нұсқауын, оларды кейбір биіктіктен көлбеу бекітілген жазықтыққа лақтыру кезінде алады. Осы кезде көбірек серпілімнің бөлшектері көбірек жылдамдыққа ие болады, анағұрлым көбірек жатық траектория бойынша жылжиды және көбірек жылдамдықтың үстінен ұшады, ал төмендетілген серпілімдігімен бөлшектері азырақ жылдамдыққа ие болып, тік траектория бойынша қозғалады және соққыласу нүктесіне жақын түседі.

Ірілігі 20мм бөлшектерінің материалдың беріктілігіне секіріп кету алшақтығының тәуелділігі (Н. К. Тимченко бойынша) төменде келтірілген.

Секіріп кету алшақтығының маңызды дәрежедегі шашырауының негізгі себебі – қиғаш соққыға алып келетін кескіндердің дұрыс емес қалпы болып табылады, ол кезде бөлшектің ауырлық ортасы бөлшек пен плитаның жанасу орнында жүргізілген тік сызықтан I көлеміне ығысқан. Осы төмендеу бөлшектің соққы нүктесінде қозғалу траекториясына

катысты және нақ осы нүктеде плитаға пішіндік арасындағы α бұрышының ұлғаюына алып келеді, бұл секіріп кету алшақтығының азаюын туындатады.

Бөлшектердің секіріп кету алшақтығының үлкен дисперсиясы осы әдісті бекемділіктен маңызды деңгейдегі ерекшелігі бар сыңарларды бөлу үшін ғана қолдануға рұқсат етіледі. Серпімділік бойынша анағұрлым тиімділікті байыту доғал қалпы бар материалдар үшін, мысалы қиыршық тас үшін болып табылады.

Серпімділік бойынша бөлуге арналған айырғышта дірілді түсіргіш бойынша шанабынан бастапқы материал монокабатымен плитасына түседі, одан сәулелене келе, және бөлшектері бөліну өнімдерінің қабылдағыштарына түседі.

Бөліну өнімдерінің төмен сапасы әрбір операцияның тау-кен өнімін үрдістің бастамасына қайтаруға мәжбүр еткізеді. Байытудың алғашқы операцияларының қалдықтарын қайтадан тазалау қиыршық тасты қосымша алуға қол жеткізеді. Серпімділік бойынша байыту АҚШ-тың бірнеше карьерлерінде қиыршық тасты байыту үшін қолданылады. Аталған үрдіс қиыршық тасты сұрыптау үшін Польшада игеріледі. Серпімділік бойынша байытуды бастапқы материалды, кезеңділікті айналынатын дискінің сумен дымқылданатын беткейіне берумен қиыршық тасты саздан айыру үшін пайдаланылуымен әйгілі.

Үйкелу бойынша байыту үрдісін пайдалану үйкелу коэффициенттеріндегі бөлінетін сыңарлардың маңызды ерекшеліктері кезінде ғана мақсатқа лайықты болып келеді [1]. Үрдіс сыңарлардың үйкелу коэффициенттері сапа көрсеткішімен байланысты болжамында жүргізіледі.

Үйкелу бойынша байыту екі кезеңде жүзеге асырылады:

- бөлінетін бөлшектердің қозғалу параметрлерін талғамды өзгерту мақсатында материалдың беткеймен өзара әрекеттесуі;
- қозғалудың берілген параметрлері бар бөлшектердің материал ағымынан бөлінуі.

Әрбір бөлшектің беткеймен өзара әрекеттесу талабы монокабатты ағымдағы үрдісті ұйымдастыруға алып келеді. Осы кезде материалдың келесілермен өзара әрекеттесу нұсқаулары

мүмкін: жылжымайтын, жылжымалы және дірілдейтін беткеймен.

Сыңарларды бөлу үрдісінің екінші кезеңі бөлінетін сыңарлардың қозғалу траекторияларындағы, жылдамдықтары немесе бағыттарындағы ерекшеліктерді пайдалана отырып жүзеге асырылады және жұмыс беткейінде, сондай-ақ, еркін түсу шарттарында да жүзеге асырыла алады.

Тау жыныстары бөлшектерінің айырғыштың жұмыс беткейімен өзара әрекеттесуі үйкелу кезінде көрінеді. Осындай өзара әрекеттесудің шамасы ретінде f үйкелу коэффициенті болып табылады. Ылди жазықтығындағы Q бөлшегінің ауырлық күші екі құрамдасқа жіктелінуі мүмкін: Q_t бойлық (домаланатын, тангенциалды) және Q_n пішінді құрамдасқа, олар келесідей мағыналар бойынша анықталады:

$$Q_t = Q \sin \alpha; \quad Q_n = Q \cos \alpha.$$

Бөлшек тынымның шартынан келесіні жазуға болады:

$$Q_t = fQ_n, \quad Q_t - fQ_n = 0.$$

Дененің жазықтық бойынша орнын ауыстыруы үшін $P = Q_t - fQ_n$ күшін қосу керек, және Q_t мен Q_n мәндерін қоя тұра келесіні аламыз:

$$P = Q \sin \alpha - fQ \cos \alpha = Q (\sin \alpha - f \cos \alpha).$$

$P = 0$ бөлшегінің қозғалуының басында және сол кезде

$$Q \sin \alpha = fQ \cos \alpha; \tag{10.3}$$

осыдан, $f = \sin \alpha / \cos \alpha = \operatorname{tg} \varphi;$ (10.4)

яғни, тынымның үйкелу коэффициенті дегеніміз осындай φ ылди бұрышының тангенсі болып табылады, ол кезде бөлшектің жазықтық бойынша қозғалысы басталады. Жазықтықтың α ылди бұрышы жазықтықтың материалы бойынша берілген бөлшегінің φ үйкелу бұрышынан асып түскені, яғни $\alpha \geq \varphi$ кезінде дене жазықтық бойынша жылжиды.

Тыным үйкелуінің коэффициенті өзара әрекеттесетін денелердің қасиеттеріне, мысалы, бөлшек беткейі мен плитаның бұдырлығына, бөлшек қалпына тәуелді болады. Бөлшек қалпы

өзара әрекеттесу режимінің өзгеруі әсерінен үйкелу коэффициентінде маңызды дәрежеде көрінеді. Мысалы, жазық бөлшектері ылди жазықтық бойынша сырғанайды, ал доғалдары домалайды және өзара әрекеттесудің осындай режимдеріндегі үйкелу коэффициенттері маңызды деңгейде айырмашылықты, бұл осы белгі бойынша байыту үшін пайдаланылуы мүмкін. Сондай-ақ, аралық режимді бөледі, ол кезде бөлшек бір уақытта сырғанайды және домалап өтеді. Режим көп граниттерге жақын бөлшектерде байқалуы мүмкін.

Сыңарларды қозғалу жылдамдығы бойынша бөлу үшін бөлінетін сыңарларға жазықтықтың түсуінің әртүрлі жылдамдықтарын, және соған сәйкес, жазықтықтың түсуден кейін олардың әртүрлі траекторияларын хабарлау қажет. Бөлшектің L жазықтығы, жазықтықтың α ылди бұрышы, f үйкелу коэффициенті мен бөлшектің Q мөлшері бойынша қозғалу жолының ұзындығы кезінде жазықтықтан түсу кезеңіндегі жылдамдық келесідей әйгілі формулаларды пайдалану арқылы анықталынуы мүмкін:

$$P = mg_0; \quad v = g_0 t; \quad t = \sqrt{2L/g_0}; \quad L = g_0 t^2/2,$$

мұндағы, m – бөлшектің массасы; g_0 – бөлшектің жылдамдығы; v – бөлшектің жылдамдығы; t – бөлшектің қозғалу уақыты; L – бөлшектің жүрген жолы.

$g_0 = P/m$ жылдамдығы және бөлшекке әрекет ететін күштің мәнін қоя отырып, келесіні аламыз:

$$g_0 = (Q \sin \alpha - f \cos \alpha)/m = Q (\sin \alpha - f \cos \alpha)/m.$$

Белгілі болғанындай,

$$Q/m = g,$$

мұндағы g – еркін түсудің тездетілуі.

$$\text{Сол уақытта,} \quad g_0 = g (\sin \alpha - f \cos \alpha);$$

$$v = g_0 t = g_0 \sqrt{2L/g_0} = \sqrt{2L/g_0}$$

немесе

$$v = \sqrt{2L(\sin \alpha - f \cos \alpha)}. \quad (10.5)$$

Осылайша, ылди жазықтығынан түсу жылдамдығы бөлшектің жазықтыққа үйкелу коэффициентімен (f), α

жазықтығы иілуінің бұрышымен және жазықтықтың айдалмалы бөлімшесінің ұзындығымен (L) анықталынады.

Шар тәрізді немесе соған жақын бейнесі бар бөлшектер бөлшектің ауырлық ортасы мен беткейімен байланыс нүктесінде жүргізілген вертикальды сызықтар арасында l қашықтығына бөлшектер көлемінің туындысына тең төңкерілетін кезеңнің әсерінде болады. Бұл оларды жазықтық бойынша теңселуіне алып келеді. Иілген жазықтықтан түсудегі бөлшектердің жылдамдығын анықтау үшін мағына тынымның үйкелу коэффициенті үшін алынды. Жылдамдық болса қозғалыстың үйкелу коэффициентімен анықталынады, бұл қозғалыстың есептікке қарағанда, нақты жылдамдығының ұлғаюына алып келеді. Бірақ, осыған қарамастан, иілген жазықтықтан түсуде әртүрлі f бөлшектерінің жылдамдықтары әртүрлі болады. Бұл бөлшектердің жазықтықтан түскеннен кейінгі қозғалыс траекторияларының өзгеруіне алып келеді.

Үйкелу коэффициенттеріндегі ерекшеліктерді пайдалана отырып байыту жылжымайтын, жылжымалы, дірілдеу және құрамды жұмыс беткейі бар аппараттарында жүргізілуі мүмкін.

Жылжымайтын жұмыс беткейлі аппараттары [1,8]. «Горка» түріндегі айырғыш A , B , B иілмелі жазықтықтарынан тұрады, оларға бөлінетін сыңарлардың үйкелу бұрышы сәйкесінше, талшықтас пен жынысқа: $\varphi_a = 38 - 40^\circ$, $\varphi_z = 17 - 27^\circ$, ($f_a = 0,86$ және $f_z = 0,3 - 0,5$) құрайды. A жазықтығы бойынша көп қабатпен жылжу кезінде таза жыныстық құрамдасты, B мен B жазықтықтарында – өндірістік өнімдер мен концентратты бөледі.

Көмірлерді байыту үшін сәулелендіру мен саңылаулары бар жазықтықты айырғыштарын пайдаланады. Доғал қалпы мен жыныстық бөлшектеріне қарағанда, азырақ бұрышы мен үйкелу коэффициентінің әсерінен көмір бөлшектері үлкен жылдамдыққа дейін айдатылады және B сәулелерінің көмегімен A саңылауы арқылы ұшып, ары қарай иілмелі жазықтық бойынша жылжиды. Жыныстық бөлшектер азырақ жылдамдықпен иілмелі жазықтық және B шағылыстыруы бойынша қозғалады және жыныстық фракцияны қалыптастыра отырып, A саңылауына түсіріледі.

Б шағылыстырулары мен А саңылауларын шахматтық тәртіпте, иіlmелі жазықтық бойынша орналастырады.

Бұранда тәрізді орналасқан сұрыптамалық және жиналмалы науаның жинақтамаларынан тұратын үйкелу айырғыштары мәлім. Қос науаның винт сызығының қадамы тұрақты және h -ке тең.

Бұрамалы науаны бекіту бұрышы β -ке тең және көмір бөлшектерін жиналмалы науаға орталыққа бағытталатын күштердің әсерінен олардың таңдамалы ауытқуы есебінен түсірілуін қамтамасыз етеді. Винт айырғышының өнімділігі Q (т/ч) келесідей формула бойынша анықталады:

$$Q = 3600i\mu\nu ab, \quad (10.6)$$

мұндағы, i – сұрыпталатын науа саны;

μ – материалдың қопсу коэффициенті (0,3-0,6);

γ – материалдың тығыздығы, т/м³;

ν – материалдың қозғалу жылдамдығы ($\nu = 0,5$ -1 м/с);

a – қозғалатын қабаттың қалыңдығы, м;

b – спираль енінің $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{3}$ құрамдасы, қозғалатын қабаттың ені, м.

Үйкелудің винттің бөлгіштерінің техникалық сипаттамасы төменде келтірілген. Әдетте, спиральды науаның қадамы 0,7-0,9м құрайды, яғни айырғыш 3,5м биіктігі кезіндегі 3-3,5м толық орамынан тұрады.

Жылжымайтын жұмыс беткейі бар айырғыштардың артықшылығы – жылжыйтын желілердің және үрдісті көзбен бақылау мүмкіндігінің болмауында қорытындыланады.

Үйкелу айырғыштарының кемшіліктеріне – материалдың маңызды дәрежедегі қажалуын, тұрақты нәтижелерді алудың қиындығы мен кондициялық өнімдерді берудің мүмкін еместігін жатқызады.

Жылжыйтын жұмыс беткейімен аппараттарға үйкелудің таспалық, дискілік және барабандық айырғыштарын жатқызады.

Үйкелудің таспалық айырғышының ерекшелігі – бөлінетін сыңарлар карама-қарсы жақтарға қарай қозғалатындығы болып табылады. Доғалдар жүктеу нүктесінен төменге домаланады, ал тегіс таспа түрінде көтеріліп, жоғарғы нүктеде түсіріледі. Тиеу нүктесін таспаның төменгі шетінен оның ұзындығынан $\frac{1}{3}$ -не

орналастырады. Осы айырғыш гранитті қабаттастан айыру кезінде қолданылуы мүмкін.

Дискілік айырғышта бөлу үрдісінің қарқындандыруы орталыққа бағытталатын күштерді пайдалану есебінен қол жеткізіледі. Өнімділікті ұлғайтуды бірнеше дискілерді бір-бірінің үстіне бекіту кезінде алады. Айырғыштың дискілері жайғастырылған біліктің иілу бұрышын $10-20^0$ шеңберінде өзгерте алады, бұл дискілердің иілуін дамытуды және бөліну үрдісін басқаруға қол жеткізеді. Диск айырғыштарына арналған байытылатын материалды сыныптау шкаласының модулі 2-ден аспауы тиіс. Фрикционды диск айырғыштарын құрамында қауышпалардың үлкен емес көлемі бар құрғақ тар сыныпталған шаңсыздандырылған материал үшін пайдаланады.

Үйкелудің диск айырғыштарының техникалық сипаттамасы төменде келтірілген.

Диск айырғыштарының кемшіліктері – материалдың маңызды дәрежеде қажалуы, құрам мен жүктемеге сезімталдылық, жетік бақылау мен реттеудің қажеттілігі болып табылады.

Үйкелудің барабанды айырғышында бөліну өнімдерінің қозғалуы олардың таспалық айырғышындағы қозғалысына ұқсас. Талшықтастың барабанмен агрегаттарын алу үшін үйкелу күші материалды беру нүктесінде осы микротүйіршік мөлшерінің қатысты құрамдас күшінен көп болғаны қажет.

Айтылған айырғыштардан бөлек, зертханалық шарттарында, талшықтасты кендерін байыту үшін діріл беткейімен үйкелу айырғышын қолданады. Ол бойлық және көлденең бағыттарының әртүрлі бұрыштарында бекітілетін, айта кететіні, жазықтықтар дірілмен бағытталғандармен хабарланады, жазықтық болып табылады. Үйкелудің зертханалық діріл айырғышында сондай-ақ, қабаттасты мазмұндайтын өнімдерді байытуға болады.

Үйкелу айырғыштарының сипаттамаларын маңызды дәрежеде жақсартуға талап жасалынуда. Мысалы, үйкелу айырғыштарының өнімділігін жоғарылатуға көмектесетін үйкелудің діріл айырғышының конструкциясының ерекше айырмашылығы – материалды перфордалған дискіге беру болып табылады. Ол өнімді ұсақтауға, бөлуге және сабалған талшықтас пен байытудың бақылау операцияларын көп рет

өткізуді қамтамасыз ететін және сатылық-коникалық беткейді қалыптастыратын ұлғаятын диаметрдің сақиналарындағы жыныстар бойынша бөліну қызметін атқарады. Бөліну сақиналардың айналма дірілдерінің әсерінен жүреді.

Байыту кезінде қолданылатын қасиеттерді құрамдастыру әдісті пайдалану шектерін кеңейтуге қол жеткізеді. Мысалға, бекемділігі теңдей емес әктас жыныстарынан жоғары маркылы бетондарын өндіру үшін бекем қиыршық тасты алу кезінде, жылдамдықты қайта қалпына келтіру коэффициенті мен бөлінетін сыңарлардың үйкелу коэффициенттері арасындағы ерекшеліктерді пайдаланатын байыту әдісін пайдаланады.

Әктастардың қасиеттерін зерттеу кезінде, олардың бекемділігінің ұлғайған сайын плитаға үйкелу (I) коэффициенті маңызды дәрежеде төмендейтіні, ал жылдамдықты қалпына келтіру коэффициенті K_v (2) жоғарылайтыны бекітілді. Осы тәуелділіктер серпімділік пен үйкелу бойынша бекемділігі теңдей емес әктастарын байыту үшін айырғыштың негізіне қойылған болатын.

Н.К.Тимченко бөлгіштің шанап-түсіргіштен, одан материал траекториясының тұрақтандырғышына түседі, ол материалды барабанға, оның осінің a көлеміне қатысты беру нүктесінің орнын ауыстыруға көмектесуінен тұрады. Бөлшектер, барабанға түсіп, онымен өзара әрекеттеседі. Сазды бөлшектер деформацияланады және барабан түрінде қалдықтарға кетеді. Азырақ серпімділігі бар бөлшектерді қалдық өніміне тиімді бөлу барабанды беру нүктесі мен айналу жиілігін таңдау арқылы қол жеткізіледі.

Байытудың негізгі және тазалау операциясын іске асыру үшін Н.К. Тимченконың екі барабандық айырғышын қолданады. Мұндай айырғыш бекемділігі теңдей емес қиыршық тасты қайта өңдеу бойынша отандық зауыттарында қолданысын табады.

Тәуелділіктермен ұқсас заңнамалары бар, бірақ әктастар мен саз қоспаларына қарағанда азырақ көрсетілген тальк кендерін үйкелу мен серпімділік коэффициенті бойынша бөлу әрдайым оң нәтижелер бермейді. Сондықтан, тальк кендері үшін серпімділік пен контакттік бекемділік бойынша бөлуді қолданады. Конструкцияларының айырғыш жобасы келесілерден тұрады: түсіргіштен, бөлшектерді беру

траекториясының тұрақтандырығышынан, айналатын тістері бар барабаннан, иілмелі жазықтығынан, рифленді бөлігінің иілуінің реттелетін бұрышымен жоғарғы бөлімінде рифленді және бөліну өнімдері қабылдағыштарынан. Тальк азырақ контакттік бекемділік пен сыйдыратын жыныстарға қарағанда, жылдамдықты қалпына келтірудің азырақ коэффициентіне ие. Байытылатын материалды айналатын тісті барабанға беру кезінде жыныстың кесіктері қатты бұралады және иілмелі рифленді жазықтыққа лақтырылады, бөлшектер ол бойынша қозғалып, қабылдағышқа түседі. Барабанға түскен кезінде тальктің бөлшегі айналудың төменірек жылдамдығына ие болады, өйткені барабанның тісі тальк бөлігінің беткейіне енеді және жыныстық бөлшектеріне қарағанда, төменірек иілмелі жазықтыққа лақтырады және тальктің бөлшектері жазықтық бойынша концентраттың қабылдағышына домалап түседі.

Бөлінетін бөлшектердің қалпындағы айырмашылықтарынан шығатын бірнеше қасиеттерді пайдаланатын әдістер бар. Мысалға, жалпақ пішіннің бөлшектерін сирексіту есебінен ұстап қалумен барабанды елек қолданылады. Оның үйінді беткейдің айшанақ тәрізді және коникалық елеулері бекітілген. Барабанды електің ішінде қоректі енгізу мен концентратты шығару құрылғылары монтаждalған. Коникалық елеу беткейі тығыздатқыштары бар бүркенішпен қамтылған, оның қуысына ауаны толтырады. Айшанақ тәрізді елеу беткейінен еленді табандықта жинайды.

Бастапқы материалды науаның көмегімен айшанақ тәрізді елеу беткейіне береді, оған қарапайым торұялық өнімге ұсақ түйіршікті материалды бөліп, дөңгелек және жалпақ пішіндегі бөлшекке моноқабатымен жаяды. Електің айналуы кезінде айшанақ тәрізді бөліктен алынған материал коникалыққа түседі, ол жерде тор үстіндегі өнімге дөңгелектенген бөлшектерін бөледі. Жалпақ пішіндегі бөлшектер коникалық елеу беткейінің маңызды бөлігін жабады және бүркеніштің астынан сорылатын ауаның әсерінен електің коникалық беткейіне сықпаланады. Жалпақ пішін бөлшектерін барабанның беткейінен айыруды сирексіту аймағының шығуында жүзеге асырады, қабаттас концентрат жиналады және барабан елегінен науашамен

шығарылады. Барабанды електі ірілігі –300+0 мм қабаттасты шындалған тау массасынан алу үшін пайдалануға болады. Елендіге –20+0 мм ірілігімен бөлшектерді шығарады, ал дөңгелек пішінді өнім ұсақтатқаннан кейін байыту үшін қайтадан елекке беріле алады.

Пішін мен желкені бойынша байытуға арналған жалпақты сепаратор айдатылатын алаңымен, түсіру саңылауымен, шағылыстырылатын томпағымен қамтамасыз етілген. Сепаратордың ерекшелігі – шағылыстырылатын томпақта перфорданған алаңның болуы және осы алаңды желдеткіш бекітілген каналдың түсіру саңылауымен бірігуі болып табылады. Ауаны перфорация алаңы арқылы беру пластинкалық пішін (қабаттас) бөлшектерінің шағылысатын томпаққа соққыларын жоққа шығаруға көмектеседі, ал түсіру құрылғысын қымтау кезіндегі саңылаудан ауаның шарбағы жоғарылатылған желкені бар бөлшектерінің, яғни қабаттас бөлшектерінің, саңылауға талғамдық ұлғайына алып келеді. Дөңгелектенген бөлшектер томпаққа соғылып, жалпақ бөлшектерден жоғары саңылаудың үстінен өтеді және қалдық өніміне шығарылады.

Жалпақ және доғал бөлшектердің және олардың желкені үйкелу коэффициенттеріндегі айырмашылықтар ірілігі 5 мм-ден аз қабаттас – шынығас қоспасын байытуға арналған едендік айырғышында жүзеге асырылған. Едендік айырғышы параметрлерін (бұрылу бұрышын, ұзындығын) реттеуге болатын трамплинмен аяқталатын иілемелі бекітілген сөресінен және реттелінетін сырма қақпағы бар бөліну өнімдерінің қабылдағыштарынан тұрады. Қабаттасқа арналған қабылдағыш желдеткіштің соратын келте құбырымен біріккен. Материалды айырғыштың сөресіне берген кезінде дөңгелектенген бөлшектер трамплинге жақындағаны кезінде гранатты тербету мен қабаттасты сырғанатудың үйкелу коэффициенттеріндегі маңызды ерекшеліктердің нәтижесінде қабаттастың жалпақ бөлшектеріне қарағанда, анағұрлым жоғары жылдамдықтарына жетеді. Трамплинде бөлшектердің қозғалу жылдамдығы талғамды өшіріледі және гранат пен қабаттас бөлшектерінің қозғалу жылдамдығындағы айырмашылықтар ұлғаяды. Дөңгелектенген және жалпақ бөлшектердің қозғалу траекторияларындағы ерекшеліктердің және олардың

парустілігіндегі айырмашылықтардың әсерінен қабаттастың бөлшектері қабаттас концентраттың шанабына ауытқиды және сол жерде шөгіледі.

Едендік бөлгішті пайдалану Кулет кен орнындағы қабаттасты мазмұндайтын тақтатастарынан қабаттас концентраттарын алуға қол жеткізді (И.М. Келина мен Е.П. Александрова бойынша). Машина сыныптарын қайта өңдеу кезінде $-1,35+0,7$; $-0,7+0,4$; $-0,4+0,25$; $-0,25+0,1$ мм қабаттасты мазмұндауымен, сәйкесінше, 95; 98; 85; 96,5; 93,2% және 8,2; 35,2; 19,3 пен 24% концентраттары алынған болатын.

Таспалық айырғыш-конвейерінде жалпақ пішін бөлшектері анағұрлым жатық траекториясы бойынша қозғалады және үлкен қашықтық бойы ұшады. Бөлшектердің траекториясы сондай-ақ, бөлшектердің парустілігімен анықталады. Бөлшектер пішіндердегі ерекшеліктердің әсерінен олардың траекторияларының қарқынды өзгеруі және соның салдарлары ретінде, төмен көрсеткіштер байқалынады. Орталыққа тепкіш айырғышында жалпақ бөлшектердің қозғалу траекторияларындағы тұрақтылықты, оларды вертикальді оське қатысты бұғаулау есебінен, жоғарылатуға арналған құрылғы қарастырылған. Айырғыштың құрамында келесілер болады: ω_1 мен ω_2 жылдамдықтарымен айналатын диск, сақина және бөліну өнімдерінің сақиналық қабылдағыштары. Диск пен сақинаның айналу бағыттары сәйкес болып келеді, бірақ, сақинаның айналу жылдамдығы жоғарырақ және осының салдарынан жалпақ бөлшек дискіден сақинаға ауысуы кезінде ол вертикальді осьті айналып бұралады және анағұрлым тұрақты жатық траекториясы бойынша қозғалады.

11. ДЕКРИПИТАЦИЯ. РАДИОМЕТРИЯЛЫҚ БАЙЫТУ

Декрипитация – таңдалынған ашылу, ол жеке минералдардың қыздыру кезінде дәнекерлеу кеңістігі бойынша және тізбекті тездетіп суыту немесе қыздыру кезінде бұзылуы салдарына негізделеді.

Декрипитациялы бұзылу үрдісі кристаллизациялы су, газды-сұйықты қосылу, жеке минералдардың жылу өткізгіштігінің төмендігі, анық көрінген дәнекерліктің бар болуымен түсіндіріледі. Қыздыру кезінде газды-сұйықты қосылу, кристаллизациялы судың бар болуы минералдағы маңызды ішкі кернеудің пайда болуына алып келеді, ол өз алына минералдардың бұзылуы мен жарықшақ беруіне себеп болып келеді. Қыздыру кезінде пайдалы қазбалар сыңарларының бір типті емес жылулық қасиеттері ішкі кернеудің көптеген ошақтарының пайда болуына алып келеді. Ішкі кернеудің ұлғаюы пайдалы қазбалардың бөлшектерінің беті бірден салқындауымен түсіндіріледі, ол не бұзылуға немесе минералдар арасындағы байланыстың әлсіреуіне алып келеді.

Қыздырғанда шытынайтын минералдарға альбит, барит, кальцит, тасты тұз, кианит, силлиманит, сподумен, флюорит, қабаттастың кейбір түрлері және т.б жатады. Аталған минералдардың шытынау температурасы әртүрлі және 400–1100 аралығындағы температурада болады. Шытынау температурасы минералдардың өзара өсуіне байланысты болады. Темірлі минерал, шынытас сияқты минералдар өте баяу шытынайды. Пайдалы қазбалардың судағы тез салқындауы шытынау үрдісін күшейтеді.

Пайдалы қазбалардың декрипитациялы бұзылуы кезінде тар сыныптардағы сыңарлар концентрациясы жүзеге асады.

Декрипитациялы бұзылу үрдісі дәрумендік кендерді қайта өңдеу кезінде өзінің кең қолданысын тапты.

Кен орны қатарларындағы литийлік кендерде бағалы компонент α -сподумені арқылы көрсетілген, ол 1100-1200 температура кезінде қаттылығы 3,15-тен 2,4 г/см³ өзгеретін β -сподуменіне ауысады. Сонымен қатар, ол 0,15 мм ірілікке дейін

ұнтаққа бөлінеді, түр құраушы минералдар (шынытас, қабаттас) мұндай өзгеріске ұшырай алмайды.

Кет-Лейк кен орны сподуменді кендерді қайта өндеуді келесі сұлба бойынша жүргізеді, ол келесі жұмыстарды атқарады: бастапқы кенді 19 мм-ге дейін ұсату, үзінді өнім ретінде -20+0мм класын анықтау, 1100-1200 температура кезінде айналмалы барабанды пештерде -19+0,2мм класын күйдіру, кенді салқындату, резиналы шегені бар шарлы диірменде тізбектей баппен ұсату және осыдан кейін асықпай елеу немесе әуелік классификация жүргізу.

Декрипитациялы бұзылу өзіндік үш операция көмегімен жүзеге асады: күйдіру, суыту және ұсақтау. Сонымен қатар, декрипитациялы бұзылуға дайындық және іріліктің кіші кластарын анықтау терең елеуді қажет етеді, сол сияқты, үрдіс, аталған операциялардың әрбірінің жүзеге асуының ерекшелігіне байланысты көптеген факторлармен анықталады.

Шынытас және графит құраушы шикізаттың декрипитациялы бұзылуы (термоұсақтау) бойынша жаңа технологиялық шешімді анықтауы, болашақта декрипитация үрдісінің тереңдей дамуына толық сенуге және үміттенуге мүмкіндік беретінін дәлелдейді.

Қыздырған кездегі минералдардың әртүрлі әрекеттері декрипитация негізінде болып табылады, бұл үрдісте күйдіргіш өнімдерінің іріктелген бұзылысы болады.

Декрипитация келесідей шарттарға негізделуі мүмкін:

1. Кристалдардың бір модификациядан баскасына өтуіне;
2. Минералдарда кристалдардың «жарылуына» әрекет ететін, қыздырған кезде жоғары ішкі қысымға алып келетін кристалдық судың болуына;
3. Минералдардың жарылысына алып келетін жоғары қысым болатын қыздырған және суытқан кезде жылу айналымының ерекшелігіне.

Декрипитациямен дайындалған кендер қомақтылығы және формасы әр түрлі болатын минералдардан тұрады. Олардың келесі бөлінуі елеуді немесе гравитацияны жүзеге асырады. Декрипитация сподуменді кендерді және вермикулитті байыту үшін қолданылады.

1000-1200⁰С температурасында литийлік кендердің күйо үрдісінде α - 3,15-3,2 г/см³ тиісті салмағымен модификациясында орналасқан сподумен β -2,4 г/см³ тиісті салмағымен модификациясына өтеді. Сподумендік кенмен байытқан кезде Кет-Лейк (Канада) кен орынында кенді 20-50мм ірілікке дейін бөледі, ары қарай 0,2 мм ірілік кластарына жояды. 1-2 сағат ағымында айналатын пеште жүзеге асырылатын күйдіруге - 50+0,2мм іріктемелік класты бағыттайды.

Суытылған кенді резеңкелік қаптағышты майдатқышпен майдалайды. Майда сподумендік концентратты бос жыныстың ірі бөлшектерінен бөлу үшін өнім майдатқыштан елеуге бағытталады. Құрамында 1,85 % литий бар кеннен 85 % таратылым кезінде құрамында 4,39 % бар концентратты алады. Кендерде флюориттің, альбиттің, кальциттің, мусковиттің көп көлемінің болуы кондициондық концентраттардың алынуын қиындатады.

Кеннің құрамында сподуменнің көп болуынан кейде ол еріп кетеді. Бұл әдіске сподумендік концентраттарды қайта өңдеудің күкірт қышқылдық әдісінің қолданылуына байланысты көп көңіл бөлінеді. Декрипитация тек кендердің байытылуын және литийлік концентраттарды алуға ғана емес, сондай-ақ, сподуменнің β -модификациясына өтуін қамтамасыз етеді. Бұл модификациядан литий күкірт қышқылынан тез ажыратылады.

Вермикулиттің декрипитациясы – арасында суы бар жіңішке пластиннен тұратын кен бөлшектерін қыздыруға негізделген. Бу жойылуы және пайда болуы 0,5мм дейінгі қалыңдықтағы қабыршықтағы кен бөлшегін бұзылуына алып келеді. Қыздыру үрдісі 250⁰ С-ден басталып және 1500⁰С-ге дейін жетеді, оның ұзақтығы – 5-8 сек. Қыздырылған кенді жаймен 400⁰С-ке дейін суытады. Вермикулитті ыдыратуға арналған пештер шахталық және айналатын әдіспен құрылады және мұнаймен жылытылады.

Термиялық байыту – сазды кендерді байыту үшін де ұсынылған. Кен – майдалатудан бұрын термиялық өңдеуге, түйіршіктелген бөлшекті шламдық материалдан майдалатуға және сепарациялауға ұшырайды. Термиялық өңдеу саздық минералдарды және саздық емес қоспаларды ыдырату

температуралық облысында жүргізіледі. Майдалату және сепарация бір уақытта жүзеге асырылуы мүмкін. Әдіс – 730°C температурасы кезінде термиялық өңдеуімен бірге каолинді байыту кезінде тексерілген және жақсы нәтижелерді көрсетті.

Радиометриялық байыту урандық өнеркәсіпте кеңінен қолданылады.

Урандық кендерді байытуға арналған тұңғыш радиометриялық сеператорлар 1947 жылы Канадада құрылған. Бұл әдіс және сәйкес радиометриялық аппарат соңғы он жылдың ішінде маңызды дәрежеде дамып келеді. Радиометриялық орнатудың принципалды сызбасы гамма-шығарудың детекторынан, импульстің күшейткішінен, шоттың жылдамдығын өлшегіш құралдан, аралық релемен бірге тұрақты токтың күшейткішінен, орындаушы реледен және нәрлендіруші блогынан тұрады.

Байыту келесі түрде жүреді: өлшемі 35мм дейін жететін урандық кеннің бөлшектері вибрациялық май құйғыш немесе арнайы нәрлендіргіш арқылы 7-10 м/мин жылдамдықпен қозғалатын резеңкелік транспорттық таспаға келеді, содан кейін материалдың радиоактивтілігін, соның ішінде гамма-шығаруды қолданатын құралға түседі. Жеткілікті дәрежеде радиобелсенділігі бар кеннің бөлшектері – итергіш құрылғыны қозғалысқа келтіретін, алдағы гидрометаллургиялық өңдеу үшін уранмен байытылған бөлшектерді бөлетін электр сызбасындағы токты қыздырады.

Урандық кендерді радиометриялық кендік өңдеу – гидрометалдық өзгертудің алдында Кеңес Одағының, АҚШ-тың, Австралияның, Канаданың, Венгрияның және т.б. Елдердің кәсіпорындарында кеңінен қолданылады.

Мери Катлиннің (Австралия) кәсіпорынында аз мөлшерлі урандық кендерді байыту кезінде қалдықтарда радиометриялық іріктеуден кейін кеннің 20 %-ын жояды, ал Бун-Нуар (Франция) кәсіпорынында уранның құрамы 0,071%, бастапқы қомақтылығы 80–120мм, болатын кенді байытқан кезде қалдықтардың құрамында 0,008% ураны бар шамамен 66% кенді шығарады, сонымен қатар, уранның жоғалуы 7,4%-ды құрайды.

Радиометриялық байытудың алдында руданы қомақтылығы бойынша жіктейді. Орнатулардың (сепараторлардың) конструкциялары әртүрлі, бірақ та, олардың жұмыс істеу барысы бірдей. Канадада кендердің бөлшектерінің мөлшерлерін ескеретін арнайы радиометриялық орнату өңделген. Елеулерде және жууларда алдын ала еріткеннен кейін реттелген кен бункерден арнайы соңғы нәрлендірушіге бағытталады, ол жоғары жылдамдықпен айналады және 0,95 м/сек жылдамдықпен қозғалатын, ұзындығы 0,9м болатын таспалық конвейерге кеннің бөлшектерін лақтырады. Конвейерде кеннің бөлшектері бір қатарға жиналады және олардың бір-бірінен арақашықтығы бірдей болады. Конвейерден түскен кезде әрбір бөлшек неондық шамамен құрылатын, 500 Гц жиілікте жұмыс істейтін жарықтандырылған учаскемен қиылысады. Неондық шамның сәулесі сәйкесінше орнатылған фотоэлементке негізделген. Сондай-ақ, бөлшектің ұзындығы мен ені өлшенеді, содан кейін оның ауданы автоматты түрде есептеледі; бөлшектің ауданын анықтаушы белгі басқару пультінде орнатылған жадының арнайы құрылғысында сақталынады. Алдағы түсу кезінде кен бөлшегі есептеу құрылғысының қасынан жанама түрде өтеді; сәйкесінше белгі бөлек каналға түседі. Бөлшектің ауданын және оның таралымын анықтайтын белгілер қосылады және бастапқымен салыстырылады. Егер де, бөлшек, кеннің берілген іріктелінуіне сәйкес келсе (немесе бөлшектің радиобелсенділігі орнатылған минимумнан жоғары болса), онда бөлшектің түсу траекториясы өзгермейді және ол конвейерге немесе концентрат бункеріне түседі. Егер де, бөлшектегі уранның құрамы берілгеннен аз болса, онда ауа сопloses белгілі бір уақытқа автоматты түрде қосылады және бөлшек ауаның ағынымен бос жыныстың бункеріне тасталады. Ағаштың және болаттың бөлшектер бос жыныс бункеріне түседі. Кеннің қомақтылығына байланысты 25-50т/сағ өнімділік кезінде 200+50мм болатын бөлшектер орнату кезінде іріктелінеді, орнатудың тұтынушылық күші – 3 кв м, ауа шығыны – 5,6–6,3 атм – 1,4 м³/мин қысымы кезінде өзгереді. Бір агрегаттың алатын ауданы – 0,7–1,1м², бункерлерімен және жүктеуші май құйғышымен төрт қос агрегаттардың биіктігі 6м

құрайды. Неондық жарық сәулесінен ауа сопласына дейінгі бөлшектің өтетін арақашықтығы 760мм құрайды. Бір оператор 6 орнатуға қызмет көрсете алады. Мұндай орнатулар Биверлодж (Канада) байытылған фабрикасында және Оңтүстік-Африка Республикасы фабрикаларында пайдаланылады.

Венгриялық уран кендерін радиометриялық байыту кезінде ірі бөлшектердің іріктелінуін жақсарту үшін, кен бөлшектерінің нақты бір мөлшерлері үшін құрылғылар өңделген, индукциялық рычагтық өлшегіштер ұсынылған. Бұрғылар – шапқылармен болат сымдарының метелоктары – конвейер таспасының астында қандай-да бір бұрыштың астында топсалы түрде ілінеді. Кен курстарын өткен кезде бұрғылар бөлшектердің өлшеміне байланысты нақты бір биіктікке көтеріледі, бастапқы жағдайдан ауытқу бұрышы индукциялық катушкалармен реттелінеді. Жинақтаушы ұяшық белгілердің санын, олардың мөлшерін және ұзындығын қосады, сонымен қатар, бөлшектің салмағына пропорционалды болатын екінші белгіні құрастырады. Бұл әдісті енгізу – іріктеудің өнімділігін 6 %-ға жоғарылатты.

Аз өлшемнің бөлшектері үшін салмақ бойынша түзетудің диэлектрлік әдісі ыңғайлы болып табылады. Конвейерлік таспадағы кендердің бөлшектері конденсатордың сыйымдылығын өзгертеді, оның жапқыштары таспаның астында және үстінде орнатылған. Сыйымдылықтың өзгеруін көпір сызба бойынша реттейді және алынған белгіні – салмақтың индуктивті датчигін қолданған кездегідей қолданады.

12. ҮЙМЕЛІК ЕРІТІНДІЛЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Үймелік ерітінділеуді қарапайым балансталған кендер мен түсті металдар кендерінің ескі үйінділеріне қолданамыз. Кенінен таралған бұл технология мысты, уранды, мысты-мырышты, құрамында алтын бар кендерге қолдануға қолайлы болды.

Үйінді мен үймелерден үймелік ерітінділеу ерекшеленеді. Үйінділерде кесек өлшемдері шектелмейді, сондықтан, ашық таулы жұмыстар кезінде максимальді кесек 1500мм дейін жететіні бізге мәлім. Ескі үйінділерді өтімсіз болған жағдайда бастапқы жинақталған орны бойынша ерітінділейді. Өтімді болған жағдайда жұмысшы ерітінділерді жоғалту есебінің төмен болуы керек жағдайда, жинақтауды арнайы дайындалған аудандарда жүргізуді талап етеді. Үйінділердегі кендердің көлемі көбінесе жүз мыңдаған тоннаға жетеді. Үймелік ерітінділеу үшін жаңа жинақталған кенді ұсақтауға жібереді және үйінді түрінде арнайы ережелер бойынша қайта жинақтайды.

Ерітінділеу үшін арналған үйінділер мен үймелер құрылғысын дайындау үшін аудан құрылымын, формалау әдісі және үйінді мен үйменің өлшемін, ауалау әдісін, үйінді мен үймені жинау үшін арналған құрылғыны таңдап алу керек. Үйме немесе үйіндіні жинау үшін арналған орын су өткізбейтін болуы тиіс. Мұндай орындарға осы мақсатпен асфальт, бетон, гудрон ерітіндісі мен байыту қалдықтары, саз, полимерлі қабықшық төселінеді.

Ерітінділеу сұйықтықтарын жинау үшін құрылым мен аудандардың су өткізбейтіндей етіп жасалуының келесі тәсілдері бізге белгілі.

Бульдозермен өсімше қабатын алып тастайды, алаңды тегістейді, одан соң шайырмен құйылған бетон төсейді. Осындай жолдармен дайындалған алаңға полиэтиліді құрғатым құбырларын қояды және оны гравий қабатымен жабады.

Алаңды дайындауға кететін шығынды төмендету бетонды жұмыстардың болмауы кезінде тиімді, яғни мүмкін болады. Сонымен, егер өсімше қабатын алып тастаса, бетін тегістесе, оны кесектермен және дірілдеуіштермен тығыздаса, қабат

калыңдығы 100мм болған жағдайда 25мм іріліктегі қож қабатымен жапса, оны дірілдеткішпен тығыздаса, ал содан кейін асфальтты екі қабаттап құйса, сонда ғана су өткізбейтіндігіне сенімді болуға болады. Асфальттық қабаттың төселімін өз калпында бұзылудан дұрыс сақтап қалу үшін, оның үстіне 300мм қалыңдықтағы майда материал қабатын төсейді. Ерітінділер жиынтығын қамтамасыз ету ерітінділеуге жататын, қуаттылығы 1,5–1,8мм ірі материалды төсеу арқылы жүзеге асады.

Ерітінділеу үшін алаңды дайындаудың ең сенімді әрі қысқартылған тәсілдерінің бірі, ол өсімше қабатын алып тастау, алаңды кесекпен нығыздау, 0,6мм қалыңдықтағы саз қабатын төсеу және оны жақсылап нығыздау болып табылады.

Кей кездерде су оқшаулау материалы ретінде полимерлі қабықшаны жиі қолданады. Қабықшаның бүтіндігін сақтау тек 250мм қалыңдықты құм қабатының үстіне оны тастау және үстінен осындай қалыңдықтағы құм қабатымен жабу арқылы ғана мүмкін болады.

Ерітіндіні жинау ағаш қорапшамен қапталған және әрбір 4-5 м сайын рет-ретімен орналасқан, перфорирленген асбестцементті құбырлар арқылы жүзеге асады.

Кейде алаңды дайындаудың қысқартылған сұлбасын қолданады. Бұл сұлбаға тегістеу операциясы, ерітінді жеткізу қарғын кесу мен алаңды шайырмен тегістеу кіреді.

Алдын-ала дайындалған алаңға үймені пішіндеу кезінде ең ірі өлшемдегі (200-300мм) кен қабаттарын төсейді. Бұл ерітілген кендер үймелеріне, үймелердің (ауалау) барлық өлшемдеріне сай ауа кіруін жақсартады. Үйменің биіктігі ауа кіргізуді сақтау талаптарына сәйкес 60мм дейін қабылданады, өйткені атмосфералық ауа осы тереңдікке енеді. Жасанды ауа өткізу мен қопсытудың арнайы әдістерін қолдану кезінде үйменің биіктігі мен ені үлкейіп кетуі мүмкін. Кеннің ең ірі қабатына ұсақтау кен (10-30мм) немесе ірі және ұсақ кендердің бірқалыпты қоспасы төселінеді, ол үйменің өтімділігін жоғарылатады. Сазды материалдар мен майда кластар көп болған жағдайда -5+0 (-8+0) сыныбын алып тастайды және оны үймеге төсемейді. Үймені өзітүсіргішпен төккен кезде өтімділіктің жоғарылауы қопсыту

арқылы жүзеге асады, оны арнайы бұрғыланған қоймада сақталған жарылғыш заттар көмегімен жүргізеді.

Іс-тәжірибе көрсеткендей үймелер мен үйінділердің биіктігі 6-дан 100 м дейін қабылдана алады. Кендердің құрамында пирит пен сульфид неғұрлым көп болса, онда үймелерді төмен биіктіктен төгеді. Бұл шектеулерді пириттің өздігінен жанып кету қаупінен сақ болу үшін қабылдаған. Үйінділер мен үймелердің ені 10-20 –дан 100-200м –ге дейінгі шектерде, ал ұзындығы 100-800 м және одан да жоғары шекте қабылданады. Ерітінділеу үшін төселген кен массасы жүзден миллиондаған тоннаға дейін жетеді.

Кенді үйме ретінде жинау үшін конвейерлі транспорт, автотранспорт, жылжымалы қақпалы көтергіш қолданылады. Үйіндіні жоспарлау бульдозерлермен жүргізіледі.

Сулау тәсілі кеннің минералды құрамымен, оның гранулометриялы құрамымен, сүзгіштік қасиетімен, үйінділердің өлшемдерімен, климаттық талаптармен анықталады.

Үйінділер мен үймелер суды шашырату арқылы, сықағыш қоймалардың сулағыш шыбықтары мен бунақтарын қолдану арқылы суланады.

Сулаудың ең арзан әрі әсерлі әдісі үйінділер мен үймелердің бетіне ерітіндіні шашу болып табылады. Бұл ерітіндінің кеннің барлық массасына тегіс етіп шашылуын қамтамасыз етеді. Бұл әдістің кемшілігіне жаз айларында ерітіндінің ауада жоқ болып кетуі жатады.

Сулау үшін еріткішті магистральды пластикті немесе асбестцементті құбырлар бойынша жүргізеді. Магистральды құбырдан бастап реттегіш құбырға ауысады. Су шашуды перфорирленген реттегіш құбырлардан немесе пластик, я болмаса металдан жасалған сулағыш бастиектер арқылы жүзеге асыруға болады.

Сұрыптарды төменгі сатылы сүзуден өткізу кезінде шыбық немесе бунақтан жасалған сулауды қолданады. Тереңдігі 1м-ге дейінгі шыбық не бунақтарды үйінді немесе үймелердің жоғарғы қабатында құрады, және олардың құрамына ерітінді жібереді.

Қыс айларындағы төменгі температура кезінде және сәйкесінше үйінділер мен үймелердің төменгі өтімділігі кезінде, сықағыш қоймалардың көмегімен сулау жүйесін қолданады. Сықағыш қоймалардың диаметрін 150мм деп алады және оларды 7,5*7,5; 15*15 және 30*30 м тор бойынша орналастырады. Қоймаларды ұрғылау тәсілімен бұрғылайды, қондырылғаннан кейін перфорирленген пластикті құбырларды алып тастайтын қондырғы құбырлармен қондырылады.

Үймелердің кеуекті кеңістігі су шашырату арқылы сулау кезінде жартылай ғана, ал шыбықтан және сықағыш қоймалар көмегімен сулау кезінде толық толтырылады.

Үймелерді сулау үрдісі, ерітінділеуге жіберілген компоненттер концентрациясы өнімділік ерітіндіде берілген шектен төмен болмайынша жүргізіледі. Сонымен, мысалы, мысты кендер үшін концентрацияның шегі 0,5 г/л (1 г/л) құрайды. Содан соң ерітінді берілісін тоқтатады, үйінді аумағын құрғатады және тау массасы ауамен ауаланады, ол то тықтандырғыш үрдісін тездетеді. Әртүрлі кендер тен талаптар үшін ауалау мен сулау айналымының ұзақтығы әртүрлі. Мысалы, «Бингем Каньон» (АҚШ) бастауында сулау ұзақтығы екі апта, ал ауалау айналымы жарты жылға дейін созылады. Басқа айналымдар: 75 тәулік сулау, 45 тәулік ауалау; 7 тәулік сулау, 7 тәулік ауалау.

Ауалау айналымындағы минералдардың тотығу үрдісінің қарқындауы, кеннің ерітінділенген көлеміндегі жіберілген ауа санының өсуімен жүзеге асады. Үйінділерді жақсы ауаланған қалпында сақтап қалу үшін, қоймалар бұрғылайды және олардың ішіне перфорирленген пастикті құбырларды орналастырады. Қыс мезгілдерінде, ауа мен үйіндідегі кен температураларының айырмашылығы максимальді болған жағдайда, өнімділік ерітінділердің құрамындағы бағалы компоненттердің жоғарылауы байқалады. Бұл жоғарылау былай түсіндіріледі, температураның тез төмендеуі кезінде, кен массивінде ауа қозғалысының бағыты пайда болады. Тотығу қарқыны перфорирленген құбыр арқылы ауаүрлегіш үйіндіге ауаны үрлеу көмегімен, сонымен қатар, ерітінділеуге беру алдында ерітіндіні ауалау жолдарымен іске асады.

Әдетте ерітінділеу кезіндегі ерітіндіге цементаторлар немесе экстрактлердің қалдықты ерітінділері жатады. Ерітіндінің жоғалтқан орнын толтыру таза суды өткізу арқылы жүзеге асады.

Үймедегі ерітінді қозғалысы әртүрлі гранулометриялық қабаттарының құрамының иілуіне сәйкес келеді. Ерітіндіні құрғату уақыты үйменің биіктігіне байланысты болады. Мысалы, үйменің биіктігі 30 м болған жағдайда, құрғату уақыты 2-3 тәулікті алады, ал 91м болса, онда 6 тәулік, сол сияқты сүзбелеу жылдамдығы 10-15 м/тәу құрайды.

Ерітіндідегі бағалы компоненттер концентрациясы кең ауқымда өзгере алады. Мысалы, мыс кендері үшін бастапқы ерітіндідегі мыс концентрациясының саны, әртүрлі өндірістер үшін 0,005-0,2 г/л дейін, ал өнімді ерітіндідегі ерітінділеу 0,4-3,6 г/л дейін өзгереді. Ерітінділеу кезінде ерітінділер темірмен камтылады, және бұл оны құбыр өткізу жолдарында орналастыруға алып келеді. Темір тұзының түсуі сору қондырғысының жұмысын қиындатады, сүзбелеуді төмендетеді, ауалауды азайтады, өтімсіз қабаттардың түзілуіне себеп болады. Осының барлығы көптеген қиындықтарды тудырады. Темір тұзын отырғызуды жою үшін арналған негізгі шаралар келесілер болып табылады:

- жаңа қышқыл беру жолы арқылы жүргізілетін 2,1-3 шектерінде рН ерітіндісін қолдау;
- арнайы бөлімшелерде темір тұзын отырғызу.

Құрамында пирит көп болған кендерді ерітінділеу кезінде және әсіресе тионды бактерияларды қолдану кезінде қышқылды берудің еш қажеттілігі жоқ, өйткені рН ерітіндісі пириттің қышқылдануы салдарынан бір қалыпты күйді сақтайды. Үймедегі қышқылды–мысты минералдардың құрамының көп болуы қышқыл шығынының өсуін қажет етеді. Үймелік ерітінділеу кезінде қышқыл шығыны мынаны құрайды: өзінің пішінінен 0,1-ден 8 кг/м³ үйіндіден ерітінділеу кезінде; 1-ден 15 кг/м³ мысты үймеден ерітінділеу кезінде.

Кейбір өндірістерде ерітіндіден темір тұзын тұндыру, арнайы құймалы жолақтарда жүргізіледі.

Ерітінділеудің химиялық реакциясының жылдамдығы еріткіш температурасына байланысты болып келеді. Сонымен қатар, еріткіш температурасының 20 °С -тан 37–43 °С -қа жоғарылауы, еріту жылдамдығын екі есеге көбейтетіні бекітілген. Үймеге берілетін еріткіштің температурасы қыста 7-8 °С, ал жазда 30-35 °С аралығында тербеліске ұшырайды. Сульфидтерді қышқылдау үрдісінде ерітінділер мен кендерді қыздыру салдарынан, өнімділік ерітіндісінің температурасы бастапқы ерітінді температурасынан жоғары болады. Үйменің температурасының жоғарылауы, оның құрамындағы пириттің бар болуымен түсіндіріледі. Кейбір бастауларда өнімділік ерітінділерінің температурасы 57°С –ке жетеді. Температураның бұлай жоғарылауы химиялық еріту үрдісін жылдамдатады, алайда ол темірқышқылды бактериялардың активтілігін бірден төмендетеді, ол ақырында жалпы ерітінділеу үрдісінің жалпы жылдамдығын төмендетуге алып келеді.

Үймелі ерітінділеу кезінде бағалы компоненттерді шығару, ерітінділеу 3-4 жылға созылған кезде 50-90 %-ды құрайды. Үйінділер мен үймелерді тексеру келесіні көрсетеді, орташа 45-50 % шығару кезінде, жоғары қабаттардан шығару 80-90 % -ды құрайды, орташа қабаттардан шығару 50 % деңгейінде болғанда, ал төменгі қабаттар 10 % -ға дейін болады. Кейбір жағдайларда, мысалы мысты кендерді ерітінділеу кезінде, мыс концентрациясы жоғары болып табылған қабат анықталды. Мыспен байыту жоғары жатқан қабаттардан ерітілген мысты отырғызу арқылы жүзеге асады.

Үйменің ерітінділеу көлеміндегі темірін орналастыру бір қалыпты болып келеді. Жоғарғы қабаттарда темірқұраушы минералдар қышқылды және сульфатты пішінде көрсетілген, ал төменгі қабаттарда пириттің бар екені көрсетіледі. Бұл ерітінділеу үйіндінің қышқылды бөлігінде болатынын нақтылайтын бірден-бір дәлел болып келеді.

Үймелерді ауалау пайдалы компоненттерді шығаруды бірталай жоғарылататынын көрсетеді. Сонымен, күштемелі ауаланған мысты үймелі түрде ерітінділеу тәжірибесінің көрсетуі бойынша, күштемелі ауалау шығаруды (ауалаусыз) 66,5-80 % -ға дейін жоғарылата алады.

Үймелі түрде ерітінділеу байытудың дәстүрлі әдістерімен салыстырғанда, дайын өнімнің бағасын 2-5 есе төмендете алады.

Қазіргі кезде мысты үйінділер мен үймелерден ерітінділеу бойынша 40-тан аса қондырғы бізге белгілі. Олардың 30-ынан көбінде ерітіндіден мысты бөліп алу, темірде көміртектеу әдісімен жүзеге асады.

Мысты үймелік ерітінділеу әдісімен алу еріткіш үш тәсілдің (суды шашырату, сулау бунақтарымен немесе сықағыш қоймалармен) біреуі арқылы үймеде жинақталған кендерге алып келеді. Кен арқылы ерітіндіні сүзбеден өткізу кезінде қатысынша қышқылды минералдардың ерітілуі жүзеге асады. Мыс құрамы жоғары болып келетін өнімді ерітінділер тұнбалы өзекте жиналады, ал содан кейін шығынды сыйымдылыққа өтеді, одан кейін тізбектеліп қосылған көміртектендіргішке келіп түседі. Пульпа түріндегі цементті мыс ситаға жіберіледі, ол жерде ұсақ скраптарды (темірдің ұсақ бөлшектері) айқындайды. Тор асты өнімді жинақтауға жібереді.

Екінші көміртектендіргіштің ағызбасын қоюлағышқа бағыттайды, ал қоюлау өнімін –пульпа пішінді көміртекті мыс және регенерациялы сыйымдылық жиынтығына жібереді. Цементті мысты (жиынтықтан) сорғы арқылы пресс–сүзгіге жібереді. Пресс–сүзгі сүзгішін (жиынтықтан) өнімді еріткіштің жанына жібереді. Пресс–сүзгінің қалдығы өз алдына құрамында 72-85 % мыс болатын, майда дисперсті мысты ұнтақ түрінде болатын дайын өнімді сипаттайды. Регенерациялы сыйымдылыққа ерітіндінің азайып кету қаупінің алдын алу мақсатында су (шахталы су) қосады және керек болған жағдайда сыйымдылықтан қышқыл қосады. Скрапты көміртектендіргішке толтыру үшін қоймаға грейферлі тасымалдаушы арқылы жүргізеді. Қышқылды қажет болған жағдайда тұнба өзегіне де жібереді. Үймеден полиметалды кендерді еріту кезінде металдарды алу сұлбасы қиындайды, өйткені металдарды ерітіндіден болашақта өзімізге қолайлы болатындай пішінге алып келу үшін қосымша операциялар орындалуы керек. Мыс пен қорғасынды үймелік ерітінділеу әдісімен алудың технологиялық сұлбасы 12.1- суретте көрсетілген.

Байыту сұлбасы келесі негізгі операциялардан тұрады: мысты – қорғасынды кеннің ерітілуі, өнімді ерітінділерді шыбыққа жинау және оларды қышқылмен қышқылдату, мысты темір скрапта көміртектендіру әдісі түрінде айқындау, көміртекті мысты ауытқыту және ұсақ скраптарды анықтау, көміртекті цементті мысты жүргізбеу айналымы мен ерітіндіден қорғасынды айқындау айналымы. Көміртекті мысты қоюлау операциясын қоюлағышта немесе тұнбаларда жүргізуге болады. Тұнбаларды қоюландыру кезінде периодты қозғалыс ашық түсті ерітіндіні жояды, оңтайлы климатты жағдайлар болған кезде шламды ауада кептіреді және тұтынушыларға 20–25% дейін дымқыл болған кезде жібереді. Көміртекті мысты қоюлағышта қоюлаған кезде технологиялық үрдіске қоюланған өнімді сүзбеден өткізу операциясы қосылады.

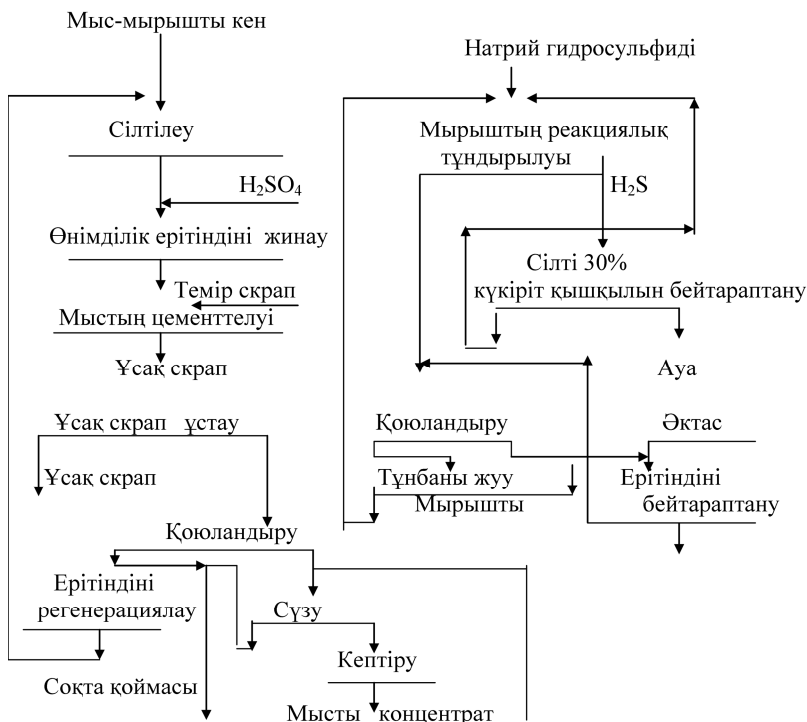
Мырышты анықтау айналымына көміртектендіргіш қондырғылардағы ерітінділердің бір бөлігін жібереді. Қажет болған жағдайда рН анықталған мағынасын құру үшін ерітіндіні қышқылмен қышқылдануды жүргізеді. Мырышты анықтау айналымы мырышты натрийдің гидросульфидімен реакциялы отырғызуын, шығатын су шығынын 30%-ды еріткішпен орталандыруын, соңынан жууды және мырышты концентратты құрғатуды, өңделген ерітіндіні әкті сүтпен орталандыруын қамтамасыз етеді.

Үймелік ерітінділеу кезіндегі негізгі операция мақсаты мысты ерітіндіден айқындап алу болып табылады. Ерітіндіден мысты химиялық және электрлитиялық тұндыру арқылы, иониттер сорбциясымен және көміртектендіру арқылы анықтап алуға болады. Химиялық тұндыру және сорбционды анықтау үрдісі әлі кең қолданысқа ие болған жоқ..

Ерітіндіден алынған мыс электролизі оның концентрациясы 15–20 г/л –дан көп болған жағдайда бір қалыпты болып келеді. Үймелі ерітінділеудің өнімділік ерітіндісі 0,3-тен 3,6г/л дейін мыстан, 2–8 г/л темірден, 1,5–3,5 рН ерітіндісі кезінде 0,5–1г/л шламнан тұрады. Сондықтан, осындай ерітінділердегі мысты тек қана көміртектендіру арқылы ғана анықтау тиімді әрі қолайлы болып келеді.

Өндіріс бойынша мысты темір скраппен көміртектендіру үрдісі қабылданған және енді мысты алюминиймен көміртектендіру бойынша іс-тәжірибелер жүргізілуде.

Ерітіндіден мысты көміртектендіру жолымен анықтау алдында қалдық шыбықтарындағы шламдарды анықтап алу керек және оларды рН-ты 2,5-3 шектерінде ұстап қалу үшін қышқыл беру жолымен қалпына келтіреді, оның тиімділігі қалдық ортасында темірдің қалып қалуының алдын алуында болып келеді. Шламдарды қондыруды қарқындату флокулянттарды қолдану арқылы жүзеге асады, мысалы, полиакриламидтер. Жақсылап дайындалған ерітіндіден мысты толығымен алып шығады (мыстың қалдықты құрамасы 60 мг/л болады).



12.1-сурет. Мыс-қорғасынды кенін үймелік ерітінділеудің технологиялық сұлбасы

Көміртектендіру үшін ернемелі темір, консервілі қаңылтыр, қаңылтырдың қиындысы, темір лом, жоңқа қолданылады. Қазіргі кездерде ауыр скрапты (рельстер, құбырлар және т.б) қолданбайды, өйткені беткі қабаты аз реакциялы болғандықтан, мұндай скраптарды енгізу кезінде пайда болатын шығындар мен қиындықтардың көп болуы, оның пульпамен араласуы көп кедергі келтіреді. Ернемелі темір жақсы дамыған бетпен жабдықталған және перспективті көміртектендіргіш ретінде қарастырылады. Көміртектендіру үрдісіне оны $-2+0,074\text{мм}$ ірілікте береді. Ернемелі темірде мысты айқындау 98% тиімді орындалатыны дәлелденген.

Лақтың, қалайының, тамақтың қалдығын жою үшін консервілі қаңылтырды (қолданылған темір консерві банкілері) $400-600\text{ }^{\circ}\text{C}$ температурада өңдейді. Беткі қалайылы қабатын сода ерітіндісімен жоюға болады. Тазаланған қаңылтырды біртекті іріліктегі затты алғанша бөлшектейді. Дайындалған қаңылтырдың ірілігі $130-480\text{ кг/м}^3$ -ты құрайды, ал мыс сыймдылығы қаңылтырдың 1 м^3 -на тәулігіне 200 кг -ға дейін жетеді.

Мысты көміртектендіруді көміртектендірілген науашаларда, күбілерде, ванналарда, атанақты, конусты көміртектендіргіштерде жүргізеді. Скрапты араластыратын немесе қағатын аппараттар ең жоғарғы көрсеткіштерді көрсетеді.

Көміртектендіргіш V-типті қаңылтырдың қарама-қарсы тереңдігі бойынша науашаның тұрқысында перфорирленген құбыр қойылған. Скрап науашаны барлық көлемі бойынша толтырады. Өнімділік ерітіндісін перфорирленген құбыр бойымен береді, ал өңделген ерітіндіні жоғарғы бөліктегі саңылау арқылы жинақтау науашасына құяды.

Бұл берілген науаша көміртектендіру үшін арналған. Ерітіндіден цементті мысты айқындауды жеке аппаратта жүргізген дұрыс. Осындай типті науашада көміртекті скрапты араластыру да бұған дейін қарастырылмаған. Көміртекті мыс өңделген ерітінді ағымымен шығарылады.

Көміртектендіргіште шөктіру сұлбасында екі технологиялық операция жүзеге асады: көміртектендіру және көміртекті мыстың айқындалуы. Темір скрапты жалған

тереңдікке науашаның барлық көлемі бойына бірдей етіп бөледі. Жүктеу жағынан біраз бөліктерін алып тастайды. Көміртекті мыс кеңістікте жалған тереңдік пен тұрқы тереңдігі арасында анықталады, жүктемелі қондырғыға ерітінді ағымы арқылы транспортирленеді. Науашаның ақырғы бөлігі классификатор режимінде жұмыс істейді. Көміртектендіргіште скрап араласпайды.

Қабатталған көміртектендіру – шөктіру шомылығысының сұлбасында жоғарғы бөлігі көміртектендіру үшін жұмыс атқарады, ал төменгі бөлігі көміртекті мысты қоюлау үшін қызмет етеді. Көміртектендіру орталары бөлінген екі айырғышта жүзеге асады. Бірінші айырғышта ерітінді қозғалысының бағыты тұндырылған көміртекті мыстың қозғалысының бағытымен сәйкестенеді, ал екіншісінде қарама-қарсы болады. Ерітіндінің ағу жылдамдығын көміртекті мысты отырғызу талаптарына сай екінші айырғышта таңдайды. Екі айырғышты да скраппен толтырады, оны араластыру қарастырылмайды. Көміртекті мыс өзінің жүктемелі құрылғыда жинақталумен байланысты тербеледі.

Атанақты көміртектендіргіште тек қана көміртектендіру жүзеге асады. Бұл қондырғының ерекшелігі, атанақ айналған кезде скрап қарқынды түрде араласады және көміртектендіргіш қабаты жақсылап тазаланады. Торлар ірі скраптардың жоғалып кетуінің алдын-алады. Мұндай көміртектендіргіштердің кемшілігі, көміртекті мысты қатты жуу кезінде және араластыруда (айналу) жоғары энергия жұмсау кезінде байқалады.

Ерітіндіден мысты 98%-ға дейін алып шығуды қамтамасыз ететін конустық көміртектендіргіштерде, жоғары сапалы көміртектендіретін темірді араластыру ерітіндінің өзі арқылы жүзеге асады.

Көміртектендіргіштің конустық тұрқысына скрапты енгізеді және оның төменгі бөлігіне, жоғары көтерілгенде көміртекті мыс пен аз дисперсті скрапты жуып өтетін өнімділік ерітіндісін жібереді. Конустың жоғарғы бөлігінде беткі қабаты дамыған аз дисперсті скрап шоғырланған және ол қатты құнарланған ерітінді арқылы өтеді. Бұл құбылыстар мыс алу

үрдісін жоғарылатады. Ағызба науашаға скрапты алып кетудің алдын-алу тосу құрылғысының көмегімен жүзеге асады.

Конусты-цилиндрлік көміртектендіргіш-қоюлағышында мысты көміртектендіру жоғары сапалы темірді араластырумен және өңделген ерітіндіден көміртекті мысты алып шығумен жүзеге асады. Скраппен толтырылған конустық бөлікке, қоюлағыштың төменгі бөлігінде шламдардан тазаланған өнімділік ерітіндіні береді. Көміртектендіру жоғарыда сипатталған үрдіспен бірдей деңгейде жүреді. Олардың айырмашылығы, жіңішке скрап ағып кетуден тор арқылы ұстайды, ал өңделген ерітінді көміртекті мыспен бірге қоюлағыштың жоғарғы бөлігіне шығарылады, сол жерде көміртекті мысты анықтау жүзеге асады. Тандалынып алынған мыс иілген бөлгіштер бойынша шығару қондырғысына қарай ағады. Өңделген ерітінді дөңгелек науашаға келіп түседі.

Конустық көміртектендіргіштер жоғары өнімділікке ие болып келеді. Диаметрі 3,3м, биіктігі 3,6м қондырғыда, тәулігіне 98% -ды алып тастаған кезде 10 мың м³ ерітіндіні өндеп шығарады (Салыстыру үшін: мұндай көлемді ерітіндіні өндеу үшін, ұзындығы 330м, биіктігі мен ені 1,3м, 90% -дан төмен шығарылымдарды қамтамасыз ететін науаша керек). Көміртекті пульпаның құрамында 2-3 г/л қаттылық болады, сондықтан оны қоюлау, сүзбеден өткізу және құрғату керек. Көміртекті қалдықтарды керек болған жағдайда байытады, оны магнитті және флотациялы байыту әдістерін қолдану арқылы жүзеге асырады.

Мысты кендерді үймелік ерітінділеуді қолдану және соңынан мысты ерітіндіден көміртектендіру арқылы таңдап алу, мысты өте көп мөлшерде алу, ерітінділеу, көміртектендіру кездерінде мысты концентраттардың жоғары сапалылығын алуды қамтамасыз етеді.

Үймелік ерітіндінің, бактерияның қасиеттеріне, мысты еріту мен отырғызудың технологиялық режимдеріне тығыз байланысты болады.

Сонымен, мысты қышқылды және сульфидті кендерден ерітінділеу кезінде, шығарылым сәйкесінше 22-26 және 17-19 % -ды құрайды. Сульфидті пішіндерді қышқылдыға ауыстыру

жылдамдығының жоғарылауы екі тәсілмен жүзеге асады: ерітіндіге сырттан қышқыл беру және кенге пиритті енгізу.

Екінші әдіс суық климатты аудандар үшін қолайлы болып табылады. Өйткені пирит үйіндіде жылу бөлінуінің салдарынан бактериялармен қышқылданады, ал бұл кеннің температурасын бактериялардың өмір құндылығы үшін өте қолайлы болып табылатын деңгейге көтеруге мүмкіндік береді. Ыстық климатты аудандарда пириттің үйіндіде қышқылдануын, оның қыздырылуына және бактериялардың стерирленуіне алып келеді.

РН ерітіндісінің қасиеті, Eh қышқылды-қалыптандырғыш потенциалы және темір пішіндерінің қатынасы, бактериялардың өмір құндылығы мен қышқылдың берілуімен анықталады. Бактериялардың жақсы дамуы кеннің (құрамында азот, фосфор, калий және магний бар) құрамы қолайлы болған кезде байқалады. T.ferrooxidans дамуы үшін Eh, яғни қышқылды-қалыптандырғыш потенциалы 475-600 мВ болған жағдайда ең қолайлы болып табылады.

Ерітіндідегі бактериялардың саны технологиялық үрдістің әртүрлі деңгейлеріне байланысты әртүрлі болып келеді. Мысалы, ол кендердің біреуінің талаптары үшін суланған ерітінділерде $1,7 \cdot 10^2$ – $1,7 \cdot 10^3$ кл/мл (клетканың миллилитрге қатынасы) құрайды, өнімді ерітінділерде бір-екі қатарға жоғары, ал көміртектендірілген шомылықтардың өңделген ерітінділерінде суланған ерітіндіде пайда болған жағдайға дейін төмендейді.

Сулайтын ерітінділерде Fe^{2+} (85-99 % Fe_0) болады. Иондардың құрамының аз болуы T.ferrooxidans торлары жалпы құрамының төмен болуын көрсетеді. Мұндай жағдайларда қышқыл қарқынының жоғарылауы, ерітіндіні микробиологиялық шыбықты генераторда дайындау жолымен жүзеге асады, бұл жерде бактериалды биомассаны аралау, микроағзаны енгізу, қоректі тұзбен ультрафиолетті сәуледен қорғау жолымен жиналады. Ерітінділердегі бактерияның құрамы көбінесе жыл мезгіліне байланысты болады. Жаз айларында 20-24°C температура кезінде $1,2 \cdot 10^3$ кл/мл –ге дейін

жетеді, қыста 2-6 есеге дейін төмендейді, ал көктем айларында 14-16°C температура кезінде $6,1 \cdot 10^2$ кл/мл –ге дейін жетеді.

Үймелік ерітінділеудің тұрақты көрсеткіші, бақылаудың телеметриялық жүйесінен алынатын барлық ақпараттарды бақылау мен автоматты басқаруды қолдану кезінде ғана өз мәресіне жетеді.

Еріту жағдайларының қатарында басқа тәсілдерге қарағанда алтынды алу үнемді болып табылады, әсіресе ескі балансталмаған кендер мен ескі үйінділерді өңдеуде, сонымен қатар кішігірім кенорындарын қайта қалпына келтіру кезінде осы нәтижелерге қол жеткізе аламыз. Үрдістің үнемділігі төмен капиталды және пайдаланылған шығындар арқылы, қоршаған ортаны зиянды ерітінділерден әсерлі түрде қорғау мүмкіндігімен қамтамасыз етіледі.

Алтын құрамдас кендерді ерітінділеу цианды ерітінділермен жүргізілетін болғандықтан, кеннің құрамында көміртегі, сорбиттейтін алтынды-цианидті кешен аз болуы керек, ал оның құрамында кеннің жеңіл фракциясының артығы, ерітіндіні батыруға қарсы келетін саздың артығы болмауы керек.

Алтын немесе күміс құрамдас кендерді үймелік ерітінділеу үшін арналған орынды (ауданды) асфальттау жолымен немесе бір рет қана қолданылатын полимерлі бетақауды қолдану арқылы дайындайды. Бетақаулар төменнен келетін зияндықтан құм қабаты, жоғарыдан келетін зияндылықтан ұсақ кен арқылы қорғайды. Алтын құрамдас кендерді ерітінділеу кезінде үймелердің өлшемі, мыс құрамдас кендерге қарағанда әлдеқайда аз болады. Мысалы, әдеттегі кеннің массасы 10000 т болатын үймені айтуға болады, ерітілетін кендегі алтынның құрамы 0,5-10 г/т-ны құрайды.

Алаңда ұсатылған кеннің үймесін жинау бульдозерлі автоөзітүсіргіш арқылы жүргізіледі, алайда кеннің өтімділік талаптары бойынша, әсіресе құрамында майда кластар көп болатын кендер үшін, жинауды жаппай жинау арқылы жүргізеді. Үйменің өтімділігінің жоғарылауына майда кеннен алынған 1м биіктікті конусты қалыптастыру арқылы, ал содан кейін, кенді үймеге жинау арқылы қол жеткізуге болады. Бұл

жағдайда ірі материалдан жоғары өтімділікті вертикальді орналасқан аудан құрылады.

Кеннен алтынды ерітінділеу технологиясы өзіне келесі операцияларды жүктейді: өнімді ерітінді (алтынның бір бөлігі судың $0,2 \cdot 10^3$ бөлігіне) алу арқылы 0,1% цианидті натрий ерітіндісімен алтынды еріту; көмірмен толтырылған абсорбционды колонкалардағы алтынның абсорбциясы, және артынан ыстық ерітілген ерітінділерде алтынды электролитикалық шөктіру мен десорбциялау.

Цианидті ерітінділерді, сумен NaCN –ді (0,5–1 г/л) араластыра отырып және рН –ты 10–10,5 (әкті беру есебімен) аралығында қамтамасыз ете отырып дайындайды. Ерітінділеу ұзақтығы 30–80 тәулікті құрайды, содан кейін кенді сумен 10–20 тәулік жуады. Алтынды алу 60–80% -ды құрайды. Саз сүзілуін тоқтатады, сол себептен айыру төмендейді. Құрамында 30% сазы бар кендерді үймелерде ерітпеген жөн.

Үймелік ерітінділеу мен үймені жуу ұзақтығы 80–100 тәулік болған кезде бұл үрдісті климаты қолайлы елдерде де қолдануға болады.

Алтынқұрамдас кендерді үймелік ерітінділеу үрдісін АҚШ–та («Эберли» кені), Канадада және басқа да елдерде қолданады. Біздің елімізде -100+0мм іріліктегі балансталған алтын құрамдас кендерді өңдеу жүріп жатыр. Бұл үрдіс 5мм –ге дейінгі іріліктегі кендерді ұсату талаптары бар кезде қолайлы болып табылады.

Уранды кендерді үймелік ерітінділеу 1963 жылдан бастап таралған және қазіргі таңда Францияда, Испанияда және Мексикада өз ісін жүргізуде.

Құрамында 0,02% U бар уранды кендерді шартты сапа кендерге жатқызуға болады. Құрамында U 0,02–0,01% болған кендерді аздық кен деп санайды.

Үймелік ерітінділеуге 1000–16000 т массасы бар, ірілігі - 120+0 (-400+0) мм үймедегі аз урандық кендерді жібереді. Ерітінділеу үшін арналған ерітіндіге қышқыл және гидрометаллургиялық зауыттардың өңделген ерітінділері жатады. Өңделгендер құрамына $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, орташа мәнмен 2 г/л H_2SO_4 және 1,6 рН кіреді.

Үйменің астындағы алаңды жақсылап дайындайды. Полимерлі қабықша немесе сондай-ақ, материалдан жасалған жинақталған қоры бар арнайы пластиналар (поливинилді) өнімді ерітіндінің азаюының алдын алады.

Ерітінділеу 7-ден 9 айға дейін созылады, қышқылдың шығыны уранды 68-80 % алған кезде 10,5-тен 12,5 кг/т кенді құрайды. Кеннің көлеміне байланысты уранның сыйымдылығы мен құрамы 1400-ден 3000кг дейін жетеді. Францияда жылдық өнімділігі жылына 100 т жоғары болып келетін үймелік ерітінділеу кешені жұмыс істейді.

Испаниядағы (Саламанка ауылы) уранды үймелік ерітінділеудің өзгешеленген ерекшелігі, бай (0,07 % -дан жоғары U_3O_8) және аз (0,02–0,07% U_3O_8) кендерді жеке-жеке ерітінділеу болып табылады.

Ең біріншіден жерге полиэтиленді қабықшаны төсейді, оның үстіне кендерді қабат-қабатымен ыңғайлап төсейді. Осыдан кейін үйменің жоғарғы бетіне сызаттар жүргізеді және құрамында 28 г/л H_2SO_4 бар қышқыл ерітіндісімен сулайды. Уранқұрамдас ерітінділерді (0,3–3 г/л U_3O_8 1,2–1,4 рН -пен) 1,2–1,4 рН уранның аланинмен 336 және керасиндегі изодекано́лмен экстракциясына бағыттайды. Сарқынды суды әкпен және хлорлы бариймен өңдейді. Резэкстракция үрдісінде уранды өнім алады.

Бай (0,28% U_3O_8), аз қуатты кенорындарындағы (Эл-Нопаль, Мексика) уранды үймелік ерітінділеуді 38мм-ге дейінгі іріліктегі материалда жүргізеді.

Ерітінділеу ұзақтығы 45 тәулік болған жағдайда 80–85% айыруға қол жеткізуге болады. H_2SO_4 шығыны орташа есеппен 25 кг/т –ны құрайды, ал U_3O_8 өнімділік ерітіндісіндегі құрамы 7 г/л –ды құрайды.

Бақылау сұрақтары

1. Магниттік байыту әдісі минералдардың қандай қасиетіне негізделген?
2. Қандай минералдарға магниттік байыту әдісі қолданылады?
3. Қандай магниттік сепараторлардың түрлерін білесіңдер?
4. Магниттік байыту әдісінде минералдарға қандай күштер әсер етеді?
5. Магниттік байыту кезінде негізгі қолданылатын әдістер.
6. Магнит өрістері қандай болады?
7. Күшті магнитті кендерді байыту аппараттары қандай?
8. Әлсіз магнитті кендерді байыту аппараттары қандай?
9. Сепараторлардың жұмыс аймағының биіктігі неге байланысты таңдалады?
10. Ашық көп полюсті жүйе тартылысының магнит күшіне қандай параметрлер әсер етеді?
11. Күшті магнитті минералдардың магнит өтімділігін анықтау үшін қандай әдісін қолданады?
12. Магнетиттің магнит қасиеттері неге байланысты?
13. Магниттік бөлгіштердің жіктелуі қандай?
14. Магнитті флокуляция құбылысы қандай кезде қолданылады?
15. Электрлік байыту минералдардың қандай қасиетіне негізделген?
16. Электрлік байытудағы негізгі қолданылатын аппараттарын ата.
17. Электрлік бөлгіштердің жіктелуі қандай?
18. Электр бөлгіштерінің схемалы көрінісін сыз.
19. Электростатикалық бөлгіштердегі жақсы бөліну неге байланысты?
20. Арнаулы әдіс дегеніміз не?
21. Қолмен талдау минералдардың қандай қасиетіне негізделген?
22. Қолмен талдау дегеніміз не?
23. Қолмен талдау қалай жүргізіледі?
24. Алаңда өңдеу.

25. Фотометриялық сепарация дегеніміз не?
26. Фотометриялық сепарация минералдардың қандай түріне қолданылады?
27. Рентгенділюминесценттік сепарация дегеніміз не?
28. Рентгенділюминесценттік сепарация қалай жүргізіледі?
29. Термоадгезионды сепарация дегеніміз не?
30. Декрипитация дегеніміз не?
31. Декрипитация қандай операцияларға себепші болады?
32. Жарылу дегеніміз не?
33. Жарылу қандай минералдарға қолданылады?
34. Радиометриялық сепарация дегеніміз не?
35. Радиометриялық сепарация қай өндірісте жиі қолданылады?
36. Алтынды үйінді түрде еріту үшін минералдық шикізаттарды ата.
37. Алтынды үйінді түрде еріту әдісі.
38. Алтынды үйінді түрде қандай ерітінді қолданылады?
39. Еріту процесінің ұзақтығы, жылдамдығы неге байланысты?
40. Алтынды ерітіндіден цементациямен бөлу.

ТЕРМИНОЛОГИЯЛЫҚ СӨЗДІК

Радиометриялық байыту – минералдарды радиоактивті қасиеттерінің айырмашылықтарына негізделген әдісі.

Электрлі байыту – минералдардың ток өткізгіштік қасиеттерінің айырмашылықтарына негізделген байыту әдісі. Сульфидті және тотықты минералдарының бірсыпырасында жартылай ток өткізгіштік қасиеттері болады. Электрлі байыту әдісі тек құрғақ түрде және ұнтақты ($-3+0,5$), шаңнан тазаланған затқа қолданылады. Сондықтан бұл әдіс кенді байытуға емес, тек басқа әдістермен алынған түйіршікті концентраттардың сапасын жетілдіруге қолданылады.

Минерал кристалдарының пішініне қарай байыту – бұл әдіс ірі кристалды және айрықша пішінді минералдарды бос жыныс минералдарынан қолмен сұрыптап бөлуге негізделген. Осыған байланысты ол сирек қолданылады.

Үйкелісіне қарай байыту – бұл әдіс негізінде асбест кендерін байытуға қолданылады. Асбест талшықтарының аппараттың арнаулы бетімен үйкеліс күші басқаларынан жоғары болады.

Магнитті байыту - бұл байыту әдісі кен ішіндегі бағалы минералдардың магнитті қасиеттері болса ғана қолданылады. Мұндай кендерде негізінде темір кендері жатады.

Магнитті бөлгіш – магнитті байытуда қолданылатын әр түрлі конструкциялы аппараттар. Кен құрғақ не пульпа түрінде, күшті не әлсіз магнитті, кесекті не ұнтақ түрінде болуына қарай тұрақты, болмаса электромагнитті жүйелі барабанды, валкалы, дискалы және т.б. түрлері қолданылады.

Үйкелу коэффициенті – тиісетін екі заттың арасындағы физикалық әрекет үшін сипаттайды.

Жылтырлық – минералдардың жарықты сындыру көрсеткішіне және беттің тегістігіне тәуелді физикалық қасиеті. Бұл қасиет кенді қолмен және механикалық сұрыптауда пайдаланылады.

Кедей кен – құрамында металл үлесі техниканың қазіргі даму сатысында тиімді пайдалануға қажетті мөлшерден төмен кен түрлері.

Бункер – бункір, қойма. Белгілі уақыт ішінде кен сақтайтын, бір процестен екінші процеске түсіру арасында қолданылатын сыйымды қондырғы. Пайдалану мақсатына қарай ол бірнеше түрге бөлінеді: қабылдағыш, бөлгіш, жинағыш, кен қасиетін орташалаандырғыш және т.б.

Шама – заттардың көлемін (ұзындығы, биіктігі, көлденеңі арқылы), қасиеттерін сипаттайтын ұғым.

Кеннің заттық құрамы – кеннің және одан алынатын өнімдердің ең басты сипаттамасы. Ол химиялық талдаумен анықталады.

Сәуле шығару – радиоактивті элементтердің, сол сияқты электронды шамдардың белгілі сәулелер шығаруы.

Бағалы затты бөліп алу дәрежесі – кеннен бағалы заттың бөліп алыну мөлшерін көрсететін басты технологиялық көрсеткіш. Оны есептеу үшін кендегі және одан алынатын концентраттағы металл массаларын білу қажет.

Сыйымдылық – сыйымды жабдық ретінде бункерлер, чандар, зумпфтар қолданылады.

Ерітінділеу – ерітінділеу процесі көбінде сапасы төмен тотықты (мыс) кендер үшін қолданылады. Ерітіндіге ион түрінде шығатын бағалы зат әртүрлі әдістерді қолдану арқылы одан бөлініп алынады. Еріткіш ретінде күкірт қышқылы, тұз қышқылы, аммиак және темірдің күкірт қышқылды тотығы қолданылады. Бұл процестің ерекшелігі сол, кен құрамынан негізінде металдың тотықты минералдары ериді.

Концентрат сапасы – концентрат сапасы негізгі металдың және кірме заттардың пайыздық үлестерімен бағаланады. Негізгі металл үлесі неғұрлым жоғары, ал кірме заттардың үлесі белгілі мөлшерден аспауы қажет.

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМІ

1. *Кравец Б.Н.* Специальные и комбинированные методы обогащения. – М.:Недра, 1986. – 304 с.
2. *Көшербаев Қ.Т.* Кен байыту негіздері: Оқу құралы. – Алматы: КазНТУ, 1998. – 275 б.
3. *Көшербаев Қ.Т.* Кен байыту саласына арналған орысша-қазақша терминологиялық түсіндірме сөздік. – Алматы, 2000 ж. – 90 бет.
4. *Зарецкий С.А., Сучков В.Н., Животинский П.Б.* Электрохимическая технология неорганических веществ и химические источники тока. – М.: Высш. Шк., 1980. – 493 с.
5. *Лебедев Б.Н., Авдюков В.И.* Комбинированные и специальные методы обогащения и переработка полезных ископаемых: Учеб. пособие. – Алма-Ата, 1974. – 204 с.
6. *Масленицкий Н.Н., Беликов В.В.* Химические процессы в технологии переработки труднообогатимых руд. – М.: Недра, 1986. – 202 с.
7. *Кузнецов В.П., Волова М.Л. и др.* Обогащение бокситов. – М.: Недра, 1976. С. 229–238 с.
8. *Бочаров В.А.* Комплексная переработка руд цветных металлов с применением комбинированных технологий // Обогащение руд. № 3, 1997. С. 265–271.
9. *Авдюков В.И., Авдюков В.В.* Специальные и комбинированные методы обогащения: Учеб. пособие. – Алматы: КазНТУ, 1999. – 473 с.
10. *Авдюков В.И., Жакатаева Н.К., Авдюков В.В.* Специальные и комбинированные методы обогащения: Метод. указания. – Алматы: КазНТУ, 2003. – 30 с.
11. *Набойченко С.С.* Автоклавная переработка медно-цинковых и цинковых концентратов. – М.: Металлургия, 1989. – 80 с.
12. *Кравченко Н.Д., Кармазин В.И.* Магнитная сепарация отходов цветных металлов. – М.: Металлургия, 1986. – 120 с.
13. *Ласкорин Б.Н., Барский Л.А., Персин В.З.* Безотходная технология переработки минерального сырья. Системный анализ. – М.: Недра, 1984. – 110 с.

14. *Снурников А.А.* Комплексное использование минеральных ресурсов в цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1986. – 316 с.

15. *Митрофанов С.И., Мицянинова В.И.* и др. Комбинированные процессы переработки руд цветных металлов. – М.: Недра, 1984. – 138 с.

16. *Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П.* Современная технология утилизации электронного и кабельного скрапа. // Обогащение руд. 1999, № 6, С. 29–30.

17. *Авдюков В.И., Жакатаева Н.К.* К вопросу переработки бурожелезняковых и марганцевых руд в Казахстане // Сб. Наука производству. Развитие прикладных исследований и внедрение их в производство в современных условиях. РГП “Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья”. – Алматы, 2000. С. 228 – 232.

18. *Авдюков В.И., Жакатаева Н.К.* Особенности переработки электронного лома. // Сб. Наука – производству. Развитие прикладных исследований и внедрение их в производство в современных условиях. РГП “Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья”. – Алматы, 2000. С. 223 – 227.

19. *Жакатаева Н.К., Авдюков В.И.* Переработка электронного лома. // “Молодые ученые – 10-летию независимости Казахстана” КазНТУ. Тр. междун. конф., и 1, – Алматы, 2001. С. 422–427.

20. *Авдюков В.И., Жакатаева Н.К.* Рациональное использование некоторых видов минерального сырья // Вестник КазНТУ. 5(33), 2002. С. 147–152.

21. *Авдюков В.И., Жакатаева Н.К.* Получение алюмосодержащих продуктов для производства спеццементов // Тр. 2-й междун. науч. практ. конф. молодых ученых. КазНТУ, 2002. С. 620–625.

22. *Авдюков В.И., Жакатаева Н.К.* Переработка бурожелезняковых руд по экологически чистой технологии // Тр. 5-й межд. конф. “Новое в охране труда, окружающей среды и защите человека в чрезвычайных ситуациях”. – Алматы: КазНТУ, 2002. С. 21–27.

23. Авдюков В.И Ч. 2., Жакатаева Н.К. Рациональное использование марганцевого, хромового и кремниевого сырья // Тр. 5-й межд. конф. “Новое в охране труда, окружающей среды и защите человека в чрезвычайных ситуациях”. Ч. 2, –Алматы: КазНТУ, 2002. С. 28–33.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ.....	3
1. МАГНИТТІК БАЙЫТУДЫҢ НЕГІЗІ.....	4
2. МАГНИТТІ ӨРІС ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІ.....	11
3. МАГНИТТІ СЕПАРАЦИЯ ПРОЦЕСІНІҢ ДИНАМИКАСЫ ЖӘНЕ РЕЖИМДЕРІ.....	15
4. МАГНИТТІ СЕПАРАТОРЛАР.....	19
5. МАГНИТТІК БАЙЫТУҒА ӘСЕР ЕТЕТІН ФАКТОРЛАР.....	29
6. МАГНИТСІЗ МЕТАЛ БӨЛШЕКТЕРДІҢ ЖҮГІРМЕЛІ МАГНИТ ӨРІСІМЕН ӨЗАРА ӘСЕРІ.....	89
7. ЭЛЕКТРЛІК БАЙЫТУ ӘДІСТЕРІНІҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ.....	103
8. ЭЛЕКТРЛІК БАЙЫТУ ӘДІСІНДЕ ҚОЛДАНАТЫН СЕПАРАТОРЛАРДЫҢ ТҮРЛЕРІ.....	121
9. КЕНДІ ТАЛДАУ.....	134
10. КЕНДІ ПІШІНІ, ҮЙКЕЛУ ӘРЕКЕТІ ЖӘНЕ СЕРПІМДІЛІГІ БОЙЫНША БАЙЫТУ.....	185
11. ДЕКРИПИТАЦИЯ. РАДИОМЕТРИЯЛЫҚ БАЙЫТУ.....	201
12. ҮЙМЕЛІК ЕРІТІНДІЛЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ.....	207
Бақылау сұрақтары.....	223
Терминологиялық сөздік.....	225
Библиографиялық тізім.....	227

Оқулық басылым

Жақатаева Нұрша Қалиқызы

ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАРДЫ МАГНИТТІ ЖӘНЕ АРНАЙЫ
БАЙЫТУ ӘДІСТЕРІ

Оқу құралы

РБ бастығы	<i>З.А. Ғұбайдулина</i>
Редактор	<i>Г.Қ. Оңкебаева</i>
Компьютерде беттеген	<i>А.Б. Аришова</i>

Басуға 05.06.2013 ж. қол қойылды.
Таралымы 300 дана. Пішімі 60х84 1/16. №1 баспаханалық қағаз.
Шартты б.т. 13,3. Көлемі 14,4 есепті б.т. Тапсырыс № 125.
Бағасы келісімді.

Қ.И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық университетінің басылымы,
Ақпараттық-баспа орталығы.
Алматы қаласы, Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-228-508-6

