

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

«Технологиялық машиналар, көлік және логистика» кафедрасы

Зайнитден Абылайхан Бақытжанұлы

**Мыс-никель кендерін дайындауда электің динамикалық параметрлерін  
күру**

**МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ**

7M07111 – Машиналар мен жабдықтардың сандық инженериясы  
мамандығы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

ӘОЖ 621.928.2

Қолжазба құқығында

**Зайнитден Абылайхан Бақытжанұлы**

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін дайындалған

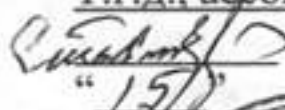
**МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ**

Диссертация атауы: «Мыс-никель кендерін дайындауда електің динамикалық параметрлерін құру»

Дайындау бағыты 7М07111 – Машиналар мен жабдықтардың сандық инженериясы


Ғылыми жетекші,

Т.ғ.д., асоц. профессор

 Столповских И. Н.  
“ 15 ” 06 2021 ж.

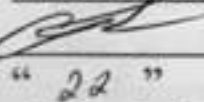
Пікір беруші,

Т.ғ.д., профессор

 Бәйденов Е.К.  
“ 09 ” 06 2021 ж.

Норма бақылаушы,

Т.ғ.к., ассистент-профессор

 Бортебаев С.А.  
“ 22 ” 06 2021 ж.

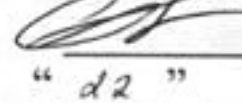
ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»  
Институт Metallургии и  
Промышленной инженерии

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

ТМКЖЛ кафедра

меңгерушісі

Т.ғ.к., асоц. проф.

 К.К. Елемесов  
“ 22 ” 06 2021 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ


Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты  
Кафедра “Технологиялық машиналар, көлік және логистика”

7M07111 - Машиналар мен жабдықтардың сандық инженериясы

**БЕКІТЕМІН**

ТМКЖЛ кафедра меңгерушісі  
техн. ғыл. канд., ассоц. проф.

 К.К. Елемесов

“ 22 ” 06 2021 ж

**Магистрлік диссертация орындауға  
ТАПСЫРМА**

Магистрант Зайнитден Абылайхан Бақытжанұлы

Тақырыбы Мыс-никель кендерін дайындауда електің динамикалық параметрлерін құру

Университет басшысының № 435 “03” 12 2019 бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі “15” 05 2021ж

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Електің тиімділігі мен өнімділігін арттырудың технологиялық мәселелері;

б) Елеудің тиімділігін арттыруды қамтамасыз ететін жетілдірілген технология;

в) Електің көрсеткіштеріне әсер ететін минералдық шикізаттың физикалық қасиеттері;

г) Електің технологиялық параметрлерін зерттеу;

д) Жұмыста таңдап алынған мыс-никель кендерінің минералды құрамы

Презентациялық материалдар тізімі:

а) Сынаманың жалпы схемасы

- б) Сынақтар жүргізу құралдарының тізбесі*  
*в) Сынама бетін лазерлік сканерлеудің 3D моделі*  
*г) Сынау стендінің негізгі элементтері;*  
*д) Мыс пен никельдің эксперименттік сынамаларының гранулометриялық сипаттамасы*

Ұсынылатын негізгі материалдар:

1. Балдаева Т.М. Сравнительная эффективность классификации на различных типах грохотов // Сборник докладов на школе молодых ученых Международной конференции Плаксинские чтения-2016 «Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья» Санкт-Петербург. 2016. С. 12-17.

2. Бизяев О.Ю., Устинов И.Д., Балдаева Т.М. Испытание технологии полиградиентной вибрационной классификации // Издательский дом «Руда и Металлы». Журнал «Обогащение руд». 2018. №4. С. 3-6.

3. Вайсберг Л.А., Балдаева Т.М., Иванов К.С., Отрощенко А.А. Эффективность грохочения при круговых и прямолинейных колебаниях // Издательский дом «Руда и Металлы». Журнал «Обогащение руд». 2016. №1 С. 3-9.

4. Иванов К.С. Возможный подход к моделированию процесса грохочения методом автоматической оптимизации параметров грохота // Труды конференции НТФР. 2011. – Санкт-Петербург.



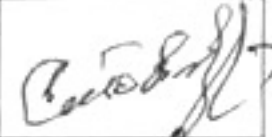

5. Мамонов С.В. Современное техническое состояние и технологические возможности тонкого грохочения в обогащении руд цветных металлов / С.В. Мамонов, Г.И. Газалеева // Известия вузов. Горный журнал. 2013. №6. С. 139-146.

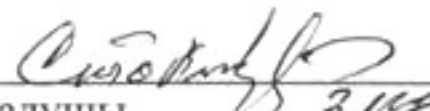
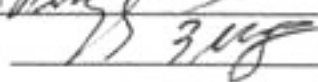
Диссертациялық жұмысты даярлау

### КЕСТЕСІ

Бөлім атаулары, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
1. Аналитикалық бөлім	1.03.2021	
2. Технологиялық бөлім	1.04.2021	
3. Эксперименталды бөлім	1.05.2021	

Диссертациялық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма  
бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған  
**қолтаңбалары**

Бөлімдер Атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
1. Аналитикалық бөлім	Т.ғ.д., ассоц. проф. Столповских И. Н.	1.03.2021	
2. Технологиялық бөлім	Т.ғ.д., ассоц. проф. Столповских И. Н.	1.04.2021	
3. Эксперименталды бөлім	Т.ғ.д., ассоц. проф. Столповских И. Н.	1.05.2021	
Нормабақылаушы	Т.ғ.к., ассоц. проф. Бортебаев С.А.	10.05.2021	

Ғылыми жетекшісі  / Столповских И. Н.  
Тапсырманы орындауға білім алушы  / Зайнитден А.Б./

Күні « 03 » 12 - 2021ж.

## АНДАТПА

Кенді және кенсіз шикізатты өндіру мен қайта өңдеудің жалпы әлемдік үрдісі оларды дайындау үшін процестер мен жабдықтарды кеңейтуді, тереңдетуді және жаңғыртуды талап етеді. Пайдалы қазбалар көп жағдайда, әрі қарай қайта өңдеуге кіріспес бұрын, зауыттарда бірқатар байыту операцияларынан өтуі керек, бұл өз кезегінде технологиялық тиімділік пен қажетті сапаға қол жеткізу үшін шикізаттың белгілі бір фракциялық құрамын қажет етеді. Осы талаптарды қамтамасыз ету үшін кәсіпорындарда кен дайындау қолданылады-бастапқы кенді белгіленген талаптарға сәйкес келетін, бірінші кезекте ірілігі бойынша, кейіннен экономикалық тиімді технологиялық қайта өңдеу үшін кондиционерлікке механикалық түрлендіру бойынша операциялар жиынтығы. Кен дайындау үздіксіз дамып, жетілдіріліп отыратын шикізатты одан әрі өңдеуге дайындаудың маңызды кезеңі болып табылады.

Біз жалпы бұл жұмыста електің әсерін, оның заңдылықтарын, сипаттамалары мен мүмкіндіктерін қарастыра отырып, кен дайындау процестері теориясының негіздерін зерттейміз және ең жиі қолданылатын електерді таңдау және есептеу үшін мәліметтерді келтіреміз.

Бұл жұмыста бірқатар мәселелер қарастырылып, жұмысты орындау барысында өз шешімін тапты:

Дипломдық жұмыс кіріспеден, жалпы бөлімнен, технологиялық бөлімнен, әдістемелік бөлімнен, қорытындыдан және 25 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс 56 бет түсіндірме жазбадан, 18 суретпен иллюстрацияланған және 16 кестеден тұрады.

## АННОТАЦИЯ

Общемировая тенденция добычи и переработки Рудного и нерудного сырья требует расширения, углубления и модернизации процессов и оборудования для их подготовки. В большинстве случаев, прежде чем приступить к дальнейшей переработке, полезные ископаемые должны пройти ряд обогатительных операций на заводах, что, в свою очередь, требует определенного фракционного состава сырья для достижения технологической эффективности и необходимого качества. Для обеспечения этих требований на предприятиях применяется рудоподготовка-совокупность операций по механическому преобразованию исходной руды в кондиционированную, соответствующую установленным требованиям, в первую очередь по крупности, с последующей экономически эффективной технологической переработкой. Подготовка руды является важным

этапом подготовки сырья к дальнейшей переработке, которая непрерывно развивается и совершенствуется.

В целом в данной работе мы изучаем основы теории процессов рудоподготовки, рассматривая влияние сита, его закономерности, характеристики и возможности, и приводим данные для выбора и расчета наиболее часто используемых сит.

Дипломная работа состоит из введения, литературного обзора, экспериментальной части, обсуждения экспериментальных результатов, выводов, списка использованных источников из 25 наименований. Дипломная работа изложена на 56 страницах, иллюстрирована 18 рисунками, содержит 16 таблиц.

## **ANNOTATION**

The global trend of mining and processing of ore and non-metallic raw materials requires the expansion, deepening and modernization of processes and equipment for their preparation. In most cases, before proceeding to further processing, minerals must undergo a number of processing operations at the plants, which, in turn, requires a certain fractional composition of raw materials to achieve technological efficiency and the necessary quality. To meet these requirements, enterprises use ore preparation-a set of operations for the mechanical transformation of the initial ore into conditioned ore that meets the established requirements, primarily in terms of size, followed by cost-effective technological processing. Ore preparation is an important stage in the preparation of raw materials for further processing, which is constantly being developed and improved.

In general, in this paper we study the basics of the theory of ore preparation processes, considering the influence of the sieve, its regularities, characteristics and capabilities, and provide data for the selection and calculation of the most commonly used sieves.

The thesis consists of introduction, literature review, experimental part, discussion of experimental results, conclusions, list of used sources 25 names'. The thesis is set out on 56 pages, illustrated 18 drawings, contains 16 tables.



## МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	8
1	Аналитикалық бөлім	10
1.1.	Електің сипаттамасы	10
1.2	Електің жалпы өндірісте қолданылуы және маңызы	15
1.3	Рудаларды елеу процесін зерделеудің қазіргі жай-күйі	21
1.4	Елек құрылғысының классификациясы	26
1.5	Електің тиімділігі мен өнімділігін арттырудың технологиялық мәселелері	30
1.6	Елеудің тиімділігін арттыруды қамтамасыз ететін жетілдірілген технология	32
2	Таңдап алынған сынама объектісін зерттеу жұмыстары	35
2.1	Жұмыста таңдап алынған мыс-никель кендерінің минералды құрамы	35
2.2	Електің көрсеткіштеріне әсер ететін минералдық шикізаттың физикалық қасиеттері	35
3	Эксперименталды бөлім	42
3.1	Ұсақ кластарды алдын ала елеу арқылы зерттеу	42
3.2	Ұсақ классты електерді зерттеу	47
3.3	Елек тиімділігін техникалық-экономикалық талдау	47
3.4	Елек тиімділігін техникалық-экономикалық талдау	49
	Қорытынды	53
	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	54



## КІРІСПЕ

Кен құрамының тұрақтылық проблемасын шешудің негізгі тәсілі-минералды шикізаттың кендерін байыту мен өңдеуге дайындау сатысында кеніштерде өндірілген кен сапасының өзгергіштігін төмендету арқылы олардың өнімдерінің сапасын арттыруды қамтамасыз ететін заманауи өндірістік технологиялық жүйені құру арқылы жүзеге асырылады.

**Зерттеу тақырыбының өзектілігі** өңіріміздің тау-кен кәсіпорындарының кен-шикізат базасының қарқынды нашарлауымен анықталады, бұл өндірілген кен сапасының төмендеуіне әкеледі. Салыстырмалы түрде нашар кендерді олардың құрамының тұрақтылығын арттыру режимінде өндіру технологиясын жетілдіру қажеттілігі туындауда, сол себепті мыс-никель кендерін дайындауда пайдаланылатын электің динамикалық параметрлері қарастыру аса маңызды болып табылады.

Зерттеудің объектісі ретінде мыс-никель кендерін алдық алдық.

Зерттеу тақырыбы «Мыс-никель кендерін дайындауда электің динамикалық параметрлерін құру» болып табылады.

**Зерттеудің мақсаты** жұмыс өнімділігін арттыру үшін сусымалы материалдың маңызды физикалық қасиеттері мен электің динамикалық параметрлері арасында сандық байланыс орнату және мыс-никель кен өндірісінің технологиялық схемаларының тиімділігін қарастыру болып табылады.

Жұмысты қарастыру барысында төменде көрсетілген мәселелер алынып қарастырылды:

Зерттеу үрдісі барысында гипотеза дәлденіп, үш міндет бойынша нақтыланды:

а) Мыс-никель кендерінің маңызды физикалық қасиеттерінің елеудің тиімділігіне әсері анықтау;

ә) электің жалпы технологиялық параметрлерін зерттеу;

б) мыс-никель кендерін дайындауда электің динамикалық параметрлерін құру.

Жұмысты орындау барысында теориялық және тәжірибелі (эксперименттік) тәсілдер қолданылды.

Қазіргі өнеркәсіптік тәжірибеде нарықтың негізгі үлесін (90% - дан астам) дәл осы кең ауқымды және әртүрлі технологиялық мақсаттағы жалпақ електер алады, олар електен өткізілетін материалдың қозғалу ерекшеліктерімен, тербелістерді қоздыру әдісімен, динамикалық режимдердің түрі мен параметрлерімен, елеуіш беттерінің санымен және т.б. ерекшеленеді.

Елеуіштер үшін елеудің тиімділігі электің түріне және ерекшеліктеріне байланысты әр түрлі болады. Мысалы, бұрын сипатталған құрылғылардан бекітілген колосникті електердің елеу

тиімділігі 50-70% аралығында болады, өйткені ол кіретін материалдағы ұсақ кластардың құрамына және оның ылғалдылығына байланысты, барабанды електер 60-70% елеу тиімділігіне ие, ал жалпақ тербелетін экрандардың артықшылығы салыстырмалы түрде жоғары елеуіш тиімділігі шамамен 75-93% құрайды.

Түрлі сусымалы материалдардың физикалық қасиеттерін зерттеу циклін анықтау жұмысы жүргізілді. Зерттеу үшін үлгілердің маңызды физикалық қасиеттері таңдалды. Пайдалы қазбалар үлгілерінің осындай қасиеттеріне (параметрлеріне) үлгілердің үлестік массасы, үйілмелі тығыздығы, гранулометриялық сипаттамасы, үлгілердің ішкі үйкеліс бұрышы (табиғи еңіс бұрышы) жатады.

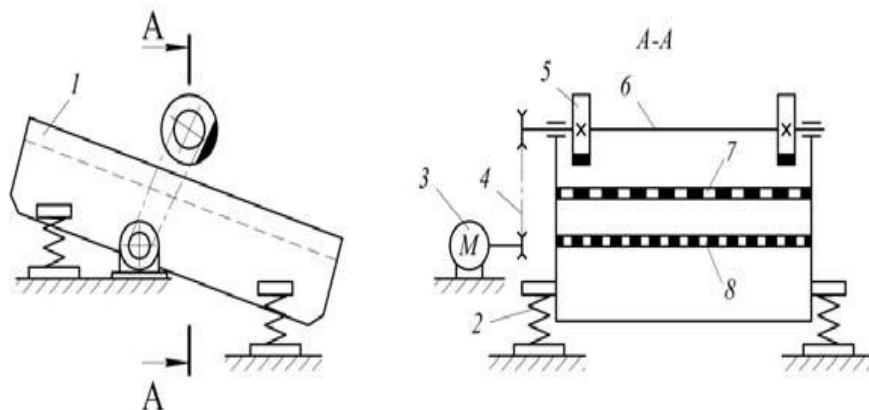
# 1 Аналитикалық бөлім

## 1.1 Електің сипаттамасы

Қазіргі өнеркәсіптік тәжірибеде нарықтың негізгі үлесін (90% - дан астам) дәл осы кең ауқымды және әртүрлі технологиялық мақсаттағы жалпақ електер алады, олар електен өткізілетін материалдың қозғалу ерекшеліктерімен, тербелістерді қоздыру әдісімен, динамикалық режимдердің түрі мен параметрлерімен, елеуіш беттерінің санымен және т.б. ерекшеленеді.

Динамикалық сипаттамалары бойынша електер келесідей бөлінеді:

1. Тербелістерді қоздыру әдісі:
  - ✓ теңгерімсіз діріл қоздырғышы;
  - ✓ электромагниттік діріл қоздырғышы.
2. діріл қоздырғыштар санына қарай:
  - ✓ бір;
  - ✓ екі және т. б.
3. Діріл қоздырғыштарының жұмысын синхрондау тәсілі (егер олар біреуден көп болса):
  - ✓ мәжбүрлі механикалық синхрондаумен жұмыс;
  - ✓ өзін-өзі синхрондау;
  - ✓ мәжбүрлі электр синхрондау.
4. Жеке меншікті жиіліктер қатынасы:
  - ✓ резонансалды;
  - ✓ резонансты и резонансаралық;
  - ✓ резонансішілік.
5. Жұмыстың тербеліс формасы:
  - ✓ айналмалы тербелістермен және оларға жақын;
  - ✓ тік сызықты (бағытталған) ауытқулармен;
  - ✓ эллиптикалық тербелістермен;
  - ✓ аралас тербелістері бар (біртекті емес тербеліс өрісі) [1].



1 Сурет - Електің жалпы схемасы: 1-короб; 2-серіппе; 3-электроқозғалтқыш; 4- клинобелбеулі беру; 5-дебаланс; 6-білік; 7,8-елек

Кенді және кенсіз шикізатты өндіру мен қайта өңдеудің жалпы әлемдік үрдісі оларды дайындау үшін процестер мен жабдықтарды кеңейтуді, тереңдетуді және жаңғыртуды талап етеді. Пайдалы қазбалар көп жағдайда, әрі қарай қайта өңдеуге кіріспес бұрын, зауыттарда бірқатар байыту операцияларынан өтуі керек, бұл өз кезегінде технологиялық тиімділік пен қажетті сапаға қол жеткізу үшін шикізаттың белгілі бір фракциялық құрамын қажет етеді. Осы талаптарды қамтамасыз ету үшін кәсіпорындарда Кен дайындау қолданылады - бастапқы кенді белгіленген талаптарға сәйкес келетін, бірінші кезекте ірілігі бойынша, кейіннен экономикалық тиімді технологиялық қайта өңдеу үшін кондиционерлікке механикалық түрлендіру бойынша операциялар жиынтығы. Кен дайындау үздіксіз дамып, жетілдіріліп отыратын шикізатты одан әрі өңдеуге дайындаудың маңызды кезеңі болып табылады. Кен дайындау процестеріне ұсақтау, ұнтақтау және елеу жатады. Кен дайындауға жалпы тау - кен байыту бөлінісінің өзіндік құнының шамамен 30% - ы және байыту бөлінісінің жалпы күрделі және пайдалану шығындарының 70% - ы келеді [2].

Өнеркәсіпте бос жынысты тасымалдау және одан әрі өңдеу шығындарын азайту үшін әртүрлі әдістер қолданылады, мысалы, кенді алдын-ала шоғырландыру және Кен дайындау циклінде кесек материалды бөлу. Минералды шикізаттағы құнды компоненттердің үнемі төмендеуі және қорлардың сарқылуы жағдайында шикізат дайындау-бұл кедей пайдалы қазбаларды өндіруге тарту арқылы бірқатар салалардың өнеркәсіптік өндіріс көлемінің сақталуы мен дамуын қамтамасыз ететін маңызды процесс. Сонымен қатар, кенді дайындауға қайта өңдеу құнының едәуір бөлігі тиесілі, шығындарды азайту өзекті міндет болып табылады.

Скрининг ыдырау кезінде энергияны үнемдеуде, яғни ұсақтау және ұнтақтау процестерінде маңызды рөл атқарады. Скрининг-бұл энергияны аз қажет ететін процесс, бірақ ол байытқыштардың негізгі принципін жүзеге асыруға мүмкіндік береді

"артық ештеңе сындырмаңыз". Соңғы онжылдықтарда кендерді байытуға дайындаудағы негізгі үрдіске айналған минералды агрегаттарды одан әрі селективті ашу перспективалары да сапалы скринингпен байланысты. Тиісінше, осы жағдайларда материалдарды бөлуге арналған технологиялық жабдықтарға қойылатын талаптар артып келеді. Сондай-ақ, РФ-да тау-кен өндіру және қайта өңдеу өнеркәсібіндегі жұмыс істеп тұрған жабдықтардың физикалық тозуы Росстаттың деректері бойынша экономикада ең жоғары және 60% сыни белгіге жақындап келеді.

Өз кезегінде, дірілді елеу (ВГ) сусымалы шикізаттың ірілігі бойынша жіктеу әдістерінің арасында ең тиімді бола отырып (халықаралық терминология бойынша түйіршікті), энергия үнемдеуде ерекше мәнге ие. ВГ энергия шығынын төмендету үшін өндірісті

тұрақты қарқындату кезінде Елеудің жоғары тиімділігі (ЭГ) болуы тиіс, бұл пайдаланылатын технологиялық агрегаттардың бірлі-жарым өнімділігін арттыруды талап етеді. Қазіргі заманғы Кен дайындау схемаларында ұсақтауға берілетін ұсақталған кеннің мөлшерін азайтуға, әдетте, ұсақ ұсақтаудың жабық циклінде скрининг және орташа және ұсақ ұсақтауға дейін алдын-ала скрининг арқылы қол жеткізіледі. Мұндай тізбектердің өнімділігі ЭГ-ға байланысты, жабық циклде де, орта және кіші циклден бұрын да.

Отандық тау-кен өнеркәсібінде жылына шамамен 0,5 миллиард тонна тау-кен массасын өңдейтін әртүрлі мөлшердегі бірнеше мың діріл экрандары жұмыс істейді. Жалпы, әлемде жылына 5 миллиард тоннаға жуық тау-кен массасы өңделеді және ондаған мың діріл экрандары жұмыс істейді. Елеу операцияларына байыту циклдеріндегі электр энергиясының жалпы шығыстарының 6-8% - ы келеді. Жоғарыда айтылғандай, скрининг операциялары электр энергиясын тұтынуға тікелей әсер етеді, өйткені үлкендігі бойынша жіктеу дәлдігі энергияны көп қажет ететін ұнтақтау жабдықтарына жалпы жүктемені анықтайды. Осылайша, реттелетін скрининг параметрлерін және экрандар дизайнын дұрыс таңдау кен шикізатының барлық түрлерін өңдеу кезінде нақты энергияны үнемдеуді қамтамасыз етеді. Жоғарыда айтылғандай, кенді емес пайдалы қазбаларды, сондай-ақ бай темір кендерін қайта өңдеу кезінде скрининг, сонымен қатар, ұсақтау сұрыптау кәсіпорындарының соңғы өнімдерінің тауарлық сапасын қамтамасыз етеді [3].

Қазіргі уақытта тауарлық қиыршық тасты алу кезінде қалдықтарды қоймалаудан болатын экологиялық залалды азайту мақсатында қосымша Тауарлық өнім дайындау үшін кондицияланбаған ұсақ затты (0-5 мм) пайдалануға назар аударылуда. Бірқатар жұмыстар құрамында алтын бар кендерді елеуге арналған жаңа технологиялар мен жабдықтарды қолдануды қарастыруда. Экрандардың құрылымдық компоненттерінен скрининг беті кеңінен зерттелген. Мұнда елеуіш беттер бойынша негізгі мәліметтер, олардың жіктелуі және оларға қойылатын негізгі талаптар келтіріледі. Металл, арматураланған, полимерлі және арнайы електердің отандық және шетелдік конструкциялары және оларды ілмектерге бекіту әдістері қарастырылады. Шикізаттың заттық құрамы факторларының ВГ процесіне әсері зерттелді [4]. Соңғы жылдары сусымалы орталардың, бірінші кезекте минералды шикізаттың сызықты емес механикасы, олардың тербелмелі сегрегация және ірілігі бойынша жіктеу процестері саласындағы бірқатар іргелі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері орындалды және жарияланды. Көрсетілген процестер Жеке бөлшектер мен олардың массивінің өзара әрекеттесуінің физикасы (динамикасы және кинетикасы) деңгейінде жан-жақты сипатталған. Су ең тапшы ресурстардың біріне айналатынын ескере отырып, байыту кезінде "дымқыл" деп аталатын процестерді пайдалануды азайту өзекті тақырып

болып табылады. Мысалы, Көмірді байыту кезінде тұщы судың едәуір мөлшері қолданылады: 5-тен 10 тоннаға дейін, 1 тонна көмірге су. Бұл жағдайда көмір құрамында күл фракциясының жоғары пайызы бар (15-20 %), бұл көмірді жағу қалдықтарының (күл мен шлактардың) әсерлі көлемін сақтауға әкеледі [5]. Осылайша, көмірді байытудың құрғақ әдістерін қолдану қажет. Бұл жұмыстың авторлары жоғары күлді көмірдің термохимиялық модификациясын қолданудың орындылығын және оның байыту тиімділігіне әсерін анықтады. Бірқатар жұмыстар кен дайындау көрсеткіштеріне әсер ететін сусымалы материалдардың реологиялық қасиеттерін қарастырады. Жақында экрандар кеңінен таралды, оларда тақтайша қабатының біркелкі қалыңдығы сақталады. Олар жоғары өткізу қабілеттілігімен және жоғары тиімділігімен сипатталады. Сонымен, жұмысында материал қабатының біркелкі қалыңдығы бар діріл экраны қарастырылады. Авторлар бұл экранның әдеттегі діріл соққыларымен салыстырғанда (шамамен 3-8%) жоғары ЭГ бар, әсіресе көп материалмен жұмыс жасағанда. Скрининг процесі негізгі ақпаратты, дизайн ерекшеліктерін, скрининг процесін модельдеуді, экрандарды есептеу әдістерін және материалдық құрамның құрылымдық компоненттері мен факторларын қарастыратын көптеген жұмыстарға арналған деп қорытынды жасауға болады. Бұл жұмыста, ең алдымен, борпылдақ ортаның мөлшері бойынша тербелісті жіктеу процестерін жалпылама энергетикалық сипаттауға әрекет жасалады.

Електі жобалау процесінде оның жұмыс корпусының тербелістерін синтездеу мәселесін ғана емес, сонымен бірге осы заңның айтарлықтай бұрмаланбауын қамтамасыз етудің бір немесе басқа әдісін шешу қажет. Сондықтан елек үшін тербелістердің жиілігі мен амплитудасы әсер ететін жұмыс режимінің тұрақтылық қасиеті ерекше мәнге ие [6].

Електің жалпы көрінісі 1-ші суретте көрсетілген.

Елеуіштің тиімділігі електің жұмысын сипаттайтын негізгі көрсеткіш болып табылады. Е скрининг процесінің тиімділігі електен гөрі ұсақ тесіктер класына сәйкес, яғни төменгі топқа сәйкес, бұл топтағы өнімнің массасы бастапқы материалдағы сол топтың массасына қатынасы. Елеуіштің тиімділігі жалпы қабылданған әдіспен есептеледі:

$$E = 100\gamma (\beta - \alpha) / \alpha(100 - \alpha), \quad (1)$$

мұндағы  $\gamma$ -тор астындағы өнімнің шығымы,  $\alpha$  және  $\beta$ -сәйкесінше бастапқы материалдағы және тор астындағы өнімдегі есептелген төменгі топтың мазмұны.

Тор астындағы өнімнің шығуын тікелей өлшеу техникалық мүмкін болмаған жағдайда елеу тиімділігін есептеу үшін ұқсас формула қолданылуы мүмкін:

$$E = 10^4 (\beta - \alpha)(\beta - \nu) / \alpha(100 - \alpha)(\beta - \nu), \quad (2)$$

мұндағы v-тордағы өнімнің төменгі есептік класының мазмұны.

Елеуіштің тиімділігі белгілі бір жылдамдық мәні бар елек бетіндегі материалдың қозғалыс жылдамдығына тәуелділігі. Бастапқы материал бойынша елеудің өнімділігінің артуымен, басқалары тең болған кезде, елеудің тиімділігі төмендейді. Тиімділік тек елеу бетінің функциясы емес және електің жалпы сапасының жиынтығымен, сондай-ақ оны қолданудың дұрыстығы мен пайдалану деңгейімен анықталады. Алайда, материалды тікелей тасымалдайтын және бөлетін негізгі жұмыс элементі ретінде, дәлірек айтқанда, оның сыртқы түрі, тесіктердің пішіні мен өлшемдері, одан жасалған материал айқын рөл атқарады [7,8].

1 Кесте - Сынақтар жүргізу құралдарының тізбесі

Атауы, түрі және маркасы	Саны , шт.	МЕМСТ	Негізгі сипаттамалары
Бұрыш өлшегіш	1	МЕМСТ 5378-88	Дәлдік класы II, бөлу бағасы 1 град.
Штангенциркуль	1	МЕМСТ 166-89	Дәлдік класы II
Металл өлшеуіш сызғыш	1	МЕМСТ 427-75	Бөлу бағасы 1 мм, диапазоны 1-1000 мм
Пикнометр ПТ-100	1	МЕМСТ 22524-77	Қателік 0,1 %
ВЛТЭ-150 зертханалық электрондық таразы	1	МЕМСТ 24104-2001	Дәлдік класы II, бөлу бағасы 0,001 г
Едендік электрондық таразы РВ-60	1	МЕМСТ 24104-2001	Дәлдік класы II, бөлу бағасы 0,01 кг

Елеуіштер үшін елеудің тиімділігі електің түріне және ерекшеліктеріне байланысты әр түрлі болады. Мысалы, бұрын сипатталған құрылғылардан бекітілген колосникті електердің елеу тиімділігі 50-70% аралығында болады, өйткені ол кіретін материалдағы ұсақ кластардың құрамына және оның ылғалдылығына байланысты, барабанды електер 60-70% елеу тиімділігіне ие, ал жалпақ тербелетін экрандардың артықшылығы салыстырмалы түрде жоғары елеуіш тиімділігі шамамен 75-93% құрайды.

Түрлі сусымалы материалдардың физикалық қасиеттерін зерттеу циклін анықтау жұмысы жүргізілді. Зерттеу үшін үлгілердің маңызды физикалық қасиеттері таңдалды. Пайдалы қазбалар үлгілерінің осындай қасиеттеріне (параметрлеріне) үлгілердің үлестік массасы, үйілмелі тығыздығы, гранулометриялық сипаттамасы, үлгілердің ішкі үйкеліс



бұрышы (табиғи еңіс бұрышы) жатады.

Шикізаттың физикалық-механикалық қасиеттерін зерттеу жүргізілген негізгі жабдықтар: елек анализаторы, оптикалық бұрыш өлшегіш, пикнометр, электронды зертханалық таразы (1-кесте).

Жылжымалы үйкеліс коэффициенті нақты үлгілердің көлбеу жазықтығы бойымен бастапқы қозғалыс бұрышын өлшеу арқылы анықталды. Беттік материал елек елеуішімен бірдей. Үйкеліс коэффициенті жазықтықтың эксперименталды түрде анықталған көлбеу бұрыштарын градуспен осы бұрыштың тангенсіне ауыстыру арқылы есептеледі [9].

Табиғи көлбеу бұрышына ұқсас ішкі үйкеліс бұрышы сыналатын сусымалы материалдың конусын тікелей өлшеу арқылы анықталды. Осы мақсатта сусымалы материалдардың табиғи еңісінің бұрыштарын өлшеуге арналған жетілдірілген құрылғы (аспап) құрастырылды және дайындалды. Ұсынылған құрылғы көп қабатты шикізаттың ішкі үйкеліс коэффициентін одан әрі есептеу үшін сусымалы материалдардың табиғи көлбеу бұрыштарын өлшеудің жоғары дәлдігімен сипатталады – тербелмелі сегрегация және үлкендігі бойынша жіктеу процестерін сипаттайтын модельдерде қолданылатын маңызды параметр.

Гранулометриялық құрамды анықтау МЕМСТ 12536-2014 қолданыстағы стандартына сәйкес елек әдісімен жүргізілді. АСВ-200 дірілді елеуіш-талдағыш сынау аспабы [10].

Үлгілердің меншікті тығыздығын және олардың сусымалы салмағын анықтау ВСН 55- 69 «Топырақтың тығыздығын анықтау жөніндегі нұсқаулық ведомстволық стандартына» сәйкес пикнометриялық әдіспен жүргізілді.

Кен өнімдерін елеуде бастапқы материалдың төмен массалық салмағына байланысты салыстырмалы түрде қалың қабатта жүргізілуі керек, бұл жіктеудің төмен тиімділігіне әкеледі. Елеу кезінде материалды елеуіштің елек бетіне беру кезінде салыстырмалы түрде қалың қабат пайда болады. Сонымен, кен өнімдерінде – ұзындығының шамамен 1/6 бөлігін алады (2-сурет).

## **1.2 Електің жалпы өндірісте қолданылуы және маңызы**

Елек - бұл сусымалы кесек материалды калибрленген тесіктері бар бір немесе бірнеше рет қатарынан немесе параллель орналасқан електен өткізетін беттер арқылы елеу арқылы бөлу процесі. Әдетте әр түрлі дизайндағы металл немесе полимерлі електер Елек беті ретінде қолданылады. Қолдану түріне сәйкес скринингтің келесі түрлері бөлінеді:

✓ бастапқы материалды ұсақтау алдында алдын ала, бақылау немесе салыстырып тексеруді қоса алғанда, ұсақтаудан кейін тұйық

циклде қолданылатын және алдын ала және бақылау біріктірілетін жағдайларда біріктірілген көмекші скрининг;

✓ кейіннен бөлек өңдеу үшін материалды бірнеше ірі сыныптарға бөлуге арналған дайындық скринингі;

✓ өздігінен елеу – дайын сорттар болып табылатын және тұтынушыға жіберілетін сыныптарды бөлу үшін;

✓ сусыздандыратын елек - бұл материалдағы судың негізгі массасын жуғаннан кейін алып тастау. Көмірді байытуға қатысты ұқсас терминологиялық анықтамалар МЕМСТ 17231-2015: көмірде келтірілген. Байыту. Терминдер мен анықтамалар. Көмірді байытудың принципті технологиялық сызбасы 1.1-суретте келтірілген.

Електі көбінесе қатты минералды және техногендік Шикізатты ұсақтау циклдарында қолданылады. Сондай-ақ скрининг бастапқы материалды кесекті байытудың (концентрацияның) кейінгі операциялары алдында ірілігі бойынша сыныптарға бөлу үшін немесе қажетті ірілігі бар тауар өнімін алу үшін жүргізіледі. Кейбір жағдайларда скрининг, егер зиянды қоспалар селективті ыдырау нәтижесінде мақсатты өнімнен мөлшері жағынан ерекшеленетін болса, алынған өнімнің сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Бастапқы тамақтанудағы бөліктің максималды мөлшеріне сүйене отырып, "Механобрада" жасалған 1-кестеде келтірілген градация қабылданды [11,12].

2 Кесте - Елек түрлерінің классификациясы.

Електің түрлері	Бастапқы материалдың ірілігі, мм	Елек бетінің тесік өлшемі, мм
Ірі	-1200	100...300
Орташа	-350	25...60
Ұсақ	-75	6...25
Майда	-10	0,5...5
Ерекше майда	-1	до 0,05

Елек - бұл бөлшектік және сусымалы материалды, целлюлоза мен суспензияның қатты фазасын калибрленген тесіктері бар елек беттерін қолдана отырып, әртүрлі мөлшердегі өнімдерге бөлу үшін қолданылатын құрылғы.

Барлық өндірілген жабдықты келесі топтарға бөлуге болады:

Елеуіш бетінің орналасуы бойынша:

а) көлбеу экрандар (кейбір жағдайларда тік); б) көлденең экрандар (немесе сәл көлбеу).

Жұмыс бетінің пішіні бойынша:

а) жазық електер (жылжымайтын електер, ішінара жылжымалы електер, жазық жылжымалы електер);

б) барабанды айналмалы електер; в) доғалы електер.

Елеуіш бетінің қозғалыс сипаты немесе Сусымалы Материалды жылжыту тәсілі бойынша: А) қозғалмайтын електер (қозғалмайтын елеуіш беті бар);

б) жартылай жылжымалы экрандар (елеуіш бетінің жекелеген элементтерінің қозғалысымен);

в) айналмалы экрандар (елеуіш бетінің айналмалы қозғалысымен);

г) гидравликалық електер (су ағысында материалды тасымалдайтын електер немесе қойыртпақтар);

д) тегіс жылжымалы экрандар (бүкіл елеу бетінің тербелмелі қозғалысымен) [13].

Бекітілген экрандардың мысалы ретінде торлы экранды көрсетуге болады. Ірілігі 800-1200 мм кен материалын елеу тек желтартқыш типті қозғалмайтын күрекшелерде жүзеге асырылатынын атап өту қажет. Торлы экран қарапайым құрылымға ие және 30-45 градус бұрышта орнатылған пішінді қиманың арқалықтарынан жиналған бекітілген торлардан тұрады (көбінесе ескі Рельстер, Металл арқалықтар немесе әртүрлі профильдегі бұйра жолақтар қолданылады). көкжиекке. Сирек жағдайларда торлар көлденең орнатылады. Материал тордың жоғарғы бөлігіне түседі және ауырлық күшінің әсерінен тор бойымен қозғалады, белгілі бір мөлшерден кіші бөліктер тордың саңылаулары арқылы құлап кетеді (тақтайша өнімі), ал үлкенірек бөліктер төменгі бөліктегі экранды қалдырады (торлы өнім). Ол негізінен 50-ден 200 мм-ге дейін спикелеттер арасындағы алшақтықтың мөлшері бар үлкен скрининг үшін қолданылады. торлы экрандар минималды техникалық қызмет көрсетуді қажет етеді, жоғары беріктігі мен қарапайым дизайнымен ерекшеленеді, ал олардың мөлшері бойынша бөлудің тиімділігі төмен [14].

Айналмалы барабан экрандары цилиндрлік немесе конустық пішінді елеуіш бетімен сипатталады. Барабанның ішіне кіретін материал айналу әсерінен ішкі бет бойымен қозғалады. Іріліктің бірнеше класын алу қажет болған жағдайда, барабанның елеуіш беті үлкеннен іріге дейін әртүрлі саңылаулары бар бірнеше секциялардан тұрады. Цилиндрлік барабанның горизонтқа көлбеу бұрышы аз (4-7 градус.), конус барабаны әдетте көлбеу орнатылады. Шағын өлшемдегі барабан экрандары орталық білікке, ал үлкендері роликтерге негізделген сыртқы таңғыштарға айналады. Барабанды електер саз кендерін жуу, шарлы немесе өзекті диірмендерден қойыртпақпен бірге түсірілетін скрабты немесе ірі кен кесектерін ұстау, шағылтасты, қиыршық тасты және құмды жуу және сұрыптау, сондай-ақ асбест талшығын сұрыптау және графит концентратын себу үшін қолданылады. Артықшылығы-соққылар мен дірілсіз дірілдеу мүмкіндігі, яғни. толығымен динамикалық теңдестірілген режимде. Кемшіліктері-төмен ЭГ, қозғалу кезінде електен өткізетін бетке материалдың абразиясы және құрылымның

көлемділігі. Гидравликалық соққыларда материалдың Елек беті бойымен қозғалуы судың әсерінен жүзеге асырылады, осылайша ұсақ кластардың бөлінуі тікелей целлюлозадан жүреді. Негізінен жұқа скрининг үшін қолданылатын доғалық, конустық циклондық және жалпақ гидравликалық экрандар ерекшеленеді. Бұл экрандар түсті және қара металл кендерін байытудың технологиялық процестерінде кеңінен қолданылады: гравитациялық фабрикалардың схемаларында ұсақтаудың бірінші кезеңінде, бөлу мөлшері 3,0-ден 1,6 мм-ге дейін, ұсақтаудың және ұсақтаудың келесі кезеңдерінде, онда бөлудің қажетті мөлшері 1,0-ден 0,074 мм-ге дейін және Байыту өнімдерін жетілдіру циклдерінде, онда материалды алдымен 0,5-тен 0,040 мм-ге дейінгі аралықта тар кластарға бөлу қажет. Тау - кен өнеркәсібінде діріл экрандарының ең көп таралған түрін атап өткен жөн-тік жазықтықтағы тербелісі бар жалпақ экрандар және тік бұрышты тербелісі бар экрандар, соның ішінде инерциялық көлбеу экрандар, өзін-өзі теңдестіретін экрандар және өздігінен синхрондалатын діріл қоздырғыштары бар экрандар.

Экрандар ұзартылған тікбұрышты нысаны бар елеуші беттері бар қораптармен жабдықталған. Қораптар серпімді тіректерге орнатылады немесе экран жақтауынан әлдеқайда аз ілінеді және өзара, дөңгелек және дөңгелек қозғалыстарға жақын болады. Тік жазықтықтағы орбитальды тербелістері бар көлбеу соққыларда қораптың қабылдау бөлігіне жүктелген материал ауырлық күші мен қораптың лақтыру қозғалыстарының арқасында экранның тиеу жағынан түсіру ұшына қарай жылжиды. Орбитальды тербелісі бар жалпақ тербелмелі экранның қарапайым схемасы 12-18 градус бұрышта көлбеу. горизонтқа эксцентрлік діріл жетегі бар төрт серіппелі тіректердегі қорап. Тік бұрышты тербелістері бар дауылдарда материал жүк тиеуден Електің түсіру ұшына қарай сәл көлбеу бойынша (4 градусқа дейін) жылжиды.) немесе алынған вектордың бұрышы 15-30 градус болатын тербелістердің әсерінен көлденең Елек. Елек беті арқылы материалдың секірмелі қозғалысын қамтамасыз ететін көкжиекке. Бағытталған тік бұрышты тербелістері бар жалпақ экранның ең көп таралған схемасы- бұл төрт серіппелі тіректерге арналған қорап, оның ішінде екі кинематикалық байланыссыз, теңгерімсіздігі бар, фазада жұмыс істейтін және 1940 жылдардың аяғында "Механобрада" ашылған роторлардың өзін-өзі синхрондау құбылысын қолданатын екі қозғалтқыш бар. 1950 жылдардың ортасына дейін әлемдік тәжірибеде экранның тік бұрышты тербелістерінің пайда болуы екі электр қозғалтқышының беріліс механизміне байланысты болды. Роторлардың өзін-өзі синхрондау құбылысы тау-кен техникасы мен технологиясындағы дәуірлік сәт болды және егжей-тегжейлі сипатталған [15]. Тегіс тербелмелі экрандардың артықшылығы-жоғары ЭГ, електерді басқару және ауыстыру ыңғайлылығы. Өздігінен синхрондалатын экрандар материалды көлденең тасымалдауға энергияны жұмсау арқылы

орбиталық қозғалысы бар инерциялық экрандарға қарағанда 10-15% көп электр энергиясын тұтынады, бірақ орнату үшін айтарлықтай төмен орнату биіктігін қажет етеді. Тегіс діріл экрандарының ең жетілдірілген конструкцияларында подшипниктер мен діріл жетектерінің жөндеуаралық ресурсы бар, жалпы алғанда 10 мың сағаттан асады.

Қазіргі өнеркәсіптік тәжірибеде нарықтың негізгі үлесін (90% - дан астам) дәл осы кең ауқымды масштабтағы және әртүрлі технологиялық мақсаттағы жалпақ діріл экрандары алады, олар електен өткізілетін материалдың қозғалу ерекшеліктерімен, тербелістерді қоздыру әдісімен, динамикалық режимдердің түрі мен параметрлерімен, Елек беттерінің санымен және т. б. ерекшеленеді.:

- а) тербелістерді қоздыру әдісі:
  - 1) теңгерімсіз діріл қоздырғышымен;
- б) электромагниттік діріл қоздырғышымен.
- в) діріл қоздырғыштар санына:
  - 1) біреуімен;
  - 2) екі және т. б.
- г) дірілдеткіштердің жұмысын синхрондау тәсілі (егер олар біреуден көп болса):
  - 1) мәжбүрлі механикалық синхрондаумен;
  - 2) өздігінен синхрондаушы;
  - 3) электр синхрондауымен.
- д) және меншікті жиіліктер қатынасы:
  - 1) резонанс;
  - 2) резонанстық және резонанстық;
  - 3) пышақталған;
  - 4) интеркезонанс.
- е) жұмыс органының тербеліс формасы-қорап:
  - 1) дөңгелек тербелістермен және оларға жақын;
  - 2) тік сызықты (бағытталған) ауытқулармен;
  - 3) эллиптикалық тербелістермен;
  - 4) аралас тербелістермен (біртекті емес тербеліс өрісі).

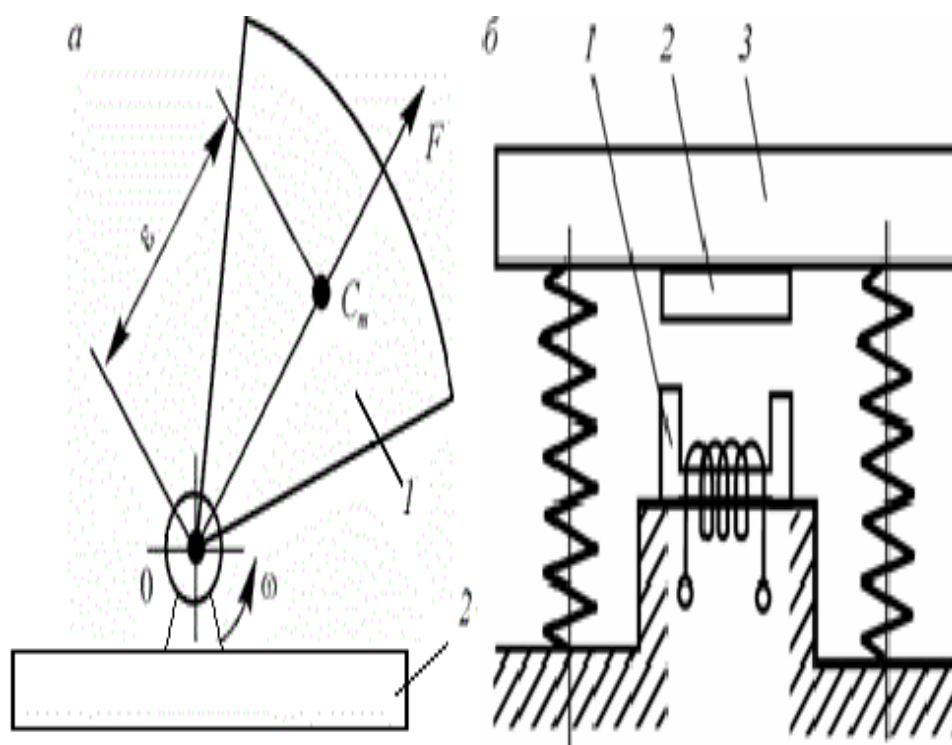
3 Кесте - Бастапқы материалдың үйінділік тығыздығына байланысты електерді жіктеу

Түр	Сусымалы тығыздығы, т/м <sup>3</sup>	Қолдану саласы (өнеркәсіп саласы)
Жеңіл (Ж)	1,4 дейін	Көмір
Орташа (О)	1,8 дейін	Құрылыс материалдарын
Ауыр (А)	2,8 дейін	Тау-кен

Әдебиетте бастапқы материалдың жаппай тығыздығына байланысты экрандардың бөлінуі жиі кездеседі (1.2-кесте), мысалы, жақында жойылған стандартта келтірілген:

Елек елеу (динамикалық/қуат) жетегімен жабдықталған. Негізгі ерекшелігі-онда қолданылатын динамикалық жетекте тербелмелі қозғалыстың сипаты, экранның амплитудасы мен траекториясының формасы тек динамикалық факторлармен анықталады – жетек тудыратын күш әсері, яғни қоздырғыш күш, қозғалатын массалар саны және олардың мәні, сонымен қатар серпімді элементтердің саны, орналасуы және сипаттамалары.

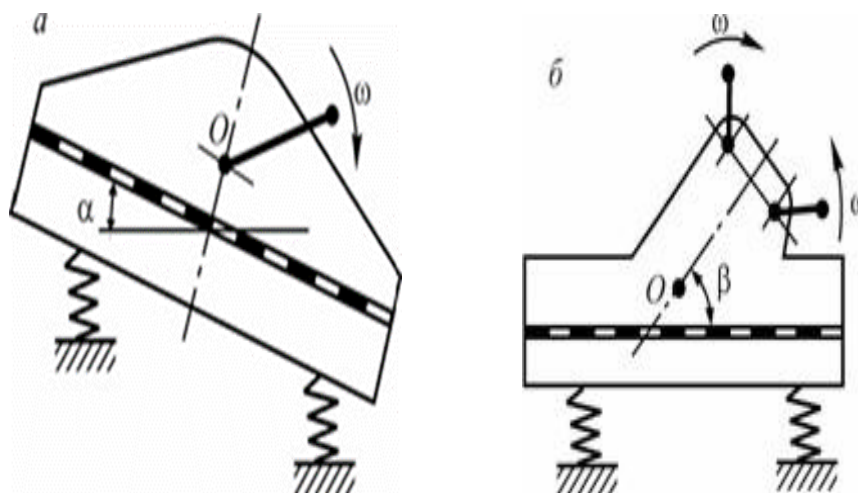
Діріл жетегі, сондай – ақ діріл қоздырғышы, көптеген құрылымдарда орталықтан тепкіш (тепе-теңдік), әлдеқайда аз-электромагниттік.



(а – орталықтан тепкіш (теңгерімсіз), Б-электромагниттік)

## 2 Сурет - Тербеліс дірілдеткіштерінің схемасы

Қазіргі уақытта әлемде шығарылатын және пайдаланылатын діріл экрандарының көп бөлігі тепе-тең емес діріл қоздырғыштары бар бір массалы пышақтайтын машиналар болып табылады. 2 суретте олардың схемалары ұсынылған.



(а-дөңгелек және оларға жақын тербелістері бар көлбеу елек; б-тік сызықты тербелістері бар көлденең елек)

3 Сурет - Тепе-тең діріл қоздырғыштары бар резонанстық електерге арналған динамикалық схемалар

### 1.3 Рудаларды елеу процесін зерделеудің қазіргі жай-күйі

ЭГ-экранның жұмысын сипаттайтын негізгі көрсеткіш. Е скрининг процесінің тиімділігі електен гөрі ұсақ тесіктер класына сәйкес, яғни төменгі сыныпқа сәйкес, бұл сыныптағы өнімнің массасы бастапқы материалдағы сол сыныптың массасына қатынасы. ЭГ жалпы қабылданған әдіспен есептеледі [16]:

$$E = 100\gamma (\beta - \alpha) / \alpha (100 - \alpha), \quad (3)$$

(3) мұндағы  $\gamma$ -тақтай астындағы өнімнің шығымы,  $\alpha$  және  $\beta$ -сәйкесінше бастапқы материалдағы және тақтай астындағы өнімдегі есептелген төменгі сыныптың мазмұны.

Жәшіктің шығуын тікелей өлшеу техникалық мүмкін болмаған жағдайда өнім ЭГ есептеу үшін бірдей формуланы қолдануға болады:

$$E = 10^4 (\beta - \alpha)(\beta - \nu) / \alpha (100 - \alpha)(\beta - \nu), \quad (4)$$

(4) мұндағы  $\nu$ -тордағы өнімнің төменгі есептік класының мазмұны.

ЭГ-ның елеуштегі материалдың қозғалыс жылдамдығына тәуелділігі беттердің белгілі бір жылдамдық мәні бар максимум бар.

Бастапқы материал бойынша экранның өнімділігінің артуымен, басқалары тең болған кезде, ЭГ төмендейді.

Тиімділік тек скрининг бетінің функциясы емес және экранның



жалпы сапасының жиынтығымен, сондай-ақ оны қолданудың дұрыстығы мен пайдалану деңгейімен анықталады. Алайда, материалды тікелей тасымалдайтын және бөлетін негізгі жұмыс элементі ретінде, дәлірек айтқанда, оның сыртқы түрі, тесіктердің пішіні мен өлшемдері, ол жасалған материал айқын рөл атқарады.

Экрандар үшін ЭГ экранның түріне және ерекшеліктеріне байланысты әр түрлі.

Мысалы, бұрын сипатталған ЭГ аппараттарынан қозғалмайтын спикелет экрандары 50-70% аралығында болады, өйткені ол кіретін материалдағы ұсақ кластардың құрамына және оның ылғалдылығына байланысты, барабан экрандарының 60-70% ЭГ бар, ал жалпақ тербелмелі экрандардың артықшылығы салыстырмалы түрде жоғары ЭГ шамамен 75-93% құрайды.

Скрининг-минералды шикізатты өндіретін және өңдейтін кәсіпорындарда ең көп таралған процесс. Тау-кен байыту технологиясында бұл процесс 250 жыл бұрын тауарлық көмірді сұрыптау кезінде қолданылған, бұл ретте ол ұзақ уақыт бойы тек қана қол електерінде орындалған. Тек XVIII ғасырдың аяғында електерді жіктеуге арналған алғашқы машиналар пайда бола бастады – барабанды айналмалы экрандар, ал тағы 50 жылдан кейін, XIX ғасырдың ортасында кинематикалық жетектің белгілі бір түрімен қозғалатын жалпақ тербелмелі экрандар пайда болды.

Алғашқы діріл дауылдары XIX ғасырдың ортасында Берарт жасаған құрылғылар болып саналады. Берарттың экрандары келесі сипаттамаларға ие болды:

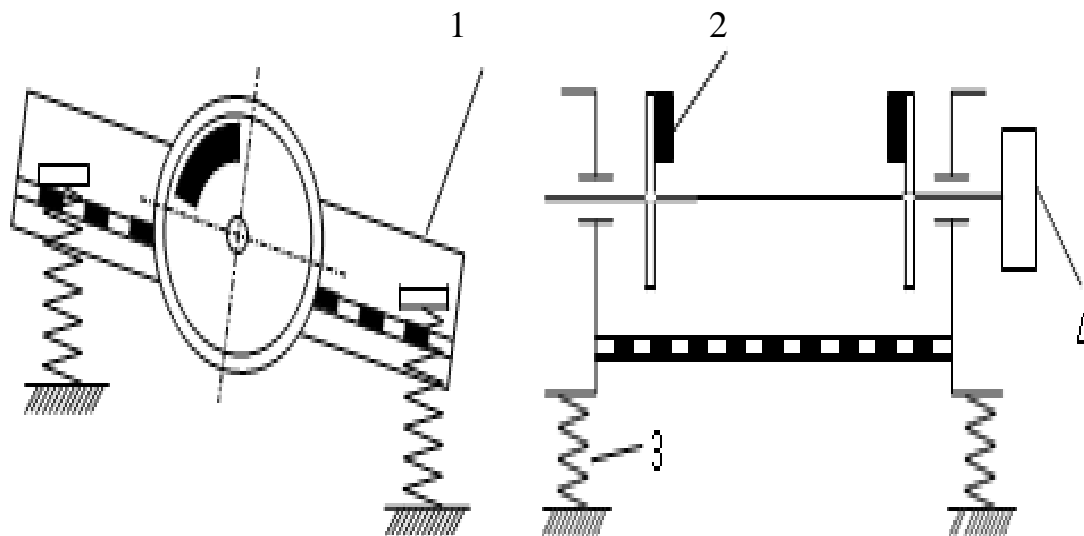
- а) жиілік: 100-160 кол / мин;
- б) амплитудасы: 3-5 см;
- в) амплитудалық үдеу 1,5 G аспады.

Маркус, Баум, Лауэ, Феррарис және т.б. дамулары біраз уақыттан кейін пайда болды, бірақ мұндай экрандардың өнімділігі мен себу тиімділігі өте төмен болды.

Алғашқы инерциялық дауыл 1900 жылы ұсынылған Бомонның дамуы болып саналады, экранның жұмыс бетінің тербелісі инерциялық айналатын тепе-теңдік массаларынан туындады. Тербелістердің амплитудасын реттеу тепе-теңдік жүктерінің массасының өзгеруіне және олардың айналу радиусының төмендеуіне байланысты реттелді. Сонымен қатар, амортизациялық серіппелердің қаттылығы инерциялық экранның тербелістерінің табиғи жиілігі ауытқулардан едәуір төмен болатындай етіп таңдалуы керек.

Инерциялық экрандардың кейбір кемшілігі-іске қосу кезінде резонанс арқылы өту, әсіресе экран тоқтаған кезде. Айналмалы дебаланстардың, электр қозғалтқышының беру бөлшектері мен роторының кинетикалық энергиясы резонанстық тербелістер энергиясына өтеді және резонансқа жақын режимде "тұрып қалу" орын

алады, бұл дауыл қорабының қарқынды тербелістерімен (Соммерфельд әсері) қатар жүреді.



(1-елегі бар қорап; 2-дебаланс; 3-серіпшелі рессорлар; 4-электр қозғалтқыштан сына белдікті беру)

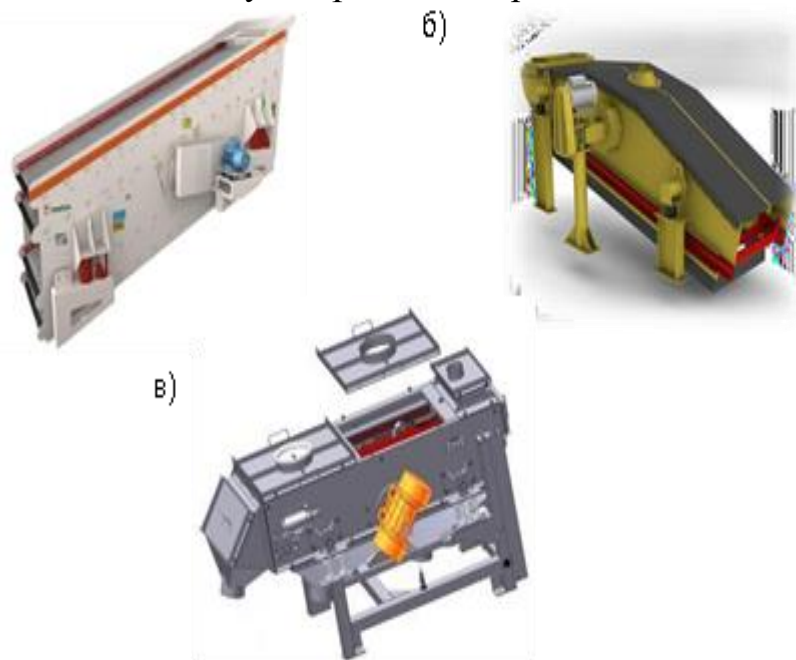
4 Сурет - Инерциялық електің диаграммасы.

Экран қорабының айналмалы қозғалысы экранның екі айналмалы масса қорабының өзара әрекеттесуімен және теңгерімсіз жүктемелермен қамтамасыз етіледі. Жүйенің ауырлық күші суспензияның серпімді күштерімен теңестірілгендіктен, жүйенің масса центрі тұрақты болып қалуы керек, сондықтан білік айналған кезде қорап жүйенің масса центріне қатысты тік жазықтықта белгілі бір радиустың дөңгелек қозғалыстарын алады. Діріл қоздырғыш білігінің критикалық айналу жиілігінде үлкен амплитудасы мен ұзақтығының резонанстық тербелістері пайда болуы мүмкін. Бұл көбінесе экранның бұзылуының себебі болып табылады, сынуды болдырмау үшін инерцияның центрифугалық күшімен басқарылатын теңгерімсіздігі бар діріл қоздырғыштарын қолдану қажет. Деректер самоустанавливающиеся вибровозбудители ие реттелетін эксцентриситет. Бастапқы эксцентриктілік өте кішкентай және критикалық жылдамдық аймағы өткенге дейін ұсталады. Содан кейін центрифугалық күш серіпшелі күшті жеңеді және тепе-теңдік жүктемелер үлкен айналу радиусымен сипатталатын жұмыс жағдайына өтеді.

Басқарылатын теңгерімсіздігі бар діріл экрандары (4-сурет) отандық өндірушілер арасында да, шетелде де шектеулі таралды.

Діріл экрандарының арасында ерекше субкласс – резонанстық экрандарды бөліп көрсету керек (5-сурет). Олар серпімді байланыстарда қораптың өзара қозғалысының энергиясын сақтау идеясын жүзеге асырады.

Басқаша айтқанда, энергия тек тербелістерге қарсылық күштерін жеңуге жұмсалады, бұл үлкен экран аймағында салыстырмалы түрде төмен қуат жетегін пайдалануға мүмкіндік береді.



(*A-Metso Corporation* шығарған *COMPACT* сериялы елек; *B-Bivitec* сериялы экран *Binder+Co AG*; *kroosh Technologies Ltd* шығарған *ULS1506.12* елек )

5 Сурет - Инерциялық елек

Алайда, отандық және әлемдік тәжірибеде осы типтегі экрандар бірқатар себептерге байланысты кең қолданылмады:

а) Топсалардың, серіппелердің, резеңке серпімді элементтердің және басқа құрылымдық элементтердің көптігіне байланысты дизайнның салыстырмалы күрделілігі;

б) Экранның басқа түрлерімен салыстырғанда үлкен металл сыйымдылығы, мысалы, *GRL* экрандарында металл сыйымдылығы 1400-1700 кг/м<sup>2</sup>, ал өзін – өзі теңестіретін экрандар 600-900 кг/м<sup>2</sup> құрайды.

Зерттеушілер арасында елек тақырыбына ерекше назар аударылғанына қарамастан, әлі де шешуді қажет ететін проблемалар бар. Оларға дәстүрлі түрде ЭГ жоғарылауы, процестің өнімділігін арттыру, сондай-ақ оның сенімділігін қамтамасыз ету жатады. Діріл экранының сенімділігі мен сапасының сипаттамаларына тұрақтылық, күш күшейту және тепе-теңдік жатады. Кәсіпорындардың басым көпшілігінде материалдарды бөлу үшін әртүрлі модификациядағы экрандар қолданылады. Сонымен қатар, олар материалды байытуға дайындау кезінде де, түпкілікті өнімді алуға арналған негізгі құрылғы ретінде де орнатылуы мүмкін. Діріл экрандарының модельдері мен

түрлерінің көптігіне қарамастан, оларды өнеркәсіпте қолдану тәжірибесі Сусымалы материалдарды тиімді бөлуге мүмкіндік бермейтін технологиялық проблемалар бар екенін көрсетеді. Осындай проблемалардың бірі-қиын материалдарды бөлу. Оларды бөлудің қиындығы-оларда экран ұяшығының мөлшеріне жақын дәннің едәуір пайызы бар және Елек ұяшығына түсіп, олар тесік қабырғалары жағынан қатты үйкеліске ұшырап, кептеліп қалады.



6 Сурет - *Binder+Co AG* өндірісінің жаңғырығы.

Скрининг процесі үш тәуелсіз, бірақ сонымен бірге жүретін процестердің жиынтығы ретінде ұсынылуы мүмкін: материалды Елек беті арқылы жүктеу аймағынан (тамақтану) түсіру аймағына дейін тасымалдау, үлкен бөлшектердің сегрегациясы және ұсақ фракциялардың материал қабатының қалыңдығы арқылы өтуі және оларды електен өткізу. Барлық үш процесті зерттеудің күрделілігі экрандарды құру мен пайдаланудың ұзақ тәжірибесіне қарамастан, негізгі технологиялық параметрлерді арттыру мәселесі өзекті болып қала беретінін және процестерді модельдеу соңғы жылдары ғана өз шешімін табатынын анықтады. Скрининг процесі екі түрлі жағдайда жүреді-материалдың "жұқа "немесе" қалың " қабатында (еркін немесе табиғи жағдайда). Кейбір зерттеушілердің пікірінше, қалыңдығы тесіктің мөлшерінен екі есе асатын қабатты қалың деп санауға болады, өйткені онда бөлшектер бір-бірімен белсенді әрекеттеседі [17].

## 1.4 Елек құрылғысының классификациясы

Скрининг процесінің әртүрлі параметрлерінің оның тиімділігіне әсерін зерттеуге арналған көптеген жұмыстар бар. Егу процесінің қарқындылығы ЭГ-ға үлкен әсер етеді. Бұл параметрді анықтайтын факторларды екі топқа бөлуге болады:

1. Бастапқы материалға байланысты (бөлшектердің пішіні, сусымалы тығыздық, беттік ылғалдылық);
2. Дірілдің жабдыққа байланысты сипаттамасы (жиілігі, амплитудасы, бағыты) және скрининг беті (тірі бөліктің үлесі, ауданы, мөлшері, пішіні және тесіктердің қалыңдығы).

Бұл факторлар өзара байланысты. Экранның елеушіндегі материалдың қозғалу жылдамдығы материалдың қалыңдығын және оның экранда болу уақытын анықтайды және аппараттың сипаттамаларына – көлбеу бұрышқа, амплитудаға, Елек дірілінің жиілігіне, сондай – ақ материалдың қасиеттеріне-бөлшектердің пішініне, тығыздығына және серпімді сипаттамаларына, үйкеліс коэффициенттеріне, гранулометриялық құрамға байланысты.

Жоғарыда аталған факторлардың електерді жіктеу процесіне әсері ғылыми және инженерлік қоғамдастық үшін үлкен қызығушылық тудырады, бұл мәселе бойынша көптеген классикалық жұмыстармен расталады. Алайда, бұл зерттеулер толық емес-үнемі байқалатын құбылыстарды түсіндіретін жаңа гипотезалар мен теориялармен жұмыс жасалады. Бұл жұмыста діріл әсерінің ЭГ-ға әсері де қарастырылады.

Жұмыста авторлар елеуіш бетіндегі түйіршікті қабаттың жылдамдығын анықтаудың жаңа әдісін жасауға тырысты. Бұл әдіс бөлшектердің қозғалыс моделінің фазаларын аналитикалық сипаттауға негізделген. Бөлшектердің қозғалыс жылдамдығы келесі қозғалыс фазаларының шеттерінде анықталды, сондықтан атауы фазалық интеграция әдісі болып табылады.

Жұмыстарда дискретті элементтер әдісін қолдана отырып, көлденең електердегі елек классификациясының тиімділігіне діріл режимінің әсері модельденді. Сонымен, осы модельге сәйкес, бөлшектердің қозғалысының ең жоғары жылдамдығы Електің сызықтық қозғалысы кезінде байқалады, алайда төмен ЭГ сәйкес келеді. Елек бетінің орбиталық қозғалысы кезінде бөлшектер ең төменгі жылдамдыққа ие, бірақ жоғары ЭГ байқалады. Айта кету керек, дәстүрлі түрде орбиталық тербелістері бар экрандар көлбеу беткейге ие, бұл жіктелген материалдың діріл қозғалысының жылдамдығын арттырады. Мысалы, жұмысында дәстүрлі экранның орбиталық қозғалысындағы бөлшектердің әрекеті зерттелді. Сонымен қатар, экранның палубасындағы бөлшектердің орташа жылдамдығы палубаның бойлық бағытында артады деген қорытынды жасалды. Бұл процесті модельдеу үшін дискретті элементтер әдісі де қолданылды.

Скринингтің сапасы келесі негізгі факторлармен анықталады: экранның тербелістерінің динамикалық режимінің қарқындылығы, Елек бетіндегі нақты жүктеме, Елек бетінің түрі және оның дизайн параметрлері.

Қалған заттар тең болған кезде, экранның елеуіндегі материалдың жылдамдығы неғұрлым жоғары болса, елеу мүмкіндігі соғұрлым аз болады және экранның бастапқы шикізатқа қарағанда өнімділігі соғұрлым жоғары болады.

Скрининг көрсеткіштеріне ылғалдылық, бастапқы материалдың гранулометриялық құрамы, бітелетін қоспалардың болуы, скрининг әдісі (дымқыл немесе құрғақ), бастапқы материалды экранға жеткізудің біркелкілігі, Елек бетінің жағдайы да әсер етеді. Бастапқы материалдың физикалық қасиеттерінің және жоғарыда аталған басқа факторлардың скрининг нәтижелеріне әсері көп жылдық өнеркәсіптік тәжірибені жалпылау процесінде алынған тиісті түзету коэффициенттерін енгізу арқылы экрандардың өнімділігін есептеу кезінде ескеріледі.

Дискретті, оның ішінде гетерогенді орта үшін Гиббс потенциалы деп аталатын өрнек бар, оны Гиббс энергиясы, термодинамикалық потенциал және тіпті жай бос энергия  $G$  деп те атайды,

$$G = H - TS, \quad (5)$$

мұндағы  $h$  - энтальпия, оның квазистатикалық изобарно-изотермиялық процесте өсуі жүйе алған жылу мөлшеріне тең, ал  $TS$  көбейткіші (энтропиялық өсу) жүйенің абсолютті температурасының Кельвин градусындағы энтропия шамасына көбейтіндісі болып табылады [18]. Жоғарыда келтірілген өрнек (5) механикалық жүйенің термодинамикалық функцияларының тепе-теңдік теңдеуі болып табылады.

Сусымалы орталар үшін Гиббс элеуетін пайдалану мүмкіндігі сусымалы материал бөлшектерінің статистикалық көптігімен және қазіргі физикада сусымалы орталар туралы түйіршікті газдың бір түрі ретінде қабылданған идеямен түсіндіріледі. Гиббс потенциалына сипатталған жүйелердің консервативті талаптары қолданылмайды.

Сусымалы материалдың  $VG$  процесі үшін осындай энергетикалық сипаттаманы қолдану мүмкіндігін қарастырыңыз. Процестің "қатысушылары" - бұл экран, бөлінген шикізат, гравитациялық өріс және шамалы дәрежеде атмосфералық ауа.

Төменде келтірілген есептеулер құрғақ, материалдық құрамы бойынша біртекті сусымалы материалдардың бөлінуіне жатады, онда құрғақ үйкеліс өңделетін шикізаттың шынайы және сусымалы тығыздығымен қатар осындай қоспалардың негізгі қасиетін көрсететін негізгі параметр болып табылады. Негізгі қасиеттердің бұл тізімін толық деп санауға болады. Осы үш параметрдің барлығы өлшенеді және

ұсынылған тәсілде сандық түрде ескеріледі. Бұл тәсіл сусымалы материал агрегатталған күйде болатын жүйелерге қолданылмайды, мысалы, электростатикалық күштердің әсерінен. Экран, бөлінетін шикізат, гравитациялық өріс және атмосфера кіретін жүйеде материалдың массасы, машинаның массасы, бөлінетін материал бөлшектерінің серпімді қасиеттері өзгермейді және бастапқы және соңғы температура іс жүзінде өзгермейді.

Анықтама бойынша Гиббс потенциалының  $\Delta G$  өзгеруі гравитациялық өрістегі экран-шикізат жылу түрінде энергияның жоғалуын және жүйенің энтропиясының кейбір өзгерістерін қамтиды, олар бөліну өнімдерінің құрамының (реттілігінің) өзгеруі нәтижесінде пайда болады. ВГ-да жүйенің энергиясын өзгерту процесінде екі көздер тобы бар. Бірінші топ  $W_m$  діріл машинасының жұмысымен байланысты, екінші топ-бұл "пайдалы" жұмыс деп атауға болатын көлемді материалды  $W_s$  классификациясының жұмысымен тікелей байланысты (7-кесте).

ВГ кезінде энергия шығындарының ұқсас, бірақ аз егжей-тегжейлі таралуы да келтірілген.

Жалпы энергия балансында оны түсіру кезінде материалдың үдеуін елемеуге болады, өйткені ол үздіксіз скрининг процесінде Елек бетіне жеткізілген кезде материалдың үдеуімен өтеледі. Жабық құрылғыдағы ірілігі бойынша мерзімді жіктеу режимінде, мысалы, електен талдау кезінде бұл фактор мүлдем жоқ.

4 Кесте - Елеу кезінде энергетикалық шығындарды бөлу

Електің жұмысы, $W_m$	Жұмыс классификациясы $W_s$
<ul style="list-style-type: none"> <li>- мойынтіректердегі және белдік-шкив жұбындағы үйкеліс күштерінің жұмысы (бар болса);</li> <li>- серпімді және тұтқыр-серпімді элементтердің жұмысы (серішпелер мен өтпелі муфталар);</li> <li>- діріл қоздырғыш білігінің тербеліс жұмысы;</li> <li>- жұмыс инерция кезінде қайтарымды - үдемелі ауыстыру шикізат қатысты қозғалмайтын рамалары елеуіштер;</li> <li>- елек жетегінің электр желісіндегі кедергінің жоғалуы.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Елек пен борттың бетіне сусымалы материалдың үйкелу күштерінің жұмысы;</li> <li>- материал бөлшектерінің өзара үйкеліс күштерінің жұмысы;</li> <li>- бөлшектерді лақтыру және айналдыру кезіндегі үдеу жұмысы;</li> <li>- бөлшектердің қозғалысы кезінде ауаға төзімділікке энергия шығыны.</li> </ul>

Осылайша, жүйенің еркін энергиясының өзгеруі елеу шикізат параметрлердің қосындысы ретінде ұсынылуы мүмкін  $W_m$  және  $W_s$ :



$$\Delta G = W_m + W_s, \quad (4)$$

немесе бөлу процесінің басында және соңында тұрақты температурада:

$$\Delta G = W_m + W_s = \Delta H - T\Delta S, \quad (5)$$

мұндағы Т-Кельвин градусындағы жүйенің тепе-теңдік температурасы.

(5) өрнекке кіретін энергетикалық функциялар мен параметрлердің нақты шамасын анықтауға тырысамыз. Өрнекті қарастырған кезде тек  $\Delta H$  функциясын (жүйенің энтальпиясының өзгеруі) экспериментальды түрде анықтау қиын екендігі белгілі болады, бірақ өрнекті түрлендіргеннен кейін оны есептеу арқылы алуға болады (5):

$$\Delta H = W_m + W_s + T\Delta S, \quad (6)$$

Қажет болса,  $W_m$  экранның жұмыс істемеу шамасымен анықталуы мүмкін, ал  $W_s$  жүктелген экранның жалпы жұмысының  $\Delta G$  және  $W_m$  шамасының айырмашылығына тең [19].

Бөлек талқылау  $\Delta S$  жүйесінің энтропиясының өзгеруін эксперименттік анықтауды қажет етеді.

Гиббс потенциалының анықтамасынан  $T\Delta S$ -тің энтропиялық үлесінің өзгеруі жүйенің потенциалдық энергиясының өзгеруімен бірдей болады. Сонымен қатар, энтропияның классикалық сипаттамаларының бірі жүйенің реттілік өлшемі екені белгілі. Бастапқы полидисперсті сусымалы материалдың сынамасы және оның жіктеу өнімдерінің еркін тұрақты конустың формалары бар деп елестетіп көрейік. Есептеулер үшін бұл форманы қабылдау, әрине, монолайерден басқа, гравитациялық өрістегі жазықтықтағы борпылдақ материал массивінің негізгі және табиғи формасы екендігімен түсіндіріледі. Дәл осы формада, белгілі бір дәрежеде идеализациямен, материал себілгеннен кейін қоректік бункерлер мен контейнерлерде біріктіріледі. Елек классификациясынан кейін қарапайым жағдайда екі, ал жалпы жағдайда әрқайсысы тар, яғни біркелкі гранулометриялық құрамы бар бірнеше себу өнімдері алынады. Яғни, тұжырымдамалық деңгейде соңғы өнімдердің энтропиясы бастапқы полидисперсті материалдың энтропиясынан аз екені анық. Тиісінше, үлкенірек біркелкі себу өнімдерінде қаптаманың тығыздығы аз, жаппай тығыздығы аз және массивте құрғақ ішкі үйкеліс аз болады. Ең дұрысы, бөлудің бастапқы және соңғы өнімдерінің потенциалдық энергиясының айырмашылығын материалдың әр фракциясын құрайтын көптеген полидисперсті бөлшектердің өзара әрекеттесу энергиясын білу арқылы есептеуге болады, мысалы,  $\delta m$  дискретті элементтер әдісінің

түрлерін қолдану. Алайда, нақты түйіршікті материалдың массивтері құрамының күрделілігін ескере отырып, мұндай есептеудің есептеу қиындықтары қазіргі есептеу әдістерін қолдана отырып, әлі де мүмкін емес. Іргелі монографияда профессор И.И. Блехман күрделі діріл жүйелерінің тікелей нақты шешімдері әдетте жоқ екенін айтады. Сондықтан жүйенің потенциалдық энергиясының өзгеруі туралы деректерді орташалау әдісін қолдану ұсынылады. Қабылдау массивтегі құрғақ ішкі үйкеліс табиғи беткейдің төменгі бұрышына сәйкес келетіндігіне негізделген. Демек, гравитациялық өрістегі бос материалдың бос конусының  $\delta s$  энтропиялық өсімінің өлшемі оның потенциалдық энергиясының шартты мәні бола алады деген болжам бар. Ойлаудың ортақтығы үшін бастапқы және соңғы себу өнімдерінің конустары қандай салыстырмалы биіктікте болатындығы соншалықты маңызды емес-скрининг кезінде, мысалы, көлденең өзін-өзі теңдестіретін экранда барлық өнімдер бірдей биіктікте болуы мүмкін.

### **1.5 Електің тиімділігі мен өнімділігін арттырудың технологиялық мәселелері**

Елек соққыларында ЭГ-ны жоғарылатудың белгілі тәсілдері және күрделі пішінді елеу бетін, атап айтқанда, бірдей мөлшерде елеу тесіктері бар қисық сызықты (вогнуты немесе дөңес) пішінді қолдану арқылы экрандардың өнімділігін арттыру белгілі бір дәрежеде. Осыған ұқсас ең көп таралған технология "*Metso Minerals*" және "*Aury*" компаниялары шығаратын "банан" типіндегі өздігінен синхрондалатын күркелерде жүзеге асырылады (7-сурет).

"Банан" типті экранның елеуішінде көлбеу бұрышы біртіндеп төмендейтін екіден беске дейін бөлім бар, сондықтан материал бананның контурына ұқсайтын қисық сызық бойымен қозғалады. Бірінші бөлімдердің көлбеу бұрышы арқасында материал жұқа қабат қалыптастыру үшін жоғары жылдамдықпен қозғалады. Бұл ұсақ бөлшектерді ұсақ өнімге шығаруды жеңілдетеді. Түсіру аймағына қарай материалдың жылдамдығы төмендейді, ол електен ұзағырақ тұрады, бұл "қиын" бөлшектердің жақсы бөлінуіне ықпал етеді. Банан түріндегі экрандар ұсақ түйіршікті бөлшектердің көп мөлшері бар материалды скрининг кезінде тиімді.

"Банан" типті экранның елеуішінде көлбеу бұрышы біртіндеп төмендейтін екіден беске дейін бөлім бар, сондықтан материал бананның контурына ұқсайтын қисық сызық бойымен қозғалады. Бірінші бөлімдердің көлбеу бұрышы арқасында материал жұқа қабат қалыптастыру үшін жоғары жылдамдықпен қозғалады. Бұл ұсақ бөлшектерді ұсақ өнімге шығаруды жеңілдетеді. Түсіру аймағына қарай материалдың жылдамдығы төмендейді, ол електен ұзағырақ тұрады, бұл

"қиын" бөлшектердің жақсы бөлінуіне ықпал етеді. Банан түріндегі экрандар ұсақ түйіршікті бөлшектердің көп мөлшері бар материалды скрининг кезінде тиімді.



7 Сурет - Електің AURY түрі "банан"  
(AURY Australia Pty Ltd, Австралия)

Алайда, мұндай құрылғыларды қолданудың теріс техникалық әсері экранның орташа және түсіру бөліктерінде електердің тозуын арттыру болып табылады. Бөлінетін материалдың қалың қабатын жіктеуге байланысты діріл жіктеуіш құрылғыларының жұмысын жақсартудың белгілі әдісі. Бұл әдіс материалдың діріл сегрегациясының әсерін қабаттың биіктігі бойынша қолдану арқылы мүмкін болды, бұл діріл классификаторының дизайнын жасауға мүмкіндік берді, жұмыс істейтін елеу беті арасында саңылаулары бар сатылы орналасқан пластиналар қатарынан тұрады [20]. Алайда, бұл техникалық шешімнің кемшілігі-оны қолданудың шектеулі саласы – бұл құрылғы салыстырмалы түрде жұқа (1 мм-ден аз) және мүлдем құрғақ материалды, мысалы, Корундтың синтетикалық абразивін жіктеуге ғана қолданылады.

Симметрияның Тік осі бар тербелмелі Елек аппаратының арқасында жүзеге асырылатын қызықты техникалық және технологиялық шешім бар, оның тік немесе көлбеу бүйірлік елеу беттері және қораптың түбінде қосымша елеу беті бар. Аталған құрылғы іске асырылды тәсілі елеу бөлшектер, аталған авторлар градиентной жіктемесіне негізінен арқылы бүйір қабырғасының мүмкіндік береді жоғары тиімділігі бөлу сусымалы материалдың ірілігі бойынша. Бұл техникалық шешімнің кемшілігі оның шектеулі көлемі болып табылады-бұл құрылғы салыстырмалы түрде жұқа (1 мм-ден аз) материалды жіктеуде ғана тиімді.

Күрделі формадағы скрининг беттерін қолдана отырып, ВГ-ның белгілі бір техникалық және технологиялық кемшіліктеріне қарамастан, бұл тәжірибе ВГ процесін технологиялық жетілдіруге жол ашады.

## 1.6 Елеудің тиімділігін арттыруды қамтамасыз ететін жетілдірілген технология

Алғашқы сипаттамалардың бірі проф. А. Таггарт кен байыту анықтамалығының екінші басылымында келтірілген. Анықтамалығында қарағанда, келтірілген, онда сызба, мынаны, - деп елеу жүргізеді ірі сынып ұсақ. Осы уақытқа дейін тау-кен, құрылыс және абразивті өнеркәсіптерде бір уақытта бірнеше кластағы материалдарды алу үшін көп биттік экрандар қолданылады, онда өнімдерді бөлу тек үлкен кластан кішіге дейін жүзеге асырылады. Мүмкін, кіші сыныптан бастап үлкен сыныпқа дейін немесе қосымша қорғаныс торы бар кіші сыныптан үлкенге дейін аралас скрининг нұсқасында көп биттік дауылдардағы экран технологиясының алғашқы жүйелік сипаттамасы 1948 жылы механоби институтының және ленинград тау-кен институтының қызметкері профессор к.к. Лиандовтың монографиясында келтірілген. Оның кітабында шаңның азаюы мұндай процестің жалғыз артықшылығы ретінде қарастырылады, сонымен қатар оның басты кемшілігі – жоғарғы жұқа електің тозуы.

Бірнеше кейінірек міндет жіктеу бойынша ірілігіне байланысты ұсақ класты ірі на рет-ретімен орналасқан електерде анағұрлым егжей-тегжейлі қаралды кітабында. Торлы өнімдерді келесі елекке қайта тиеу үшін материалды бөлудің осындай реттілігі кезінде елеуіш беттердің каскадты орналасуы талап етіледі, немесе түсіру жағына қарай ұяшықтардың мөлшері ұлғаятын бірнеше картадан тұратын бір елеуіш бетті пайдалануға болады. Кішігірім сыныптан үлкен сыныпқа дейін скрининг процесінің артықшылықтарының ішінде авторлар нәзік минералдардың абразиясы кезінде ұсақ кластардың төмен түзілуін және процесті бақылаудың біршама күмәнді ыңғайлылығын көрсетеді.

Кітапта сонымен қатар процестің операциялық кемшіліктері, ең алдымен, алғашқы жұқа електің тез тозуы туралы нақты айтылған. Мұндай процестің айқын кемшіліктерін ескере отырып, кендерді байыту жөніндегі іргелі анықтамалықта ұсақ ірі кластарды скрининг кезінде алдын-ала бөлу туралы мәселе тіпті талқыланбайды. Кейінірек бұл мүмкіндік л. А. Вайсбергтің жетекшілігімен жасалған жұмыстарда көрініс тапты. Алайда, жоғарыда аталған барлық жұмыстар өткізудің тиімділігіне жұқа фракцияларды алдын-ала жүргізудің әсерін қарастырмайды.

Соңғы жылдары түйіршікті материалдардың қолданбалы механикасы саласында ауқымды зерттеулер жүргізілді, оның ішінде полидисперсті сусымалы материалдардың сегрегациясы мен реологиялық қасиеттерін зерттеу бойынша жұмыстар. Бұл жұмыстар жұқа кластарды алдын-ала оқшаулау сусымалы материал массивінің физикалық қасиеттерін бағытты өзгерту нәтижесінде скринингтің тиімділігін арттыруға ықпал етуі мүмкін деп болжайды.

Тікелей тәжірибелер көрсеткендей, біз "кішігірім сыныптан үлкенге" скрининг принципін жүзеге асырамыз. Жіктеу жылдамдығы да, жіктеудің жалпы тиімділігі де артады.

Ғылыми-техникалық әдебиеттегі алғашқы сипаттамадан кейін бірнеше жалпақ електермен жабдықталған діріл экрандарының конструкциялары, ширек ғасырдан кейін кішкентай сыныптан үлкенге дейінгі нұсқада көп биттік дауылдарда экран технологиясы туралы ақпарат пайда болды. Бұл дәйектіліктің артықшылығы тек шаңның азаюында және нәзік минералдардың аз тозуында байқалды, сонымен қатар негізгі пайдалану кемшілігі – жұқа електің тозуы.

Түйіршікті материалдардың сызықтық емес механикасы саласындағы соңғы жылдары жүргізілген зерттеулер жұқа кластарды алдын-ала оқшаулау сусымалы материал массивінің физикалық қасиеттерін бағытты өзгерту нәтижесінде скринингтің тиімділігін арттыруға ықпал етуі мүмкін деп болжайды. Полидисперсті шикізаттан жұқа фракцияны алып тастағанда олардың азаюына қарай тиімді тұтқырлық және ішкі үйкеліс коэффициенті сияқты сусымалы материалдардың реологиялық қасиеттерінің өзгеруін көрсететін бірқатар зертханалық зерттеулер жүргізілді. Елек классификациясының зертханалық тәжірибелерінің нәтижелері кішігірім сыныптан үлкенге дейінгі дәйекті діріл классификациясы жіктеудің жалпы тиімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік беретінін көрсетті [21].

Ұйымдастыру арқылы сусымалы материалдарды ұсақ сыныптан үлкенге скрининг кезінде құрылымдық және пайдалану кемшіліктерін болдырмауға болады трапеция тәрізді електердегі "градиент" классификациясы, оларда ерекше жағдай ретінде, бүйірлік елек беттері електің түбіне қарағанда біршама аз жасуша өлшеміне ие. Сонымен қатар, елек дірілін жіктеу теориясы бойынша бұрын орындалған жұмыстарды талдау трапеция тәрізді електің көлбеу елек беттері арқылы жұқа фракцияның басым бөлінуінің көрсетілген әсеріне бүйір және төменгі беттердің елек жасушаларының бірдей мөлшерімен де қол жеткізуге болады, бұл бөлшектердің мөлшері бойынша шекаралық мөлшерге жақын бөлшектердің көлбеу учаскелері арқылы өту ықтималдығы аз. Бұл шешім, сөзсіз, күрделі профильдің беткі қабатын өндіруде анағұрлым технологиялық болып табылады.

Бүгінгі таңда діріл экрандарының өнімділігін олардың қораптарының геометриялық өлшемдерін ұлғайту арқылы арттыру мүмкіндігі іс жүзінде таусылды, бұл олардың механикалық сенімділігінің шегіне байланысты. Сондай-ақ, тербелістердің жиілігін арттыру арқылы экрандардың өнімділігін арттыру мүмкіндіктері таусылды.

Тегіс електері бар шұңқырларда үлкен мөлшерде бөлудің салыстырмалы түрде төмен тиімділігі әсіресе елекке түсетін шикізаттың жоғары нақты жүктемелерінде, әсіресе салыстырмалы түрде жеңіл

материалды, мысалы, көмірді скрининг кезінде байқалады. Көрсетілген жағдайларда скрининг бөлінетін материалдың қалың қабатында мәжбүрлі түрде өтеді және сонымен бірге төменгі (тақтайша астындағы) өнімге өтуге жататын материалдың ұсақ фракциясы алдын-ала үлкен бөлшектердің қабатынан өтуі керек, яғни тік тербелмелі сегрегация кезеңінен өтуі керек. Бұл, әрине, экранда материалды бөлу жылдамдығы мен тиімділігін төмендетеді.

Техникалық қарама-қайшылық бар: тегіс елегі бар сенімді және салыстырмалы түрде қарапайым діріл экрандары құрылымның ерекшелігіне байланысты қалың қабатпен құйылған материалдарды сүзе алмайды, сондықтан алынған аймақтың бірлігіне салыстырмалы түрде төмен өнімділікке ие. Екінші жағынан, тік симметрия осі бар діріл экрандары бұл кемшіліктен айырылады, бірақ олар айтарлықтай күрделі дизайнға ие. Сонымен қатар, екеуінің де эг деңгейі жоғары емес. "градиентті" скрининг технологиясын жүзеге асыру үшін күрделі скрининг беті бар экран құру қажет. Өнертабыс құралдар арсеналын кеңейту және жаңа және салыстырмалы түрде қарапайым технологияны құру міндетіне негізделген, сәйкесінше елек аймағының бірлігіне қабылданған елек өнімділігі жоғары діріл экранының дизайны. Қол жеткізілген техникалық нәтиже - эг жоғарылауы .

## 2 Таңдап алынған сынама объектісін зерттеу жұмыстары

### 2.1 Жұмыста таңдап алынған мыс-никель кендерінің минералды құрамы

Шығыс Қазақстан облысының түсті металлургиясының негізі – Мақсұт елді-мекеніндегі мыс-никель кендерінің ең ірі кен орындарының бірі. Мақсұт кенді мекені Абай ауданында, Семейден Оңтүстікке қарай 107 км және Шар теміржол станциясынан батысқа қарай 60 км жерде орналасқан. Негізгі тау жыныстарының массивтерімен байланысты, негізгі кен түзуші минералдар бөлігінде бірдей минералды құрамға ие, бірақ геологиялық орналасу жағдайында біршама ерекшеленеді. Негізгі тау жыныстарын құрайтын минералдар серпентин, пироксен, оливин, хлорит, тальк, биотит болып табылады. Басты рудалы минералдар болып табылады, пентландит, халькопирит, пирротин, халькопирит [22].

### 2.2 Електің көрсеткіштеріне әсер ететін минералдық шикізаттың физикалық қасиеттері

Түрлі сусымалы материалдардың физикалық қасиеттерін зерттеу циклі орындалды. Зерттеу үшін үлгілердің маңызды физикалық қасиеттері таңдалды. Пайдалы қазбалар үлгілерінің осындай қасиеттеріне (параметрлеріне) үлгілердің үлестік массасы, үйілмелі тығыздығы, гранулометриялық сипаттамасы, үлгілердің ішкі үйкеліс бұрышы (табиғи еңіс бұрышы) жатады.

5 Кесте - Сынақтар жүргізу құралдарының тізбесі

Атауы, түрі және маркасы	Саны дан а.	МЕМСТ, ТУ немесе белгілеу	Негізгі сипаттамалары
Бұрыш өлшегіш	1	МЕМСТ 5378-88	Дәлдік класы II,
Штангенциркуль	1	МЕМСТ 166-89	бөлу бағасы 1 градус.
Металл өлшеуіш сызғыш	1	МЕМСТ 427-75	Дәлдік класы II
ВЛТЭ-150 зертханалық электрондық таразы	1	МЕМСТ 24104-2001	Бөлу бағасы 1 мм, диапазоны 1-1000 мм
Электрондық таразы	1	МЕМСТ 24104-2001	Дәлдік класы II, бөлу бағасы 0,001 г



Шикізаттың физикалық-механикалық қасиеттерін зерттеу жүргізілген негізгі жабдықтар: Елек анализаторы, оптикалық бұрыш өлшегіш, пикнометр, электронды зертханалық таразы (8-кесте).

Жылжымалы үйкеліс коэффициенті нақты үлгілердің көлбеу жазықтығы бойымен бастапқы қозғалыс бұрышын өлшеу арқылы анықталды. Беттік материал экранның елеушімен бірдей. Үйкеліс коэффициенті жазықтықтың эксперименталды түрде анықталған көлбеу бұрыштарын градуспен осы бұрыштың тангенсіне ауыстыру арқылы есептеледі.

Табиғи көлбеу бұрышына ұқсас ішкі үйкеліс бұрышы сыналатын сусымалы материалдың конусын тікелей өлшеу арқылы анықталды. Осы мақсатта сусымалы материалдардың табиғи еңісінің бұрыштарын өлшеуге арналған жетілдірілген құрылғы (аспап) құрастырылды және дайындалды. Ұсынылған құрылғы көп қабатты шикізаттың ішкі үйкеліс коэффициентін одан әрі есептеу үшін сусымалы материалдардың табиғи көлбеу бұрыштарын өлшеудің жоғары дәлдігімен сипатталады – тербелмелі сегрегация және үлкендігі бойынша жіктеу процестерін сипаттайтын модельдерде қолданылатын маңызды параметр.

Гранулометриялық құрамды анықтау қолданыстағы МЕМСТ 12536-2014 стандарты бойынша Елек әдісімен жүргізілді. АСВ-200 дірілді елеуіш-талдағыш сынау аспабы. Үлгілердің меншікті тығыздығын және олардың сусымалы салмағын анықтау ВСС 55 - 69 "топырақтың тығыздығын анықтау жөніндегі Нұсқаулық" ведомстволық стандартына сәйкес пикнометриялық әдіспен жүргізілді.

Сынақтар стендтік қондырғылар цехында және ЖШС "Geoservice KZ" алаңындағы діріл механикасының мамандандырылған зертханасында жүргізілді.

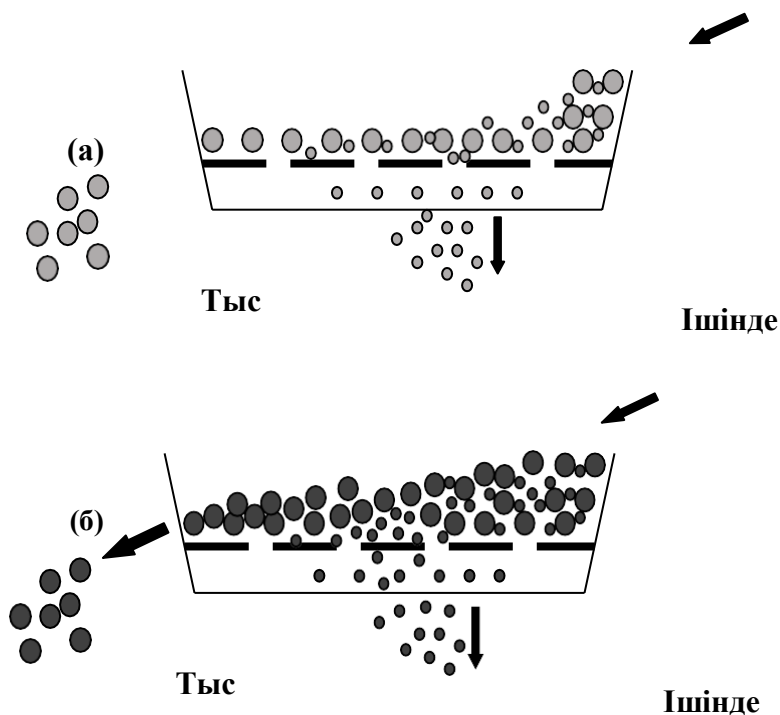
6 Кесте - Минералды заттардың физикалық қасиеттері

Параметрлердің атауы	Мыс-никель кені
Кесектегі тығыздық, кг 103 / м3	3,28
Сусымалы тығыздығы, кг 103 / м3	1,88
Табиғи еңіс бұрышы, град.	38
Ішкі үйкелістің шартты коэффициенті	0,78

9-кестеде объектілердің физикалық қасиеттері көрсетілген. Кен мен көмірдің физикалық қасиеттеріндегі күшті айырмашылықты атап өткен жөн. Көріп отырғаныңыздай, көмір төмен көлемді тығыздықпен және жоғары адгезия коэффициентімен сипатталады (ішкі үйкеліс).

Өздеріңіз білетіндей, елек - бұл жеңіл пайдалы қазбаларды байыту

тізбегіндегі " тар " орын. Табиғи мыс-никельді елеу бастапқы материалдың төмен массалық салмағына байланысты салыстырмалы түрде қалың қабатта жүргізілуі керек, бұл жіктеудің төмен тиімділігіне әкеледі. Елеу кезінде материалды елек бетіне беру кезінде салыстырмалы түрде "қалың қабат" пайда болады. Сонымен, мыс-никельді елеу кезінде ол елек бетінің ұзындығының шамамен 1/3 бөлігін алады, ал кен материалдары үшін – ұзындығының шамамен 1/6 бөлігін алады (8-сурет).



8 Сурет - Мыс (а) және (б) никельді елеу ерекшеліктері

Мыс-никель кені термиялық өңдеуге дейін және одан кейін әртүрлі физикалық қасиеттерге ие екенін атап өткен жөн.

Сондай-ақ, рельеф құрылымын зерттеу өте қызықты болды, яғни мыс-никель бетінің кедір-бұдырлығы және оны термиялық өңдеу кезінде өлшеу. Шикізатты жылжыту және жіктеу процестеріне қатысты, өлшемі миллиметрден 10-20 мм-ге дейін, жер бетінің рельефін микрондық және субмикрондық деңгейлерде зерттеу ең перспективалы болып табылады. Жоғарыда аталған жұмыс аясында беттің кедір - бұдырлығы *Keyence VK-x200* лазерлік сканерлеу 3D микроскопының көмегімен сандық түрде бағаланды. Құрылғы механикалық өңдеуге ұшыраған әртүрлі заттардың (мысалы, металл, ағаш, тас) беттерінің қасиеттерін бағалаудың халықаралық тәжірибесінде қолданылатын көптеген параметрлер бойынша бетінің кедір-бұдырлығын өлшеу хаттамасын алуға мүмкіндік береді.



1

2

9 Сурет - Мыс 1 және 2 никель

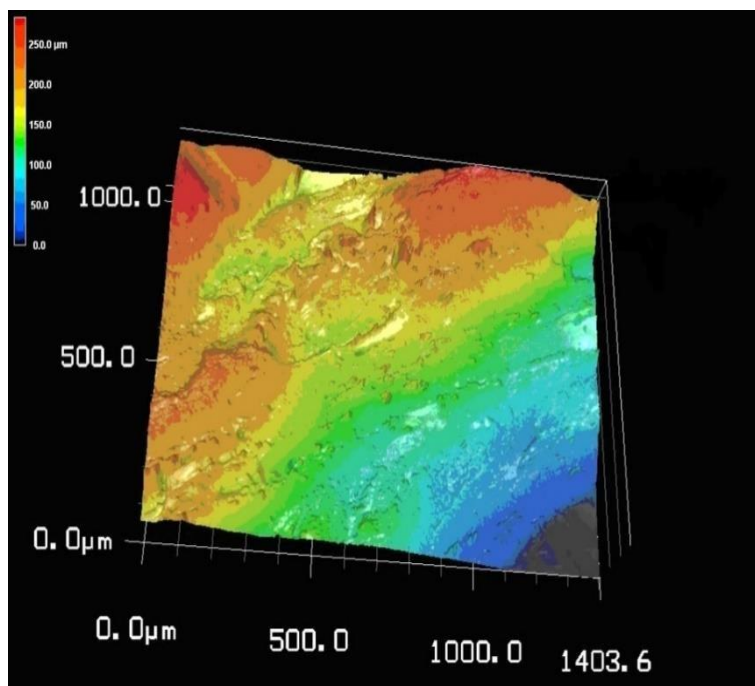
Мысалы, термоөңдеу нәтижесінде көрінетін тығыздық мәні едәуір төмендейді 10 кесте. Осы қасиеттердің басқа мәндерінің төмендеуі драмалық болып саналмайды, бірақ соған қарамастан байқалады.

7 Кесте - Минералды заттардың физикалық қасиеттері

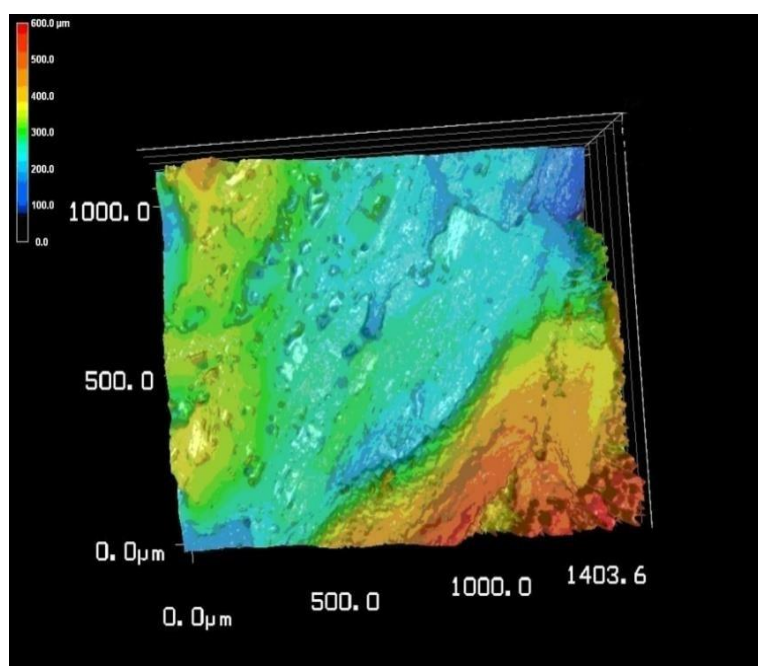
Үлгі Қасиеттері	Мыс	Никель
Айқын тығыздығы, 103 кг/м <sup>3</sup>	1,18	0,95
Сырғанау үйкелісінің шартты коэффициенті	0,38	0,34
Ішкі үйкеліс коэффициенті	0,97	0,90
Сусымалы тығыздығы, 103 кг/м <sup>3</sup>	0,76	0,74

Тас материалының кедір-бұдырлығын өлшеуді қолдану тұрғысынан бөлу технологияларына екі негізгі интегралдық параметр –  $Ra$  және  $Rz$  қызығушылық тудырады.  $Ra$  – базалық ұзындық шегінде бейіннің ауытқуларының абсолютті мәндерінің (модуль бойынша мәндердің) арифметикалық орташа мәні, мкм;  $Rz$ -базалық ұзындық шегінде бейіннің бес ең үлкен минимумы және бес ең үлкен максимумы нүктелерінің орташа арифметикалық абсолютті ауытқуларының сомасы, мкм [23]. Мыстың басым витрендiк фазасы үшін  $RA$  және  $Rz$  өлшенген параметрлері 42,0 және 288,7 мкм, ал никель үшін сәйкесінше 36,3 және 269,2 мкм құрады. Осылайша, көрсетiлген өлшемдер бойынша термоөңдеуден кейiн никельдiң кедiр-бұдырлығы бастапқы мысқа

қарағанда 6-8% - ға төмен. Лазерлік дисплей үлгілері мен олардың 3D модельдерінің беткі рельефін визуалды бағалау тағы бір қызықты фактіні көрсетеді: бастапқы мыстың беткі кедір-бұдырлығы негізінен микрон өлшемді доғалармен байланысты, ал 550 °C температурада термиялық өзгертілген мыстың кедір-бұдырлығы көбінесе тесіктермен байланысты. Сонымен қатар, никельде айқын беткі битуминизация бар.



10 Сурет - Мыс бетін лазерлік сканерлеудің 3D моделі.



11 Сурет - Никель бетін лазерлік сканерлеудің 3D моделі

Сонымен біз осы жұмыста қоспаның гранулометриялық құрамына байланысты електен өткізуге (ірілігі бойынша жіктеуге) жататын сусымалы материалдың негізгі маңызды физикалық қасиеттері анықталды.

Зерттеу әртүрлі шикізатқа – физикалық қасиеттерінде айтарлықтай айырмашылықтары бар және скрининг процесіне айтарлықтай әсер ететін мыс пен никельдің екі түріне жүргізілді.

Мыстың никельмен салыстырғанда төмен тығыздығы және жоғары адгезия коэффициенті (ішкі үйкеліс) бар екендігі анықталды, бұл жеңіл минералды скрининг технологиясын жақсарту кезінде ескерілуі керек.

Жұмыста барлық сынақтар жартылай өнеркәсіптік экрандардың үш түрінде үздіксіз режимде жүргізілді-тік жазықтықта (ГИЛ-051) және тік сызықты тербелістерде (ГСЛ-051) палубаның орбиталық қозғалысы бар ауданы 0,5 м<sup>2</sup> тікбұрышты електермен, сондай-ақ көлденең жазықтықта орбиталық тербелістері бар дөңгелек экранда (ГР-5) және диаметрі 0,5 м.барлық экрандар реттелетін жетек жиілігімен болды. ГИЛ-051 экран елегінің көлбеу бұрышы 17° болды, гл-051 экранының Елек беті түсіру жағына қарай 2° көлбеу болды, яғни көлденең болды. Тексерілген экрандардың барлық түрлерінде 4 мм тербелістің толық амплитудасы болды.

Скрининг нақты жүктеме 0,52-0,55 т/м<sup>2</sup> кезінде жүргізілді, елеу беті барлық жағдайларда бірдей болды – жағы 1,6 мм төртбұрышты ұяшықтармен.осындай нақты жүктеме кезінде кен шикізатының скринингі іс жүзінде монослетке (материалды жүктеу аймағын қоспағанда), ал елек бетінің едәуір бөлігіндегі көмірдің скринингі шартты түрде "қалың" қабатта, яғни қалыңдығы екі орташа бөлшектен асатын қабатта өтті.

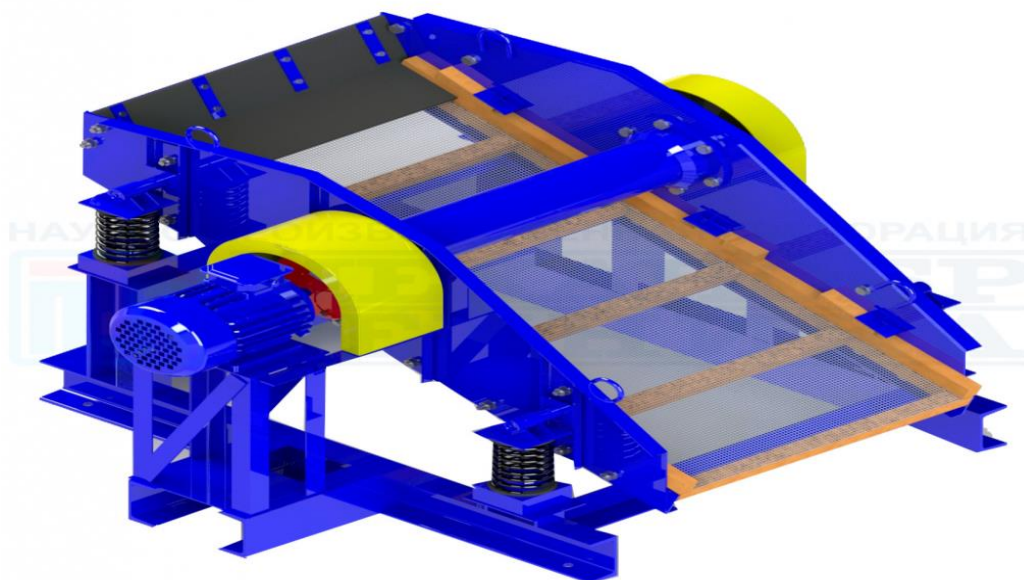
Барлық тәжірибелер көлденең жазықтықтағы орбитальды тербелісі бар діріл анализаторында жүргізілді, диаметрі 200 мм шаршы саңылаулары бар електермен жабдықталған. Електердің тербеліс жиілігі 16,7 с<sup>-1</sup> болды. Жүктелген мыс сынамасының бастапқы массасы 400 г құрады, бұл електе қалың материал қабатын қалыптастыруға мүмкіндік берді. Материалдың діріл классификациясы мерзімді режимде 2,5 мм тесіктері бар електе, сондай-ақ 2,0 және 2,5 мм ұяшықтары бар електерде жүргізілді. Дәйекті классификациясы бар тәжірибелерде алдымен материал 2,0 мм тесіктері бар елекке белгіленген уақытпен отырғызылды, фракциялардың шығуы анықталды, содан кейін 2,5 мм тесіктері бар елекке 2,0 мм тәжірибесі бар елекке жіктелді.аралық тәжірибелерде жіктеу процесінің кинетикасы анықталды. Осылайша, тәжірибелер дәйекті скринингтің үздіксіз процесіне еліктеді.

Жұмыста салыстырмалы зерттеулер екі түрлі елеуіштік беттерде жүргізілді: диаметрі 4 мм дөңгелек ұяшықтары бар жалпақ болат және диаметрі 4 мм дөңгелек ұяшықтары бар трапеция тәрізді болат, елеу бетінің жалпы ауданы: 0,143 м<sup>2</sup>. Скрининг параметрлері: экран

қорабының көлбеу бұрышы 17 градус., тербеліс амплитудасы 3 мм, жиілігі  $16,7 \text{ с}^{-1}$ , діріл үдеуі  $33,0 \text{ м/с}^2$  немесе 3,4 G. дозалау діріл бергіштің көмегімен жүзеге асырылды. Қуат жүктемесін бақылау материалдың үстінгі қабатының геометриясын сәйкестендіру үшін ұзындығы бойынша екі Елек бетінің орталық бөлігіндегі трапеция тәрізді Електің медианасы бойынша жүргізілді [24].

### 3 Эксперименталды бөлім

#### 3.1 Тік жазықтықтағы тербелістердің дөңгелек траекториясы бар тербелмелі инерциялық қондырғы



Сурет 12 - Жартылай өнеркәсіптік елек ГИЛ-051.

8 Кесте - Техникалық сипаттамалары ГИЛ-051.

Атауы	Мәні
Тамақтану бойынша өнімділік( бөліну ірілігіне байланысты), т / сағ	0,02-4
Бөлу ірілігі, мм	0,1-15
Елек саны, дана	1
Көлбеу бұрышы, град.	10...25
Тербеліс амплитудасы, мм	3...5
Тербеліс жиілігі, Гц	16
Жетек қуаты, кВт	0,55
Салмағы, кг	182
Елеу бетінің өлшемдері, мм	
Ұзындығы	1034
Ені	500
Габариттік өлшемдері (мыс 200 болғанда), мм	
Ұзындығы	1023
Ені	1060
биіктігі	676



Елек бетіндегі скрининг процесінде ұсақ бөлшектердің тақтай астындағы өнімге өтуі нәтижесінде, елек беті бойымен жылжыған сайын, елек үстіндегі өнімнің гранулометриялық сипаттамасында үздіксіз өзгеріс болады.

9 Кесте - Сынақтар жүргізу құралдарының тізбесі

Атауы, түрі және маркасы	сан ы, шт.	МЕМСТ	Негізгі сипаттамалары
Бұрыш өлшегіш	1	МЕМСТ 5378-88	Дәлдік класы II, бөлу бағасы 1 градус.
Виброметр	1	Вибротест МГ4	Жиіліктің өлшеу шегі 2-100 Гц, 0,2 Гц діріл, амплитудасы 0,01-20 мм, қателік 5 %
Металл өлшеуіш сызғыш	1	МЕМСТ 427-75	Бөлу бағасы 1 мм, диапазоны 1-1000 мм
ВЛТЭ-150 зертханалық электрондық таразы	1	МЕМСТ 24104-2001	Дәлдік класы II, бөлу бағасы 0,001 г
Электрондық таразы	1	МЕМСТ 24104-2001	Дәлдік класы II,
едендік РВ-60	1	CDA 9452	бөлу бағасы 0,01 кг
Стробоскоп	2	МЕМСТ 12536-2014	100:1000, 1000:10000
Елек талдағышы	1	МЕМСТ 32144-2013	жарқыл / мин

Орындалған технологиялық сынақтар екі блоктан тұрады – гранулометриялық құрамды өзгерту (ірілендіру) процесінде кен үлгілерінің негізгі физикалық-механикалық қасиеттерін өлшеу және қораптың қозғалысының әр түрлі түрі бар үш экран үшін экран қорабының діріл жиілігін өзгерту кезінде скрининг процесін нақты зерттеу. Бастапқы үлгілердің физикалық қасиеттерін өлшеу нәтижелері жоғарыда келтірілген. Тербеліс жиілігі скринингтің басым параметрі ретінде эксперименттік зерттеуден өтті.

Ірілігі бойынша жіктелуге жататын сусымалы материал және ГИЛ-051, ГСЛ-051 және ГР-5 жартылай өнеркәсіптік дірілді елек електерінің қолданыстағы үлгілері сынақ объектісі болып табылады.



10-кестеде сыналатын материалдың гранулометриялық сипаттамасы берілген.

10 Кесте - Мыс пен никельдің эксперименттік сынамаларының гранулометриялық сипаттамасы

Ірілік кластары, мм	Ірілік сыныптарының мазмұны, %	
	Мыс	Никель
+20	-	1,6
-20+10	9,3	33,7
-10+5	45,3	24,1
-5+2,5	12,0	11,8
-2,5+1,4	6,2	6,4
-1,4+0,63	10,5	11,5
- 0,63+0,31 5	6,6	7,3
-0,315	10,1	3,6
Барлығы	100,0	100,0

11 Кесте - Мыс-никель кенінің технологиялық көрсеткіштері, 40 Гц

Ірілік кластары, мм	Бастапқы сынама		а баст.	Г, % Тақт аст.	Елеу тиімділігін бағалау			
	% баст.	А баст., %			Е, % Тақт аст.	В, % Тақт аст.	Г*В	е, клас ы %
+5	52,2							
- 5+2, 5	18,1							
- 2,5+ 1,4	2,0							
- 1,4+ 0,63	9,2							
- 0,63 +0,3 15	4,9	4,9	26,5			20,9	351	71,7
- 0,315	13,6	13,6	73,5			79,1	1329	97,7
Барлығы:	100,0	18,5	100,0	16,8	90,8	100,0	1680	

12 Кесте - Мыс-никель кенінің технологиялық көрсеткіштері, 50 Гц

Ірілік кластары, мм	Бастапқы сынама			Елеу тиімділігін бағалау				
	% баст.	А баст., %	а ба ст.	Г, % Тақт аст.	Е, % Тақт аст.	В, % Тақт аст.	Г* В	е, класы %
+5	52,2							
-5+2,5	18,1							
- 2,5+1,4	2,0							
- 1,4+0,6 3	9,2							
- 0,63+0,315	4,9	4,9	26,5			21,2	341	69,7
-0,315	13,6	13,6	73,5			78,8	1269	93,3
Барлығы:	100,0	18,5	100,0	16,1	87,0	100,0	1610	

Берілген ірілік сыныптары бойынша елек (пайызбен) классикалық әдістеме бойынша есептелді.

13 Кесте - Мыс-никель кенінің технологиялық көрсеткіштері, 60 Гц

Ірілік кластары, мм	Баст. сынама			Елеу тиімділігін бағалау				
	% баст.	А баст., %	а баст.	Г, % Тақт аст.	Е, % Тақт аст.	В, % Тақт аст.	Г* В	е, класы %
+5	52,2							
-5+2,5	18,1							
- 2,5+1,4	2,0							
- 1,4+0,6 3	9,2							
- 0,63+0,315	4,9	4,9	26,5			21,3	326	66,5
-0,315	13,6	13,6	73,5			78,7	1204	88,5
Барлығы:	100,0	18,5	100,0	15,3	82,7	100,0	1530	

Елек-сепаратор қорабының тербеліс жиілігін реттеу шегін анықтау

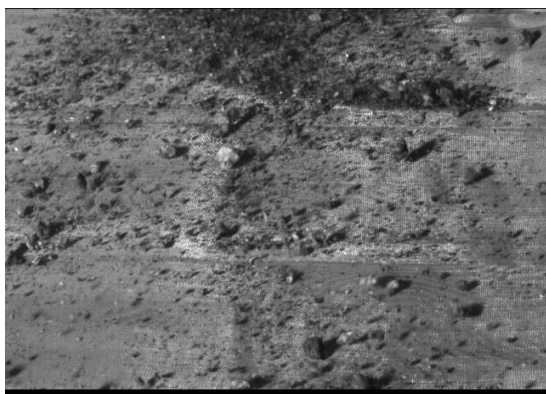
"Вибротест МГ4" өлшеу құралын қолдану арқылы жүргізілді. Сынақ жүргізу үшін пайдаланылатын жабдық 11-кестеде келтірілген.

Негізгі технологиялық көрсеткіштерді есептеу мысалы ретінде ротордың айналу жиілігі 40 Гц (11-кесте), 50 Гц (12-кесте) және 60 Гц (13-кесте) ГИЛ-051 грохотындағы мыс-никель кені үшін деректер пайдаланылды.

Қолданылатын белгілер:

- ✓ А-бастапқы сынамадағы сыныптардың мазмұны;
- ✓ а-бөлу шегінен төмен бастапқы сыныптардың мазмұны;
- ✓ Г-тақтай астындағы өнімнің шығуы;
- ✓ Е-бөлу шекарасы бойынша бөлудің (алудың) тиімділігі;
- ✓ в-тор астындағы өнімдегі сыныптардың мазмұны;
- ✓ е-жеке кластардың жеке өндірілуі (тиімділігі).

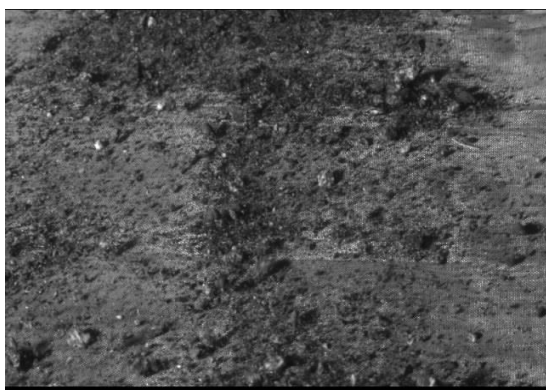
Эксперименттерді жүргізу барысында бөлшектердің таралуын инерциялық және өзін-өзі теңдестіретін соққылар елеу кезінде бейнетүсірілім жүргізілді. Төменде алынған бейненің суреттері берілген.



13 Сурет – Бөлшектердің таралуы ГСЛ-051 10 секунд түсірілім



14 Сурет – Бөлшектердің таралуы ГСЛ-051 20 секунд түсірілім



15 Сурет – Бөлшектердің таралуы ГСЛ-051 30 секунд түсірілім



16 Сурет – Бөлшектердің таралуы ГСЛ-051 40 секунд түсірілім

### 3.2 Ұсақ кластарды алдын ала елеу арқылы зерттеу

Ұсақ кластардың алдын - ала бөлінуінің елек классификациясының тиімділігіне әсерін эксперименттік зерттеу үшін мыс сынамасында -5+0 мм зертханалық зерттеулер жүргізілді. Зерттеу объектісін таңдау мыстың төмен және жаппай тығыздығы бар шикізат екендігімен анықталды, оны елеу материалдың қалың қабатында жүзеге асырылады, ал мұндай қоспаның реологиялық қасиеттері мен оның бөліну факторлары ЭГ-ға қатты әсер етеді. Сынаманың гранулометриялық сипаттамасы 14-кестеде келтірілген. Сынаманың және себу өнімдерінің шынайы гранулометриялық құрамы 10 минут ішінде орбиталық тербелісі және сілкілеуі (Ро-Тап типі) бар елек талдағышында анықталды.

14 Кесте - Мыс сынамасының гранулометриялық құрамы

Ірілігі, мм	Құрамы, %
-6,0+2,1	36,8
-2,1+1,8	5,1
-1,8+1,5	8,0
-1,5+0,64	21,7
-0,64+0,33	11,5
-0,33	16,9
Барлығы	100,0

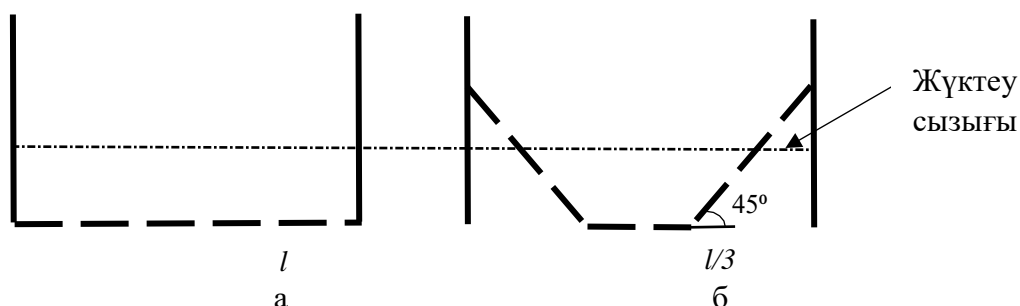
Эксперименттердің нәтижелері көрсеткендей, кішігірім сыныптан үлкенге дейінгі дәйекті діріл классификациясы ақылға қонымды уақыт аралығында класс бойынша жіктеудің жалпы тиімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді - 2,5 мм. Сонымен қатар, мыстың жоғары қозғалғыштығына байланысты жіктеу жылдамдығы жоғары болды – кіші сыныптың негізгі массасының шығымдылығы екі минуттан аз уақытқа жетті.

### 3.3 Ұсақ классты електерді зерттеу

Діріл жиілігінің белгіленген оңтайлы мәні (шамамен 16 Гц) ұсақ кластарды бір мезгілде бүйірден електен өткізе отырып, електен өткізуді зерттеу кезінде пайдаланылды.

Елек параметрлері: елеу қорабының көлбеу бұрышы 17 градус., тербеліс амплитудасы 3 мм, жиілігі 16,7 с-1, діріл үдеуі 33,0 м/с<sup>2</sup> немесе 3,4 G. Дозалау діріл бергіштің көмегімен жүзеге асырылды. Қуат жүктемесін бақылау материалдың үстіңгі қабатының геометриясын сәйкестендіру үшін ұзындығы бойынша екі елек бетінің орталық бөлігіндегі трапеция тәрізді електің медианасы бойынша жүргізілді. №1 жазық електе көмірді елеу кезіндегі сынақтар сериясының нәтижесінде -

4 мм сыныбы бойынша сыныптау тиімділігі 80,2% - ды, 1,6 мм сыныбы бойынша 81,3% - ды құрады. Тамақтану бойынша меншікті өнімділік 13,0 т/(сағ·м<sup>2</sup>) құрады. № 2 трапеция елегінде елеу кезінде (4.18-сурет) - 4 мм класы бойынша жіктеу тиімділігі 84,4 %, ал 1,6 мм класы бойынша 84,8% құрады. Електің көлденең проекциясының есептік үлестік өнімділігі 15,9 т/(сағ·м<sup>2</sup>) құрады. Сонымен қатар, күрделі траектория бойымен бөлшектердің қозғалысы нәтижесінде бүйірлік елек беттерінің аралық өнімі негізінен -2,5 мм класымен ұсынылды.



17 Сурет - Себу беттердің профилі (а - жазық, б-трапеция тәрізді)

Көлденең проекциядағы №1 және №2 елеу беттерінің тиімді аудандары тең және 0,114 м<sup>2</sup> құрайды. Сынақ нысаны: 15% мыс. Мыс сынамаларын ұсақтау кезінде жұқа кластардың шығуын азайту үшін діріл конустары мен жаңа буын ұсатқыштары қолданылды. Бастапқы мыстың гранулометриялық сипаттамасы 17-кестеде келтірілген.

15 Кесте - Мыс сынамасының гранулометриялық сипаттамасы

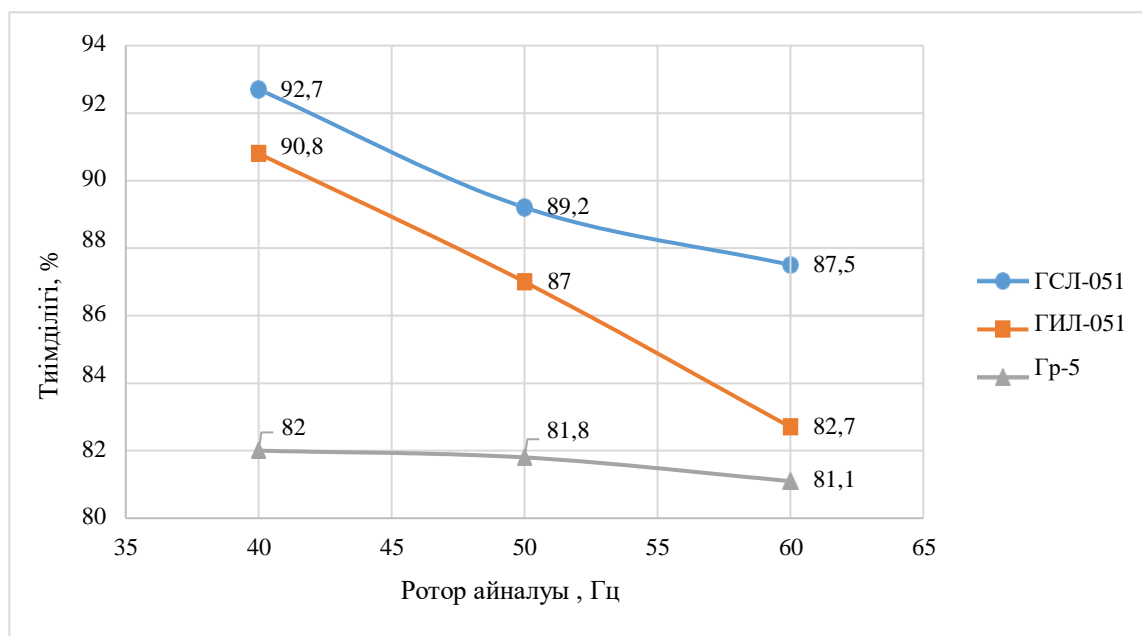
Ірілік классы, мм	Құрамы, %
-20,0+10,0	34,0
-10,0+5,0	24,3
-5,0+4,0	5,7
-4,0+3,2	2,0
-3,2+2,5	4,3
-2,5+1,6	6,3
-1,6	23,4
Бастапқы	100,0

Жекелеген жіктеу өнімдерінің реологиялық қасиеттері туралы деректер 19-суретте келтірілген. Энглер градустарындағы тиімді тұтқырлық еркін өтудің вискозиметрінде анықталды, ал ішкі үйкеліс коэффициенті табиғи еңіс бұрышын өлшеу негізінде есептелді. Жоғарыда келтірілген мәліметтерден трапеция тәрізді елекке жіктеу кезінде алынған төменгі және бүйірлік тақтайша өнімдерінің қозғалғыштығы жалпақ електен жасалған өнімге қарағанда едәуір жоғары екендігі көрінеді.

Жалпы алынған деректер бойынша електің тиімділігінің ротордың

айналу жиілігіне тәуелділік графигі салынды.

Діріл әсерінің әртүрлі траекториясы бар електерді сынаудың алынған нәтижелеріне сүйене отырып, жалпы жағдайда елеуіштің тиімділігі 40-60 Гц діріл жетегінің ток жиіліктерінің техникалық іске асырылатын диапазонында елек қорабының тербеліс жиілігінің жоғарылауымен төмендейді (бұл қораптың тербеліс жиілігі үшін 12,6-17,7 с-1 сәйкес келеді). 21-кестеден көрініп тұрғандай, өзін-өзі теңдестіретін електің кен шикізаты үшін ең тиімді болып табылады. Бұл нәтижені өзін-өзі теңдестіретін елеу бөлшектердің електен өту жылдамдығының аз болуымен түсіндіруге болады, бұл бөлшектердің електе болу уақытының артуына әкеледі. Материалдың ұзақ болуы санның көбеюіне әкеледі жеке бөлшектің "секіруі", бұл осы бөлшектің елеу беті арқылы өту ықтималдығын арттырады. Осылайша, материалды елек арқылы тасымалдаудың төмен жылдамдығы електің тиімділігінің жоғарылауына әкеледі деп қорытынды жасауға болады.



18 Сурет - Елеудің тиімділігі мәнінің мыс-никель кені үшін әр түрлі елек үшін ротордың айналу мәніне тәуелділігі

### 3.4 Елек тиімділігін техникалық-экономикалық талдау

Градиентті жіктеудің дамыған технологиясының техникалық-экономикалық тиімділігін бағалау үшін мыс-никель кендерін оның мөлшеріне қойылатын талаптарды ескере отырып, скрининг бойынша қосымша тәжірибелік зерттеулер жүргізілді және жасалды. Қолданыстағы стандарттарға сәйкес кәдімгі энергетикалық мыс-никель

кендеріне 6 мм-ден үлкен мыс-никель кені кіреді. Бөлшек мыс-никель кендерінің нарықтық көтерме бағасы оның жоғары тұтынушылық қасиеттеріне байланысты түйреуіш құнынан едәуір жоғары. Жіктелмеген мыс-никель кені әдетте ұсақталады, содан кейін одан елек класы -6 мм арқылы бөлінеді (сұрыпталады). 6 мм-ден жоғары өнім тұтынушыларға тікелей жіберіледі немесе ауыр ортада, әдетте барабан түріндегі сепараторларда байытылады. Сынып -6 мм күлге байланысты немесе тұтынушыларға жылу электр станцияларына жіберіледі немесе ауыр циклондарда алдын-ала байытылады. Нәтижелері жоғарыда баяндалған градиентті жіктеу технологиясының стендтік сынақтарының нәтижесінде оң нәтижелер алынғандықтан, осы жұмыс аясында реттелетін 6 мм шекаралық ірілігі бойынша кендерді жіктеу бойынша зерттеулер жүргізілді. Сынаманың егжей-тегжейлі гранулометриялық сипаттамасы келесі кестеде келтірілген.

16 Кесте - Мыс-никель кендерінің гранулометриялық характеристикасы

Ірілік класстары, мм	Шығымы, %		
	+20,0	1,6	-
-20,0+8,0	36,7	-	-
-8,0+6,0	20,0	20,0	-
-6,0+2,5	12,9	12,9	12,9
-2,5+1,4	6,4	6,4	6,4
-1,4+0,63	11,5	11,5	11,5
-0,63+0,32	7,3	7,3	7,3
-0,32	3,6	3,6	3,6
Барлығы	100,0	61,7	41,7

Тербеліс жиілігін арттыру арқылы електің өнімділігін арттыру мүмкін болмады.

8 мм ұяшықтары бар елекке ауысу кезінде жалпақ електің өнімділігін арттыруға болады, алайда тікелей эксперимент нәтижесінде -8+6 мм класындағы тақтай астындағы өнімнің ластануы шамамен 7% құрады, бұл тауарлық кендердің тікелей жоғалуы болып табылады.

Градиентті жіктеу технологиясын әзірлеудің күтілетін экономикалық әсері електің өнімділігін оны трапеция градиентті елекпен жабдықтау арқылы жақсарту және сәйкесінше өнім сапасын төмендетпестен жұмыс істейтін машиналардың санын азайту мүмкіндігі болып табылады.

Жылына орташа қуаты 4 млн тонна мыс-никель кендерін шығаратын шартты мыс-никель кендерін байыту фабрикасында үш ауысымды жұмыс режимінде електердің тәжірибелік қол жеткізілген үлестік өнімділігі кезінде ГАЗ-61(62) инерциялық елек

платформасында жетек қуаты 18,5 кВт болатын ГАЗ - 61(62) 5 стандартты инерциялық электрдің орнына тік проекцияда елек бетінің ауданы 9,3 м<sup>2</sup> болатын 4 градиенттік экран қажет болады. Төрт экранды трапеция тәрізді беттерге қайта жабдықтау құны "Механобр-техника" НПК мәліметтері бойынша шамамен 1,2 миллион рубльді құрайды. Экрандардың қозғалыс коэффициенті 0,95 және электр энергиясын тұтыну коэффициенті 0,90 болған кезде электр энергиясын үнемдеу шамамен 415 мың рубльді құрайды. жылына оның бағасы 3 рубль/кВт·сағ. Дірілді өнеркәсіптік экрандар жабдықтың амортизациялық категориясының бесінші санатына жатады, нормативтік өтелу мерзімі 7 жыл, сондықтан стандартты экран *GIS* құны 61 1,8 миллион рубльді құрайды.

Техникалық-экономикалық тиімділікті бағалау және көмір саласының мысалында градиентті жіктеу технологиясын енгізу перспективасын маркетингтік бағалау тарауы аясында келесі ережелер жасалды:

а) Технология тиімді және тұрақты дамып келе жатқан шикізат саласына арналған.

б) Өзірленіп жатқан технология және оны іске асырумен орнату қор қайтарымы айтарлықтай жоғары деңгейдегі индустриялық салаға жатады.

с) Өзірленген техникалық шешімдерді орындалған ГЗЖ шеңберінде іске асыру инфрақұрылымды дамыту және жаңа Еңбек ресурстарын тарту бойынша арнайы іс-шараларды талап етпейді. Осылайша, олар күрделі шығындар мен маңызды ұйымдастырушылық шараларды қажет етпейді.

Осы жұмыс шеңберінде Жобаның экономикалық тартымдылығын бағалау кезінде ірілендірілген сандық бағалауды жүргізуге мүмкіндік беретін мынадай ережелер қабылданды:

а) Таңдалған саладағы өндірістің орташа қор қайтарымы (кірістілігі) ашық баспасөзде және Интернетте жарияланатын саланың алдыңғы қатарлы кәсіпорындарының ашық деректерінен (қаржылық есептерінен) алынды.

б) Ақша қаражатының құнсыздану қарқыны (дисконттау коэффициенті) есептеу кезінде орташа оптимистік және 0,15-ке тең болды. Дағдарыстық макроэкономикалық нұсқаға сәйкес келетін дисконттау коэффициентінің мәні қарастырылмады. Таза ағымдағы құн мен пайда нормасын есептеу жобаның төрт жылдық өмір сүру мерзіміне сәйкес қарастырылды.

с) Кеңейтілген инвестициялық жоспарлау интервалы бір жылға созылды. Жоспарлаудың бірінші аралығы ("нөлдік" жыл) - Техникалық құжаттаманы дайындау және жабдықты жаңғырту кезеңінде тиімсіз қабылданды.

d) Жобаны іске асырудан түсетін кіріс тікелей энергия үнемдеуден



және жабдықтың жиынтық амортизациясын азайтудан күтіледі. Жобаның коммерциялық тартымдылығын техникалық-экономикалық бағалау жобаның өмір сүру мерзімі ішінде салынған қаражат пен түсімдердің құнсыздануын ескере отырып, нұсқалық дисконттық талдау әдісін қолдана отырып орындалды. Дисконттау әдістерінің ішінде ең көп кездесетіні-екі әдіс:

- ✓ -таза ағымдағы құнын анықтау;
- ✓ -пайданың ішкі нормасын есептеу [25].

## ҚОРЫТЫНДЫ

Орындалған зерттеулердің негізгі ғылыми және практикалық нәтижелері:

1. Мыс-никель кендерінің маңызды физикалық қасиеттерінің елеудің тиімділігіне әсері анықталды. Сонымен, сусымалы тығыздығы төмен және, тиісінше, елеудің салыстырмалы түрде төмен тиімділігі бар жеңіл минералдар үшін елек беттерінің геометриялық конфигурациясын жетілдіруді қамтамасыз ететін елеу технологиясын жетілдіру қажет.

2. Әр түрлі жазықтықтардағы діріл әсерінің траекторияларының оларды дұрыс салыстыру кезінде, оның ішінде жартылай өнеркәсіптік масштабта елеу көрсеткіштеріне әсері эксперименталды түрде расталды. Нәтижелер кен шикізатын елеудің тиімділігі тербелістердің келесі түрлерінің төмендегенін көрсетті: көлденең жазықтықтағы тік сызықты – тік жазықтықтағы орбитальды – көлденең жазықтықтағы орбитальды.

3. Ұсақ сыныптарды алдын ала електен өткізе отырып жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша сыныптау тиімділігінің 4-5% - ға тұрақты артуы байқалды.

4. Елеу процесінің тиімділігін арттыруды қамтамасыз ететін жаңа күрделі формадағы елек беттерін қолдана отырып, жетілдірілген електің технологиясы ұсынылды. Күрделі пішінді електерде елеудің тиімділігі дәстүрлі жалпақ електен 3,5-4% жоғары. Сондай-ақ, күрделі пішінді електерді қолдана отырып, процестің өнімділігі 22% - ға артты.

5. Орташа қуатты мыс-никель байыту кәсіпорны үшін жиынтық дисконтталған экономикалық әсерді көрсететін градиентті діріл елегін әзірлеуді енгізудің тиімділігіне техникалық-экономикалық талдау жүргізілді. Орташа қуатты мыс-никель байыту кәсіпорны үшін жалпы дисконтталған экономикалық әсер жобаның өмірінің төртінші жылында шамамен 9,5 миллион теңгені құрайды. Дисконттау коэффициенті 0,15 болған кезде өтелу мерзімі шамамен екі жылды құрайды, бұл дамудың экономикалық тиімділігін көрсетеді.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Авдохин В.М. Обогащение углей: Учебник для вузов: В 2 т. - М.: Издательство «Горная книга», 2012. — Т. 1. Процессы и машины. - 424 с.: ил. (обогащение полезных ископаемых)
2. Авдохин В.М. Обогащение углей: Учебник для вузов: В 2 т. — М.: Издательство «Горная книга», 2012. — Т. 2. Технологии. — 475 с.: ил. (обогащение полезных ископаемых)
3. Александрова Т.Н., Рассказова А.В. Исследование зависимости качества угольных топливных брикетов от технологических параметров их производства//Записки горного института. 2016. Т. 220. С. 573-577.
4. Александрова Т.Н., Кусков В.Б., Львов В.В., Николаева Н.В. Обогащение полезных ископаемых. Учебник. РИЦ Национального минерально- сырьевого университета «Горный», Заказ 503. С 144 (ISBN 978-5-94211-731-3), 2015, 530 с.
5. Андреев Е.Е. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению: учебник для вузов / Е.Е. Андреев, О.Н. Тихонов. - Санкт-Петербург: Изд-во СПГГИ(ТУ), 2007. 439 с.
6. Арсентьев В.А., Вайсберг Л.А., Устинов И.Д. Направления создания маловодных технологий и аппаратов для обогащения тонкоизмельчённого минерального сырья // Издательский дом «Руда и Металлы». Журнал «Обогащение руд». 2014. №5. С. 2-9.
7. Арсентьев В.А., Вайсберг Л.А., Устинов И.Д., Герасимов А.М. Перспективы сокращения использования воды при обогащении угля // Известия вузов. Горный журнал. 2016. №5. С. 97-100.
8. Арсентьев В.А., Вайсберг Л.А., Шулюяков А.Д., Ромашев А.О. Технологии утилизации отходов производства инертных нерудных материалов // Издательский дом «Руда и Металлы». Журнал «Обогащение руд». 2012. №5. С. 51-54.
9. Арсентьев В.А., Герасимов А.М., Дмитриев С.В., Самуков А.Д. Исследование изменения физико-механических свойств каменного угля в процессе термического модифицирования // Издательский дом «Руда и Металлы». Журнал «Обогащение руд». 2016. №3. С. 3-8.
10. Балдаева Т.М. Сравнительная эффективность классификации на различных типах грохотов // Сборник докладов на школе молодых ученых Международной конференции Плаксинские чтения-2016 «Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья» Санкт-Петербург. 2016. С. 12-17.
11. Балдаева Т.М. Эффективность предварительного отсева мелких классов при вибрационной классификации // Издательский дом «Руда и Металлы». Журнал «Обогащение руд». 2017. №5. С. 3-6.
12. Балдаева Т.М., Вайсберг Л.А., Иванов К.С. Сравнительная эффективность вибрационного грохочения при различных формах колебаний // Научно-технический журнал «Горный информационно-

аналитический бюллетень». М.: Издательство: «Горная книга». 2015. №11 (специальный выпуск 60-2) С. 479-489.

13. Балдаева Т.М., Вайсберг Л.А., Иванов К.С. Энерго- и ресурсосбережение при разделении сыпучих материалов по крупности // Сборник тезисов докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию горного факультета «Горное дело в 21-м веке: технологии, наука, образование». Издатель: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». Санкт-Петербург. 2015. С. 110.

14. Балдаева Т.М., Вайсберг Л.А., Иванов К.С. Особенности сухого грохочения при различных типах колебаний // Уральский государственный горный университет (УГГУ). Материалы XXI Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». Екатеринбург. 2016. С. 56-59.

15. Балдаева Т.М., Вайсберг Л.А., Иванов К.С. Эффективность вибрационного грохочения при различных типах колебаний // Материалы Международной конференции «Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья» (Плаксинские чтения – 2016) Санкт-Петербург. 2016. С. 67-68.

16. Балдаева Т.М., Гладкова В.В., Отрощенко А.А., Устинов И.Д. Влияние термической модификации угля на эффективность его вибрационного грохочения. // Издательский дом «Руда и Металлы». Журнал «Обогащение руд». 2017. №1 С. 3-7.

17. Балдаева Т.М., Иванов К.С. Энергоэффективность грохочения полезных ископаемых при круговых и прямолинейных колебаниях // Сборник тезисов 13-ой Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». Издатель: Институт проблем комплексного освоения недр РАН. Москва. 2016. С. 285-286.

18. Балдаева Т.М., Отрощенко А.А. Вибрационное грохочение термомодифицированного угля // Сборник докладов на Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, посвященной Году экологии «Комбинированные и маловодные процессы переработки природного и антропогенного сырья». Санкт-Петербург. 2017. С. 4-14.

19. Блехман И.И. Теория вибрационных процессов и устройств. Вибрационная механика и вибрационная техника. - СПб, Издательский дом «Руда и Металлы», 2013. – 640 с., ил.154

20. Блехман И.И., Блехман Л.И., Вайсберг Л.А., Васильков В.Б. Градиентная вибрационная сегрегация в процессах деления сыпучих материалов по крупности // Издательский дом «Руда и Металлы». Журнал «Обогащение руд». 2015. №5. С. 20-24.

21. Блехман И.И., Блехман Л.И., Васильков В.Б., Иванов К.С., Якимов К.С. Об износе оборудования в условиях вибрации и ударных

нагрузок // Издательский дом «Руда и Металлы». Журнал «Обогащение руд». 2011. №6. С. 40–45.

22. Блехман И.И., Блехман Л.И., Васильков В.Б., Якимова К.С. К теории эффекта градиентной вибрационной сегрегации применительно к процессу грохочения // Издательский дом «Руда и Металлы». Журнал «Обогащение руд». 2015. №6. С. 19-22.

23. Блехман И.И., Вайсберг Л.А., Блехман Л.И., Васильков В.Б., Якимова К.С. О некоторых «аномальных» эффектах поведения сыпучей среды в сообщающихся вибрирующих сосудах // Издательский дом «Руда и Металлы». Журнал «Обогащение руд». 2007. №5. С. 36–40.

24. Вайсберг Л.А. Вибрационные технологии в процессах обогащения: новые результаты и перспективы промышленного применения // Материалы Междунар. науч. конф. «Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья». СПб. 2016. С. 21–23.

25. Вайсберг Л.А., Балдаева Т.М., Иванов К.С., Отрощенко А.А. Эффективность грохочения при круговых и прямолинейных колебаниях // Издательский дом «Руда и Металлы». Журнал «Обогащение руд». 2016. №1 С. 3-9.