

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

на тему «Модернізація процесу завантаження помольних куль у млині
рудозбагачувальної фабрики»

Керівник роботи

Микола ГОЛОТЮК

Консультант від
бази практики

Олександр ГОЛОВКО

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Роман КОВАЛЕВЕЦЬ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Володимир ОЖЕНКО

Кривий Ріг 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
ОПП Комп'ютерне конструювання мехатронних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

_____ Світлана ГУРКОВСЬКА

«03» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Ковалець Роману Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Модернізація процесу завантаження помольних куль у млині рудозбагачувальної фабрики
керівник роботи Голотюк Микола Віталійович, доцент, кандидат техн. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023
2. Термін подання роботи 10.01.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, дані гірничо-збагачувального комбінату, результати власних експериментів та досліджень тощо
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області. 2. Теоретичні дослідження. 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень (3.1 Мета та методи експериментальних досліджень; 3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання; 3.3 Результати досліджень із аналізом отриманих результатів; висновки). 4. Розділ з економіки. Висновки. Додатки
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Млин рудозбагачувальної фабрики. Технологічний процес завантаження помольних куль у млин. Представлення результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Голотюк М.В, доцент кафедри АБЕРС
2	Голотюк М.В, доцент кафедри АБЕРС
3	Голотюк М.В, доцент кафедри АБЕРС
4	Голотюк М.В, доцент кафедри АБЕРС

7. Дата видачі завдання 03.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Теоретичні дослідження	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованих змін	03.01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.2024 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач

(Ковалеvecь Роман Васильович)

Керівник роботи

(Голотюк Микола Віталійович)

АНОТАЦІЯ

Ковалець Роман Васильович. Модернізація процесу завантаження помольних куль у млині рудозбагачувальної фабрики. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». ОПП «Комп'ютерне конструювання мехатронних систем» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кривий Ріг, 2024.

Об'єктом дослідження даної роботи є процес завантаження помольних тіл (сталених куль) у млини подрібнення рудозбагачувальної фабрики.

Предметом дослідження є кульові барабанні млини першої, другої та третьої стадії подрібнення типу МКР 3600х4000, МКР 3850х4000, МКР 4000х5000, МКЦ 3600х5500.

Мета та завдання. Метою роботи є модернізація процесу завантаження помольних тіл у млини подрібнювання рудозбагачувальної фабрики.

У першому розділі проаналізована рудозбагачувальна фабрика. Надана характеристика технологічного процесу подрібнення та класифікації, також описано процес завантаження помольних тіл в млини подрібнення. Проаналізовані патенти, які направлені на зниження витрат на експлуатацію млина та підвищенню якості подрібнення. В результаті виявлена необхідність у покращенні існуючого процесу завантаження куль та сформульована невирішена частина проблеми, яку планується досліджувати та вирішувати в ході виконання кваліфікаційної роботи.

У другому розділі проведено аналіз кульових млинів – їх класифікацію, конструктивні особливості млинів та кульових живильників. Проаналізовані режими подрібнення та визначено оптимальний режим в умовах рудозбагачувальної фабрики. Виконані розрахунки потужності та продуктивності барабанних млинів. Визначені фактори, які впливають на продуктивність млинів.

У третьому розділі наведено методику визначення ступеня заповнення млина помольними тілами та методику розрахунку питомих витрат куль. Запропоноване рішення для модернізації процесу завантаження млина кулями, їх зважування та облік. Пропонується встановлення пристрою у патрубок завантаження кульового млина, який буде порційно подавати кулі в млин, що дасть змогу виконувати завантаження помольних тіл без зняття рудного навантаження. Також пропонується встановити на кульових господарствах платформні ваги та інтегрувати дані в діючу систему АСУТП.

У четвертому розділі виконано розрахунок економічної ефективності модернізації процесу завантаження. Орієнтовний економічний ефект від впровадження для кожного типу млина становить 32,25 тис. \$/рік.

Ключові слова: МЛИН, ПОДРІБНЕННЯ, КУЛЬОВЕ ЗАВАНТАЖЕННЯ, КУЛІ, ПОМОЛЬНІ ТІЛА, КУЛЬОВИЙ ЖИВИЛНИК.

Апробація результатів:

1. Kovalevets R.V., Myrna N.V., Bundza O.Z. improving the process of loading the ball mill with grinding material. International scientific conference «MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education» conference proceedings, Riga, the Republic of Latvia, November 29–30, 2023. «Baltija Publishing», Riga, Latvia, 2023. V.2. С. 25–27.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-88>

2. Ковалець Р., Самохін О. Модернізація процесу завантаження шарового млина подрібнюючим матеріалом (кулями) / Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Синергія освіти, науки, виробництва в умовах глобальних викликів сьогодення», 29 березня 2023, Луцьк. – Луцький національний технічний університет, 2023. – 126-128 с.

Зміст

Список умовних скорочень	8
Вступ	9
Розділ 1 Аналіз предметної частини	11
1.1. Аналіз технологічного процесу рудозбагачувальної фабрики.....	11
1.1.1. Аналіз процесів подрібнення та класифікація	13
1.1.1.1. Перша стадія подрібнення та класифікації	13
1.1.1.2. Друга стадія подрібнення та класифікація	16
1.1.1.3. Третя стадія подрібнення та класифікація	17
1.1.2. Контрольна класифікація	18
1.1.3. Кульове завантаження млинів	19
1.2. Аналіз процесу завантаження млинів помольними тілами	20
1.3. Патентний пошук	22
Розділ 2 Теоретичні дослідження.....	26
2.1. Дослідження кінетики процесу подрібнення.....	26
2.2. Дослідження класифікації кульових млинів.....	26
2.3. Дослідження конструкції кульового млина.....	27
2.3.1. Кульовий млин із центральним розвантаженням (МШЦ)	28
2.3.2. Кульові млини з розвантаженням через решітку (МКР)	29
2.3.3. Конструкція живильників	31
2.4. Дослідження режимів подрібнення	32
2.5. Дослідження потужності барабанних млинів	36
2.5.1. Подрібнювальне середовище барабанних млинів	36
2.5.2. Вплив маси і крупності подрібнювального середовища на роботу кульових млинів	38
2.6. Дослідження продуктивності барабанних млинів	42
2.6.1. Фактори, які впливають на продуктивність млинів	42
2.6.2. Розрахунок продуктивності барабанних млинів.....	45
Розділ 3 Програма, методика та результати експериментальних досліджень.....	49

3.1.	Мета та методи експериментальних досліджень.....	50
3.2.	Перелік використаної апаратури, обладнання	51
3.2.1.	Метод фізичного виміру заповнення млина.....	51
3.2.2.	Метод вимірювання заповнення млина лазерним далекоміром 52	
3.3.	Результати досліджень із аналізом отриманих результатів.....	53
3.3.1.	Оцінка навантаження в кульовий млин за допомогою інструментальних помольних середовищ.	53
3.3.2.	Модернізація процесу завантаження кулями барабанного млина 54	
3.3.3.	Модуль обліку витрати тіл млинами РЗФ. Автоматичне регулювання та інтеграція інформації в АСДК.....	55
3.3.4.	Результати експериментальних досліджень.....	57
3.4.	Висновки	57
	Розділ 4 Розділ з економіки.....	59
	Загальні висновки	61
	Список використаних джерел.....	63
	Додатки.....	64

Список умовних скорочень

ГЗК – гірничозбагачувальний комбінат.

РЗФ – рудозбагачувальна фабрика.

МКР – кульовий млин із розвантаженням через решітку.

МКЦ – кульовий млин із центральним розвантаженням.

МСЦ – млин стрижневий із центральним розвантаженням

РЗФ – рудозбагачувальна фабрика.

ЕМК – електромостовий кран.

ККД – коефіцієнт корисної дії.

АСДК – автоматична система дистанційного керування.

АСУТП – автоматизація системи управління технологічним процесом.

АРМ – автоматичне робоче місце.

СУБД – система управління базами даних.

КВО – коефіцієнт використання обладнання.

Вступ

У зв'язку із постійним зростанням запиту на металеві продукти, виробництво сталі, чавуну та інших металів також наростає. Основними вихідними матеріалами для виробництва чорних металів є залізні та марганцеві руди, обсяги видобутку яких постійно розширюються. Ці руди відносяться до неорганічних корисних копалин і мають такі характеристики чи концентрації металів, які роблять їх придатними для використання у промисловості.

Для забезпечення металургійних підприємств високоякісною сировиною необхідно виконати видобуток та збагачення залізної та марганцевої руди. Видобутком та збагаченням займаються гірничо-збагачувальні підприємства, які є ключовими в гірничій промисловості.

Постійна модернізація та удосконалення обладнання гірничо-збагачувальних підприємств є необхідним та ключовим, так як це дає значний економічний ефект, призводить до збільшення виробництва та підвищенню якості готової продукції.

Процес підготовки сировини можна поділити на три основні етапи: дроблення, подрібнення та класифікація.

Подрібненням називають процес руйнування твердого матеріалу за умови критичних внутрішніх напругах, що виникають при будь-якому навантаженні та перевищують відповідну межу міцності. Такі напруги можуть виникати у матеріалі через механічне навантаження, температурні ефекти, ультразвукові впливи та інші фактори. Основні методи подрібнення, які широко використовуються у виробництві, - це механічні способи. Машини які застосовують для цих цілей називають млинами.

У якості подрібнюючих тіл застосовують стрижні (у стрижневих млинах), кулі (у кульових млинах), крупноподроблену руду (млини самоподрібнення) і рудну галю (рудногалькові млини). При обертанні барабана подрібнюючі тіла завдяки тертю захоплюються його внутрішньою поверхнею, піднімаються на деяку висоту і вільно, або перекочуючись, падають вниз. Через цапфи барабана безперервно подається і розвантажується відповідно подрібнений і подрібнений матеріал.

Подрібнення може бути мокрим (матеріал зволожується потоком води) і сухим (матеріал транспортується повітряним потоком) способами.

За формою корпусу розрізняють циліндричні та циліндроконічні млини. Циліндричні млини в залежності від довжини поділяють на короткі, довгі і трубні.

Залежно від способу розвантаження розрізняють млини з центральним розвантаженням та з розвантаженням через ґрати (решітку). У перших розвантаження подрібненого матеріалу відбувається в результаті його зливу через порожнисту цапфу. Млини з розвантаженням через ґрати оснащені підйомним пристроєм, що примусово розвантажує подрібнений продукт. Основні геометричні параметри барабанного млина довжина та діаметр.

Для живлення млинів застосовують барабанні, гвинтові та комбіновані живильники. Барабанний живильник являє собою циліндроконічну камеру, відкриту з обох боків, з внутрішньою спіральною перегородкою для подачі матеріалу, що подрібнюється, в млин через завантажувальну цапфу. Корпус живильника відливають із чавуну або зварюють зі сталевих листів. Барабанні живильники застосовують для вантаження матеріалу крупністю до 70 мм.

Гвинтові живильник являє собою черпак спіральної форми з круглим отвором у бічній стінці по осі обертання для випуску матеріалу, що зачерпується, в млин. Корпус живильника - зварний з листової сталі або литий з легованого чавуну. Гвинтові живильники виготовляють одно-, дво- і трьох черпаковими. Поперечний переріз між спіралями живильника прямокутний. Гвинтові живильники дають змогу завантажувати матеріал у млин із нижчого рівня, що дає можливість встановлювати млини в замкнутому циклі з класифікатором.

Комбінований живильник застосовують для завантаження млина одночасно кусковим матеріалом і пісками класифікатора. Велика перевага комбінованого живильника полягає в тому, що крупнокусковий матеріал потрапляє в млин, минаючи завантажувальну коробку для черпака равлика [1, с. 89-91]

Мета та завдання кваліфікаційної роботи - модернізація процесу завантаження помольних куль у млині рудозбагачувальної фабрики.

Об'єкт дослідження – процес завантаження помольних тіл (сталених куль) у млини подрібнення рудозбагачувальної фабрики.

Предмет дослідження – кульовий млин МКР 3600х4000, МКР 3850х4000, МКР 4000х5000, МКЦ 3600х5500.

Тема є актуальною, так як при існуючому процесу завантаження млина виникають випадки руйнування шахти млина, а також видача неякісного матеріалу з млина, що призводить до енергетичних витрат і додаткових витрат на ремонт.

Розділ 1 Аналіз предметної частини

1.1. Аналіз технологічного процесу рудозбагачувальної фабрики

Збагачення корисних копалин – це сукупність технологічних процесів первинної обробки рудної сировини, головною метою яких є відокремлення корисного мінералу від порожньої породи.

При збагаченні залізної руди кінцевим продуктом процесу збагачення є залізорудний концентрат, який придатний для виробництва залізорудної сировини (агломерату, обкотишів, брикетів та ін.).

Процес збагачення зазвичай складається з кількох етапів, але технологічні схеми можуть варіюватися в залежності від виду руди, її хімічного складу та економічних факторів. Основні технологічні схеми збагачення залізної руди включають:

- 1) Роздроблення та подрібнення: Руда переробляється в дробарках та млинах для подрібнення на менші частинки, що полегшує подальше виділення корисних компонентів.
- 2) Флотація: Цей процес використовується для виділення сульфідних мінералів. Зазвичай, у флотаційних басейнах застосовують спеціальні реагенти, які допомагають відокремити сульфідні мінерали від інших домішок.
- 3) Магнітна сепарація: Залізна руда часто містить магнітні мінерали, такі як магнетит. Ці мінерали можуть бути відокремлені за допомогою магнітної сепарації.
- 4) Гравітаційні методи: Вони базуються на різниці у вагах між корисними та некорисними частинками. У цьому процесі використовуються спеціальні пристрої для розділення частинок за гравітаційним принципом.
- 5) Термічна обробка: Деякі типи залізних руд можуть бути піддані термічній обробці для зменшення вмісту вологи або зниження рівня домішок.

Технологічні схеми збагачення залізної руди можуть комбінувати ці методи в різних послідовностях або використовувати спеціалізовані технології в залежності від властивостей конкретної руди та економічних умов.

Збагачення залізної руди на гірничо-рудних підприємствах виконує рудозбагачувальна фабрика. РЗФ виконує подрібнення руди, класифікацію (поділ матеріалів по крупності), магнітну сепарацію (розподіл подрібненого матеріалу на фракції з різним вмістом корисного компонента, заснований на відмінності магнітних властивостей матеріалів), магнітну дешламацію (згущення та видалення в хвості породних частинок проміжних продуктів та концентрату) та зневоднення (видалення надлишку вологи з готової продукції – концентрату).

Одна з найпоширеніших технологій збагачення магнетитових кварцитів включає технологію мокрого кульового подрібнення, гідравлічної класифікації та мокрого магнітного збагачення.

Розглянемо приклад технологічної схеми одного із гірничо-збагачувального комбінату, яка включає:

- три стадії подрібнення подрібненої руди із застосуванням кульових млинів типу МКР 3600x4000, МКР 3850x4000, МКР 4000x5000, МКЦ 3600x5500;
- три стадії класифікації з використанням спіральних класифікаторів типу 2КСН 2,4x12,5 та гідроциклонів типу ГЦ 710 та ГЦ 500, на ряді секцій впроваджено операцію контрольної класифікації у гідроциклонах ГЦ 350;
- п'ять стадій магнітної сепарації з використанням сепараторів типу ПБМ-ПП-90/250, ПБМ-П(ПП)-150/200 та ПБМ-П(ПП)- 120/300;
- три стадії магнітної дешламації (знешламлювання проміжних продуктів та концентрату) з використанням дешламаторів типу МД-9А;
- зневоднення готової продукції (концентрату) на дискових вакуум-фільтрах типу ДОО-160-3,2У.

Внутрішньо цеховий транспорт включає:

- Системи стрічкових конвеєрів для транспортування дробленої руди до млинів I-ої стадії подрібнення та транспортування готової продукції (концентрату) на склади фабрики.
- Зовнішній (залізнично-дорожні вагони) та внутрішній залізничний транспорт для транспортування концентрату споживачам.
- Піскові (ґрунтові) насоси типу VASA 7010/200, VASA 507/150, ORION-НМ 250, 8Гр-8, 5Гр-8 для гідротранспорту проміжних продуктів та концентрату.

Окремо можливо передбачити можливість транспортування концентрату в рідкій фазі на іншу фабрику для подальшої обробки (зневодненню, виготовленню обкотошів, агломерату та ін.).

Приклад технологічної схеми рудозбагачувальної фабрики наведений на рисунку 1.1 у додатку.

1.1.1. Аналіз процесів подрібнення та класифікація.

1.1.1.1. Перша стадія подрібнення та класифікації

Вихідна руда, яка пройшла стадії дроблення і має крупність 20-0 мм, подрібнюється в кульовому млині. Розвантаження даного млина відбувається через решітку. Млин працює в замкнутому циклі з двоспиральним класифікатором. Технічні характеристики млинів та класифікатора представлені у таблиці 1.1. та 1.2.

Таблиця 1.1. Технічна характеристика кульових млинів I стадії подрібнення.

№ п/п	Найменування параметрів	Одиниці виміру	Типорозмір		
			4		
1	2	3	4		
1	Типорозміри млинів		МКР 3600x4000	МКР 3850x4000	МКР 4000x5000
2	Найменування		Кульовий млин із розвантаженням подрібненого матеріалу через решітку для мокрого подрібнення матеріалів.		
3	Номер технологічної секції		1-14	15-16	17-27
ГОСТ 10141-91					
4	Внутрішній діаметр барабана (без футерування) не більше	мм	3 600	3 850	4 000
5	Довжина барабана (без футерування), не менше	мм	4 000	4 000	5 010
6	Номінальний об'єм барабана, ±5%	м³	36,0	41,6	55,0
7	Номінальна частота обертання від критичної	%	75-85	75-83	75-82
8	Ступінь заповнення барабана тілами, що мелють	%	45		
9	Потужність електродвигуна, не більше	кВт	1 000(1120)	1 250	2 000
10	Габаритні розміри млина у зборі з приводом через вінцеву шестерню: довжина ширина висота	мм	15 100 7 600 5 700	12 950 7 370 5 190	16 400 8 400 6 200
11	Маса млина без мастильного та електричного обладнання, фундаментної арматури, пристроїв для механізації та боротьби з шумом, мелючих тіл, не більше	т	164	207	265
Довідкові дані					

12	Частота обертання барабана	об /хв	18,0	17,33	17,18
13	Електродвигун: тип потужність	кВт	N155051 M36 1 000,0(1120)	СДС 18-51-36 1 250,0	СДС 19-46-40 2 000,0

Таблиця 1.2.
Технічна характеристика спірального класифікатора 2КСН 2,4х12,5

№ п/п	Найменування параметрів	Одиниці виміру	Параметри
1	2	3	4
1	Найменування		Класифікатор спіральний для поділу у водному середовищі за крупністю та щільністю ... руд чорних металів крупністю не більше 25,0мм.
2	Діаметр спіралі	мм	2 400 ± 50
3	Довжина корита	мм	12 500 ± 16
4	Кількість спіралей	од	2
5	Частота вращения спіралей	об/мин	3,6 ± 0,5
6	Потужність двигуна, не більше привода обертання спіралі	кВт	22,0
	привода підйому спіралі	кВт	4,0
7	Габаритні розміри, довжина ширина висота	мм	15 700 5 700 4 500
8	Кут установки	градусів	18-3
9	Маса без електрообладнання (з футерування спіралі із резини)	кг	50 000
10	Довідково: крок спіралі	мм	1 500
	число заходів спіралі	од	2

Подача матеріалу з бункерів дробленої руди на горизонтальні конвеєри проводиться самопливом патрубками-живильниками. З горизонтального конвеєра руда перевантажується на похилий конвеєр і далі подається в млин I стадії подрібнення. Регулювання продуктивності здійснюється зміною швидкості руху стрічки горизонтальних конвеєрів.

Продуктивність конвеєра вимірюється за показаннями електронних ваг (наприклад ВКТ-4), які встановлені на похилому конвеєрі.

Подрібнена руда самопливом (злив) надходить у спіральний класифікатор, де поділяється на велику (піски) і тонку (злив) фракції. Піски класифікатора (циркулююче навантаження) спіралями транспортуються в зворотний жолоб і разом із вихідною рудою надходять у млин на додаткове подрібнення. Злив спірального класифікатора самопливом по пульпопроводам надходить у пульпоподілювач I стадії магнітної сепарації.

Режими роботи та технологічні показники роботи I стадії подрібнення та класифікації наведені в таблиці 1.3. (приклад для 27 секцій):

Таблиця 1.3.

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Номер секції		
			1-14	15-16	17-27
1	2	3	4	5	6
1	Типорозмір: - млина		МКР 3600x4000	МКР 3850x4000	МКР 4000x5000
	- класифікатора		2КСН- 2,4x12,5	2КСН- 2,4x12,5	2КСН- 2,4x12,5
2	Кількість млинів	од./секцію	2	2	1
3	Кількість класифікаторів	од./секцію	2	2	1
4	Оптимальна продуктивність млина	т/год	100,0-110,0	105,0-115,0	195,0-210,0
5	Циркуляційне навантаження	%	150,0-160,0		140,0-150,0
6	Діаметр куль, які завантажуються	мм	100		
7	Кульове заповнення	%	40,0 ± 5,0		
8	Вага кульового завантаження	т	66,0 – 75,0	77,0 – 87,0	102,0 – 115,0
9	Витрати куль	кг/т концент.	≈ 1,316		
10	Масова частка твердого: - розвантаженні млина	г/літр	2300-2450		
		%	80,0-84,0		
	- зливі класифікатора	г/літр	1350 - 1550		
		%	44,0 – 50,0		
11	Масова частка класу 0,056 мм в: - розвантаженні млина - зливі класифікатора - пісках класифікатора	%	30,0 – 32,0		28,0 – 30,0
			58,0 – 60,0		
			11,0 – 13,0		10,0 - 12,0
12	Питома продуктивність млина за класом 0,056 мм	т/м ³ год	1,5 – 1,6		1,7 - 1,9
13	Кількість води, що подається в: - зворотний жолоб класифікатора	м ³ /год	20 - 30	25 - 35	40 - 45
			90 - 130		

	- класифікатор				
--	----------------	--	--	--	--

1.1.1.2. Друга стадія подрібнення та класифікація

Концентрат першої стадії магнітної сепарації самопливом надходить у перший технологічний зумпф (на першій черзі – на непарні секції), куди подається додаткова вода для підтримки необхідної щільності живлення гідроциклонів та забезпечення постійного рівня пульпи в зумпфах. З технологічного зумпфупу насосами VASA HD 7010/200 подається в колектор, до якого радіально або лінійно приєднані гідроциклони ГЦ-710 (ГЦ-500). У гідроциклонах матеріал поділяється на велику (піски) та тонку (злив) фракції.

Піски гідроциклонів подрібнюються в млині II стадії з центральним розвантаженням МШЦ 3600x5500 (табл.4.5). Розвантаження (злив) млина надходить на II стадію магнітної сепарації. Магнітний продукт II стадії магнітної сепарації надходить у перший технологічний зумпф (на I черзі – на непарні секції). Злив гідроциклонів надходить на перший прийом знешламливання.

Режими роботи та технологічні показники роботи II стадії подрібнення та класифікації наведені в таблиці 1.4. (приклад для 27 секцій):

Таблиця 1.4.

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Номер секції		
			1-14	15-16	17-27
1	2	3	4	5	6
1	Кількість млинів	од./секцію	1		
2	Тип гідроциклонів		ГЦ-710 (ГЦ-500)	ГЦ-500	ГЦ-710 (ГЦ-500)
3	Кількість гідроциклонів	од./секцію	3	5	3
4	Продуктивність цикла подрібнення	т/год	120-130	130-140	110-120
5	Циркуляційне навантаження	%	165-175	167-175	190-200
6	Діаметр куль, які завантажуються	мм	40		
7	Кульове заповнення	%	40 ± 5		
8	Вага кульового завантаження	т	90-102		
9	Витрати куль	кг/т концентрата	≈ 0,71		
10	Масова частка твердого в: - розвантаженні млина	г/літр	1900-2200		
		%	60-66		

	- живлення гідроциклонів	г/літр	1300-1350		
		%	30-34		
	- зливі гідроциклонів	г/літр	1120-1160		
		%	15-18		
	- пісках гідроциклонів	г/літр	2050-2400		
		%	68-78		
11	Масова частка класу 0,056 мм в: - розвантаженні млина - зливі гідроциклонів, не менше - пісках гідроциклонів	%	60-62 88 33-35		
12	Питома продуктивність млина за класом 0,056 мм	т/м ³ год	0,6-0,8		
13	Кількість води, що подається технологічний зумпф	м ³ /год	300-350	350-400	300-350

1.1.1.3. Третя стадія подрібнення та класифікація

Концентрат третьої стадії магнітної сепарації надходить у другий технологічний зумпф (на першій черзі – на парні секції). В зумпф подається додаткова вода для підтримки необхідної щільності живлення гідроциклонів та для забезпечення постійного рівня пульпи. З технологічного зумпфу насосами VASA HD 7010/200 подається в колектор, до якого радіально або лінійно приєднані гідроциклони ГЦ-710 (ГЦ-500). У гідроциклонах матеріал поділяється на велику (піски) та тонку (злив) фракції.

Піски гідроциклонів подрібнюються в млині III стадії. За конструкцією млини МШЦ 3600x5500 з центральним розвантаженням. Розвантаження (злив) млина надходить у другий технологічний зумпф (на I черзі – на парні секції). Злив гідроциклонів надходить на другий прийом знешламлювання.

Режими роботи і технологічні показники роботи III стадії подрібнення і класифікації наведено в таблиці 1.5. (приклад для 27 секцій):

Таблиця 1.5.

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Номер секції		
			1-14	15-16	17-27
1	2	3	4	5	6
1	Кількість млинів	од./секцію	1		
2	Тип гідроциклонів		ГЦ-710	ГЦ-500	ГЦ-710
3	Кількість гідроциклонів	од./секцію	3	5	3
4	Продуктивність цикла подрібнення	т/год	96-100	100-105	
5	Циркуляційне навантаження	%	80-90		

6	Діаметр куль, які завантажуються	мм	40		
7	Кульове заповнення	%	40 ± 5		
8	Вага кульового завантаження	т	92-108		
9	Витрати куль	кг/т концентр ата	≈ 0,515		
10	Масова частка твердого в:	г/літр	2000-2150		
	- розвантаженні млина	%	65-70		
	- живлення гідроциклонів	г/літр	1200-1300		
		%	20-28		
	- зливі гідроциклонів	г/літр	1080-1050		
		%	10-14		
11	Масова частка класу 0,056 мм в:	%	87-94		
	- розвантаженні млина - зливі гідроциклонів, не менше - пісках гідроциклонів		97,5 72-79		
12	Питома продуктивність млина за класом 0,056 мм	т/м ³ год	0,18-0,22		
13	Кількість води, що подається в технологічний зумпф	м ³ /год	300-350	350-400	300-350

1.1.2. Контрольна класифікація

З метою підвищення вмісту заліза завдяки видаленню частини великих зростків з живлення сепараторів III і IV стадій магнітної сепарації на групі секцій (5-6,7-8,15-16,17,25), передбачено операцію контрольної гідравлічної класифікації знешламлених зливів гідроциклонів ГЦ-500.

Піски дешламаторів I і II прийомів знешламлення надходять, відповідно, у перший і другий промпродуктові зумпфи, звідки насосами VASA HD 507/150 подаються в колектор, до якого радіально приєднані гідроциклони ГЦ-350 (I і II стадії контрольної класифікації). У гідроциклонах матеріал розділяється на велику (піски) і тонку (злив) фракції. Піски гідроциклонів ГЦ-350 надходять на додаткове подрібнення, відповідно, у млини II-III стадії подрібнення. Зливи гідроциклонів ГЦ-350 (I і II стадії контрольної класифікації) надходять, відповідно, на III і IV стадії магнітної сепарації.

Режим роботи та технічні показники роботи контрольної класифікації наведено у таблиці 1.6:

Таблиця 1.6.

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру		Примітка
1	2	3	4	5
1	Типорозмір гідроциклонів		ГЦ-350	Для стабільної та ефективної роботи насосних агрегатів і гідроциклонів контрольної класифікації рівень пульпи в промпродуктових зумпфах має становити, не менше, 75,0% висоти зумпфа
2	Кількість гідроциклонів	од./стадію	4	
3	Циркуляційне навантаження	%	70-80	
4	Масова частка твердого в:	%	25-30	
	-живлення гідроциклонів			
	-зливів гідроциклонів			
	-пісках гідроциклонів	%	18-20	
	-пісках гідроциклонів	%	60-65	
5	Масова частка класу 0,056 мм у:	%	96-97	
	-живленні гідроциклонів			
	-зливів гідроциклонів			
	-пісках гідроциклонів			
		%	98-99,5	
		%	88-92	

1.1.3. Кульове завантаження млинів

Для подрібнення руди і проміжних продуктів збагачення в млинах застосовують сталеві кулі Ø100мм (I стадія подрібнення) і Ø40мм (II-III стадії подрібнення).

З метою створення раціонального гранулометричного складу кульового завантаження для скорочення часу входження млинів в оптимальний режим роботи, первинне завантаження млинів проводиться за відпрацьованою методикою:

- у млини I стадії подрібнення - куль, що були у використанні, але не втратили геометричну форму кулі, Ø60-100мм - 50-60 т (I черга), 70-90 т (II черга). Довантаження до норми проводиться новими кулями Ø100мм після запуску млина в експлуатацію;

- у млини II-III стадій подрібнення куль, що були у використанні, але не втратили геометричну форму кулі, Ø20-40мм - 80-90 т (I-II черга). Довантаження до норми проводиться новими кулями Ø40мм після запуску млина в експлуатацію.

Завантаження куль проводиться тарованими мірними ємностями (таблиця.1.7):

Таблиця 1.7.

Діаметр кулі	Рівень куль у завантажувальній ємності:	Вага куль, т
1	2	3
100	Верхній обріз	3,65
	Мірна позначка (-150,0мм від верхнього обрізу ємності)	3,0
40	Верхній обріз	3,6
	Мірна позначка (-150,0 мм від верхнього обрізу ємності)	3,1

В даний час на ЕМК встановлені прилади обліку куль – ваги кранові 10ВК-РК, для визначення ваги тіл, що завантажуються, в кульові млини.

Ваги кранові 10ВК-РК призначені для визначення ваги куль, які подаються в кульові млини. Ваги мають функцію прихованого зважування, що дозволяє контролювати кожен підйом тіл, що мелють.

З метою оптимізації гранулометричного складу подрібнювального середовища, довантаження куль Ø100мм у млини I стадії подрібнення здійснюють щодоби відповідно до кількості переробленої руди та її характеристики за міцністю (величиною питомої роботи руйнування).

Розрахунок витрати куль Ø100мм на 1 тону подрібненої руди проводиться за питомою роботою руйнування згідно з таблицею 1.8.:

Таблиця 1.8.

Питома робота руйнування, кгм/см ³	7	9	11	13
Витрата куль, кг/т	0,7	0,8	0,9	1,0

1.2. Аналіз процесу завантаження млинів помольними тілами

На рудозбагачувальних фабриках передбачені спеціальні майданчики для зберігання та завантаження куль в тарні ємності (далі кубель). Кулі зберігаються в спеціальних кульових ямах і розділяються за розміром.

Розглянемо процес завантаження млинів помольними тілами на прикладі рудозбагачувальній фабриці № 1 (далі РЗФ) ГЗК. На РЗФ існує два майданчика зберігання куль і завантаження куль: кульове господарство № 1 і № 2.

Схеми господарств № 1 та № 2 наведені у додатку (див. додатки схема 1.1., 1.2.).

Кубель встановлюється під кульопровід, в корпусі збагачення, таким чином – машиніст крана опускає кубель таким чином щоб він знаходився навпроти розвантажувального отвору кульопровода (див. додатки схема 1.3), опускання проводиться згідно команд стропальника, після того як стропальник показав команду стоп, припинити опускання. Телішкою крана згідно команди стропальника подати кубель під жолоб кульопровода, стропальник за спеціальну ручку на кубелі рівняє його таким чином щоб кулі при завантаженні потрапляли у центральну частину кубеля, що в свою чергу запобігає вильоту куль з нього, та подає команду машиністу крана на встановлення кубеля на підлогу.

Після встановлення кубелю під кульопровід для завантаження кулями стропальник (слюсар черговий та з ремонту устаткування) подає машиністу крана звуковий сигнал (1 довгий) на початок завантаження куль магнітною шайбою до завантажувального жолоба кульопровода.

Машиніст крана, після отримання звукового сигналу (1 довгий) на початок вантаження куль магнітною шайбою до завантажувального

жолобу кульопровода, під'їжає мостом крана ЕМК до ями з кулями, опускає електро-магнітну шайбу, поклавши її на помольні тіла, включає шайбу. Далі необхідно підняти вантаж на висоту не менше 0,5 м, переконатися в працездатності магнітної шайби та гальм і провести перевезення куль до завантажувального жолоба. Встановити магнітну шайбу над воронкою жолоба та виконати завантаження кулями шляхом відключення живлення шайби.

При заповненні кубеля кулями стропальник перемикає шибер на кульопроводі, для завантаження іншого кубеля та відходить на безпечну відстань. Якщо не вдається перемкнути шибер, тоді стропальник подає звуковий сигнал на припинення завантаження та перемикає шибер в необхідне положення.

Машиніст крана проводить завантаження куль до жолоба поки не почує сигнал (1 довгий) який означає, що потрібно перестати вантажити кулі. Вантаження куль продовжується після отримання сигналу (1 довгий), 2 коротких сигналу сповіщають про закінчення завантаження взагалі.

Кулі через завантажувальний жолоб, через кульопровід потрапляють у спеціально призначений контейнер (кубель). Контейнер стропується згідно зі схемою стропування, переміщення та вивантаження контейнера в кульопровід (див. додатки схема №1.4.).

Після завантаження кубеля помольними тілами машиніст одного з двох кранів, що беруть участь у проведенні кульового завантаження, переміщує заповнений контейнер до кульового живильника млина (рис.1.2.).



Рис. 1.2. Кульовий живильник млина.

Розвантаження контейнера здійснюється механічним способом за допомогою ЕМК під наглядом машиніста млинів. Після цього контейнер (кюбель) повертається шляхом його переміщення за допомогою ЕМК до зони завантаження і встановлюється під кульопровід для завантаження кулями.

1.3. Патентний пошук

На даний час існує багато удосконалень барабанних млинів, які використовуються на рудозбагачувальних фабриках. Основними напрямками удосконалень є збільшення строку експлуатації футерування корпусу млина, приводу, вал-шестерні, підшипників ковзання, завантажувальних цапф, решіток розвантаження, бутар; удосконалення системи керування барабаними млинами; підвищення якості подрібнення.

Розглянемо деякі патенти, ціллю яких є зменшення зносу завантажувальних цапф та зниженню витрат на експлуатацію млина.

Патент № 73751. «Завантажувальна цапфа барабанного млина».

Корисна модель належить до галузі здрібнювання матеріалів, а саме до конструктивних елементів барабанних млинів і може бути використана при виготовленні устаткування для збагачення руд корисних копалин.

В основу корисної моделі поставлена задача створити завантажувальну цапфу барабанного млина з підвищеною довговічністю шляхом зменшення зносу цапфи і за рахунок технічного результату, що полягає у виключенні кругового переміщення матеріалу, який потрапляє у кільцеву порожнину між корпусом цапфи і футерувальним патрубком.

Поставлена задача вирішується тим, що в завантажувальній цапфі барабанного млина, футерувальний патрубок виконаний із двома опорними ребрами, що проходять вздовж його утворюючих по всій довжині, проміжні елементи виконані у вигляді клинів (рис. 1.3.), що відповідають за розмірами опорним ребрам і рівномірно встановлені з урахуванням опорних ребер по периметру патрубка.

За рахунок виконання футерувального патрубка з двома опорними ребрами, які проходять вздовж його твірних по всій довжині, проміжні елементи у вигляді клинів, що відповідають за розмірами опорним ребрам і рівномірно встановлені з урахуванням опорних ребер по периметру патрубка досягається перекриття кільцевої порожнини між корпусом цапфи і футерувальним патрубком, що усуває кругове переміщення матеріалу по цих кільцевих порожнинах.

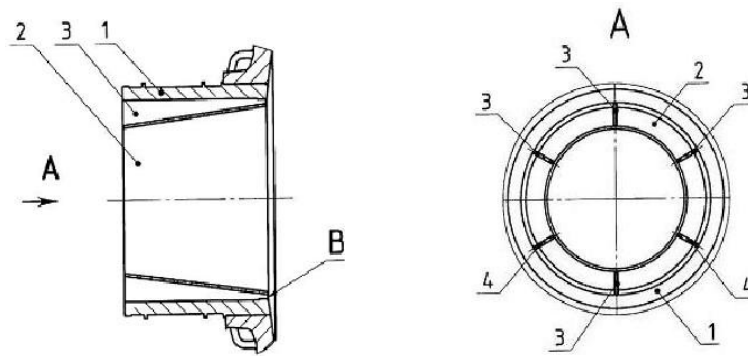


Рис.1.3. Циліндричний конус цапфи 1, футерувальний патрубок 2, проміжні елементи 3, опорні ребра 4.

Завантажувальна цапфа барабанного млина працює наступним чином.

Подрібнюваний матеріал подається з живильника (на кресленнях не показаний) на футерувальний патрубок 2. При обертанні барабана млина матеріал по конічній внутрішній поверхні патрубку 2 переміщається в камеру здрібнювання. У процесі роботи часточки подрібнюваного матеріалу проникають через зазор В кільцеву порожнину між корпусом 1 і футерувальним патрубком 2. Встановлені в цій порожнині опорні ребра 4 і клини 3 перешкоджають переміщенню матеріалу, що потрапив у кільцеву порожнину, по колу.

Як видно з опису конструкції і роботи завантажувальної цапфи барабанного млина за рахунок відмітних ознак корисної моделі виключається кругове переміщення матеріалу, який потрапив у кільцеву порожнину між корпусом цапфи і футерувальним патрубком, що зменшує знос цапфи, а, отже дозволяє підвищити довговічність барабанного млина. [2]

Патент № 101153 «Завантажувальна цапфа барабанного млина».

В основу корисної моделі поставлена задача - створити завантажувальну цапфу барабанного млина, що дозволяє знизити витрати на експлуатацію млина за рахунок технічного результату, який полягає в зменшенні зносу складових частин цапфи і скороченні часу її ремонту.

Поставлена задача вирішується тим, що в завантажувальній цапфі барабанного млина, корпус виконаний із двома конічними ділянками на внутрішній поверхні, що збільшуються по товщині від торців до центра, і розміщеним між ними кільцевим виступом, при цьому футерувальні плити закріплені безпосередньо на корпусі і виконані за формою з однієї сторони охоплюючими зазначений кільцевий виступ, а з іншого боку - зі скосом для сполучення з футерувальними плитами барабана.

Виконання корпусу з двома конічними ділянками на внутрішній поверхні, що збільшуються по товщині від торців до центра (рис. 1.4.),

забезпечує виведення з зазору між футерувальними плитами і корпусом цапфи часток подрібнюваного матеріалу, що проникли в цей зазор, убік камери здрібнювання, а також скидання з цапфи матеріалу, який потрапив на конічну ділянку з боку завантажувального пристрою в результаті протікання, що знижує інтенсивність зносу складових частин цапфи. При цьому кріплення футерувальних плит безпосередньо на корпусі і виконання їх за формою з однієї сторони охоплюючими кільцевий виступ, а з іншого боку - зі скосом для сполучення з футерувальними плитами барабана, дозволяє скоротити трудомісткість заміни зношених футерувальних плит під час ремонту.

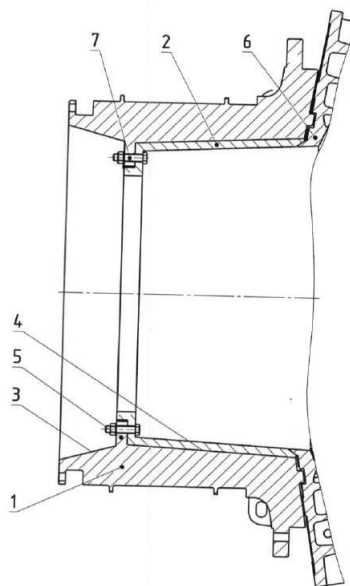


Рис. 1.4. Циліндричний корпус 1, футерувальні плити 2, конічні ділянки 3,4, кільцевий виступ 5, футерувальні плити зі скосом 6, болти 7.

За рахунок відмітних ознак корисної моделі зменшується абразивний знос складових частин цапфи і скорочується час її ремонту, що дозволяє знизити витрати на експлуатацію млина. [3]

Патент № 121532 «Завантажувальна цапфа барабанного млина».

В основу корисної моделі поставлена задача - створити завантажувальну цапфу барабанного млина, яка дозволяє знизити витрати на експлуатацію млина шляхом зменшення зносу її патрубків і вихідного патрубка завантажувального пристрою, за рахунок технічного результату, який полягає в зменшенні кількості пульпи, що потрапляє в зазор між кільцевим виступом і вихідним патрубком завантажувального пристрою.

Цей технічний результат досягається тим, що в завантажувальній цапфі барабанного млина, що містить корпус, в якому встановлений циліндричний патрубок зі шнековим конвеєром і кільцевим виступом, призначеним для сполучення з вихідним патрубком завантажувального пристрою, згідно з корисною моделлю, кільцевий виступ на циліндричному патрубку виконаний з уступом і заглибленням з боку шнекового конвеєра,

при цьому одна стінка заглиблення утворена стінкою патрубку, а друга - розташована до неї під кутом $8...15^\circ$.

Виконання кільцевого виступу з уступом і заглибленням з боку шнекового конвеєра, де одна стінка заглиблення утворена стінкою патрубку, а друга - розташована до неї під кутом $8...15^\circ$ (рис. 1.5.), забезпечує зміну напрямку відбитого від стінки шнекового конвеєра потоку пульпи, що зменшує кількість пульпи, яка потрапляє в зазор між кільцевим виступом і вихідним патрубком завантажувального пристрою.

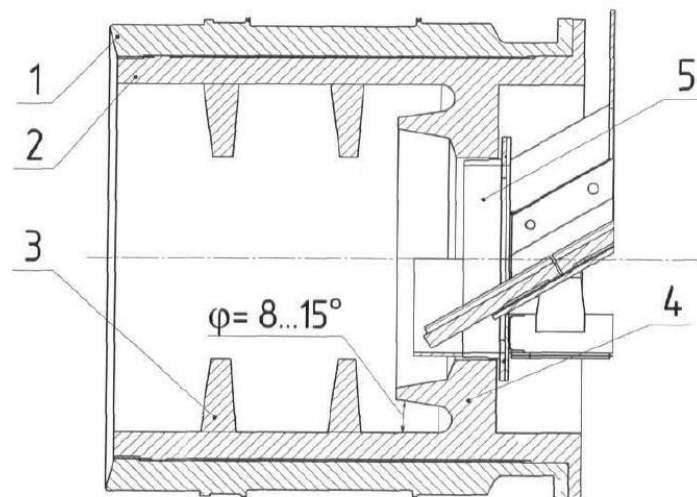


Рис. 1.5. Корпус завантажувальної цапфи 1, циліндричний патрубок 2, шнековий конвеєр 3, кільцевий виступ 4, вихідний патрубок 5.

За рахунок відмітних ознак корисної моделі зменшується кількість пульпи, що потрапляє в зазор між кільцевим виступом і вихідним патрубком завантажувального пристрою, що зменшує їх знос, а отже, дозволяє знизити витрати на експлуатацію млина.[4]

Розділ 2 Теоретичні дослідження

2.1. Дослідження кінетики процесу подрібнення

Для ефективного контролю над процесом подрібнення матеріалу в млині та визначення оптимальних умов його функціонування, необхідно мати розуміння динаміки цього процесу з плином часу, тобто ознайомлення з його кінетикою.

Під терміном "кінетика процесу подрібнення" розуміється закономірний спосіб, за яким зменшується залишкова крупність матеріалу на контрольному ситі протягом часу подрібнення. Вибір контрольного сита здійснюється на основі його розмірів, що відповідають граничній крупності подрібнення. Підрешітний продукт, що проходить через це сито, вважається готовим, тоді як надрешітний залишок визначається як матеріал, який ще не досягнув необхідної ступені подрібнення. Для вивчення кінетики подрібнення в млині періодичної дії проводять відбір проб через визначені інтервали часу та піддають їх аналізу на контрольному ситі. Результати цих досліджень відображають на графіку (рисунок 2.1), при цьому форма кривих залежить від характеристик подрібнюваного матеріалу і режиму подрібнення.

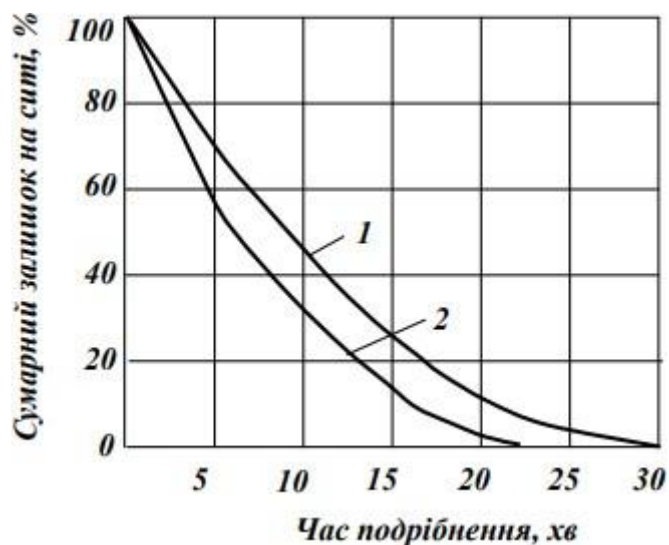


Рис. 2.1. Залежність виходу залишку на контрольному ситі від часу подрібнення. 1- клас +0,5 мм; 2 – клас 0,0074 мм.

2.2. Дослідження класифікації кульових млинів

Барабанні млини із обертовим барабаном класифікують по типу подрібнювального середовища, геометричній формі барабанів, способу розвантаження продукту із барабану та способу подрібнення.

Залежно від виду подрібнювального середовища розрізняють млини кульові, стержневі, рудногалькові, самоподрібнення та роликові.

В кульових млинах подрібнювальним матеріалом є сталеві або чавунні кулі одного або декількох розмірів. В стержневих млинах – сталеві стрижні одного або декількох діаметрів. Довжина стрижнів наближена до внутрішньої довжини барабана. В рудногалькових млинах у якості подрібнювального середовища використовують крупнокускові фракції, які виділені з подрібнювальної руди. В млинах самоподрібнювання подрібнювальним середовищем є великі шматки подрібнювальної руди.

По способу розвантаження подрібненого матеріалу розрізняють млини із центральним розвантаженням та розвантаженням через решітку. Млини із центральним розвантаженням використовують для кульового та стержневого помела. Готовий продукт в таких млинах видаляється вільним зливом через розвантажувальну цапфу, тому рівень пульпи в млині декілька вище нижньої утворюючої поверхні отвору розвантажувальної цапфи.

Млини з розвантаженням через решітку використовують для кульового та рудногалькового подрібнення, а також для самоподрібнення. Подрібнений матеріал видаляється через щілинні або круглі отвори решітки.

По способу подрібнення розрізняють млини мокрого та сухого помелу. При мокрому подрібненні матеріал захоплюється зливним потоком води, а при сухому – повітряним потоком, який виникає при відсмоктування повітря із барабана.

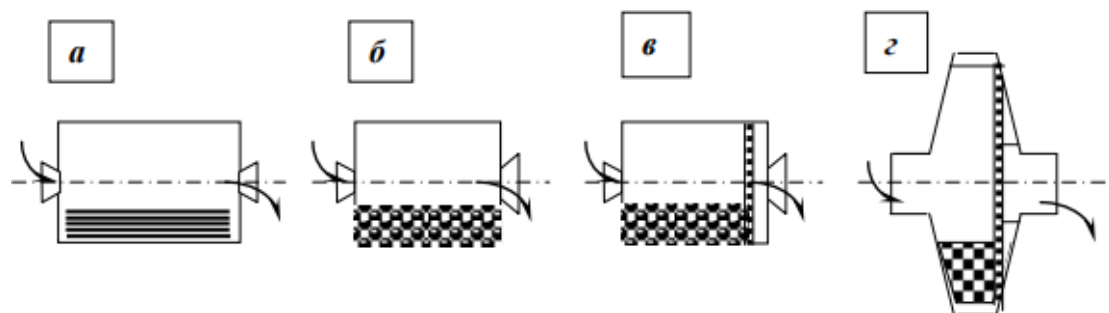


Рис.2.2. Схеми барабанних млинів:

- а) стержневий млин МСЦ;
- б) кульовий млин МШЦ;
- в) кульовий МКР або рудногальковий МРГ млини;
- г) млин мокрого самоподрібнення.

У залежності від форми барабана розрізняють млини циліндро-конічні і циліндричні. Останні бувають трьох типів: короткі, довгі і трубні. Короткі – $L < D$; довгі – $L = (2/3) D$; трубні – $l > 3D$.

2.3. Дослідження конструкції кульового млина

Барабанний млин (рис. 2.3) являє собою циліндричний барабан 1 з

торцевими кришками 2 і пустотілими цапфами 3, які опираються на підшипники ковзання 4. Вихідний матеріал завантажується через одну цапфу 3, а подрібнений продукт розвантажується через протилежну.

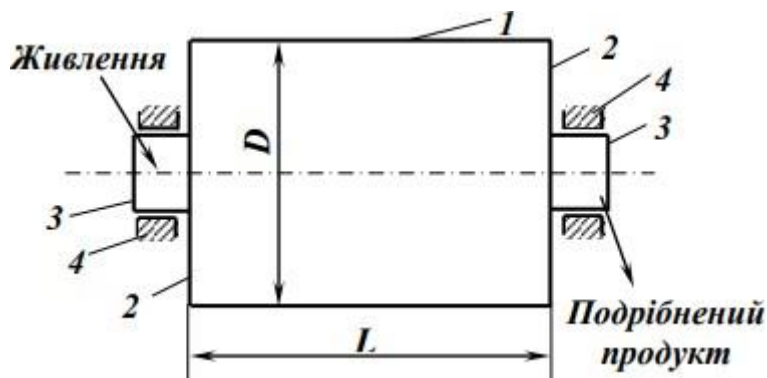


Рис. 2.3. – Схема барабанного млина. 1 – циліндричний барабан; 2 – торцеві кришки; 3 – цапфи; 4 – підшипники ковзання.

При обертанні барабана подрібнювальне середовище (стержні, кулі, грудки руди або рудна галька) і матеріал, що подрібнюється, завдяки тертю піднімаються на певну висоту, а потім сповзають, скочуються або падають униз. Подрібнення у млині відбувається за рахунок удару падаючого подрібнювального середовища, раздавлювання і тертя між шарами. [5, с. 144-145]

2.3.1. Кульовий млин із центральним розвантаженням (МШЦ)

Кульові млини з центральним розвантаженням встановлюють на другій і третій стадіях подрібнення (рідше на першій стадії). Вони застосовуються для додаткового подрібнення промпродуктів, а також для подрібнення тонковкраплених руд, коли переподрібнення негативно впливає на показники збагачення.

Кульовий млин з центральним розвантаженням (рис. 2.4) складається з циліндричного барабана 1 із торцевими кришками 2 і 14. Барабан і кришки футерують з середини стальними плитами 8 і 10. Торцеві кришки мають пустотілі цапфи 3 і 13, за допомогою яких барабан опирається на корінні підшипники 6 і 11. Обертання барабану передається від електродвигуна через вінцеву шестерню 9, закріплену на барабані.

Живильник 5 барабанного або комбінованого типу закріплений на завантажувальній цапфі. Пустотілі цапфи обладнані змінними завантажувальною і розвантажувальною лійками 4 і 12.

Млини невеликих розмірів мають люки 7 і 15 для введення футеровки в середину барабанів. У млинах великих розмірів ця операція виконується через розвантажувальну цапфу. Розвантажувальна цапфа має дещо більший діаметр ніж завантажувальна, що обумовлює нахил дзеркала пульпи у бік розвантаження у млині.

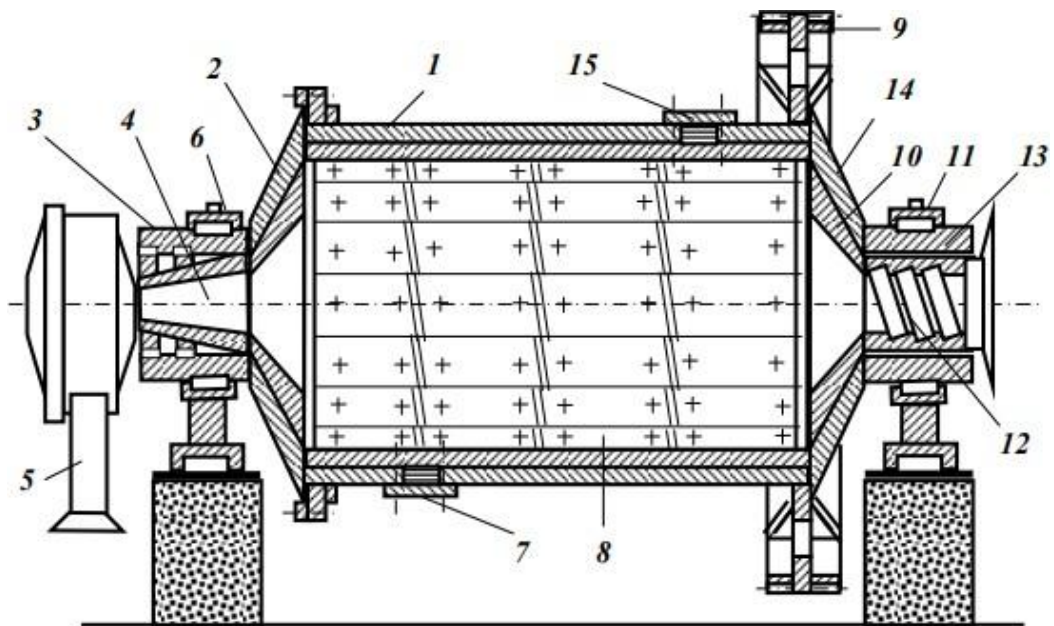


Рис. 2.4 – Кульовий млин з центральним розвантаженням. 1 – циліндричний барабан; 2, 14 – торцеві кришки; 3, 13 – пустотілі цапфи; 4 – завантажувальна лійка; 5 – живильник; 6, 11 – підшипники; 7, 15 – люки; 8, 10 – футеровочні плити; 9 – вінцева шестерня; 12 – розвантажувальна лійка.

У барабан завантажуються сталеві або чавунні кулі різного діаметра (від 40 до 150 мм). Об'єм куль складає приблизно половину об'єму млина. При обертанні барабана кулі сповзають, скочуються або падають і подрібнюють зерна корисної копалини. Подрібнення руди відбувається головним чином у результаті ударів подрібнювальних тіл і частково стиранням і роздавлюванням.

Вихідний матеріал завантажується у млин через завантажувальну цапфу, а подрібнений продукт вивантажується з млина через розвантажувальну цапфу. [5, с. 150-151]

2.3.2. Кульові млини з розвантаженням через решітку (МКР)

Кульові млини з розвантаженням через решітку (МКР) звичайно встановлюють на першій стадії подрібнення. Вони видають подрібнений продукт з меншим вмістом шламів і мають більшу питому продуктивність в порівнянні з кульовими млинами з центральним розвантаженням, але більш складні за конструкцією.

МКР (рис. 2.5) складається з циліндричного барабана 1 із торцевими кришками 2 і 6. Барабан і кришки футерують з середини стальними плитами 8, які закріплені болтами 9. Торцеві кришки мають пустотілі цапфи: завантажувальну 4 і розвантажувальну 14, за допомогою яких барабан опирається на корінні підшипники 3 і 15.

Усередині пустотілих цапф установлені змінні лійки. Біля розвантажувального кінця млина установлена решітка 10. Решітка

складається з секторів, які можуть бути литими з довгастими отворами або збірними з колосників трапецієподібної форми.

Секторні решітки кріпляться до торцевої кришки смугами з марганцевистої сталі на болтах. Простір між решіткою і торцевою кришкою розділено перегородками – ліфтерами 12 на секторні камери, які відкриті у цапфу 14.

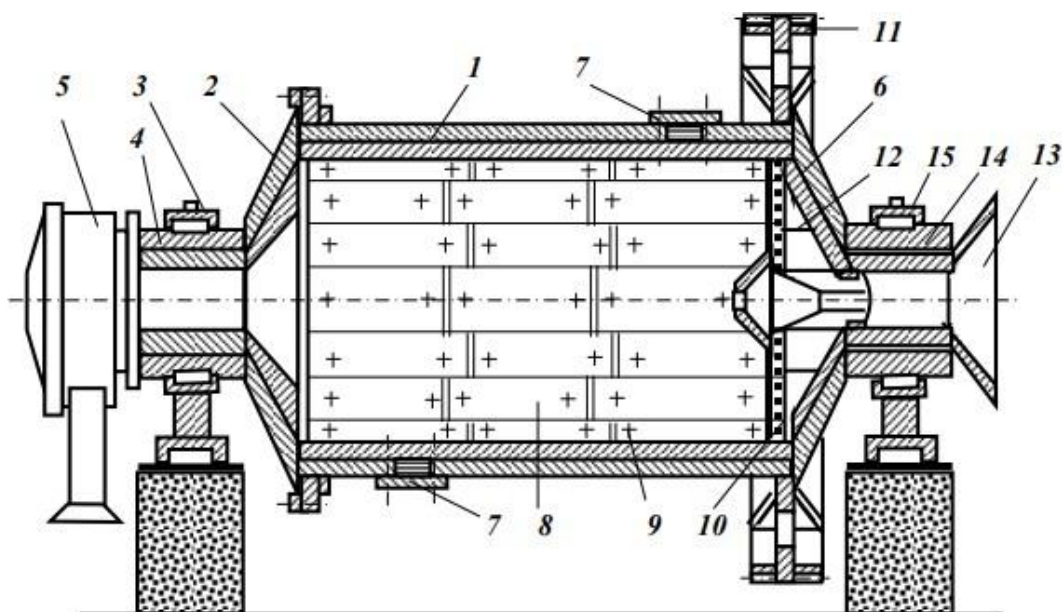


Рис. 2.5. – Кульовий млин з розвантаженням через решітку. 1 – барабан; 2, 6 – торцеві кришки; 3, 15 – підшипники; 4 – завантажувальна цапфа; 5 – живильник; 7 – люки; 8 – броньові плити; 9 – болти; 10 – решітка; 11 – вінцева шестерня; 12 – ліфтери; 13 – горловина; 14 – розвантажувальна цапфа.

Наявність решітки і секторних камер дозволяє здійснити примусове розвантаження подрібненого продукту з млина і підтримувати низький рівень пульпи, що у свою чергу спричиняє зменшення об'єму матеріалу у млині і скорочення часу подрібнення. При обертанні млина ліфтери 12 діють, як елеваторне колесо: піднімають пульпу до рівня розвантажувальної цапфи 14, через яку вона видаляється з млина.

У барабан завантажуються сталеві або чавунні кулі різного діаметра (від 40 до 150 мм). Об'єм куль складає приблизно половину об'єму млина. При обертанні барабана кулі сповзають, скочуються або падають і подрібнюють зерна корисної копалини. Подрібнення руди відбувається головним чином у результаті ударів подрібнювальних тіл і частково стиранням і роздавлюванням.

Вихідний матеріал завантажується у млин живильником 5 барабанного або комбінованого типу закріпленим на завантажувальній цапфі 4. Млини мають люки 7 для вивантаження зношених куль, введення футеровки в середину барабанів і огляду млина. Розвантажувальна цапфа має дещо більший діаметр ніж завантажувальна, що обумовлює нахил дзеркала пульпи у бік розвантаження у млині.

Обертання барабану передається від електродвигуна через вінцеву шестерню 11, закріплену на барабані. У млинах великих розмірів тихохідний електродвигун приєднується до приводного валу за допомогою еластичної муфти, а у млинах малих розмірів через редуктор. У млинах самоподрібнення вінцева шестерня закріплена на розвантажувальній цапфі. [5, с. 152-153]

2.3.3. Конструкція живильників

Равликовий живильник (рис. 2.6.) являє собою черпак спіральної форми з круглим отвором у боковій стінці для завантаження зачерпнутого матеріалу у млин. Фланець 3 живильника болтами кріпиться до цапфи барабану млина таким чином, щоб отвори цапфи і живильника збігалися.

Корпус 1 живильника виготовляється з листової сталі або відливається з легованого чавуну. На кінці черпака живильника кріпиться змінний козирок 2 з марганцевистої сталі або з легованого чавуну.

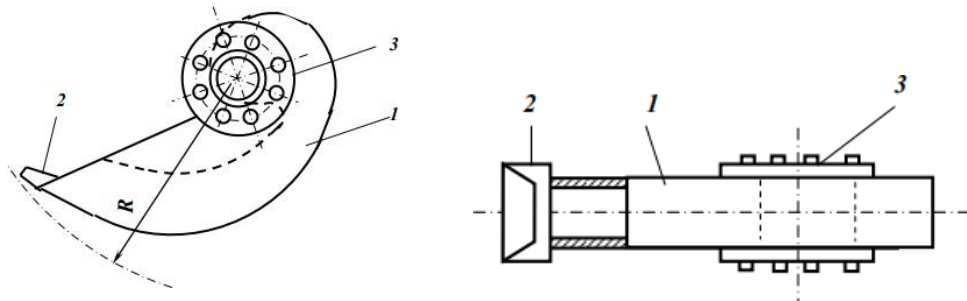


Рис. 2.6. – Равликовий живильник. 1 – корпус; 2 – козирок ; 3 – фланець.

Внутрішня поверхня живильника футерується стальними листами. Равликові живильники виготовляються одно-, двох- і трьох черпаковими. Поперечний перетин між спіралями живильника – прямокутний і має достатній розмір для проходження куль максимального діаметра.

Равликові живильники дозволяють завантажувати матеріал, що надходить на подрібнення, з більш низького рівня, що дає можливість встановлювати млини у замкненому циклі з класифікаторами.

Барабанний живильник (рис. 2.7) являє собою циліндроконічну камеру відкриту з обох сторін і обладнану внутрішньою перегородкою для подачі подрібнюваного матеріалу у млин.

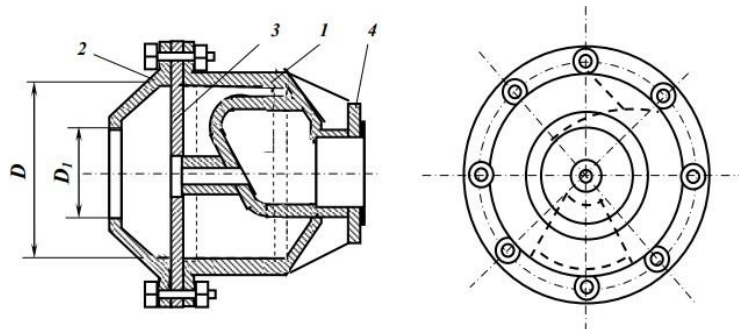


Рис. 2.7. – Барабанний живильник. 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – діафрагма; 4 – фланець.

Корпус 1 живильника відливається з чавуну або зварюється із сталевих листів. Збоку завантаження матеріалу до корпусу болтами кріпиться кришка 2 у формі усіченого конуса з круглим отвором при меншій основі для прийому матеріалу.

Між корпусом і кришкою встановлюється діафрагма 3 з листової сталі з секторним отвором для пропуску матеріалу на спіраль корпусу. Живильник кріпиться фланцем 4 до завантажувальної цапфи барабана млина. Барабанні живильники застосовуються для завантаження матеріалу крупністю до 70 мм на рівні осі млина.

Комбінований живильник (рис. 2.8.) застосовується для завантаження млина одночасно грудковим матеріалом і пісками класифікатора.

Вихідний матеріал завантажується через отвір кришки 4, а піски захоплюються черпаком із завантажувальної коробки, яка розташована нижче рівня осі млина. Перевагою комбінованого живильника є те, що крупний матеріал потрапляє у млин минаючи завантажувальну коробку для черпака равлика. Таким чином запобігається заклинювання крупних грудок між черпаком і днищем коробки. [5, с.146-149]

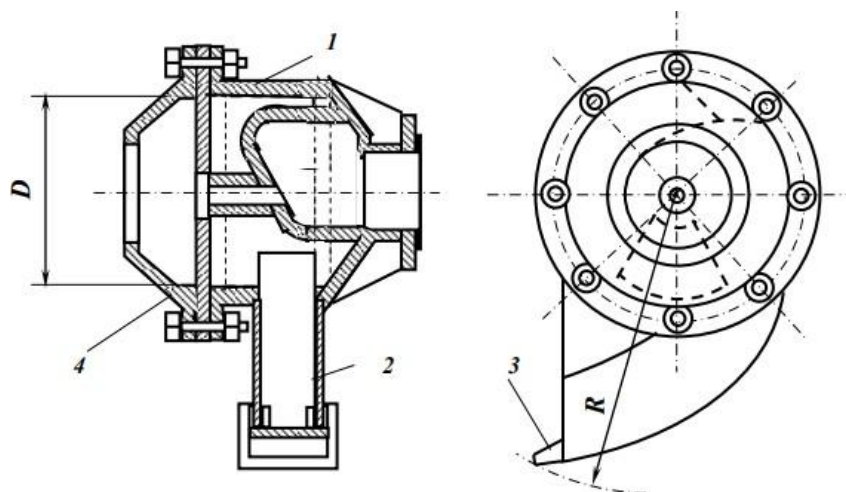


Рис. 2.8. – Комбінований живильник. 1-корпус; 2-черпак; 3-козирок черпака; 4-кришка.

2.4. Дослідження режимів подрібнення

Під час обертання барабана подрібнювальне середовище і подрібнювана руда під дією сил тертя і відцентрової сили притискаються до внутрішньої поверхні барабану, піднімаються на деяку висоту, з якої потім падають або скочуються вниз. Подрібнення відбувається внаслідок удару падаючого подрібнювального середовища, роздавлювання і тертя між шарами вмісту млина, що перекочуються. Поздовжнє переміщення матеріалу всередині барабана забезпечується перепадом рівнів завантаження і розвантаження та тиском матеріалу, який поступає у млин безперервно. Тому з боку розвантаження передбачена цапфа більшого діаметра, ніж з боку завантаження.

В залежності від характеристик вихідної сировини та вимог до крупності подрібнюваного продукту обирають режим подрібнення. Режим роботи барабанних млинів визначається частотою обертання барабана. Залежно від частоти обертання барабана млина розрізняють такі швидкісні режими руху подрібнювальних тіл: каскадний, водоспадний, змішаний і зі надкритичною швидкістю.

Каскадний режим руху подрібнювальних тіл (рис. 2.9) здійснюється при низькій частоті обертання барабана (0,5 – 0,6 критичної) та характеризується перекошуванням подрібнювальних тіл без їх польоту. Критичною називається частота, при якій починають центрифугувати тіла, розташовані на внутрішній поверхні барабана (рис. 2.10). Подрібнююче середовище разом із барабаном піднімається на деякий кут θ , а потім під дією гравітаційних сил скочується. При постійній частоті обертання висота підйому помольних тіл постійна. Подрібнювальні тіла безупинно циркулюють усередині барабана по замкненим траєкторіям. Подрібнювальні тіла піднімаються по колових траєкторіях *СДА* на певну висоту і потім скочуються «каскадом» рівнобіжними шарами вниз від точки *A* до точки *C*. У центральній частині подрібнювального середовища є малорухома зона – «ядро» (кулі заштриховані). Подрібнення матеріалу відбувається роздавлюванням і стиранням. Каскадний режим є найбільш сприятливим для стержневих млинів, тому що при водоспадному і змішаному режимі вільний політ стержнів може привести до їх перекосів і аварійної зупинки млина.

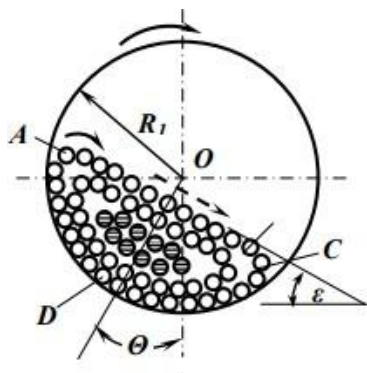


Рис. 2.9. Каскадний режим подрібнення

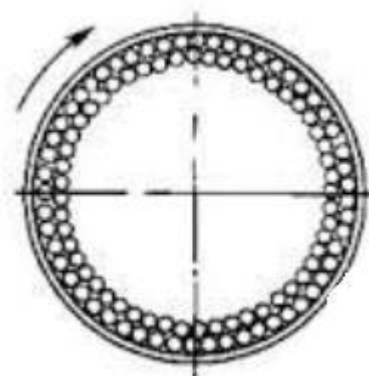


Рис. 2.10. Критичний режим подрібнення

Водоспадний режим здійснюється при високій частоті обертання барабана (0,7-0,8 критичної) (рис. 2.11). При такому режимі роботи млина основна маса подрібнювальних тіл піднімається по колових траєкторіях *BiDiAi* на велику висоту, у точках *Ai* відхиляється від колової траєкторії і падає «водоспадом» по параболічних траєкторіях *AiFiBi*. У точках *Bi* подрібнювальні тіла знов переходять на колові траєкторії відповідного шару. Подрібнення руди відбувається головним чином у результаті ударів подрібнювальних тіл і частково стиранням і роздавлюванням.

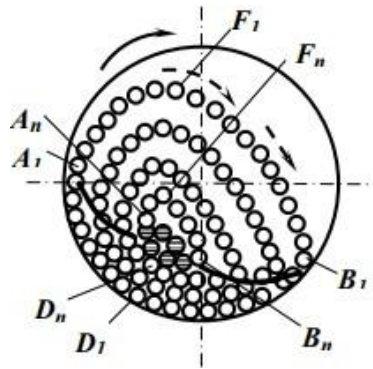


Рис. 2.11. Водоспадний режим подрібнення.

Змішаний режим руху подрібнювальних тіл (рис. 2.12) характеризується поступовим переходом від суто каскадного до суто водоспадного режиму. Даний режим реалізується при проміжних значеннях частоти обертання барабана (0,6-0,76 критичної). При такому режимі роботи зовнішня частина помольних тіл бере участь у вільному польоті по траєкторії AFB , внутрішня – перекочується усередині барабана по замкнутих траєкторіях $BCDA$. При змішаному режимі у каскадному русі беруть участь також кулі, що розташовані між зовнішніми шарами і малорухомим «ядром». Подрібнення здійснюється ударом, роздавлюванням і стиранням. Змішаний режим має місце при подрібненні руд у кульових млинах.

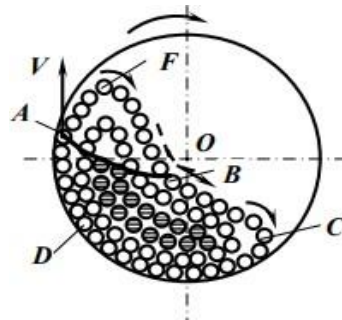


Рис.2.12. Змішаний режим подрібнення.

Субкритичний режим (рис. 2.13) - окремий випадок водоспадного режиму, що здійснюється за частоти обертання барабана, близької до критичної або рівної їй. При цьому більшу частину циклу подрібнювальні тіла рухаються по круговій траєкторії, і висота падіння їх незначна.

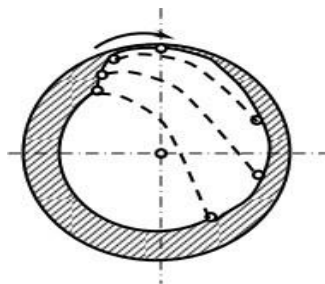


Рис. 2.13. Субкритичний режим подрібнення.

Надкритичний режим (рис. 2.14) настає при частоті обертання барабана вище критичної, коли у центрифугування поступово вступають все нові шари подрібнювального середовища. При центрифугуванні усіх шарів подрібнювального середовища млин уподібнюється маховому колесу, витрата корисної енергії і робота подрібнення при цьому дорівнюють нулю.

Режим центрифугування усього подрібнювального середовища має місце при критичній частоті обертання внутрішнього шару помольних тіл і характеризується концентричним розташуванням їх у млині.

Критичну частоту обертання (хв^{-1}) визначають за формулою:

$$n_{\text{кр}} = 30/\sqrt{R}, \quad (2.1)$$

Де R – радіус барабана з урахуванням товщини футерування, м.

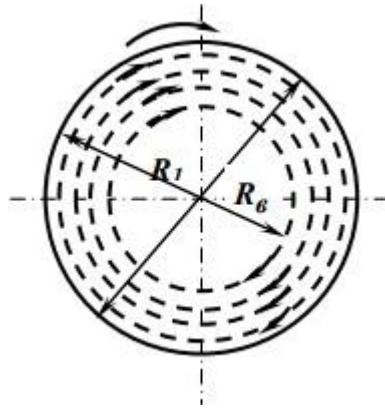


Рис. 2.14. Надкритичний режим подрібнення.

Млин може працювати за надкритичної частоти обертання барабана за умови, що помольні тіла ковзають поверхнею футерування і не набувають достатньої для центрифугування швидкості. Субкритичний режим нестійкий, оскільки під час зміни коефіцієнта тертя (за рахунок зміни міцності, крупності та вологості руди) млин може перейти в режим махового колеса. Під час вибору частоти обертання барабана млина, коли центрифугує тільки зовнішній подрібнювальний шар, може спостерігатися явище само футерування барабана.

Усі режими роботи млина пов'язані між собою і можуть переходити один в інший у залежності від зміни умов подрібнення (ступені заповнення подрібнювальними тілами φ , відносної частоти обертання ψ , зносу футеровки, фізико-механічних властивостей матеріалу, густини пульпи і т.д.).

Усі режими роботи млина пов'язані між собою і можуть переходити один в інший залежно від зміни умов подрібнення (ступеня заповнення помольними тілами φ , відносної частоти обертання ψ , зносу футерування, фізико-механічних властивостей матеріалу, густини пульпи тощо).

2.5. Дослідження потужності барабанних млинів

2.5.1. Подрібнювальне середовище барабанних млинів

Залежно від матеріалу подрібнювальних тіл розрізняють металеве і неметалеве подрібнювальне середовище, а залежно від форми металевих тіл – кульові, стрижневі та цильпепбні млини.

Під терміном "первинне навантаження подрібнювальних тіл" розуміється їхня загальна маса в барабані млина, а терміном "довантаження" позначається безперервна або періодична добавка подрібнювальних тіл у млин для компенсації їхнього зносу.

Сталеві кулі діаметром від 15 до 125 мм виготовляють прокатуванням, куванням або штампуванням із сталі з таким складом: 0,7 – 1,05 % С; 0,17 – 0,37 % Si; 0,25 – 1,65 % Cr; 0,25 – 0,3 % Ni; 0,02 – 0,045 % S; 0,02 – 0,45 % P; 0,2 – 1,2 % Mn, інше – Fe. Кулі повинні бути загартовані і мати твердість по Брінелю не менше 300 НВ – для куль діаметром 125 мм, не менше 400 НВ для куль діаметром 80 мм і менше. На поверхні куль не повинно бути тріщин, пухирів, сколів, плівок шлакових включень.

Під час роботи млинів на збагачувальних фабриках відбувається знос куль, стержнів, цильпепсів та футеровки млина через тертя при ковзанні та руханні матеріалів для подрібнення в абразивному середовищі. Цей знос виникає внаслідок взаємодії подрібнювальних тіл між собою та з футеровкою, а також від ударів цих тіл. Інтенсивність зносу залежить від наступних факторів: матеріалу, з якого виготовлені кулі, стержні, цильпепси та футеровка; розмірів матеріалів для подрібнення; абразивності, розміру та міцності оброблюваного матеріалу; методу подрібнення; характеристик середовища (кисле, лужне); конфігурації футеровки; швидкості роботи млина; розміру барабана млина; схеми подрібнення тощо.

На РЗФ оцінюють ступінь зношеності матеріалів для подрібнення на основі кількості матеріалу, який витрачається на обробку однієї тони руди. Показники витрати куль становлять від 1,2 до 2,2 кг на тонну, стержнів - від 0,4 до 0,5 кг на тонну, а футеровки - від 0,1 до 0,2 кг на тонну руди. Однак витрати сталі на обробку однієї тони руди не залишаються сталими через залежність від продуктивності млина, яка, в свою чергу, змінюється в залежності від властивостей руди. Більш надійним показником є витрата матеріалів для подрібнення, виражена у співвідношенні до одиниці витраченої корисної енергії на подрібнення. Таким чином, середня витрата сталевих куль виражена відносно 1 кіловат-год корисної енергії становить 0,09 кг, а стержнів - 0,12 кг.

Для компенсації зносу подрібнювальних тіл застосовується два способи довантаження:

– регулярне довантаження – метод, який включає додавання найбільших матеріалів для подрібнення, таких як кулі, стержні або рудна галька, одного конкретного розміру.;

– раціональне – підхід передбачає завантаження матеріалів для подрібнення різних розмірів з врахуванням певного співвідношення між масами тіл різних розмірів.

Згідно з даними експериментальних досліджень швидкість зношування кулі у млині, тобто зменшення її маси G_k в одиницю часу dt , пропорційна n -му степеню діаметра кулі:

$$\frac{dG_k}{dt} = -K_{зН} D^n, \quad (2.2)$$

де $K_{зН}$ – коефіцієнт зносу.

Показник ступеня n залежить від швидкісного режиму млина, якості металу подрібнювальних тіл і абразивності руди. При тихохідному режимі (каскадний з перекочуванням куль) показник $n = 2$, тобто швидкість зносу пропорційна поверхні кулі. При змішаному режимі (з польотом куль) показник $n = 2,3 - 2,5$. При швидкохідному режимі (заповнення $\varphi \approx 0,45$ і швидкість $\psi \approx 0,8$) показник $n = 3$, тобто швидкість зносу пропорційна масі або об'єму кулі.

При складанні первісного кульового завантаження млина його необхідно заповнювати кулями різних розмірів у відповідності з тією характеристикою крупності, яка спостерігається при сталому режимі.

Співвідношення кількості куль різного діаметру (крупні і дрібні) у кульовому навантаженні, тобто його характеристика крупності при регулярному довантаженні визначається за формулами:

- рівняння сумарної характеристики крупності кульового навантаження по «- D»:

$$\gamma + D = 100 \cdot \left(\frac{D^n}{D_m^n} \right), \quad (2.3)$$

- рівняння сумарної характеристики крупності кульового навантаження по «+ D»:

$$\gamma - D = 100 \cdot \left(\frac{D_m^n - D^n}{D_m^n} \right), \quad (2.4)$$

де D_m – розмір кулі максимального розміру, що міститься у навантаженні млина.

За гіпотезою Девіса показник ступеня $n = 3$, а за гіпотезою Мертсея і Прентиса – $n = 4$. При водоспадному режимі роботи млина кулі діють переважно ударом і їхній знос правильніше описується гіпотезою Девіса,

а при каскадному режимі кулі діють стиранням і їхній знос правильніше описується гіпотезою Мертсея і Прентиса.

При раціональному довантаженні, яке складається з суміші куль різного розміру $D_1, D_2, D_3 \dots D_n$, вихід куль крупних класів визначається сумою часткових виходів:

$$\gamma = (\gamma_1\beta_1 + \gamma_2\beta_2 + \gamma_3\beta_3 + \dots + \gamma_n\beta_n)/100, \quad (2.5.)$$

де $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ - коефіцієнти раціонування, які являють собою відношення маси куль даного розміру до загальної маси партії куль, що довантажуються одночасно.

Застосування довантаження у млин куль одного або різних розмірів залежить від крупності, гранулометричного складу, міцності і абразивності вихідного живлення, крупності готового продукту і умов роботи млина. [6]

2.5.2. Вплив маси і крупності подрібнювального середовища на роботу кульових млинів

Результативність барабаних млинів значно залежить від маси та розміру матеріалів у подрібнювальному середовищі, швидкості і кількості ударів подрібнювальних тіл по матеріалу в млині, обертової швидкості та рівня заповнення його подрібнювальним середовищем, коефіцієнту тертя матеріалу млина та інших факторів.

Маса кульового навантаження при даному ступені заповнення помольними тілами об'єму барабану визначається об'ємною масою подрібнювального середовища. Об'ємна маса кульового навантаження, у свою чергу, залежить від густини подрібнювальних тіл і ступеня заповнення ними об'єму, зайнятого кульовим навантаженням, тобто від характеру укладки куль при нерухомому барабані млина.

Густина δ сталевих куль складає 7,5 – 7,8 т/м³, чавунних – 7,1 т/м³, кременевої гальки 2,6 – 2,7 т/м³.

Практично кульове навантаження млина складається з тіл різного розміру, які безладно укладені у барабані. Експериментально встановлено, що суміш таких куль заповнює близько 60-62 % усього об'єму кульового навантаження, проміжки між кулями займають 38-40 % цього об'єму. Тоді об'ємна маса сталевих куль при заповненні ними 60 % об'єму навантаження складає:

$$\gamma_k = (7,5 \div 7,8) * 0,6 = 4,5 \div 4,7 \cong 4,6, \text{ т/м}^3$$

Маса кульового навантаження $M_{кн}$ у млині з внутрішніми розмірами $D \times L$ (м) при ступені заповнення кулями φ , визначається за формулою:

$$M_{кн} = \varphi \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) L \cdot \gamma_k = 3,6\varphi D^2 L, \text{ т} \quad (2.6)$$

При розрахунках корисної потужності барабаних млинів густину навантаження слід визначати з урахуванням заповнення пульпою порожнин між подрібнювальним подрібнювальними тілами (густина пульпи, Δ).

З урахуванням заповнення порожнин пульпою, об'ємна маса навантаження визначається за формулою:

$$\gamma_{\text{кн}} = \gamma_{\text{к}} + 0,4\Delta = 4,6 + 0,4\Delta, \text{ т/м}^3 \quad (2.7)$$

Для розмелювання великих і твердих матеріалів слід використовувати подрібнювальні тіла (кулі) великих розмірів, у той час як для менших і м'яких матеріалів використовують тіла менших розмірів. При постійному рівні заповнення млина зі зменшенням розміру куль кількість ударів в млині зростає. Тому рекомендується використовувати подрібнювальні тіла найменших можливих розмірів. Крім того, подрібнювання кулями однакового розміру менше ефективне, ніж у випадку, коли млин заповнений кулями різних розмірів.

Потенціальна енергія тіла, залежить від його маси та висоти падіння. У кінці параболічної траєкторії уся кінетична енергія подрібнювального середовища складає:

$$E_k = mv_p^2/2, \quad (2.8)$$

але на подрібнення матеріалу ударом витрачається тільки її частина:

$$E_n = mv_n^2/2. \quad (2.9)$$

Інша частина енергії витрачається на подрібнення руди роздавлюванням і стиранням тілами, що ковзають і перекочуються:

$$E_t = mv_t^2/2. \quad (2.10)$$

Зміною частоти обертання барабану можна змінювати E_n і E_k .

Якщо підставити у формулу (2.9) значення швидкості падіння тіла $v_n = 8 \cdot v \cdot \sin^3 \alpha \cdot \cos \alpha$ отримаємо:

$$E_n = m(8v \sin^3 \alpha \cos \alpha)^2 / 2 = (m/2) \cdot (8\pi D n \sin^3 \alpha \cos \alpha / 60)^2, \quad (2.11)$$

де $v = \pi D n / 60$ – колова швидкість падаючих тіл, м/с; D – діаметр падаючої кулі, м; n – частота обертання барабана, хв^{-1} ; α – кут відриву падаючих тіл, град.; m – маса тіла, кг.

За одне обертання через перетин $A_1 A_n$ (рис. 2.15) по коловим траєкторіям проходить такий об'єм подрібнювальних тіл:

$$V_n = \pi(R_3^2 - R_B^2)L = \pi R_3^2(1 - k^2)L, \quad (2.12)$$

де $k = R_B/R_3$ – співвідношення радіусів внутрішнього і зовнішнього шарів подрібнювальних тіл; L – довжина барабана, м.

За умови, що за час одного оберту барабана усе подрібнювальне середовище обернулося Z разів, можна записати:

$$\pi R_3^2 (1 - k^2) L = Z \varphi \pi R_3^2 L,$$

отже

$$Z = (1 - k^2) / \varphi, \quad (2.13)$$

де φ – коефіцієнт заповнення барабана подрібнювальним середовищем.

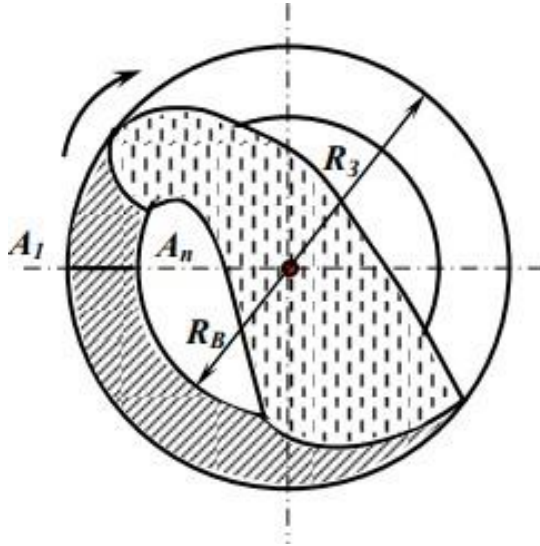


Рис. 2.15. Обертальність подрібнювального середовища у млині.

Значення параметра k приймається залежно від відносного заповнення подрібнювальними тілами φ і відносної швидкості ψ (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Значення параметра k для різних φ і ψ

φ-відносне заповнення барабана млина помольними тілами, %	Значення параметра k (частки одиниці) при відносній частоті обертання барабана ψ (%)						
	70	75	80	85	90	95	100
1	2	3	4	5	6	7	8
30	0,635	0,700	0,746	0,777	0,802	0,819	0,831
35	-	0,618	0,683	0,726	0,759	0,781	0,797
40	-	0,508	0,606	0,669	0,711	0,740	0,760
45	-	-	0,506	0,600	0,656	0,694	0,721
50	-	-	-	0,508	0,592	0,644	0,676

При $n = 42,3\psi/\sqrt{D}$ рівняння (2.6) можна записати у такому вигляді:

$$E_n = \frac{m}{2} \cdot \left(\frac{8\pi D \cdot 42,3\psi \sin^3 a \cos a^2}{60\sqrt{D}} \right) = AmD, \quad (2.14)$$

де

$$A = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{8\pi \cdot 42,3 \psi \sin^3 a \cos a}{60} \right)^2 = 157(\psi \sin^3 a \cos a)^2.$$

Якщо N зерен вихідного матеріалу масою m_1 кожне рухаються назустріч нерухомому подрібнювальному тілу масою m з швидкістю удару v_y , то їхня сумарна енергія буде:

$$E_y = Nm_1 v_y^2 / 2$$

Можемо прийняти, що $E_y = E_n$, тоді

$$Nm_1 v_y^2 / 2 = AmD. \quad (2.15)$$

Еквівалентний діаметр d_e подрібнювального тіла дорівнює:

$$d_y = 1,24 \sqrt[3]{m/\delta}, \text{ м} \quad (2.16)$$

де δ – густина подрібнювального тіла, кг/м^3 ; m – маса подрібнювального тіла, кг .

Після підстановки значення t з формули (2.15) одержимо:

$$d_y = 0,98 \sqrt[3]{Nm_1 v_y^2 / (AD\delta)}, \text{ м} \quad (2.17)$$

Як впливає з аналізу, розміри матеріалів для подрібнення залежать від маси зерен оброблюваного матеріалу, швидкості удару та діаметра куль в середовищі для подрібнення, яке досліджується.

Вибір розміру матеріалів для подрібнення виконується, враховуючи міцність та розмір вихідної руди, діаметр млина, відносну частоту обертання барабана та коефіцієнт заповнення його матеріалами для подрібнення, а також характеристиками вихідного матеріалу. При цьому кінетична енергія E_n подрібнювального тіла масою m повинна бути достатньою для руйнування матеріалу максимального розміру d та масою M , тобто

$$E_n \geq E_p M \quad (2.18)$$

де E_p – величина початкової питомої енергії руйнування зерен крупністю d , Дж/кг ; M – маса вихідного матеріалу, який зазнає удару подрібнювального тіла, кг .

Враховуючи К.К.Д. удару η і відношення радіусів внутрішнього і зовнішнього шару подрібнювальних тіл k у барабані маємо:

$$E_n \eta k \geq E_p M. \quad (2.19)$$

Після підстановки значення E_n з формули (2.15) отримуємо:

$$AmD\eta k = E_p M,$$

звідки

$$m = E_p M / AkD\eta, \quad (2.20)$$

де D – діаметр барабана млина; η – ККД використання енергії удару ($\eta=0,95$).

У кульових млинах підвищення продуктивності спостерігається при зменшенні крупності вихідного матеріалу та збільшенні розмірів отриманого продукту подрібнення. [6]

2.6. Дослідження продуктивності барабанних млинів

2.6.1. Фактори, які впливають на продуктивність млинів

Продуктивність барабанних млинів оцінюється за кількістю тонн подрібненого вихідного матеріалу на годину або на добу, за кількістю новоутворених поверхонь на тону протягом одиниці часу, а також за кількістю тон матеріалу новоутвореного розрахункового класу крупності (зазвичай - 0,074 мм) за одиницю часу.

Фактори, що впливають на продуктивність барабанних млинів можна розділити на три групи:

- технологічні фактори, які залежать від властивостей матеріалу – крупності вихідного матеріалу і подрібненого продукту, подрібнюваності руди;

- конструктивні фактори – залежать від конструкції млина, його розміру, форми футерування барабану;

- експлуатаційні фактори, що визначаються умовами роботи млина – будь то відкритий чи замкнений цикл, ефективність роботи класифікаційного апарата, ступінь заповнення млина матеріалом для подрібнення, характеристика розміру, форми, густини і твердості подрібнювальних тіл, концентрація пульпи, і швидкість обертання млина.

При експлуатації млинів впливати можливо тільки на фактори третьої групи, а також крупність вихідної руди і продукту подрібнення.

Існує прямо пропорційна залежність між продуктивністю млина та ступенем подрібнення матеріалу, його початковою крупністю та розмірами отриманого подрібненого продукту. На практиці встановлено, що оптимальна крупність живлення для стержневих млинів становить 15-20 мм, а для кульових – 10-15 мм (ці розміри можуть бути досягнуті після трьох стадіального подрібнення). Для млинів самоподрібнення оптимальна крупність живлення становить 300-500 мм (ці розміри можуть бути досягнуті за один етап подрібнення). Зменшення початкової крупності вихідного матеріалу та збільшення розмірів подрібненого продукту сприяють підвищенню продуктивності млина. Теоретичне обґрунтування цього висновку подає закон Ріттинґера:

$$6Q\delta^{-1}(d^{-1} - D^{-1}) = k_n N, \quad (2.21)$$

де Q – продуктивність млина; δ – густина вихідного матеріалу; D і d – середній розмір вихідного і подрібнюваного матеріалу; k_n – коефіцієнт пропорційності, який залежить від подрібнюваності матеріалу; N – корисна потужність, що споживається млином.

Якщо виразити через $\mathcal{E} = k_n/[6Q\delta^{-1}(d^{-1} - D^{-1})]$, тоді формулу (2.21) можна записати як:

$$Q = \mathcal{E}N . \quad (2.22)$$

Коефіцієнт пропорційності \mathcal{E} чисельно дорівнює кількості тон матеріалу, що подрібнюється за 1 годину часу і приходиться на одиницю споживаної потужності, тобто він являє собою ефективність подрібнення. Таким чином, при постійних умовах подрібнення матеріалу продуктивність млина пропорційна споживаній корисній потужності. На практиці встановлено, що корисна потужність складає від 75 % до 90 % від загальної споживаної потужності.

Між корисною потужністю і геометричними розмірами барабанного млина існує визначена залежність:

$$N = kD^{2,5 \div 2,6}L, \quad (2.23)$$

де k – коефіцієнт пропорційності; D і L – діаметр і довжина барабана млина.

Формула (2.23) вірна при визначеному і постійному режимах роботи млина. При збільшенні довжини кульового млина з решіткою і при роботі його у замкненому циклі разом із класифікатором необхідно знижувати його питому продуктивність. Оптимальне циркуляційне навантаження цих млинів при визначеному режимі роботи обернено пропорційне довжині їхнього барабана.

Якщо підставити значення N з формули (2.23) у формулу (2.22) і позначити $\mathcal{E}k = c$, то отримуємо:

$$Q = \mathcal{E}kD^{2,5 \div 2,6}L = cD^{2,5 \div 2,6}L. \quad (2.24)$$

Таким чином, при інших рівних умовах продуктивність млина пропорційна діаметру його барабана в степені $2,5 \div 2,6$ та його довжині. Показник степені D у кульових млинів складає $2,5$, у млинів самоподрібнення $2,6$.

Питома продуктивність, тобто продуктивність, що припадає на одиницю внутрішнього об'єму (при $a = 4c/\pi$) становить:

$$q = cD^{2,5 \div 2,6}L/(\pi D^2L/4) = 4cD^{0,5 \div 0,6}/\pi = aD^{0,5 \div 0,6}, \quad (2.25)$$

тобто питома продуктивність млина пропорційна діаметру його барабана в степені $0,5 \div 0,6$.

З викладеного витікає, що відношення питомих продуктивностей двох млинів, які подрібнюють один й той же матеріал при однаковому режимі роботи, дорівнює відношенню їхніх діаметрів в степені 0,5 ÷ 0,6:

$$q_2/q_1 = (D_2/D_1)^{0,5 \div 0,6}, \quad (2.26)$$

Продуктивність млина пропорційна витратам енергії на подрібнення, а витрати енергії пов'язані із ступенем заповнення млина подрібнювальним середовищем. З ростом ступеня заповнення ϕ млина подрібнювальними тілами зростає витрата енергії на подрібнення і досягає максимуму при ступені заповнення $\phi = 50\%$. Відповідно зростає й продуктивність млина.

Зі збільшенням відносної частоти обертання спостерігається зростання споживаної питомої потужності. У той же час продуктивність і вихід матеріалу класом - 0,074 мм, в перерахунку на 1 кВт·год, збільшуються приблизно в тому ж обсязі, що і частота. Однак це є справжнім лише до певної межі (для млинів типу "Аерофол" до $\psi = 0,95$; для млинів типу "Каскад" до $\psi = 0,85$). У разі наявності в живленні млина самоподрібнення значної кількості дріб'язку його продуктивність зменшується, оскільки відсутні достатні кількості великих грудок, які можуть ефективно розмелювати грудки середнього розміру. Руда подрібнюється повільно, переважно шляхом стирання. Оптимальні значення ступеня заповнення млина подрібнювальним середовищем (ϕ) і відносної частоти обертання барабана (ψ), при яких досягається максимальна ефективність подрібнення, наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Оптимальні значення ступеня заповнення млина подрібнювальним середовищем ϕ і відносної частоти обертання барабана ψ

Значення ϕ і ψ	Млин				
	Кульові	Стержневі	«Каскад»	«Аерофол»	Рудногальгові
1	2	3	5	6	7
$\phi, \%$	40-50	35-40	38-42	35-42	45-50
$\psi, \%$	75-80	65-70	70-75	85-95	75-85

Ступінь розрідження пульпи у млині визначає масу або об'єм твердого матеріалу, який знаходиться в ньому в конкретний момент часу, а також ефективність впливу подрібнювальних тіл. Загальний об'єм пульпи у млині майже постійний, отже, зі збільшенням вмісту води в пульпі вміст твердого матеріалу зменшується, і навпаки. При зменшенні кількості води густина пульпи зростає, що призводить до збільшення сил удару подрібнювальних тіл при їхньому русі у більш густому середовищі.

Продуктивність млина зростає пропорційно підвищенню ефективності класифікації. Низька ефективність класифікації негативно впливає на роботу млина, особливо при невеликих циркуляційних навантаженнях. Підвищення ефективності класифікації призводить до

зменшення кількості матеріалу, що повторно піддається подрібненню. Збільшення швидкості проходження матеріалу через млин, яке спостерігається при зростанні циркуляційного навантаження, сприяє підвищенню ефективності подрібнювального середовища, зменшенню ступеня повторного подрібнення і підвищенню продуктивності млина.

Вплив конструкції млинів та форми футеровки на їх продуктивність підтверджено на практиці. Млини, які працюють при низькому рівні пульпи, мають трошки вищу продуктивність, ніж ті, які працюють при високому рівні пульпи. Наприклад, продуктивність млинів із решіткою приблизно на 15% вища, ніж у млинів із центральним розвантаженням. Це пояснюється тим, що при низькому рівні пульпи елементи подрібнювального середовища працюють більш ефективно. Продуктивність млинів із гладкою футеровкою менша, ніж у млинів із ребристою футеровкою. [5, с. 202-204]

2.6.2. Розрахунок продуктивності барабанних млинів

Розрахунок продуктивності барабанних млинів проводиться з використанням методу подібності, заснованого на практичних даних з експлуатації млинів на аналогічному сировині при режимах, близьких до оптимальних. Розрахунки здійснюються на основі *питомої продуктивності* або *ефективності подрібнення*, враховуючи відмінності в подрібнюваності, крупності вихідного і подрібненого матеріалу, а також розмірах млинів і методах їхнього розвантаження.

За методом розрахунку за питомим навантаженням експериментально визначають питому продуктивність млина, який працює на фабриці (еталонного), за новоутвореним розрахунковим класом. За звичай розрахунковий клас дорівнює 0,074 мм.

Питома продуктивність проектного млина за новоутвореним розрахунковим класом визначається за формулою:

$$q = q_e k_n k_k k_T k_\phi k_\psi k_L k_D, \quad (2.27)$$

де q – питома продуктивність проектного млина за новоутвореним розрахунковим класом, т/год·м³; q_e – питома продуктивність еталонного млина за новоутвореним розрахунковим класом, т/год·м³; k_n – коефіцієнт, що враховує відмінності в подрібнюваності проектного до переробки руди і руди, що переробляється; k_k – коефіцієнт, що враховує розбіжності в крупності вихідного і кінцевого продуктів на діючій та проектній фабриках; k_T – коефіцієнт, що враховує розбіжності в типі проектного і працюючого млинів; k_ϕ – коефіцієнт, що враховує розходження в об'ємному заповненні проектного і працюючого млинів подрібнювальним середовищем; k_ψ – коефіцієнт, що враховує розходження в частоті обертання проектного і працюючого млинів; k_L – коефіцієнт, що враховує розходження в довжині барабанів

проектowanego і працюючого млинів; k_D – коефіцієнт, що враховує розбіжності в діаметрах барабанів проекowanego і працюючого млинів.

Коефіцієнт подрібнюваності руди k_n визначають у процесі досліджень проекowanego руди на подрібнюваність. Звичайно $k_n > 1$, якщо проекowana для переробки руда має меншу міцність від еталонної, і $k_n < 1$, якщо проекowana для переробки руда має більшу міцність від еталонної. Якщо міцність проекowanego для переробки руди і еталонної однакова, то коефіцієнт подрібнюваності $k_n = 1$.

Коефіцієнт крупності руди k_k визначається співвідношенням відносної продуктивності проекowanego і еталонного млинів:

$$k_k = m/m_e, \quad (2.28)$$

де m – відносна продуктивність проекowanego млина за новоутвореним розрахунковим класом при заданій крупності вихідного і кінцевого продуктів; m_e – те ж для еталонного млина.

Відносну продуктивність млини приймають відповідно до даних табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Відносна продуктивність млинів за новоутвореним класом – 0,074 мм залежно від крупності вихідного і кінцевого продукті

Крупність вихідного матеріалу, мм	Вміст класу –0,074 мм в кінцевому продукті, %						
	30	40	48	60	72	85	95
1	2	3	4	5	6	7	8
0-40	0,68	0,77	0,81	0,83	0,81	0,81	0,78
0-20	0,81	0,89	0,92	0,92	0,88	0,86	0,82
0-15	0,87	0,95	0,98	0,96	0,91	0,88	0,83
0-10	0,96	1,02	1,03	1,00	0,93	0,90	0,84
0-5	1,11	1,15	1,13	1,05	0,95	0,91	0,85
0-3	1,17	1,19	1,16	1,06	0,95	0,91	0,85

Графічна залежність продуктивності млинів за новоутвореним класом (рисунок 2.16):

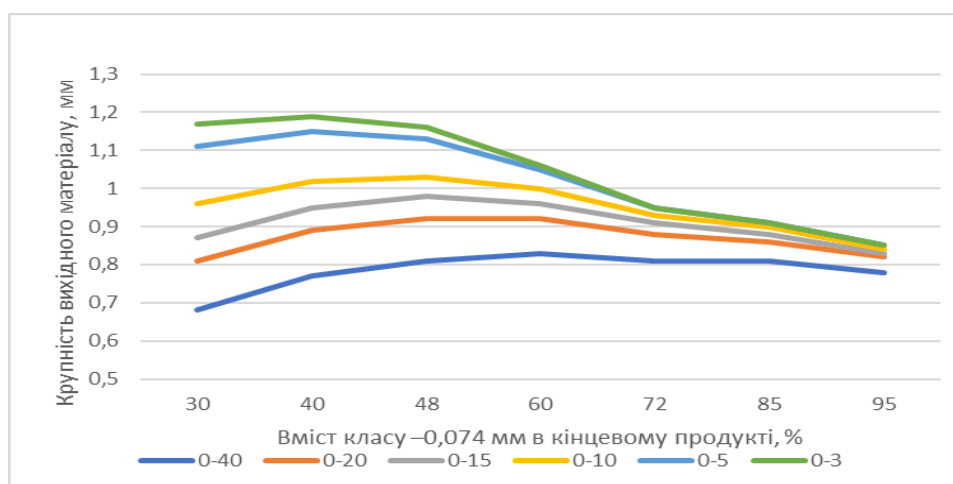


Рис. 2.16. Залежність продуктивності млинів за новоутвореним класом.

Аналіз діаграми відносної продуктивності млинів за новоутвореним класом – 0,074 мм показує, що ефективність процесу значно залежить від крупності вихідного матеріалу та вмісту класу –0,074 мм у кінцевому продукті. Загальна тенденція вказує на те, що збільшення крупності вихідного матеріалу та зниження вмісту класу –0,074 мм призводить до зменшення відносної продуктивності млинів. Оптимальні результати спостерігаються при вмісті класу –0,074 мм близько 85%. Зона між крупностями вихідного матеріалу 0-15 мм та 0-5 мм, при вмісті класу – 0,074 мм навколо 85%, визначається як зона високої відносної продуктивності, що може бути ключовою для оптимізації виробничих процесів.

Коефіцієнт типу млина k_T (табл. 2.4) враховується, якщо тип розвантаження проектного млина відрізняється від еталонного.

Таблиця 2.4. Значення коефіцієнта k_T

Співвідношення типів млинів	Проектований	МКЦ	МШЦ	МКР	МКР
	Еталонний	МКР	МКЦ	МКР	МКЦ
Значення k_T		1,1	1,0	1,0	0,9

Коефіцієнт частоти обертання k_ψ вводять при розбіжності між частотами обертання проектного ψ і еталонного ψ_e млинів (табл. 2.5):

$$k_\psi = \psi/\psi_e, \quad (2.29)$$

Таблиця 2.5. Граничні частоти обертання млинів

Тип млина	МСЦ	МКЦ і МКР об'ємом до 50 м ³	МКЦ і МКР об'ємом 50- 100 м ³	МКЦ і МКР об'ємом більше 100 м ³
$\psi, \%$	60-72	75-85	75-82	70-78

Середня насипна густина середовища при розрахунках приймається для куль 4,6 т/м³, для стержнів 6,6 т/м³.

Коефіцієнт довжини млина k_L визначають за формулою:

$$k_L = (L/L_e)^{0,15}, \quad (2.30)$$

де L і L_e – довжина проектного і еталонного млинів, м.

Коефіцієнт діаметра млина k_D визначають за формулою:

$$k_D = \sqrt{(D - 2t)/(D_e - 2t_e)}, \quad (2.31)$$

де D і D_e – діаметри проектного і еталонного млинів, м; t і t_e – товщина футеровки проектного і еталонного млинів:

$$t = 0,04 + 0,02D, \text{ м} \quad (2.32)$$

Продуктивність млина по вихідній руді:

$$Q = Vq(\beta_k - \beta_B), \text{ т/год} \quad , \quad (2.33)$$

де V – номінальний об'єм барабана проектного млина, м^3 ; q – питома продуктивність проектного млина за новоутвореним розрахунковим класом, $\text{т/год} \cdot \text{м}^3$; β_B і β_k – вміст розрахункового класу крупності відповідно у вихідному живленні і готовому кінцевому продукті, частки одиниць.

Визначивши продуктивність млинів декількох типорозмірів, необхідно зробити їхнє порівняння і вибрати варіант найменш метало- і енергоємний. Практично у всіх випадках доцільний перехід від використання млинів меншого об'єму до більшого.

Методика розрахунку за питомим навантаженням використовується для визначення продуктивності барабанних млинів зі сталевими подрібнювальними тілами.

Для млинів самоподрібнення використовується методика розрахунку за ефективністю подрібнення. [5, с. 205-209]

Розділ 3 Програма, методика та результати експериментальних досліджень

Завантаження кулями кульового млина є ключовим аспектом, визначальним для ефективності та результативності процесу подрібнення матеріалів. З розвитком промисловості та ростом вимог до якості подрібнювання, важливість правильного підбору та розміщення куль стає критичною для досягнення найкращих результатів. Також від ефективності та якості роботи млинів сильно залежать питомі витрати на електроенергію, так як саме процес подрібнення має найбільше енергоспоживання в процесах збагачування корисних копалин.

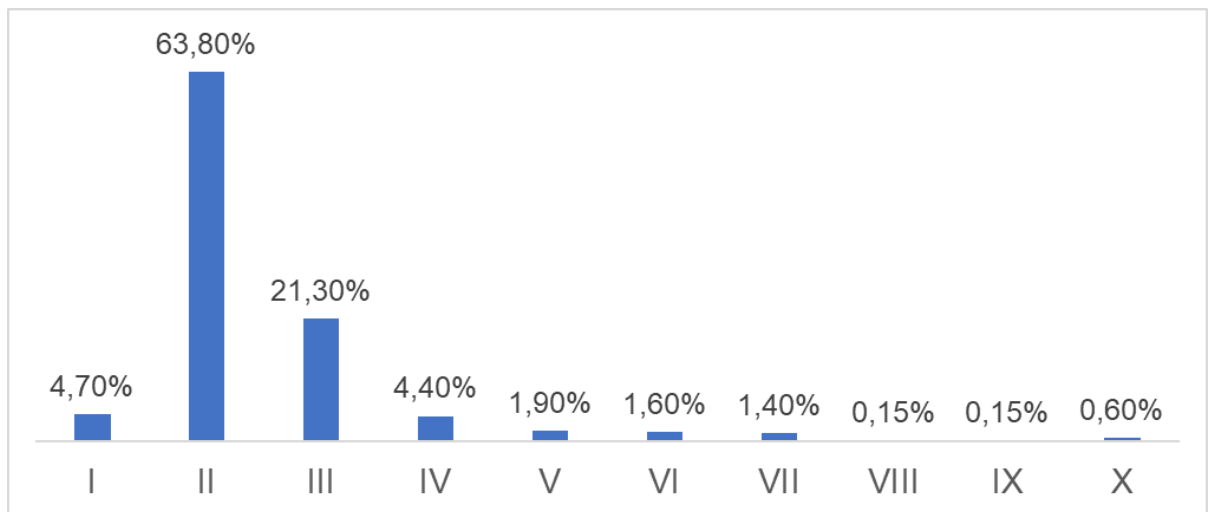


Рис.3.1. Діаграма розподілу енергоспоживання по окремих процесах на дробильно-подрібнювальних комплексах ГЗК: I – дроблення; II – подрібнення; III – транспорт пульпи; IV – конвеєрний транспорт; V – зневоднення; VI – магнітна сепарація; VII – сантехнічне устаткування; VIII – класифікація; IX – освітлення; X – інші споживачі

Проблематика завантаження помольними тілами кульового млина визначає ряд важливих аспектів, які впливають на ефективність та результативність процесу подрібнення матеріалів. Завантаження кулями в кульових млинах стає ключовою частиною оптимізації роботи обладнання, адже правильний вибір розміру та матеріалу куль, а також їхнє розміщення, визначають якість подрібнення та енергоефективність системи.

Ця проблематика охоплює такі аспекти, як рівномірне розподіл завантаження, мінімізація зносу куль, оптимальна кількість та розмір куль для конкретного матеріалу. До того ж, врахування особливостей та параметрів самого кульового млина, таких як його режим роботи, швидкість обертання барабана, конструктивні особливості, є ключовими для досягнення найкращих результатів у виробничому процесі.

Через конструктивні недоліки завантажувальних патрубків, що використовуються, на першій стадії подрібнення РЗФ під час завантаження куль у млини доводиться знімати навантаження і припиняти

подавання руди в середньому на 4,5 хвилини, що спричиняє втрати продуктивності секцій. При завантаженні куль без зняття навантаження існує ймовірність забивання тічки і припинення подачі руди в млин на більш тривалий період. У шарпетках старої конструкції зношення футерування призводило до гальмування кулі і, як наслідок, - забивання завантажувальної тічки.

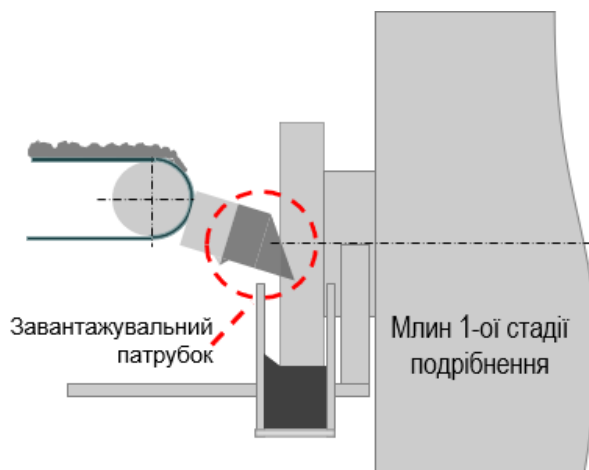


Рис.3.2. Завантаження млина помольними тілами

3.1. Мета та методи експериментальних досліджень

Проводження експериментальних досліджень мало на меті перевірку достовірності аналітичних залежностей, які були в основі розробленої теорії.

Метою експериментальних досліджень було:

- дослідження фізичної суті процесу вдосконалення кульового живильника з врахуванням параметрів млина;
- перевірка достовірності основних аналітичних висновків;
- оцінити функціональність, результативність та якість роботи кульового живильника з урахуванням характеристик барабанного млина.

Експериментальні дослідження включали лабораторно-стендові дослідження і лабораторні випробування.

Метою проведення лабораторно-стендових досліджень було:

- отримання основних характеристик;
- вивчення фізичного характеру розробки пристрою для подачі помольних тіл кульового живильника з урахуванням параметрів млина;
- встановлення взаємозв'язку між характеристиками обладнання та функціонуванням кульового живильника, враховуючи параметри млина;

- аналіз отриманих експериментальних даних на основі порівняння з основними теоретичними дослідженнями.

3.2. Перелік використаної апаратури, обладнання

Об'ємна частка млина, яку займають гірські породи, помольні тіла та суспензія, є ключовими факторами, які визначають потужність і швидкість подрібнення у млинах.

Розглянемо декілька методів визначення ступеня заповнення млина помольними тілами.

3.2.1. Метод фізичного виміру заповнення млина.

Фактичний ступінь заповнення млинів кулями визначають шляхом вимірювання об'єму куль у барабані млинів під час їхньої зупинки: вимірюють відстань від верхньої точки футерування барабана до рівня кульового завантаження. За встановленим розміром a і відомим внутрішнім діаметром барабана D млина визначають:

- відстань b (мм) від центру барабана млина до рівня кульового завантаження

$$b = a - 0,5D, \quad (3.1)$$

- фактичний ступінь заповнення φ (%) млина подрібнювальним середовищем

$$\varphi \approx 50 - 127b/D, \quad (3.2)$$

У таблиці 3.1. наведені значення ступеня заповнення помольними тілами млинів в залежності від відстані поверхні куль до осі барабану.

Таблиця 3.1. Значення ступеня заповнення помольними тілами млинів в залежності від відстані поверхні куль до осі барабану

Відстань від поверхні куль до осі барабану, мм	Діаметр барабану млина геометричний (чисельник) та у світі (знаменник), мм					
	$\frac{3200}{3000}$	$\frac{3600}{3350}$	$\frac{4000}{3750}$	$\frac{4500}{4200}$	$\frac{5000}{4700}$	$\frac{5500}{5200}$
1	2	3	4	5	6	7
0	50	50	50	50	50	50
50	47,8	48	48,3	48,4	48,6	48,9
100	<u>45,6</u>	46,2	46,5	47	47,2	47,9
150	43,6	<u>44,3</u>	<u>44,9</u>	<u>45,4</u>	<u>45,7</u>	46,2
200	<u>41,5</u>	<u>42,5</u>	43,1	43,9	44,6	<u>45</u>
250	39,5	40,3	<u>41,5</u>	<u>42,5</u>	43,3	43,9
300	37,4	38,6	39,8	40,9	<u>41,9</u>	42,7
350	35,3	36,7	38,2	39,5	40,4	<u>41,4</u>
400	33,1	35,4	36,6	37,9	39,3	40,1
450	31,2	33,1	35	36,5	37,9	39
500	29,2	31,2	33,4	35	36,6	37,9

550	27,2	29,6	31,5	33,4	35,2	36,6
600	25,3	27,7	29,9	31,8	34	35,5
650	23,5	25,8	28,3	30,6	32,7	34,2
700	21,5	24,1	26,8	29,2	31,2	32,9
800	-	20,8	23,7	26,4	28,7	30,7
900	-	17,5	20,5	23,5	25,4	28,4
1000	-	-	-	20,9	23,7	26,2
1100	-	-	-	18,3	21,3	23,9
1200	-	-	-	15,8	18,9	21,7

Примітка. Підкреслені цифри, які обмежують оптимальну ступінь заповнення млина кулями.

Для виконання вищеописаного методу необхідно увійти в обмежений простір млина, що пов'язано з певним ризиком для безпеки та потенційно тривалою зупинкою секції.

3.2.2. Метод вимірювання заповнення млина лазерним далекоміром

Цей метод надає інженерам та дослідникам більш безпечний і ефективний спосіб кількісної оцінки рівня заповнення в промислових прогалинах і кульових млинах. Крім того, він дозволяє аналізувати профіль поверхні без необхідності вирівнювання вмісту та уникає необхідності входити в млин.

Оцінка наповнення виконується ззовні млина (із завантажувальної цапфи). Вимірювання проводиться за допомогою лазерних далекомірів, які мають вбудовані датчики нахилу на 360 градусів. Типами далекомірів є моделі Leica Geosystems Disto D8 і D810, встановлені на штативі, встановленому на цапфі фрези, як показано на рисунку 3.3. Навіть при тому, що цапфа подачі є найбільш підходящим місцем для вимірювань, можливі вимірювання з розвантажувальної цапфи.

Точні вимірювання наповнення млина мають важливе значення для правильної оцінки продуктивності млина, а швидкість вимірювання має значний вплив на обсяги виробництва. [8]

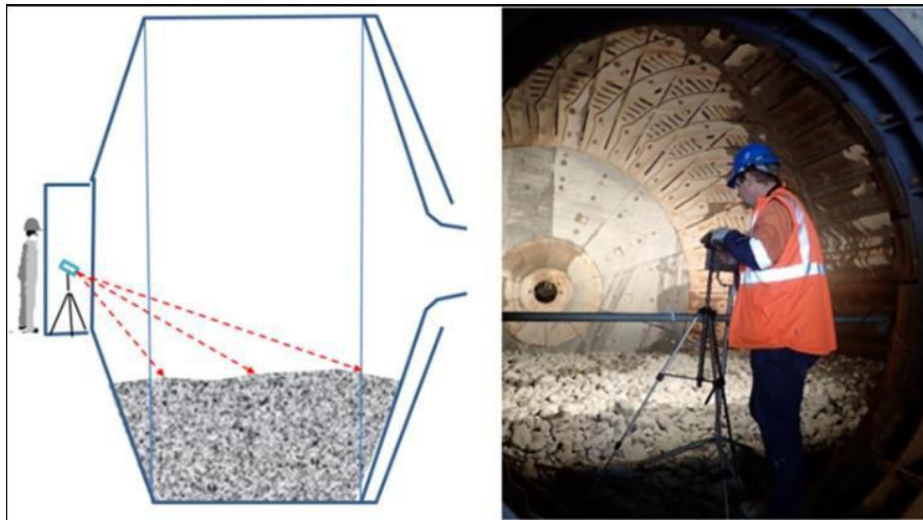


Рис.3.3. Вимірювання наповнення млина лазерним далекоміром з завантажувальної цапфи.

3.3. Результати досліджень із аналізом отриманих результатів

3.3.1. Оцінка навантаження в кульовий млин за допомогою інструментальних помольних середовищ.

Моніторинг навантаження на млин є критичним для оптимізації та контролю процесу подрібнення. У цьому дослідженні запропоновано використовувати інструментальне шліфувальне середовище для визначення твердого навантаження всередині кульового млина, порівнюючи розмір і щільність інструментальних куль зі звичайним шліфувальним середовищем. Використовувався вбудований тривісний акселерометр для вимірювання сигналу прискорення. Сигнал був оброблений для отримання вхідних даних для моделі опорно-векторної машини (SVM). Експерименти з різними навантаженнями були класифіковані згідно індексу ефективності шліфування та відповідного енергоспоживання. Для визначення оптимальних параметрів в SVM моделі використовували оптимізатори, такі як рой частинок (PSO), генетичний алгоритм (GA) і пошук сітки (GS). Результати вказують на високу точність оптимізатора рою частинок, яка досягає 96,67%.

Експерименти із шліфування були проведені на лабораторному цементному кульовому млині 5x5. У ході експерименту використовувалися рудні зразки гірського асфальту, які перед подрібненням були дроблені (60,0% частинок менше 3 мм) та добре перемішані.

У даному дослідженні розроблено метод оцінки навантажувального стану кульового млина, використовуючи інструментальні помольні тіла. Інструментальний шліфувальний матеріал може виявляти прискорення ударів в працюючому млині. Виявлено чітку різницю у формі сигналу при різних станах навантаження. На рисунку 3.4. показано різниця сигналу при різних навантаженнях. [7]

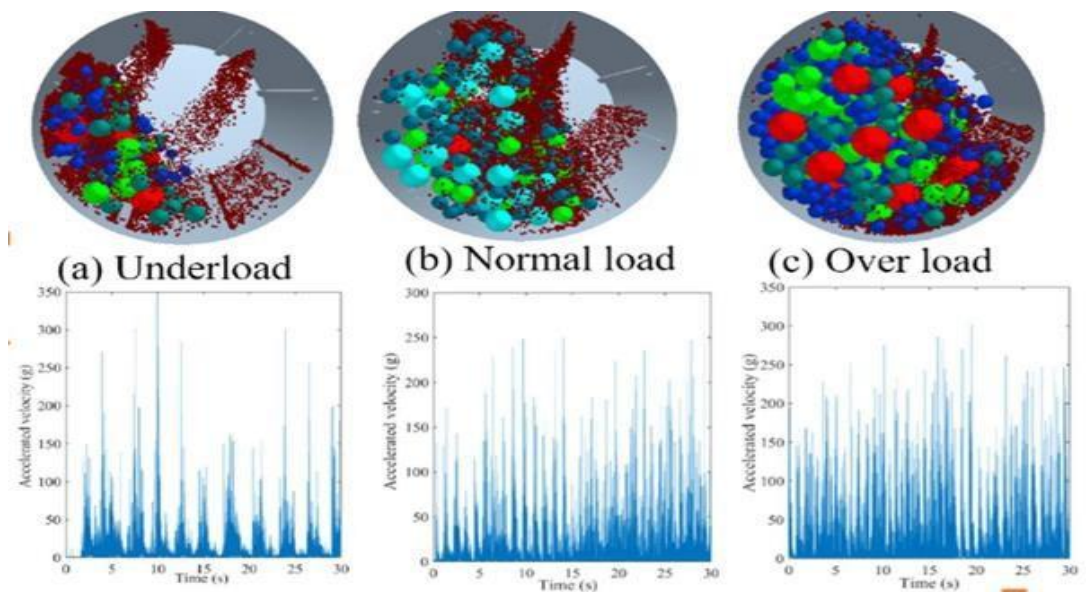


Рис.3.4. Різниця сигналу інструментальних куль при різних навантаженнях млина: а – недостатнє навантаження; б – нормальне навантаження; с – перевантаження.

3.3.2. Модернізація процесу завантаження кулями барабанного млина

Експериментальні дослідження мають значний вплив на виробничі процеси в різних галузях. Вони сприяють вдосконаленню та оптимізації виробничих процесів, розширенню технологічних можливостей та підвищенню якості та продуктивності.

У моєму експерименті з завантаженням млинів помольними кулями, я розумію, що теоретичне дослідження виробничих процесів є надзвичайно важливим. Це дослідження дозволяє мені ідентифікувати та оцінювати проблемні зони, які можуть уповільнювати або знижувати ефективність виробництва. Завдяки цьому, я можу не лише виявити ці проблеми, але й кількісно оцінити їх вплив, що є критично важливим для планування бюджету на модернізацію та впровадження нововведень.

Такий аналіз сприяє підвищенню сталого розвитку мого підприємства, зменшенню витрат ресурсів та впливу на довкілля. Він також забезпечує моєму підприємству конкурентну перевагу у світі, де технології постійно змінюються, допомагаючи мені швидко ідентифікувати та впроваджувати ефективні рішення. В цілому, я вважаю, що теоретичне дослідження є ключовим елементом стратегічного планування та удосконалення виробничих процесів на моєму підприємстві.

Проведене дослідження входить у загальний аналіз діяльності нашого виробництва, особливо в контексті оптимізації ефективності кульових млинів. Основна мета цього дослідження - визначення та оцінка втрат, як часових, так і матеріальних, що виникають через технічні дефекти, пов'язані з відсутністю автоматизації управління технологічним

процесом. Головна мета дослідження полягає в виявленні слабких точок у виробничому процесі, які потребують модернізації, а також у розробці стратегій для їх виправлення чи мінімізації.

Дослідження, яке проводимо, спрямоване на збільшення продуктивності, зменшенню витрат на ремонт барабанних кульових млинів.

У рамках цього дослідження пропонується вдосконалити кульовий живильник барабанного млина, а саме встановити в патрубок (рис. 3.5.) завантаження пристрій, який буде автоматично відкриватися/зачинятися через деякий проміжок часу, що дасть змогу порційно подавати помольні тіла в завантажувальну цапфу без зняття рудного навантаження.

Для виміру точної кількості та обліку помольних тіл, які потрібно завантажити в млин також пропонується встановити Модуль обліку витрати тіл млинами РЗФ.

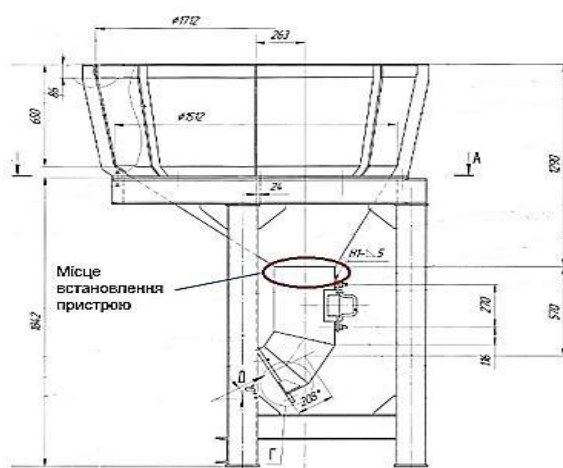


Рис. 3.5. Місце встановлення пристрою для порційної подачі куль

3.3.3. Модуль обліку витрати тіл млинами РЗФ. Автоматичне регулювання та інтеграція інформації в АСДК

Для точного контролю завантаження кубеля помольними тілами та для їх точного обліку необхідно змонтувати в районі ділянок кульових господарств дві платформні ваги для зважування кубелів.

Враховуючи габаритні розміри та об'єм наповнення кубелів обираємо платформні ваги з наступними технічними характеристиками:

Найменша межа зважування, кг	40
Найбільша межа зважування, кг	5000
Ціна поділу основної шкали, кг	2
Розмір платформи, не менше:	1200x1200
Інтерфейс зв'язку з ПК (ПЛК)	RS-485

Далі необхідно встановити два АРМ майстра ділянки кульового господарства відповідно до стандарту «Робітничих станцій АСУТП».

Встановити у серверній РЗФ сервер СУБД обробки даних та зв'язку із зовнішніми системами відповідно до стандарту «Серверного обладнання АСУТП»

При розробці інтерфейсу обробки даних витрат помольних тіл, інформації про фактичну вагу тіл, що завантажуються, в кульовий живильник і даних контрольних вимірів враховувати наступне:

- введення фактичних (базових) залишків тіл, що мелють для кожного кульового млина;
- здійснення ручних транзакцій щодо введення коефіцієнтів витрати тіл, що мелють (для всіх стадій подрібнення) з прив'язкою до дати і часу;
- здійснення ручних транзакцій щодо введення даних про фактичну вагу тіл, що завантажуються, і даних контрольних вимірів з прив'язкою до дати і часу;
- здійснення автоматичних погодинних транзакцій, що забезпечують для кожного млина РЗФ обчислення: фактичного обсягу переробленої руди за годину з урахуванням часу роботи; витрати тіл, що мелють; залишку тіл попередньої години, що мелють; залишок тіл, що мелють на поточний момент;
- здійснення передачі даних до системи АСУТП секції про кількість завантажених куль з урахуванням циркуляційного навантаження;
- підготовку звітних форм в експортному форматі Excel АСДК про фактичну витрату помольних тіл млинами РЗФ;
- візуалізацію (індикатори) на екранах технологічного процесу РЗФ фактичного залишку помольних тіл.

При розробці модуля обліку витрати помольних тіл створити інтерфейси введення даних: коефіцієнтів питомої витрати тіл, що мелють, а також інформації про фактичну вагу тіл, що завантажуються, і даних контрольних вимірів з прив'язкою до дати і часу:

Поле	Опис
Signal_ID	Унікальний ідентифікатор млина чи коефіцієнта
Date_Time	Дата та час
Value	Значення

Для кожного млина передбачити погодинну транзакцію, що забезпечує цілісність даних:

Поле	Опис
Signal_ID	Унікальний ідентифікатор млина
Date_Time	Дата та час
Ore_Value	Фактичний обсяг переробленої руди за годину, у тонах, з урахуванням часу роботи млина
FC_MT	Коефіцієнт витрати тіл, що мелють (на підставі даних інтерфейсу введення коефіцієнтів)

Cons_MT	Витрата помольних тіл, т
Previous_MT	Завантаження, тонн (на підставі даних інтерфейсу введення інформації про фактичну вагу тіл, що завантажуються)
Load_MT	Залишок помольних тіл, на поточний момент, т

На екранах візуалізації технологічного процесу РЗФ передбачити індикатори фактичного залишку куль у млинах.

3.3.4. Результати експериментальних досліджень

Планова кількість тіл, що завантажуються, за період визначається в залежності від фактичного добового виробництва концентрату і встановленої норми витрати тіл, що мелють, по стадіях подрібнення.

Завантаження млинів 1 стадії подрібнення проводиться тілами, що мелють діаметром 100 мм; млинів 2 стадії подрібнення – діаметром 40 мм; млинів 3 стадії подрібнення – діаметром 40 мм.

Кількість помольних тіл (W , в тонах), що завантажуються на добу, визначається за формулою:

$$W = Q \cdot k / 1000, \quad (3.3)$$

де Q – фактичне виробництво концентрату на добу, т; k – коефіцієнт витрати куль на перероблену руду.

Питома витрата куль на перероблену руду для куль різного діаметру складає:

- для куль діаметром 100 мм першої стадії подрібнення – 0,579 кг/т;
- для куль діаметром 40 мм другої стадії подрібнення – 0,294 кг/т;
- для куль діаметром 40 мм третьої стадії подрібнення – 0,195 кг/т

На рисунку 3.6. зображено заповнення помольними тілами млина МКР 3,6x4,0 I стадії подрібнення на РЗФ за один календарний місяць (нормальне завантаження млина $\approx 40\%$).



Рис. 3.6. Діаграма заповнення млина МКР 3,6x4,0 I стадії подрібнення на РЗФ за один календарний місяць.

3.4. Висновки

В даному розділі розглянута проблема завантаження кульового млина помольними тілами по причині конструктивної особливості кульового живильника. Ця проблема зумовлена тим, що при нерегульованому завантаженню млина кулями, у великій кількості одразу, частина куль потрапляє до шахти равликового живильника, що в свою чергу призводить до швидкого зносу черпаків, обриву хоботів равликового живильника, а також необхідністю знімати рудне навантаження на млин. В свою чергу відсутність автоматичної системи обліку витрат помольних тіл призводить до не точної кількості завантаження помольних тіл, ручного обліку витрат куль та їх кількості в млинах.

Для вирішення цих проблем пропонується:

- Встановити в завантажувальний патрубок кульового живильника пристрою, який буде порційно подавати кулі у цапфу завантаження, що дасть змогу завантажувати млин без зняття рудого навантаження;
- Встановити платформні ваги для вимірювання точної кількості завантаження кубеля помольними тілами. Інтегрувати в діючу систем АСУТП дані про кількість завантажених куль, їх витрату, залишок в млині.

Розділ 4 Розділ з економіки

Для розрахунку економічного ефекту від впровадження запропонованих змін необхідно проаналізувати виробничі показники кульового млина, кількість завантажень помольними тілами та час, який витрачається на завантаження, тобто млин працює без рудного навантаження.

У таблиці 4.1. наведені вхідні дані для розрахунку.

Таблиця 4.1. Вхідні дані для розрахунку

Вихідні дані	Од. вимірювання	Типорозмір млина		
		4,0*5,0	3,6*4,0	3,6*5,5
1	2	3	4	5
Кількість млинів	Од	1	1	1
Продуктивність, P	т/год	205	105	115
Кількість завантажень на місяць, n	Од	12	9	9
Час завантаження, t	Хв	3,5		
Вихід концентрату, q	Долі од.	0,4		
Маржа концентрату	\$/т	30		
КВО млина, k	Долі од.	0,95		

Для початку виконаємо розрахунок для одного млина кожного типу.

Фактична продуктивність одного млина розраховується в залежності в КВО:

$$P_{\phi} = Pk, \quad (4.1)$$

Тому для:

- Млина 4,0*5,0 – $205 \cdot 0,95 = 195$ т/год;
- Млина 3,6*4,0 – $105 \cdot 0,95 = 100$ т/год;
- Млина 3,6*5,5 – $115 \cdot 0,95 = 109$ т/год.

Час, який витрачається на завантаження млина переведемо с хвилин в години: $t = 3,5/60 = 0,058$ год.

Розрахуємо втрати продуктивності під час завантаження млина помольними тілами (при знятті рудного навантаження):

$$Q_{\pi} = P_{\phi} \cdot t, \quad (4.2)$$

Для кожного типу млинів отримаємо:

- Млина 4,0*5,0 – $195 \cdot 0,058 = 11,31$ т/год;
- Млина 3,6*4,0 – $100 \cdot 0,058 = 5,8$ т/год;

- Млина 3,6*5,5 – 109*0,058 = 6,32 т/год.

Далі розрахуємо втрати концентрату Q_3 в місяць враховуючи загальну кількість завантажень:

$$Q_3 = Q_{пq} \cdot n. \quad (4.3)$$

Виконавши розрахунок для кожного типорозміру млина отримаємо:

- Млин 4,0*5,0 – 11,31*0,4*12 = 54,3 т/міс = 54,3*12 міс = 651 т/рік;
- Млина 3,6*4,0 – 5,8*0,4*9 = 20,9 т/міс = 27,8*12 міс = 251 т/рік;
- Млина 3,6*5,5 – 6,32*0,4*9 = 22,8 т/міс = 22,8*12 міс = 273 т/рік.

Загальна сума економічного ефекту для кожного типу млина становитиме:

$$(651 \text{ т/рік} + 251 \text{ т/рік} + 273 \text{ т/рік}) * 30 \text{ \$/т.} = 35,25 \text{ тис. \$/рік.}$$

Загальні висновки

В роботі розглянуто технологічний процес рудозбагачувальної фабрики. В ході проведення аналізу виявлені недоліки в процесі завантаження кульового млина помольними тілами та запропоноване вирішення даної проблеми шляхом модернізації цього процесу.

Виконавши аналіз технологічного процесу рудозбагачувальної фабрики, процесу завантаження помольними тілами кульового млина, а також патенти можна зробити висновок, що при існуючому способі завантаження є декілька недоліків:

– Завантаження кубеля помольними тілами без ваг (в таровані мірні ємності) або з крановими вагами не дає можливість завантажити точну кількість куль, що приводить до недозавантаженості млина або до його перезавантаженості.

Недостатня завантаженість млина помольними тілами призводить до неякісного подрібнення руди, що в свою чергу впливає на якість кінцевого продукту, а також необхідністю повернення пульпи на додаткове подрібнення (не раціональна експлуатація млинів, додаткові витрати на енергоресурси).

Перезавантаження млина помольними тілами призводить до більшого зносу футерування барабану, куль. Також із перезавантаженням витрачається більше електроенергії.

– При нерегульованому завантаженню млина кулями через кульовий живильник, у великій кількості одразу, велика частина куль може потрапити до шахти завантаження, що в свою чергу призводить до швидкого зносу черпаків, обриву хоботів равликового живильника і далі призводить до аварійної зупинці млина та тривалого простою технологічного обладнання в ремонті.

При існуючому процесі завантаження помольних тіл необхідно знімати рудне навантаження на млин, що приводить до втрат виробництва готового продукту.

Також в роботі був проведений аналіз кульових млинів, а саме досліджено конструкцію, режими подрібнення, потужність та продуктивність.

Враховуючи конструктивні та технологічні особливості кульових млинів, важливо розуміти, що результати їх ефективності подрібнювання та енергозаощадження залежать від численних факторів. Серед них ключовими є: крупність вхідних фрагментів породи, розмір та розподіл помольних тіл, обертова швидкість барабана, форма та матеріал футеровки, а також обсяг завантаження при сухому та мокрому подрібнюванні.

Запропоновано вдосконалити процес завантаження млина помольними тілами за рахунок внесення змін (встановлення пристрою да порційної подачі куль) в конструкцію кульового живильника, що дасть змогу виконувати завантаження без зняття рудного навантаження на млин.

Запропоновано встановити на кульових господарствах платформних ваг із інтеграцією в діючу систему АСУТП для автоматизації обліку використання помольних та точного виміру кількості завантажувальних куль.

Список використаних джерел.

1. Вайсберг В.М.// Експлуатація дробильних і подрібнювальних установок. – 1989 р.. – с. 89-91.
2. Токарев Ю.О., Мартиненков С.Л., Токарев О.О., Протиняк І.С., Вовненко Є.М., Петров А.Г.// Патент № 73751 Завантажувальна цапфа барабанного млина – 2012р.
3. Мартиненков С.Л., Яковенко С.О., Токарев О.О., Петров А.Г.// Патент № 101153 Завантажувальна цапфа барабанного млина – 2015р.
4. Глинський І.В., Носков С.В., Токарев О.О., Курноскін К.О., Макаренко Д.Б.// Патент № 121532 Завантажувальна цапфа барабанного млина – 2017р.
5. Сокур М.І., Білецький В.С., Єгурнов О. І., Воробйов О. М., Смирнов В.О., Божик Д.П.// Підготовка корисних копалин до збагачення, монографія – Кременчук 2017р., с. 144-153, 202-209
6. Білецький В.С., Смирнов В.О.// Розрахунок потужності споживаної барабанними млинами.
7. Ting Wang, Wenjie Zou, Ruijing Xu, Huaibing Xu, Le Tao, Jianjun Zhao, Yi He// Minerals Engineering, 2021.
8. Marko M. Hilden, Malcolm S. Powell, Mohsen Yahyaiei// Minerals Engineering, 2021.

Додатки

Рис.1.1. Приклад технологічної схеми РЗФ (одна секція).

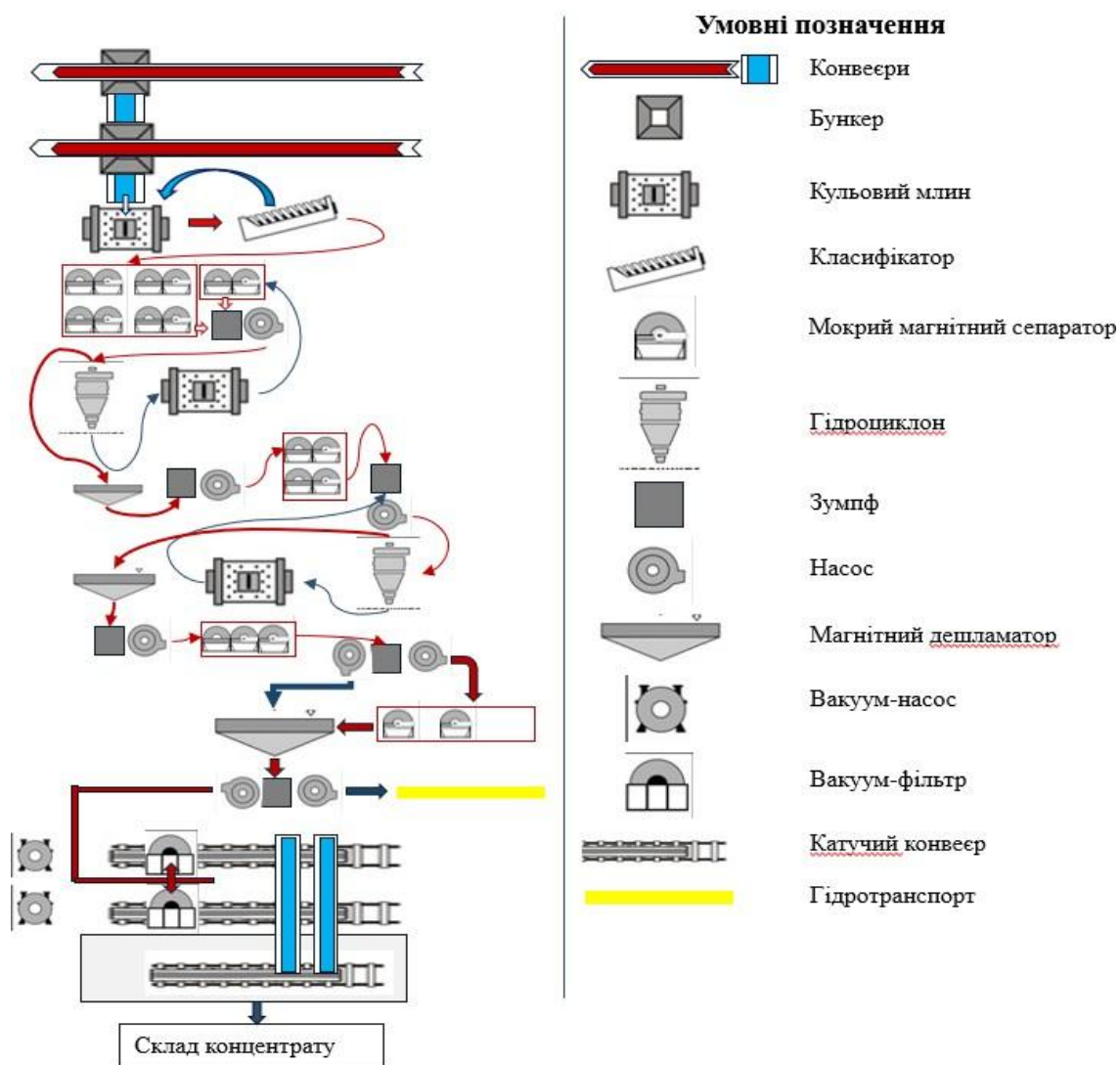


Схема 1.1. Кульове господарство № 1.

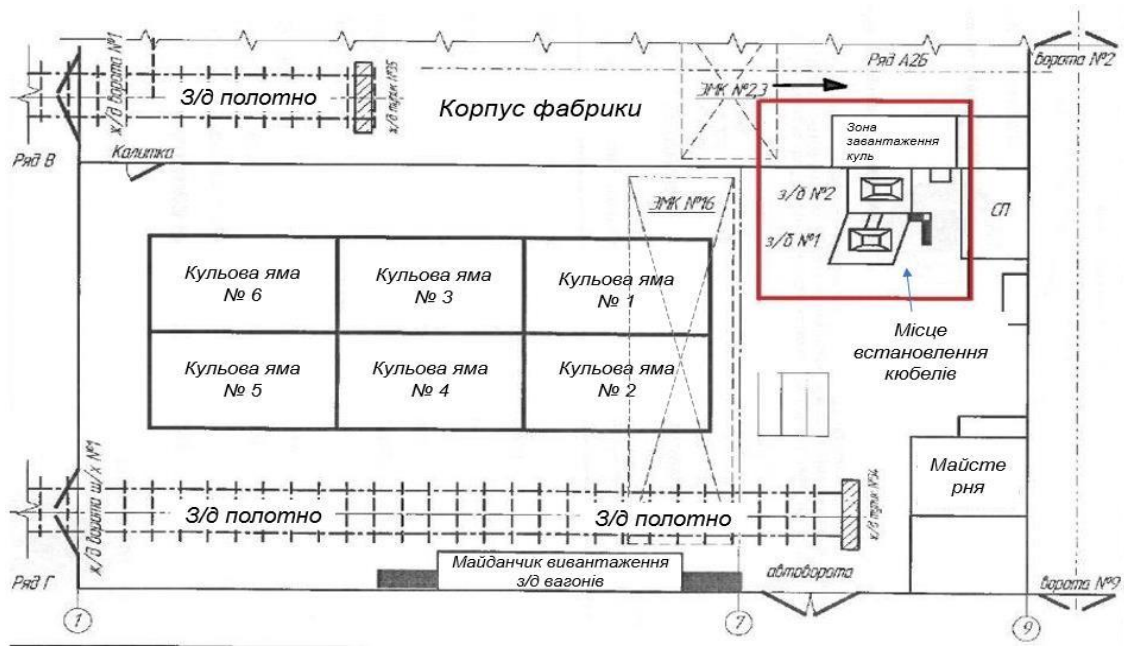


Схема 1.2. Кульове господарство № 2.

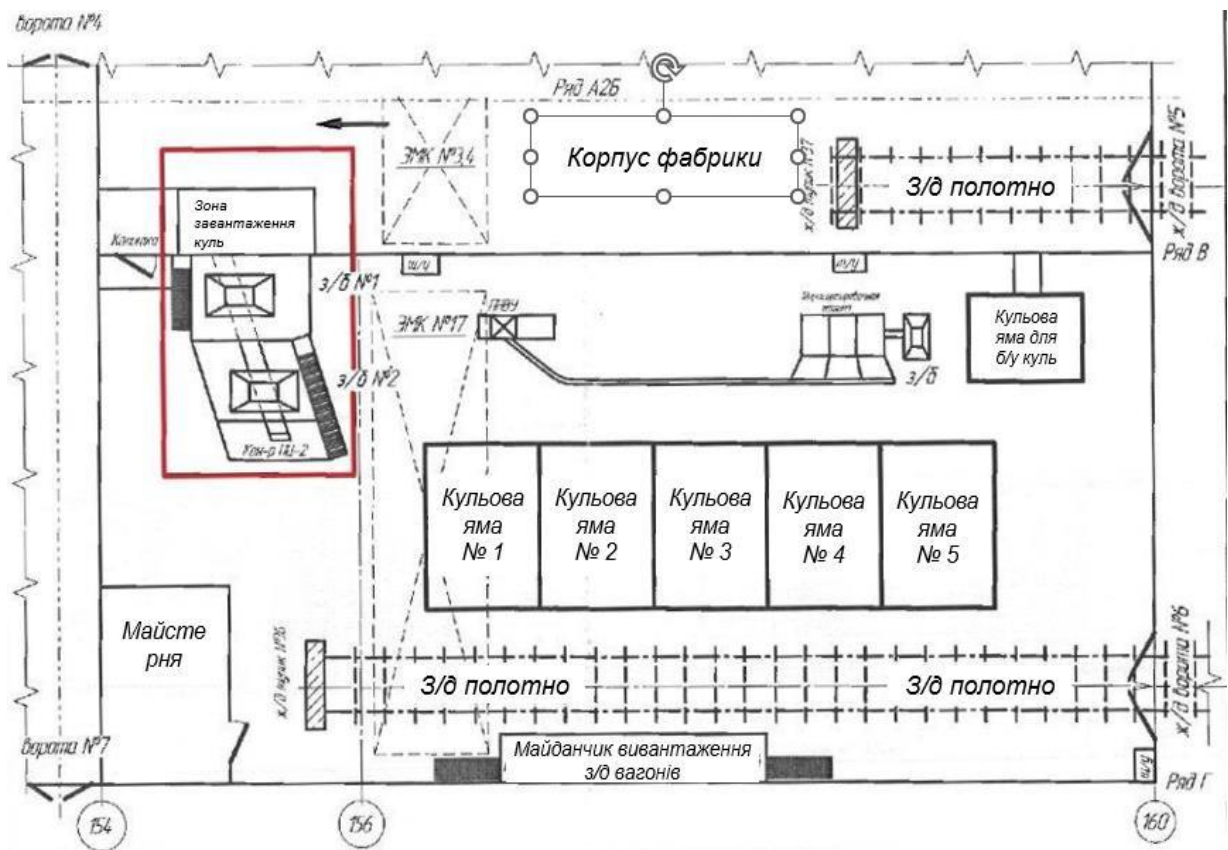


Схема 1.3. Завантаження кубеля.

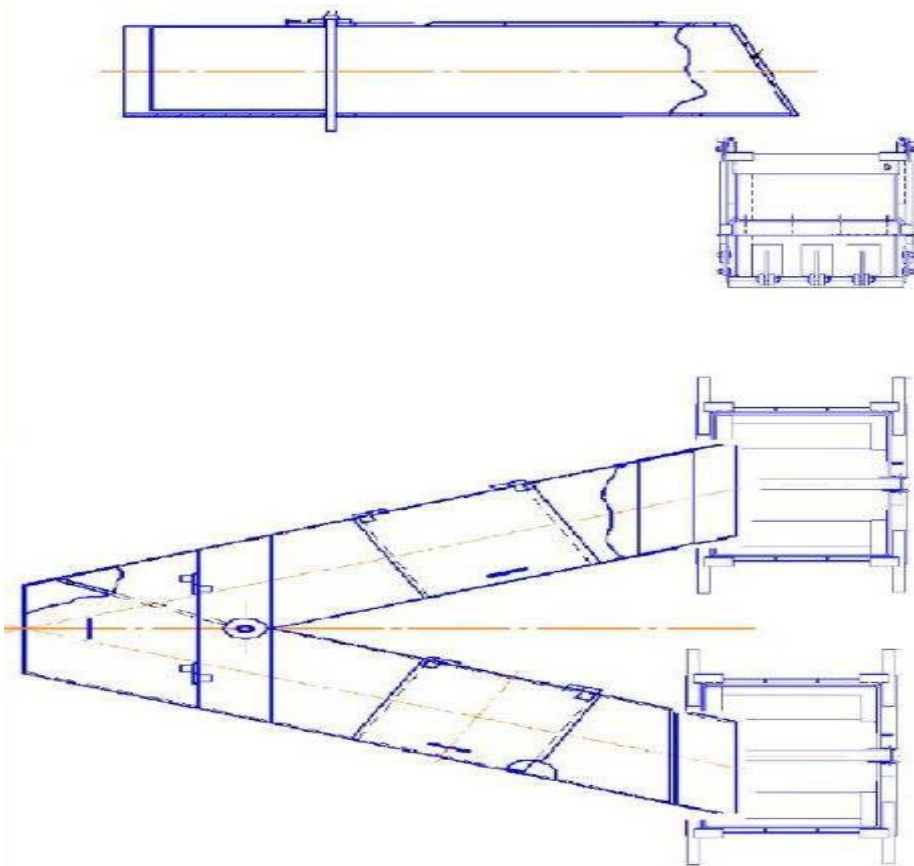


Схема 1.4. Переміщення та вивантаження контейнера в кульовий живильник млина.

