

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гірничо-металургійний факультет  
Кафедра відкритих гірничих робіт

**ДЯДИНА ВІКТОРІЯ ІВАНІВНА**

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ РУДНОЇ  
МАСИ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ГЛИБОКИХ ГОРИЗОНТІВ  
ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ»**

184 Гірництво

(ОПП «Відкриті гірничі роботи»)

випускна кваліфікаційна робота  
на здобуття рівня вищої освіти «магістр»

Керівник

Валерій СЛОБОДЯНЮК / \_\_\_\_\_ /

Завідувач кафедри

Сергій ЖУКОВ / \_\_\_\_\_ /

Кривий Ріг

2024

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ВСТУП	5
I. ПРОБЛЕМА ЯКОСТІ РУДНОЇ МАСИ У ГІРНИЧОМУ ВИРОБНИЦТВІ	7
II. НАУКОВА БАЗА ТЕХНОЛОГІЙ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ РУДНОЇ МАСИ	13
1. Принципи формування якості рудної маси у її видобутку	14
2. Формування якості рудної маси під час планування гірничих робіт	15
3. Гірничо-технологічні методи управління якістю корисних копалин.	20
3.1. Управління якістю в кар'єрних вантажопотоках	20
3.2. Селективна виїмка	23
3.3. Регулювання параметрів елементів системи розробки родовища	26
3.4. Предзбагачення руди	28
3.5. Управління якістю в процесі буро-вибухових робіт	33
4. Усереднювальні технології управління якістю гірської маси	35
4.1. Усереднення навантаженням на забій	36
4.2. Перевантажувальні пункти	38
4.3. Усереднювальні склади	41
III. ВИВЧЕННЯ ПРАКТИКИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ РУДНОЇ МАСИ	44
ВИСНОВКИ	49
МОЖЛИВІ НАПРЯМКИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52

## РЕФЕРАТ

Дядина В.І. Дослідження технологій управління якістю рудної маси при відпрацюванні глибоких горизонтів залізорудних кар'єрів. Випускна роб. на здоб. другого (магістерського) рівня вищої освіти - Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2024. – 57 с.

**Загальна характеристика роботи.** Кваліфікаційна робота на здобуття рівня вищої освіти «магістр» складається із наступних розділів: вступ, основний розділ, який складається з трьох параграфів, висновки та можливі напрямки подальших досліджень за темою роботи, перелік наукових та інформаційних джерел, які лягли в основу дослідження. Загальний обсяг роботи становить 57 сторінок машинного тексту, серед них 22 рисунки, наукових та інформаційних джерел – 52 найменування.

**Мета роботи** полягає у пошуку наукових джерел за темою дослідження, їх вивченні та аналізі, а також узагальненні теоретичних досліджень та практичного досвіду у питанні сучасних технологій управління якістю рудної маси.

Мета дослідження дозволяє поставити **завдання дослідження:**

- Аналіз теорії та практики управління якістю сировини при відпрацюванні глибоких горизонтів кар'єрів.
- Узагальнення досвіду та систематизація технологічних рішень щодо управління якістю рудної маси при відпрацюванні глибоких горизонтів залізорудних кар'єрів.

**Об'єктом дослідження** є технологія відкритої розробки родовищ корисних копалин.

**Предметом дослідження** є технології управління якістю рудної маси.

**Методи дослідження**, які залучені в роботі – збір результатів наукових досліджень та практики управління якісними характеристиками рудної маси, аналіз сучасного стану та тенденцій досліджуваного питання, узагальнення

теорії та практики управління якістю рудної сировини, аналітичні дослідження.

**У вступі** зазначається про актуальність досліджуваного питання в контексті погіршення гірничо-технічних умов ведення відкритих гірничих робіт та жорсткої конкуренції на сировинному ринку.

**Основна частина роботи** висвітлює результати пошуку та аналізу наукових джерел та практичного досвіду роботи сучасних гірничо-видобувних підприємств у питанні технологій управління якістю рудної маси. В результаті вивчення було виділено та описано основні технологічні рішення, які найчастіше застосовуються для забезпечення заданих якісних показників корисної копалини, проаналізовано їхню ефективність та можливу сферу застосування.

**У висновках та можливих напрямках подальших досліджень за темою роботи** підсумовані основні результати проведеної роботи, окреслені можливі напрямки подальших досліджень за темою роботи, які, на думку автора, будуть сприяти розвитку даного актуального в наш час питання.

**Ключові слова:** якість, управління, гірничо-металургійний комплекс, мінеральна сировина, корисна копалина, гірничо-геологічні умови розробки, якість руд, технологічні типи руд, управління якістю, рудопідготовка, мінералогічний склад.

## ВСТУП

Розробка родовищ залізної руди ведеться більш як у 50 країнах по всьому світу. При цьому тільки 10 країн зосредили близько 90% світового видобутку залізної руди, серед них і Україна. Для нашої держави залізорудна сировина є одним із основних джерел експорту. Поряд з Україною найбільшими експортерами залізорудної продукції є Австралія, Бразилія, Південна Африка, Канада та Швеція. Світові запаси залізних руд оцінюються близько у 190 млрд. т, Україна посідає 7-е місце в світі за їх запасами.

Управління якістю мінеральної сировини є вкрай важливим етапом сучасних процесів гірничого виробництва, особливо при розробці складноструктурних родовищ та експлуатації діючих гірничих підприємств. Сьогодні зміна гірничотехнічних та гірничо-геологічних умов видобутку корисних копалин супроводжується посиленням вимог до якості сировини, повноти вилучення корисних компонентів та чистоти продукції гірничо-видобувних підприємств. Все це вимагає удосконалення підходів до проєктування, планування та управління розвитком гірничих робіт у динаміці на основі застосування всіх відомих сучасних методик, що забезпечують надійні рішення за мінімальних витрат часу, в тому числі і методик геоінформаційного моделювання.

Ефективність технологічних процесів використання та переробки мінеральної сировини (збагачення руд чорних та кольорових металів, виготовлення концентрату та обкотишів, виплавка металу тощо) багато в чому визначається сталістю якісних показників рудної сировини. Системи переробки та використання залізорудної сировини є високоінерційними системами з обмеженими можливостями їх адаптації до змін рівня якості вхідної продукції. При переробці мінеральної сировини стабільної якості управління процесом значно спрощується, а показники процесу вищі. Це особливо важливо в умовах жорсткої конкуренції в світі на залізорудну

сировину. Деякі країни, такі як Австралія, Бразилія, Китай мають кращі умови видобутку залізних руд, а їх якість дещо вища, ніж тих, які видобувають в Україні. При цьому вимоги споживачів залізорудної сировини зростають через цілий ряд причин, однією з яких є тенденція зниження енергоємності металургійних виробництв. Тому споживачі вимагають продукцію високої і стабільної якості.

Зниження кондицій корисної копалини, що видобувається, погіршення гірничо-геологічних умов її розробки при одночасному зростанні вимог до якості мінеральної сировини, що надходить на збагачувальний переділ, є основними причинами постійного удосконалення гірничорудного виробництва, зокрема у питанні управління якістю руд. У цих умовах підвищується значення інноваційних методів управління якістю мінеральної сировини, що видобувається, а також науково обґрунтованого переходу на нові більш ефективні технології рудопідготовки з урахуванням мінливих геологічних параметрів родовищ корисних копалин і високих вимог до якості продукції, які висуває ринок.

В окреслених умовах досягнення високої та стабільної якості залізорудної сировини є нетривіальною задачею. Це питання турбує науковців та практиків вже багато десятиліть. Ще у радянські часи існували наукові школи, дослідження яких були присвячені обґрунтуванню та створенню технологій управління якістю мінеральної сировини. Такі школи існували і зараз функціонують у Кривому Розі.

Питання, яке розглядається в цій роботі, не є новим. Воно неодноразово розглядалося в працях Ржевського В.В., Бизова В.Ф., Хохрякова В.С., Грачова Ф.Г., Новожилова М.Г., Азаряна А.А., Азаряна В.А., Ломоносова Г.Г. та багатьох інших дослідників та фахівців гірничої справи.

## **I. ПРОБЛЕМА ЯКОСТІ РУДНОЇ МАСИ У ГІРНИЧОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

Головним споживачем залізних руд (близько 99%) є чорна металургія, яка використовує їх для виробництва чавуну та сталі. У відносно малих кількостях залізна руда застосовується у хімічній промисловості для виробництва фарби, у нафтовій та газовій і якості наповнювачів глинистих розчинів, у кольоровій металургії - для виробництва сплавів, а також у керамічній промисловості.

Економічним результатом гірничого виробництва, як і будь-якого іншого, є реалізація на ринку своєї продукції (концентрату, обкотишів, металу, руди тощо) за максимально високими цінами, що дають можливість отримання прибутку і доходу для власників даного підприємства. В той же час величина прибутку залежить від цілої низки чинників: ситуації на ринку, цін на даний вид продукції, собівартості виготовлення продукції і головним чином – від якості самої продукції [14]. Саме тому якості продукції приділяється велика увага на будь-якому виробництві, не є виключенням і гірниче.

Автор [15] вважає, що якість продукції є одним з найважливіших показників будь-якого виробництва, в тому числі і гірничого, що вирішальною мірою зумовлює конкурентоспроможність підприємства, а отже, і успіх його економічної діяльності.

У загальному вигляді під якістю продукції розуміється сукупність її властивостей, що зумовлюють придатність продукції задовольняти певні потреби відповідно до її призначенням. Є й таке визначення, але вже стосовно гірничого виробництва: «якість визначає таку сукупність споживчих властивостей корисної копалини, яка забезпечує у виробництві кінцевого продукту найбільш вигідні економічні показники за сумою витрат на видобуток (Сд), збагачення (Сз), а також переробку (Сп) кінцевого продукту» [15].

Основними показниками якості залізних руд, що впливають на ефективність роботи збагачувальної фабрики є: вміст заліза, кремнезему та глинозему, текстура, вологість руди, її гранулометричний склад, а також стабільність цих показників.

Під «управлінням якістю продукції гірничого підприємства розуміють сукупність технічних, технолого-економічних та організаційних дій, спрямованих на забезпечення у процесі гірничого виробництва як абсолютного рівня якості корисної копалини, так і її стабільності» [15].

Якість більшості залізних руд регламентується технічними умовами, що складаються для басейнів чи окремих родовищ. Типи руд, що виділяються, можуть бути єдиними для різних родовищ. Так промислові типи залізної руди класифікуються за переважаючим мінералом та бувають: магнетитові, гематитові, сидеритові, силікатні, бурі залізняка і залістисті кварцити. За способом рудопідготовки та застосування у виробництві розрізняють мартенівські та доменні залізні руди. Корисними домішками в залізних рудах вважаються марганець, нікель, ванадій, мідь, хром, титан. Їх наявність підвищує якість металу при його виплавці. До шкідливих домішок відносять: сірку, фосфор, миш'як, цинк, свинець. Наприклад, сірка викликає ламкість сталі, а також сприяє суттєвому збільшенню витрат коксу та вапняку. Фосфор зменшує в'язкість сталі та збільшує її холодноламкість. Допустимий вміст сірки в залізних рудах, призначених для безпосередньої плавки 0,03-1,0%, фосфору в 0,03%— 0,15%, миш'яку – 0,1%, цинку – 0,1%, свинцю – 0,015%.

Нині зросли вимоги до стабільності якості руди, що надходить на збагачувальний переділ. Коливання якісного складу руди впливають на втрати металу у хвостах, продуктивність та витрати переробних підприємств, що в кінцевому рахунку визначає собівартість продукції та її конкурентоспроможність на ринку. Отже, поряд із забезпеченням руди певної якості, технологам необхідно опікуватися і її стабілізацією.

Якість продукції гірничодобувних підприємств залежить насамперед від стану мінерально-сировинної бази. Маючи провідні позиції у світі за



кількістю запасів залізної руди, Україна здебільшого поступається потенційним конкурентам за якістю. За даними Укррудпрому частка України у світовому виробництві залізної руди становить близько 5 %. На території України розміщено 20% світових запасів залізної руди. За запасами залізорудної сировини Україна посідає перше місце у світі, а за обсягами виробництва – сьоме [10]. Промислові запаси багатих руд становлять понад 43% усіх розвіданих запасів.

Сьогодні експлуатується понад 90% запасів багатих руд та понад 50% бідних. Вміст заліза у багатих рудах становить близько 57,6%. У той самий час в основних конкурентів (Австралії, Бразилії та Китаю) видобуваються руди із вмістом заліза більше 60% і становлять до 2/3 їхніх запасів. Найбагатші руди України переважно вже вироблені. Аналіз тенденцій свідчить про те, що надалі очікується напружене становище із забезпеченням металургії високоякісними рудами, оскільки до розробки залучаються більш бідні руди. В такому випадку очевидно, що традиційний шлях вирішення проблеми якості видобутих руд, який полягав головним чином, у вибіркового вилученні більш багатих руд себе вичерпав. І тому такий шлях подальшого розвитку гірничодобувного виробництва України стає неперспективним.

На жаль, якість залізорудної сировини та продукції гірничих підприємств України поступається іншим країнам за вмістом заліза та шкідливих домішок  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (рис. 1) [24]. Це пояснюється, в першу чергу, низькою якістю руди, що видобувається, але не останню роль відіграють і заходи, спрямовані на її поліпшення.

Починаючи з 1995 року (рис.2), має місце стійка тенденція до підвищення якості залізорудного концентрату, що випускається гірничодобувними підприємствами України. При цьому якість вихідного матеріалу (залізистих кварцитів), вміст шкідливих домішок у них не покращився, а підвищення якості концентрату та обкотишів обумовлюється поліпшенням технології їх виробництва. Складовою ланкою цієї технології є сучасні методи управління якістю руд в процесі їх видобутку.

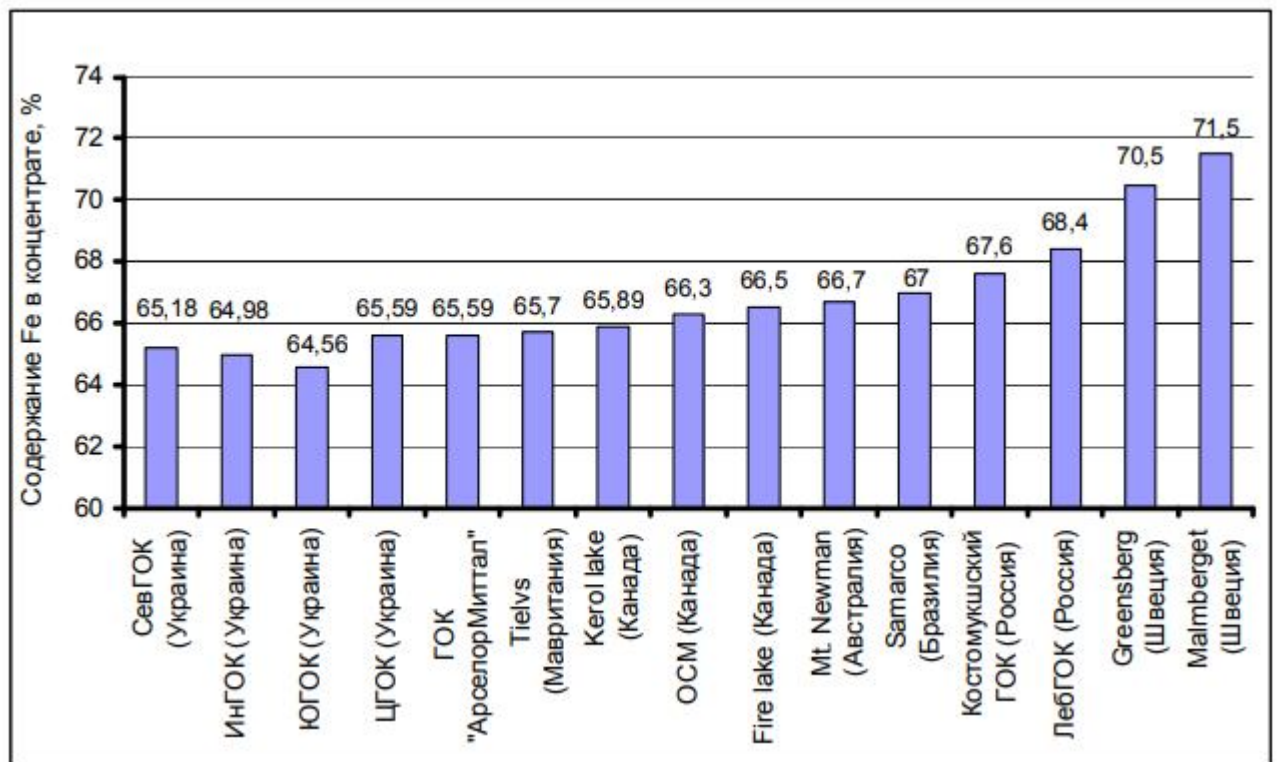


Рис.1 - Якість залізорудного концентрату підприємств-виробників України та світу

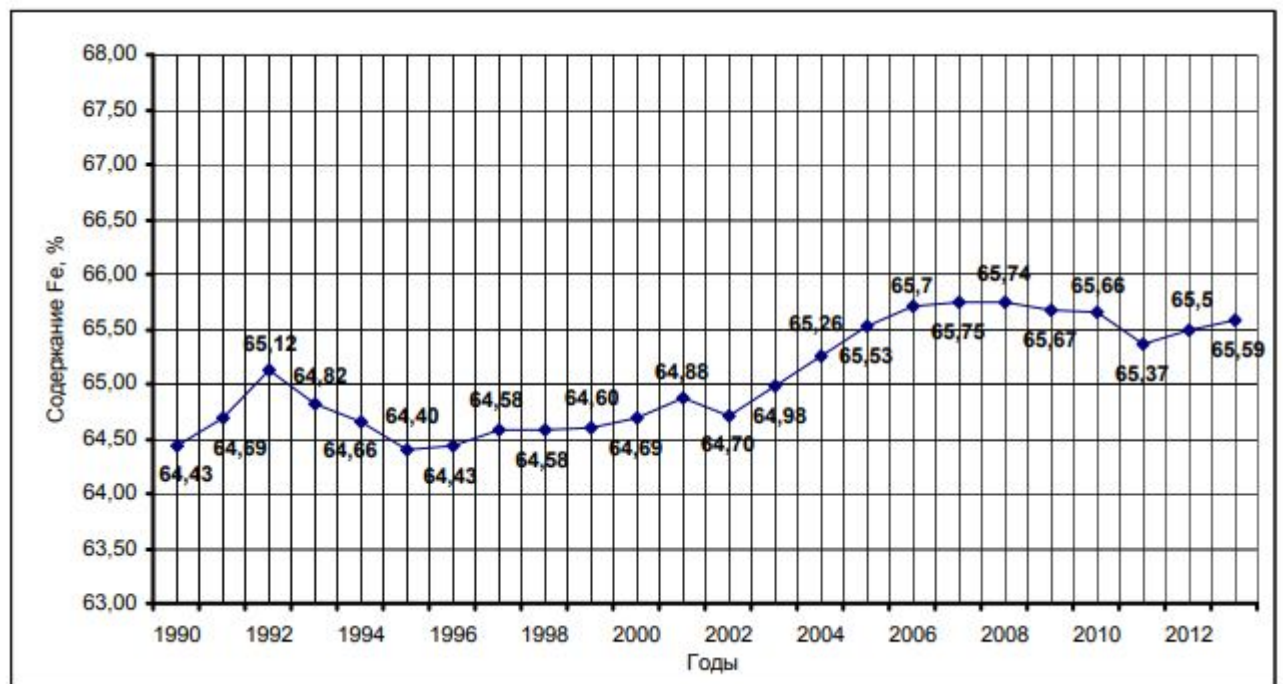


Рис.2 - Середній вміст заліза в концентраті гірничо-збагачувальних комбінатів України

Залізорудні родовища України, в тому числі і Кривбасу, мають доволі складну геологічну будову, що виражається у високій мінливості вмісту корисного компоненту (заліза) в рудній сировині, складності контактів рудних

тіл, наявності у контурах родовищ безрудних ділянок [7]. Через виснаження запасів багатих руд у розробку залучаються родовища та їх ділянки зі складними гірничо-геологічними умовами, а це неодмінно призводить до зниження середнього вмісту корисного компоненту у сировині, стає причиною збільшення обсягів збагачення сировини, а також втрат та засмічення руди. Зрозуміло, що всі перераховані фактори є причиною зростання собівартості видобутку та переробки залізної руди, що в умовах конкурентного ринку є негативною тенденцією. До того ж, споживачі рудної сировини – металургійні підприємства – висувають свої вимоги щодо якості та стабільності характеристик залізної руди, що надходить до переділу. Отже, забезпечення металургійного виробництва сировиною із заданими показниками якості є актуальною проблемою. Перед виробничниками постає питання: чи вартують витрати на управління якістю сировини того, щоб «боротись» за якість? В наукових джерелах зустрічається цифра, що на 10-15% має бути більшим зиск (економічний ефект) від впровадження методів управління якістю, ніж витрати на ці заходи.

Якими ж є позитивні та негативні сторони управління якістю? Що визначає економічну ефективність або ж неефективність технологій управління якістю сировини на гірничо-видобувних підприємствах? (рис.3).

Більш перспективне вирішення проблеми забезпечення металургійних виробництв рудо-мінеральною сировиною необхідної стабільної якості в умовах закономірного погіршення мінерально-сировинної бази може бути здійснено за рахунок удосконалення технологій управління якістю руд при їх видобуванні. Для цього управління гірничодобувним підприємством, рівень його модернізації має бути таким, щоб виробництво адекватно відповідало гірничо-геологічним, гірничо-технічним та економічним умовам, що суттєво змінилися протягом останніх двох десятиліть і продовжують стрімко змінюватися.

Вибір технологій управління якістю руди здійснюється за результатами оцінки якісних характеристик корисних копалин, виділення у рудному масиві

на основі геологічної інформації природних типів руд, обґрунтування характеристик технологічних типів руд та їх районування у кар'єрному полі. Просторовий розподіл природних та технологічних типів руд та його кількісне співвідношення формують стратегію управління якістю мінеральної сировини даного родовища [13].

<b>Економічний ефект</b> <b>ДП-ДВ = 10-15%</b>	
<b>ФАКТОРИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЕКОНОМІЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ</b>	
<b>ПОЗИТИВНІ РИСИ</b>	<b>НЕГАТИВНІ РИСИ</b>
Підвищення якості концентрату	Ускладнення організації гірничих робіт
Збільшення вилучення корисних компонентів з руди	Створення додаткових робочих площадок під перевантажувальні пункти
Можливості комплексного освоєння родовища	Зниження продуктивності обладнання
Отримання додаткової товарної продукції	Необхідність у спеціалізованому обладнанні
Оптимізація роботи збагачувального обладнання	Додаткові експлуатаційні витрати на матеріально-технічні ресурси
Скорочення відходів виробництва, екологічного навантаження	
<b>Додатковий прибуток (ДП)</b>	<b>Додаткові витрати (ДВ)</b>

**Рис.3** – Фактори, що визначають економічну ефективність управління якістю

На сьогоднішній день гірнична наука та практика має у своєму арсеналі чималу кількість методів, які сприяють стабілізації та покращенню якісних показників руд. Наприклад, у роботі [27] авторами дослідження виявлено етапи, на яких можливе управління та стабілізація якості корисної копалини в кар'єрі:

- на робочому майданчику кар'єра;

- внутрішньозабійна стабілізація якості;
- на етапі формування схем рудопотоку між забоєм і складом;
- на внутрішньокар'єрних складах.

На кожному з перерахованих вище етапів можливо застосовувати різні методи управління якістю, які починаються з планування гірничих робіт в режимі управління якісними показниками, закінчуючи усередненням на складах. Окреме родовище корисних копалин є унікальним, тому в кожному конкретному випадку застосовується особливий комплекс заходів та методів, спрямований на покращення якості залізорудної сировини.

З метою пошуку резервів удосконалення та модернізації технологій управління якістю руди в процесі її видобутку маємо на меті вивчити сучасний стан даного питання.

## **II. НАУКОВА БАЗА ТЕХНОЛОГІЙ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ РУДНОЇ МАСИ**

Процесу формування необхідного рівня якості продукції у світі приділяється багато уваги, наукова сфера не залишила це питання поза своєю увагою. Щоб ефективно керувати цим процесом, необхідно вміти об'єктивно оцінювати рівень якості продукції, яка виражається безліччю її характеристик, що є дуже непростим і відповідальним завданням.

Підвищення якості рудної маси знижує витрати на збагачення та металургійний переділ, але збільшує собівартість видобутку. Поряд з цим зростають витрати на геологорозвідувальні роботи, а також на організацію в структурі підприємства відповідних підрозділів управління якістю видобутку. З іншого боку, за відсутності в кар'єрі системи управління якістю потрібно виконувати додаткові процеси та операції приведення рудної сировини у стан, який відповідає потребам споживача, для чого необхідні певні поточні та капітальні витрати збагачення та переробки руд.

В даному розділі маємо на меті висвітлити стан наукової думки у досліджуваному питанні.

## **1. Принципи формування якості рудної маси у її видобутку.**

Вже зазначалось вище, що якості видобутих руд споживачі пред'являють ряд вимог, які в основному зводяться до регламентації наступних показників:

- хімічного та мінералогічного складів руди, що визначають вміст корисних та шкідливих компонентів та технологічність рудної сировини;
- ступеня однорідності рудної маси;
- кускуватості та вологості;
- обмеження (недопущення) сторонніх матеріалів (хімічних елементів), що засмічують руду або є шкідливими домішками.

Отже, управління якістю руди базується на тому, щоб задовольнити вимоги споживачів залізорудної продукції. Для реалізації цієї задачі створено багато методів та способів управління, які поділяють на три основні групи: гірничо-технологічні, організаційні та економічні [15].

Аналізуючи методику управління якістю руд способів з цих трьох груп дослідники [15,16, 21] визначають основні принципи, за якими це відбувається.

Одним з принципів управління є розділення (сепарація) рудних потоків. Це дозволяє підвищити концентрацію корисних компонентів, розділити рудну масу за сортами. Для цього застосовується селективне виймання, предзбагачення, застосування перевантажувальних пунктів тощо.

Ще одним принципом управління є змішування (усереднення) рудної маси. Реалізація цього принципу дозволяє знизити рівень коливань якості між партіями руди, підвищити однорідність складу рудної маси. Для цього застосовуються різноманітні усереднювальні системи.

Інші принципи покликані знизити кускуватість гірської маси, виключити потрапляння у руду шкідливих домішок, зменшити вологість гірської маси. Реалізація цих принципів можлива завдяки підвищенню якості планування гірничих робіт, удосконаленням буро вибухових, виймально-навантажувальних робіт та транспортування.

Знання та розуміння принципів управління якістю рудної маси дозволяє створити умови для системного розв'язання питання управління якістю руди у процесі її видобутку з глибоких горизонтів кар'єрів. Як показує практика, такі заходи щодо управління якістю доводиться виконувати у кілька етапів. Наприклад, на першому етапі, у процесі планування гірничих робіт, встановлюються конкретні об'єкти та обсяги розробки із забезпеченням середніх регламентованих значень вмісту корисного компонента в поточному річному, а також в кварталних та місячних обсягах видобутку. На другому етапі для підвищення концентрації корисного компонента у рудній масі та поділу її за сортами, використовуються сучасні засоби передзбагачування та рудопідготовки. На останньому етапі управління якістю за необхідності забезпечується внутрішня однорідність складу видобутої рудної маси в усереднювальних системах, що розташовуються безпосередньо в кар'єрі або на поверхні, а також здійснюється вихідний контроль за всіма показниками якості руди, що регламентуються споживачем.

## **2.Формування якості рудної маси під час планування гірничих робіт.**

Якість продукції гірничого підприємства формується майже на всіх стадіях освоєння родовища: від планування до його розробки. Неможливо досягти високого рівня продукції, маючи неякісний проєкт або недостатньо достовірні та інформативні відомості про родовище, які формуються під час його геологічної розвідки.

Основи управління якістю продукції кар'єру закладаються саме на стадії проєктування, коли приймаються такі важливі рішення, як встановлення кондицій на корисні копалини, оконтурюється кар'єрне поле, здійснюється вибір система розробки, схеми розкриття горизонтів кар'єру, а також структура комплексної механізації видобутку.

Розрізняють оперативне, поточне, річне, кварталне та місячне планування обсягів видобутку корисних копалин з окремих ділянок та блоків.

Обсяги розраховуються так, щоб середня якість корисних копалин на запланований період (добу, місяць, квартал, рік) відповідала плановому.

Під час поточного планування забезпечують можливість видобутку корисної копалини заданої якості в межах до місяця. Визначають послідовність відпрацювання рудних блоків, розміщення екскаваторів та їх резерв з метою забезпечення планової якості сировини.

Оперативне планування (тиждень, доба, зміна) ґрунтується на даних місячного планування. На цьому рівні планування регулюють навантаження на видобувні забої, визначають обсяги корисних копалин, що надходять із забоїв на склади і відвантажуються споживачеві. Основою оперативного планування є плани-графіки, в яких закладають усі основні кількісні та якісні показники роботи кожного екскаватора, який працює на видобутку, та кар'єру в цілому. Можливість регулювати змінні завдання відповідно до конкретної гірничо-технічної обстановки в кар'єрі має бути забезпечено наявністю резервних забоїв та готових до відвантаження запасів видобутої руди.

В роботі [21] автор акцентує увагу на тому, що в сучасних ринкових умовах управління якістю сировини та планування робіт з її урахуванням є базою менеджменту гірничо-видобувного підприємства. Він пропонує створювати мобільну, еластичну систему гірничо-технологічного менеджменту, в якій основне значення має управління якістю руди. Концептуально він виділяє такі етапи цієї системи:

1. Визначення ринкових цін на руду.
2. Формування меж рудних тіл при розгляді варіантів раціональних кондицій.
3. Визначення оптимальних витрат та відпускних цін на руду при аналізованих кондиціях (по блоках, горизонтах, рудних тілах та ін.).
4. Формування планів гірничих робіт за принципом відповідності ринкових цін та розрахункової відпускної ціни на руду.
5. Оперативне управління гірничими роботами та безпосереднє регулювання видобутку руди.



Управління якістю руди під час планування не є новим напрямком у гірничій науці та практиці, проте цей процес потребує постійного удосконалення з огляду на стрімкий розвиток ІТ-технологій. Завдання поточного та оперативного планування добувних робіт з урахуванням забезпечення якості корисних копалин достатньо складні та трудомісткі, вимагають розгляду та оцінки великої кількості варіантів при оптимізації планів. Традиційні методи вирішення цієї задачі можуть залишити поза своєю увагою найбільш раціональні варіанти. Саме тому найбільш якісне рішення комплексу завдань планування в режимі управління якістю можливе з використанням спеціально розробленого програмного забезпечення. Мабуть зараз не залишилось потужних гірничих виробництв, на яких не запроваджено АСУ ТП кар'єру. Такі системи дозволяють виконувати цілу низку функцій:

- оперативний контроль (збір та обробка інформації) за роботою об'єктів управління (екскаваторів, кар'єрного транспорту), а також за станом контрольованих параметрів (поточна якість та обсяги корисних копалин, що відвантажуються);
- управління якістю корисних копалин та оперативне втручання (формування рішень та керуючих команд, їх передача на об'єкти управління);
- облік роботи обладнання (екскаваторів, кар'єрного транспорту) та аналіз показників їх роботи, кількість і якість корисної копалини, що відвантажуються, отримання та формування звітної документації.

У [25] зазначається, що управління якістю руди на кар'єрах є складною багатокритеріальною та багатоваріантною задачею. Саме тому автор пропонує для планування гірничих робіт застосовувати комп'ютерне планування на основі інформації про вміст корисного компонента в руді, яку було отримано на стадії експлуатаційної розвідки, а також в процесі опробування. Протягом року необхідно визначити експлуатаційні блоки, які у своїй сукупності будуть задовольняти вимогам річного плану за обсягами та якістю руди. Це і буде визначати стратегію розвитку гірничих робіт комбінату протягом поточного

року. Далі автор пропонує здійснювати поквартальне планування. Задача вирішуватиметься за багатоваріантною схемою з урахуванням зміни продуктивності блоків. Визначаються також резервні блоки, які забезпечать виконання квартального плану по якості та видобутку. В якості прикладу автор наводить результати комп'ютерного планування для конкретного виробництва. За розрахунками він отримав 56 варіантів річного плану. Потім ці плани додатково аналізуються та обираються ті, які найкраще забезпечать виконання річного плану по руді та забезпечать якісні показники, необхідні споживачу продукції. Таких планів може бути від 4 до 20-30, тому вони поступово включаються до планування, ними можна варіювати. Незмінним залишається виконання плану та якість рудної маси.

Автор [26] констатує, що зараз планування на великих гірничо-збагачувальних комбінатах здійснюється з використанням спеціальних гірничо-геологічних інформаційних систем та прикладних програмних продуктів (K-Mine, Surpac, Mineshed, Mineframe тощо), що дозволяє забезпечити найбільш ефективний рівень супроводу процесів гірничого виробництва, в тому числі і планування гірничих робіт з урахуванням якості сировини, знизити можливі помилки, підвищити точність прогнозів. Отже, комп'ютерне моделювання показників якості гірських порід є основою для вибору та оптимізації системи управління рудопотоками у кар'єрах. Автор статті [26] демонструє методику геометризації якісних характеристик корисної копалини з урахуванням їхньої мінливості. В основі розробленої ним методики - поетапне дослідження даних геологічного випробування з експрес-аналізом геологічної бази даних автоматизованими засобами Python, побудова цифротопографічних моделей поверхонь, відвалів, каркасних моделей гірничих виробок та тіл корисних копалин. В результаті він отримує блочну модель та велику кількість атрибутивних даних, а їх сукупний облік дозволяє підвищити ефективність планування гірничих робіт у режимі управління якістю сировини.

Отже, одним із напрямів підвищення ефективності управління якістю мінеральної сировини в глибоких кар'єрах є широке впровадження в практику планування гірничих робіт сучасних багатофункціональних гірничо-геологічних інформаційних систем (ГГІС), за допомогою яких можна з високою достовірністю планувати видобуток з метою отримання сировини необхідної якості [20, 33-34]. Перевагою ГГІС є можливість оперативно в найкоротші терміни отримувати інформацію щодо просторового розміщення корисних копалин, а також можливість в автоматичному режимі проводити підрахунок запасів, виділяти технологічні типи та сорти руд, проводити моделювання параметрів системи розробки, оцінювати календарний план тощо.

Основні моменти планування гірничих робіт в режимі управління якістю на рис.4.



Рис.4 – Управління якістю під час планування гірничих робіт

### 3. Гірничо-технологічні методи управління якістю корисних копалин.

#### 3.1. Управління якістю в кар'єрних вантажопотоках

У кар'єрному вантажопотоці управління якістю корисної копалини здійснюється наступними методами:

- регулюванням обсягів корисної копалини, що відвантажуються з різних вибоїв (міжвибійне усереднення);
- навантаженням залізничного складу корисними копалинами різної якості з кількох вибоїв;
- переформуванням залізничних складів перед відправкою на фабрику з включенням до нього вагонів, заповнених у різних вибоях, або формування маршрутів за рахунок подач з різною якістю корисних копалин;
- регулюванням послідовності відправлення потягів з корисними копалинами різної якості (склади на колесах) тощо.

Міжвибійне усереднення корисних копалин за рахунок корегування навантаження на добувні вибої планується так, щоб у змінних або добових обсягах видобутку всього кар'єру забезпечувалися планові показники якості корисних копалин. Даний метод трансформує природний нерівномірний розподіл якісних характеристик у масиві та забезпечує зниження відхилень якісних показників лише в обсягах змінного чи добового видобутку кар'єру. Саме тому таке управління можна назвати оперативним міжвибійним усередненням, яке полягає у управлінні всіма виробничими процесами протягом зміни та доби з метою забезпечення необхідної якості сировини. Основою такого усереднення є тижневі або декадні плани-графіки, в які закладають по кожній добі всі основні кількісні та якісні показники добувних робіт.

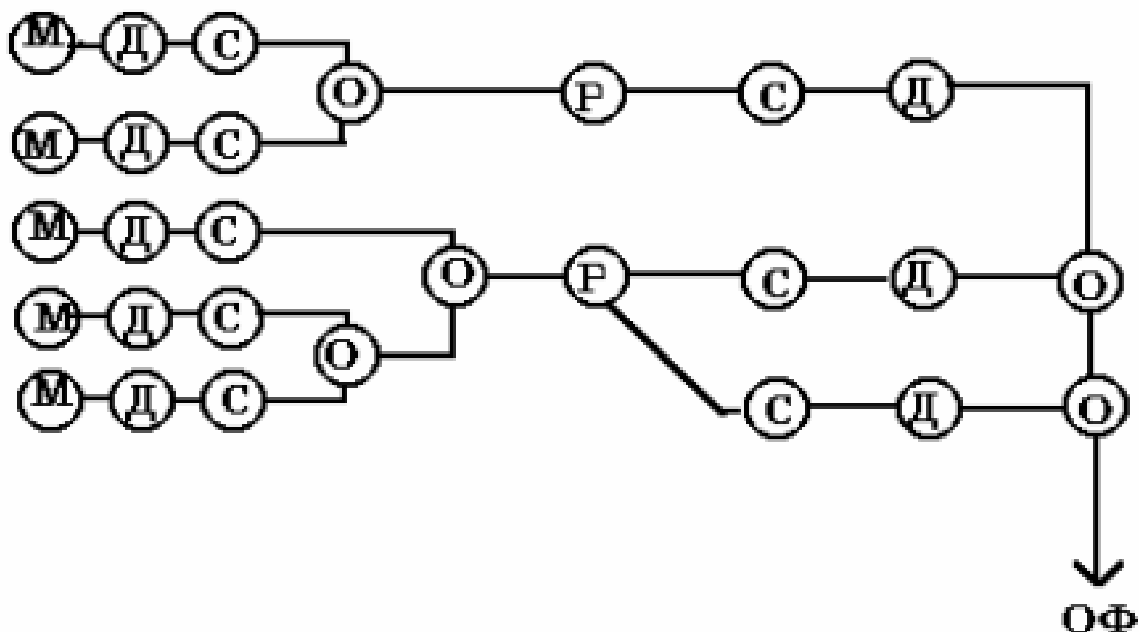
Оскільки в переважній більшості залізрудних кар'єрів застосовується залізничний транспорт, то управління якістю рудної маси здійснюється відвантаженням корисних копалин із вибою порціями, рівними масі залізничного складу. Практикувалась методика навантаження одного складу під різними екскаваторами. Наприклад, один екскаватор завантажує всі парні вагони, після чого потяг подається під інший екскаватор, який довантажує непарні вагони. Такий метод мав низку негативних моментів: збільшувався

перепробіг потягу, зросла тривалість рейсу, збільшились простої екскаваторів в очікуванні обміну складів, що неминуче призвело до зниження продуктивності виймально-навантажувального обладнання та кар'єрного транспорту.

Описана методика, яка дозволяє управляти якісними показниками рудної маси за рахунок певної послідовності розвантаження потягів та самоскидів на збагачувальній фабриці. Потяги надходять на сортувальну станцію, звідки у певній послідовності з дотриманням сортового чергування прямують на розвантаження приймальну ємність. Для реалізації даного методу на сортувальній станції має бути створений резерв складів з різними сортами руди. Цей метод отримав назву - склад на колесах. Якщо застосовується автотранспорт, то роль сортувальної станції виконує спеціальний майданчик, на якому в сортовій черзі в очікуванні розвантаження зупиняються автосамоскиди. Даний метод відносно простий та дозволяє відмовитися від будівництва накопичувальних сортових складів руди, однак потребує необхідності мати резервне транспортне обладнання.

На рис.5 показана примітивна схема формування рудопотоку на невеликому кар'єрі.

Перетворення "масив-потік" (М), при якому руда в 3-мірному масиві перетворюється у одномірний потік, розділений або не розділений на окремі порції (Д). Може бути і зворотнє перетворення, коли "потік-масив" на складах або в бункерах знову перетворюється з одномірного на 3- мірний об'єкт. При об'єднанні рудопотоків відбувається об'єднання (О) кількох одиничних дискретних або безперервних рудопотоків в один за здалегідь заданим законом об'єднання.



**Рис.5** - Схема формування якості руди на кар'єрі: М - перетворення "масив-потік", Д – дозування, С – змішування, О – об'єднання, Р – розподіл за сортами.

Розподіл рудопотоку (найчастіше - за сортами) – процес поділу рудопотоку за певними критеріям (обсягу чи якості) на кілька дрібніших потоків. При перемішуванні (С) руди на складах та в ємностях відбувається змішування руди з усього обсягу ємності чи складу. На думку авторів книги [14], цими типами перетворення рудопотоку можна обійтися в більшості практичних ситуацій.

Огляд та аналіз методів організації рудопотоків у кар'єрах в режимі управління якісними характеристиками руд при використанні автомобільного, залізничного та комбінованого транспорту дозволяє виділити наступні схеми: із замкненим циклом руху, з відкритим циклом руху та комбіновані схеми.

На рис.6 представлено узагальнення дослідження технології управління якістю сировини в кар'єрних вантажопотоках.

# Управління якістю в кар'єрних вантажопотоках



Рис.6 - Управління якістю сировини в кар'єрних вантажопотоках

## 3.2. Селективна виїмка

При розробці складноструктурних покладів висота добувного уступу повинна визначатися за умовами селективної виїмки з урахуванням величини втрат та розубоження корисних копалин. У цих умовах раціональна висота уступу буде меншою, ніж при розробці покладів простої будови. При малій висоті уступу краще простежується конфігурація покладу, створюються сприятливі умови для селективної виїмки корисних копалин, забезпечується більша стабільність якості мінеральної сировини [3]. В той же час зменшення висоти уступу призводить до збільшення витрат на підготовку гірських порід до виймання, подовження транспортних комунікацій. Кут укосу робочого борту кар'єру стає меншим, що призводить до збільшення поточного коефіцієнта розкриття. Через такий тісний зв'язок обґрунтування висоти уступу при розробці складноструктурних покладів є важливим техніко-економічним завданням, при вирішенні якого враховується вплив якості мінеральної сировини на витрати гірничодобувного підприємства.

При селективній виїмці для спрощення процесу стабілізації якісних характеристик руд у багатьох випадках застосовують екскаватори з меншою місткістю ковша, ніж на розкривних роботах. Дослідження проф. Грачова Ф.Г. показують, що зі збільшенням місткості ковша механічної лопати зростає і мінімальна виймальна потужність покладу, що окремо видобувається, при цьому підвищується величина розубоження при розробці складних забоїв. Негативним моментом є той факт, що у разі використання на добувних роботах екскаваторів з меншою місткістю ковша збільшується їх кількість, хоча мінливість вмісту корисних компонентів у корисній копалині, що відвантажуються, зменшується.

Найбільш сприятливі умови для селективної виїмки в режимі управління якістю корисних копалин створюються при використанні автомобільного транспорту. Він дозволяє легко створювати відокремлені вантажопотоки різних типів та сортів корисних копалин (див.п.3.1.). Маневреність автотранспорту полегшує реалізацію роздільної виїмки, дозволяє ефективно працювати на викривленому фронті робіт. Малі порції корисних копалин, що видаються із вибоїв, полегшують процес стабілізації та усереднення порід. Саме тому науковці вважають, що при розробці складноструктурних родовищ зі значною мінливістю вмісту корисного компонента найбільш сприятливі умови управління якісними показниками досягається при використанні екскаваторно-автомобільних комплексів.

Екскаваторно-залізничні комплекси також застосовуються, але при простій конфігурації покладу та значних вантажопотоках корисних копалин. При цьому можливість роздільної виїмки та організація відокремлених вантажопотоків за типами та сортами корисних копалин обмежені.

Екскаваторно-конвеєрні комплекси обмежено застосовуються при селективній виїмці через складність поділу вантажопотоків. Вони можуть застосовуватися при розробці покладів простої будови та малої мінливості якісного складу корисних копалин.



При використанні видобувних комплексів із комбінованим транспортом створюються сприятливі умови для управління якістю корисних копалин. У більшості видобувних комплексів з комбінованим транспортом перевезення корисних копалин із вибоїв здійснюється автосамоскидами, що дає описані вище переваги. При цьому перевантажувальний пункт може бути використаний для усереднення корисних копалин у більшості випадків.

Автори статті [27] зазначають, що селективне виймання в режимі управління якістю є складним і багатоваріантним процесом. Доволі складно здійснити процес усереднення шляхом дозування та змішування окремих сортів руд, як це має відбуватись в класичному вигляді, через дозування обсягів змішуваних сортів руд з допомогою ковша екскаватора, оскільки практично неможливо контролювати точний об'єм корисної копалини, що знаходиться в ковші при кожному циклі. При цьому, як зазначалось вище, селективна виїмка знижує продуктивність екскаваторів на 10 – 25% при простій селективній виїмці та на 30 – 35% при складній селективній виїмці. Головним недоліком селективного виймання є погана прогнозованість середнього вмісту корисного компонента в руді через нестабільність об'єму корисних копалин у кожному циклі екскавації, а також через відсутність умов безпосередньо у забої здійснити необхідну послідовність відсипання різних сортів корисних копалин у штабель [27].

На початку 2000-х років ряд науковців [37] провели ряд досліджень щодо досвіду застосування комбайнів при селективній виїмці порід для покращення якісних показників корисних копалин. Слід відзначити, що переважна більшість їхніх досліджень присвячена саме видобутку кам'яного вугілля, а не залізних руд, проте така технологія не залишилась поза нашою увагою. Автори проаналізували результати впровадження селективної виїмки із застосуванням комбайнів на кар'єрах США, Австралії, Бразилії, Боснії та Герцоговини, Індії та отримали гарні показники щодо якісних характеристик вугілля. Серед позитивних сторін застосування селективного виймання автори відзначають здатність вести гірничі роботи без буро-вибухових робіт за

міцними породами до 100 МПа (в окремих випадках до 200 МПа), можливість селективної тонкошарової розробки складноструктурних пластів, що дозволяє суттєво знизити розубоження та втрати корисних копалин. До недоліків вони відносять різке зниження продуктивності виймально-навантажувального обладнання зі збільшенням міцності порід, що розробляються, високу вартість та низьку ефективність на породах, схильних до налипання.



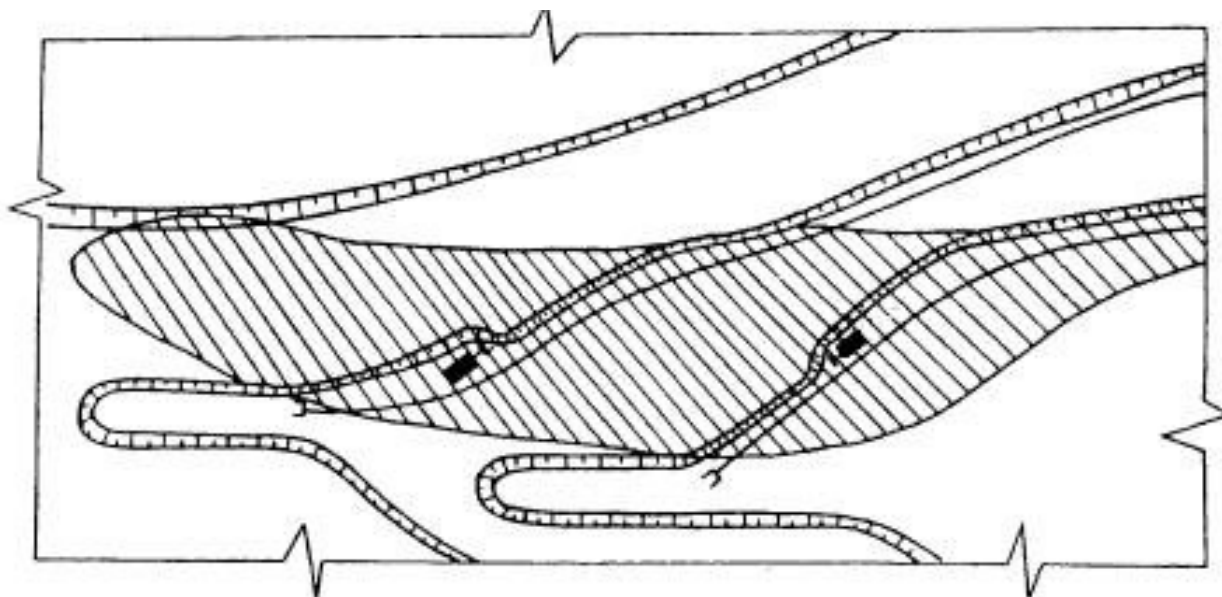
Рис.7 – Технологія селективного виймання з метою управління якістю сировини

### 3.3 Регулювання параметрів елементів системи розробки родовища

Довжина фронту видобувних робіт впливає на формування якості корисних копалин при видобутку, й у першу чергу ступінь усереднення мінеральної сировини. Вплив можна описати наступним чином: збільшення довжини фронту видобувних робіт сприятливо позначається процесі усереднення. Так, нерівномірність якісного складу руди, що видобувається при збільшенні протяжності фронту видобувних робіт з 2500 до 12000 м без зміни кількості екскаваторів, що працюють на видобутку, зменшується з 3 до 0,8% [16].

Ширина робочої площадки на добувних уступах збільшується за рахунок смуги підготовлених до виїмки запасів. До робочої площадки також можуть включатися площадки для внутрішньо-забійного сортування.

Управління якістю залізної руди у межах встановленого контуру можливе зміною параметрів блоків. При зміні якості корисних копалин по простяганню покладу поклад розбивається на окремі блоки з включенням в блок частини покладу, що має в його межах постійний вміст корисного компоненту. Регулювання якості досягається за рахунок черговості опрацювання блоків. При зміні якісних показників вхрест простягання покладу, зміна низькочастотних коливань якісних показників на високочастотні, а, отже, і покращення умов усереднення якості, досягається за рахунок відпрацювання покладу діагональними або поперечними екскаваторними блоками (рис. 8).



**Рис.8** - Схема розробки рудного покладу діагональними екскаваторними блоками

Негативним моментом цього методу є деяке збільшення кількості готових до виїмки запасів корисних копалин. Це збільшення пов'язане з викривленням фронту видобувних робіт при вибіркового відпрацюванні блоків, збільшенням середньої ширини робочих площадок при діагональних та поперечних екскаваторних блоках.

У [39] стверджується, що чим складніше залягання рудних тіл, тим нижчими мають бути уступи. Наприклад, у Сполучених Штатах Америки на складноструктурних родовищах висота уступу не перевищує 7-8 м. Логіка такого рішення полягає в тому, що при низьких уступах легше простежити за змінами контуру та якості руди, легше керувати буро-вибуховими роботами. На Сорському рудному родовищі із зменшенням висоти уступу з 15 до 5 м зменшилися втрати корисної копалини з 6.5 до 2% та розубоження з 25 до 10%.



**Рис.9** – Регулювання параметрів елементів системи розробки з метою управління якісними характеристиками сировини

### 3.4.Предзбагачення руди

При відкритому видобутку залізних руд з глибоких горизонтів кар'єрів зі зниженням гірничих робіт відбувається постійне погіршення якості сировини. Воно пов'язане з ускладненням геологічної будови продуктивної товщі, наявністю некондиційних та позабалансових руд, застосуванням технології руйнування та виїмки, що призводять до розубоження руд, використанням комплексу машин великої одиничної потужності, які не дозволяють реалізувати технологію селективного виймання руд та порід.

Зниження за рахунок нерудних включень якості руди що надходить з кар'єру, є одним з головних факторів збільшення енерговитрат під час виробництва концентрату [50]. Саме окреслені вище проблеми стали причиною пошуку нестандартних рішень, одним з яких виявилось перед збагачення руди в кар'єрі.

Попереднє збагачення руд - це складова системи управління якістю руди, яка дозволяє провести збагачення бідних, позабалансових та рядових руд. Завдяки технологіям, які застосовуються при збагаченні, відбувається поділ руди на бідну і багату ще у кар'єрі, внаслідок чого на фабрику поставляється вже попередньо збагачена руда.

Даний метод має ряд суттєвих переваг: підвищення якості руд, що видобуваються; можливість залучити до переробки бідні та позабалансові руди, що призводить до розширення сировинної бази гірничих підприємств та до подовження термінів експлуатації родовища; зменшення обсягів геологорозвідувальних робіт; зниження питомих витрат за транспортування та збагачення руд, загальної собівартості продукції; зменшення обсягів складування хвостів; покращення екології і в кінцевому рахунку підвищення інвестиційної привабливості родовищ.

Метод управління якістю руд шляхом предзбагачення руд активно розроблявся ще в часи СРСР вченими та інженерами провідних галузевих інститутів, в тому числі і МЕХАНОБР, а також безпосередньо геологами та геофізиками на підприємствах. Слід зазначити, що методи попереднього збагачення залізних руд зараз доволі популярні, постійно удосконалюються.

Розубоження корисних копалин на межах рудного тіла, що виникає в процесі відпрацювання, є однією з причин неоднорідності руди, що подається на збагачувальну фабрику. Фізичні або хімічні властивості руд можна використовувати для виділення рудних ділянок або окремих частинок у збагачену та незбагачену фракцію (відходи) на етапі попереднього збагачення за заданими критеріями відбору [17]. Тобто попереднє збагачення використовується для підвищення вмісту корисного компонента в руді,

поданої на фабрику. Фракції з низьким вмістом корисного компонента можна відокремити до того, як будуть понесені основні витрати на їх переробку. Крім того, збільшення вмісту корисного компонента в руді, що подається на фабрику, може покращити вилучення корисних компонентів. За допомогою технології попереднього збагачення можна розділити руду на потоки, які подаватимуться на різні цикли переробки (сепарація або флотація).

В науковій літературі [17] описано чотири основні методи попереднього збагачення: об'ємне сортування, збагачення у важких середовищах, сортування руди, контроль вмісту корисного компонента. Оскільки всі процеси рудопідготовки є доволі витратними та енергоємними, бажано проводити попереднє збагачення на якомога більш ранньому етапі рудопідготовки та переробки.

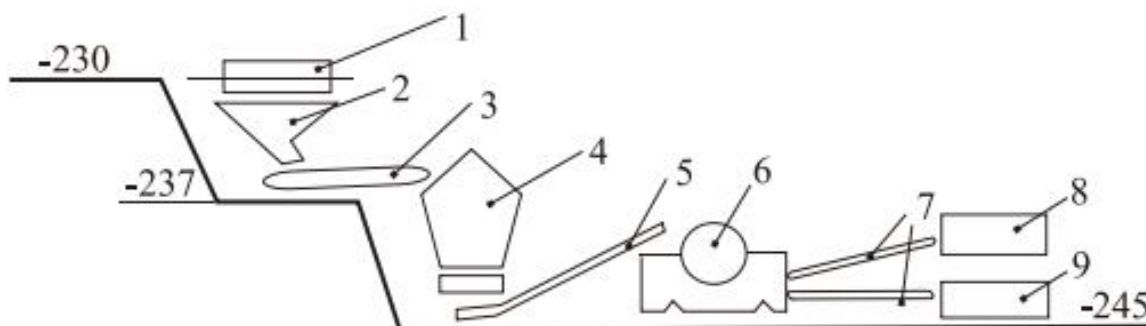
Так, у [17] розглянуто переваги та недоліки методів попереднього збагачення руд, наведені результати їх застосування. Зазначається, що об'ємне сортування руди є сухим способом, тобто споживання води не відбувається. Спосіб характеризується відносно низькими експлуатаційними та капітальними витратами, відносно високою продуктивністю, а також потребує нескладного переобладнання існуючої збагачувальної фабрики. Недоліком є той факт, що реалізація способів потребує складних датчиків, а інтервал вимірювання у 30 секунд визначає мінімальну крупність частинок виділення.

Сортування часточок руди є здебільшого сухим методом при мінімальному споживанні води. Характеризується низькими експлуатаційними витратами, можливістю сортувати індивідуальні частинки на відміну від об'ємного сортування. На ринку представлено доволі багато типів датчиків, які можуть бути використані для сортування. При цьому цей метод характеризується високими капітальними витратами (у порівнянні з об'ємним сортуванням). Сортувальні машини мають відносно низьку продуктивність (близько 100 т/год залежно від крупності та об'ємної ваги руди), а продуктивність фабрики прямо пропорційно залежить від займаної площі та витрат.

Про ефективність даного методу перед збагачення свідчать результати сортування руд шести рудоуправлінь Кривбасу на стрічковому сепараторі РС-2Ж. Вони показали, що підвищення вмісту заліза в концентраті склало від 5 до 12.2%, а вилучення металу зросло з 75 до 90% [17]. Автори зазначають, що відсікання до 10% некондиційної руди у результаті сортування дозволить з урахуванням енерговитрат на дроблення та транспортування тільки у Кривбасі заощадити понад 12 млн. доларів на рік.

Контроль вмісту корисних копалин є переважно сухим методом. Існує можливість оптимізації параметрів відразу на ділянці гірничих робіт ще до того, як руда буде доставлена на збагачувальну фабрику. При цьому метод характеризується низькими експлуатаційними та капітальним витратами та високою продуктивністю. З недоліків слід відзначити додаткове навантаження-розвантаження руди та породи, а також у випадку необхідності зміни межі поділу фракцій грохота, знадобиться встановлення нових дек (або колосників).

Для реалізації технології перед збагачення найбільш сприятливими умовами буде застосування в кар'єрі циклічно-поточної технології (ЦПТ), оскільки є обладнання для великого механічного дроблення та конвеєрний транспорт. Для здійснення технології передзбагачення в технологічну схему вводиться ще два додаткові виробничі процеси: середнє дроблення гірничої маси та суха магнітна сепарація (рис.10).



**Рис.10** - Технологічна схема дробильно-збагачувального перевантажувального пункту



Технологічна схема включає в себе окрім дробарки великого дроблення дробарку середнього дроблення 4, сепаратори сухого магнітного збагачення 6, передавальні конвеєри 5,7, живильники 1,3 та бункери 2,8,9. В залежності від гірничо-технічних умов кар'єру, а саме параметрів робочих площадок, якості вибухової підготовки гірської маси може бути підібране відповідне обладнання [51].



**Рис.11** – Технологія передзбагачення руди

Які результати показала розроблена технологія, тобто що змінилося на краще? По-перше, відбувається підвищення продуктивності збагачувальних фабрик за рахунок переробки більш якісної вихідної сировини. По-друге, продукти збагачення залишаються у виробленому просторі. По-третє, зменшуються обсяги транспортування руди з кар'єру на поверхню та до збагачувальної фабрики, при цьому збільшуються обсяги транспортування та складування розкритих порід. Однією з основних позитивних сторін є зниження обсягу енергоспоживання, оскільки витрати енергії на дроблення та суху магнітну сепарацію в кар'єрі менше, ніж на подрібнення руди на збагачувальній фабриці. За даними [52] на видобуток руди у кар'єрі витрачається біля 7,4 кВт·год/т, якщо застосовується ЦПТ та крупне механічне дроблення у кар'єрі – 8,5 кВт·год/т; середнє та дрібне дроблення на



дробильній фабриці споживає близько 2,5 кВт·год/т; магнітна сепарація «коштує» близько 0,8-1,0 кВт·год/т. При цьому особливо велика питома вага доводиться на подрібнення та перекачування хвостів - 42 кВт·год/т.

### **3.5. Управління якістю в процесі буро-вибухових робіт**

Буро-вибухові роботи є першим технологічним процесом, при якому можливо здійснити стабілізацію якості руди, що видобувається. Реалізація технологічних схем стабілізації якості корисних копалин включає обґрунтування параметрів сітки свердловин, зарядів та схеми комутації для забезпечення мінімальних зсувних деформацій контактів корисних копалин та розкриття у скельних гірських породах [27].

Одним з рішень управління якістю в процесі буро-вибухових робіт є застосування однорядного підривання. Управління якістю корисних копалин для зниження засмічення на практиці забезпечується застосуванням механічного способу підготовки та відокремлення породи від масиву шляхом щадного підривання зарядів вибухових речовин. При цьому однорядне підривання у сучасних трендах зростання продуктивності кар'єрів по гірській масі не розглядається в якості способу підвищення ефективності гірничодобувного підприємства через об'єктивно стримуючі недоліки та фактори. Однак цей спосіб має незаперечну перевагу в умовах застосування на складноструктурних родовищах з низькою вартістю корисної копалини та можливістю організації фронту гірничих робіт, витягнутого у плані. Основною перевагою однорядного підривання у зазначених умовах є можливість забезпечити селективну виїмку і досягнення високої якості споживчих властивостей порід відповідно до вимог замовника. При цьому забезпечення необхідного обсягу гірничої маси досягається підготовкою вузьких та протяжних у плані буропідривних блоків, а це, як відомо, дозволяє зменшити ширину робочих майданчиків до мінімальних розмірів. Промисловими випробуваннями підтверджується, що при однорядному

підриванні досягається мінімальне перемішування порід гірської маси та збільшення крупності її шматка.

В [39] описаний цілий ряд технологічних рішень при підготовці гірських порід до виймання буро-вибуховим способом, які дозволяють в тій чи іншій мірі керувати процесом формування необхідної якості гірських порід. Одним з таких рішень є двостадійне підривання. Реалізація такого рішення можлива лише за умови, що кут нахилу контакту руда-порода не більше  $12 - 15^\circ$  до горизонту, інакше метод не є ефективним. Технологічне рішення спрямоване на мінімізацію зміщення гірської маси для збереження просторового положення первинних контактів руд і порожніх порід шляхом використання великих інтервалів між вибухами. Недоліком методу є буріння та заряджання у дві стадії, що знижує продуктивність праці.

Різновидом даного методу є двостадійне підривання похилих свердловин з крутим кутом нахилу (більше  $55^\circ$ ) контакту руда-порожня порода. Різниця з попереднім методом полягає у тому, що всі свердловини буряться одночасно, а підриваються або із уповільненням або після відвантаження руди екскаватором – на другій стадії робіт.

Ще одним рішенням є вибіркове (селективне) підривання ділянок у плані (рис.12). Це рішення також є схожим до двостадійного і полягає у різночасному підриванні свердловин, розташованих у плані різних ділянок, за сортами. Наприклад, спочатку підривають рудні ділянки, потім породні, або навпаки.

Інші методи, які гіпотетично можуть бути застосовані при управлінні якісними характеристиками: щілинне контурне підривання, напрямлене підривання. Проте ці технологічні рішення значно підвищують собівартість буро-вибухових робіт через зростання обсягу бурових робіт (на 30%), що постає питання в доцільності їх застосування.

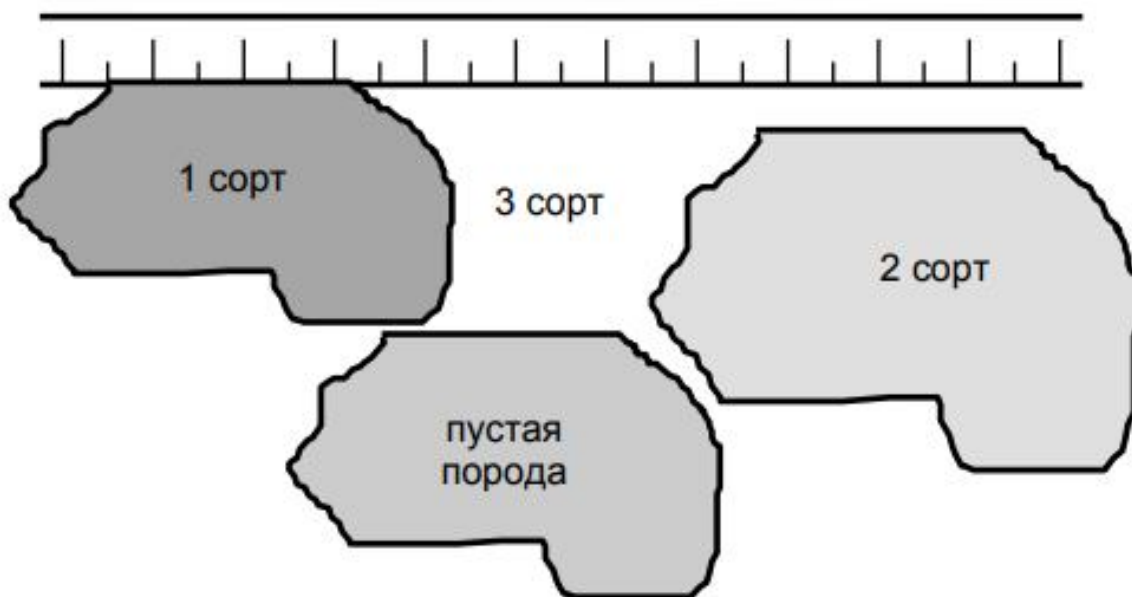


Рис.12 – Вибіркове (селективне) підривання ділянок у плані



Рис.13 – Управління якістю корисних копалин під час ведення буро-вибухових робіт

#### 4. Усереднювальні технології управління якістю гірської маси

Застосування усереднювальних систем рудної маси широко висвітлено у науковій літературі [16,30, 41-45, 48].

#### 4.1.Усереднення навантаженням на забій

Дана методика управління якістю сировини при відпрацюванні глибоких горизонтів глибоких кар'єрів доволі часто застосовується на практиці, але у комплексі з іншими методами.

У [44] автори констатують факт, що при використанні аналітичних методів вирішення завдань міжзабійного усереднення в випадках наявності двох і більше компонентів виникають значні труднощі хоча для багатоконпонентних моделей існують аналітичні рішення. Графічні методи вирішення задач усереднення навантаженням на забій є громіздкими навіть для систем малих розмірностей. Універсальний метод суцільного перебору при великій розмірності задачі пов'язаний з дуже великим обсягом обчислень навіть для сучасних ПС.

Автори доповіді вважають, що задачу розподілу завдання по забоях має слід розв'язувати не на базі аналітичних методів, а на застосуванні прийомів ітераційного вибору оптимального варіанта. Це означає, що між забійному усередненню має передувати метод випадкового пошуку, що дозволяє отримати наближене оптимальне рішення за кінцеве число пробних варіантів. Потім воно уточнюватиметься шляхом перебору. На даний момент ця задача вирішується за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Модель, заснована на цьому принципі має свої переваги:

- дозволяє проводити стабілізацію якості багатоконпонентної руди (зняти зазначені обмеження щодо розмірності моделі);
- враховує зміну відсоткового вмісту компонентів залежно від обсягу;
- дає можливість оперативно перерозподіляти навантаження на забої залежно від виробничої ситуації (поломка екскаватора, відсутність запасу руди у конкретному вибої);
- простота алгоритму та малий обсяг обчислень;

- модель має властивість адаптивності: всі основні критерії та параметри можуть оперативно змінюватись, враховуючи кон'юнктуру ринку, не погіршуючи вихідних параметрів моделі.

Цими ж дослідниками пропонується модель розміщення виймально-навантажувального обладнання для формування необхідної якості багатокомпонентної руди при відпрацюванні складноструктурного родовища в рамках задачі міжзабійного усереднення. Модель розміщення обладнання динамічна. Вона оперативно враховує гірничо-технологічні умови, що змінюються, а також та економічні (кон'юнктурні) умови, дозволяє активно керувати внутрішньокар'єрним усередненням руд та видачею сировини необхідної якості за планований період.

Наприклад, при кількості видобувних забоїв  $n$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) та кількості корисних компонентів  $m$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) обсяг підірваної гірської маси для кожного  $i$ -го вибою розбивається у плані на  $K_i$  прямокутних вічок. Для кожного вічка задаються обсяги, які відображають рельєф розвалу, а також середній відсотковий вміст корисних компонент (рис. 14). Весь розвал вписується у прямокутну область у вигляді прямокутної сітки. Маршрут пересування екскаватора визначається у вигляді вектора з номерів вічок. Варіанти маршрутів можуть бути у вигляді поперечних або поздовжніх заходок, селективної виїмки або оптимальної траєкторії, отриманої з розв'язання задачі внутрішньозабійного усереднення.

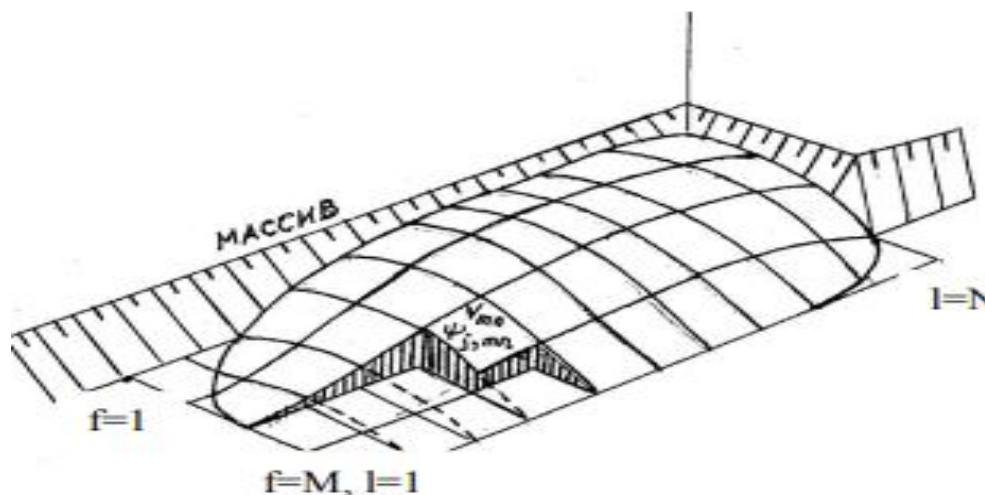


Рис.14 – Міжзабійне усереднення складно структурного родовища

Ще одним рішенням у цьому напрямку є виділення суміжних блоків на сортових планах з визначенням вмісту в них корисного компонента. Після відпрацювання блоку екскаватором здійснюється вибір одного із суміжних блоків в заходці за критерієм мінімуму між забійної дисперсії корисного компонента та передача команди на екскаватор про необхідність переходу на заданий блок. Дослідження [49] показали, що такий підхід дозволяє знизити дисперсію рудо потоку у 2,5-3 рази.



**Рис.15** – Усереднення навантаженням на забій

#### 4.2.Перевантажувальні пункти

Відомо, що при застосуванні комбінованого транспорту, особливо на глибоких кар'єрах, у місцях перевантаження з одного виду транспорту на інший облаштовуються пункти перевантаження, які є сполучним елементом транспортного потоку. Кількість перевантажувальних пунктів у межах кар'єрного поля може коливатися від 1-2 до 6-8, а розміщуються вони, як правило, на робочому борту кар'єру. Тривалість існування такого пункту на одному місці становить від одного до трьох років.



Так, у [18] зазначається, що на кар'єрах Кривбасу найбільшого поширення набули внутрішньокар'єрні автомобільно-залізничні перевантажувальні пункти з екскаваторним навантаженням (рис. 16). Окрім основного їх призначення – перевантаження руди з одного виду транспорту на інший, вони виконують додатково ще й функцію усереднення руди та поділу її за сортами.



**Рис.16** – Перевантажувальний пункт із двостороннім під'їздом залізничного транспорту

Такі пункти на кар'єрах з'явилися ще у 70-80-х роках ХХ століття, а у наш час вони постійно удосконалюються, зростає їхня функціональність, в тому числі і у питанні рудопідготовки.

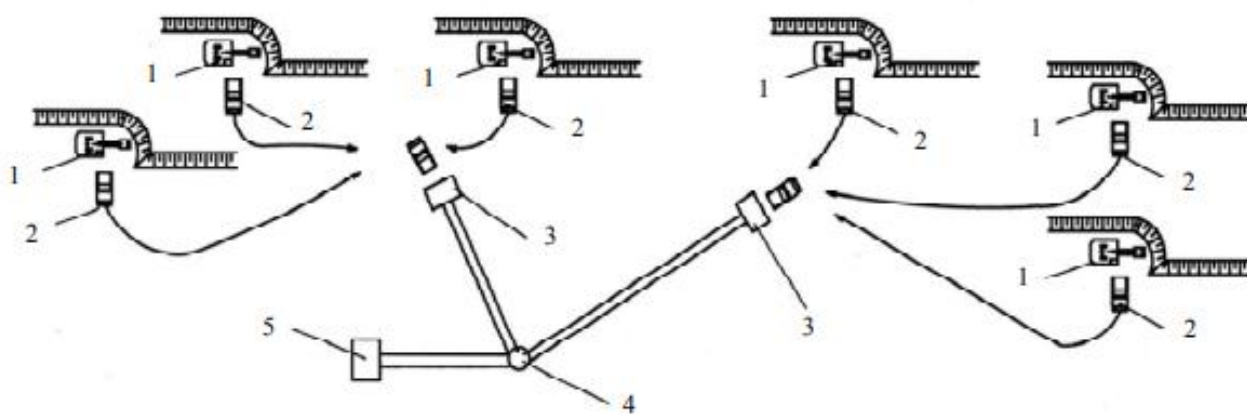
Так у [20] описані кар'єрні грохотильно-перевантажувальні пункти, їхні параметри, особливості формування та функціонування. На таких пунктах відбувається попереднє збагачення руд, що дозволяє скоротити витрати на збагачення на фабриці, оскільки частина некондиційних руд не йде на подальший переділ, а направляється до відвалів.

В монографії [5] детально описані властивості таких пунктів, їх види, переваги, недоліки, сфера застосування тощо. В цій роботі також зазначається, що перевантажувальні пункти різної конструкції покликані не тільки

виконувати функцію проміжного етапу між різними видами транспорту, а й покращувати у певному ступені якість рудної маси.

Вимоги до розміщення перевантажувальних пунктів у кар'єрі багато в чому збігаються з умовами розташування конвеєрних підйомників [43]. Додаткові умови розміщення грохотильно-дробильних пунктів визначаються габаритами перевантажувальних майданчиків на концентраційних горизонтах, які, залежить від розмірів дробильної установки, схеми заїздів та розвантаження автосамоскидів на приймальних бункерах, а також радіусу розвороту машин.

У [43] продемонстровано та описано технологічну схему з двома стаціонарними дробарками (рис.17).



**Рис.17** – Технологічна схема з двома стаціонарними дробарками: 1 – екскаватор у забої; 2 – автосамоскид; 3 – дробарка; 4 – перевантажувальний пункт; 5 – усереднювальний перевантажувальний пункт

Руда від першої групи екскаваторів доставляється самоскидами в бункер першої дробарки. Від другої групи екскаваторів руда доставляється в бункер другої дробарки. У перевантажувальному пункті два потоки подрібненої руди об'єднуються та надходять на магістральний конвеєр, який доставляє руду на усереднювальний перевантажувальний пункт для доведення її до необхідного ступеня однорідності. Неодмінною рисою таких схем є бункер-акумулятор на стаціонарних пунктах. Якщо в кар'єрі є  $n$  видобувних вибоїв і доставка руди в бункер здійснюється автосамоскидами з



вантажопідйомністю  $q$ , то мінімальна ємність бункера  $Q$  повинна бути щонайменше  $qQ$ .

Слід констатувати, що у науковій літературі тема перевантажувальних пунктів різних конструкцій доволі детально висвітлена, проте її аналіз не є метою нашого дослідження.

У підсумку слід зазначити, що ідея та необхідність створення перевантажувальних пунктів виникла по мірі зростання глибини кар'єрів та впровадження циклічно-поточної технології. Тобто, необхідність перевантажувальних пунктів першочергово не пов'язана з управлінням якістю рудної сировини, а є скоріше приємним бонусом їх створення.



Рис.18 – Управління якістю на перевантажувальних пунктах

### 4.3. Усереднювальні склади

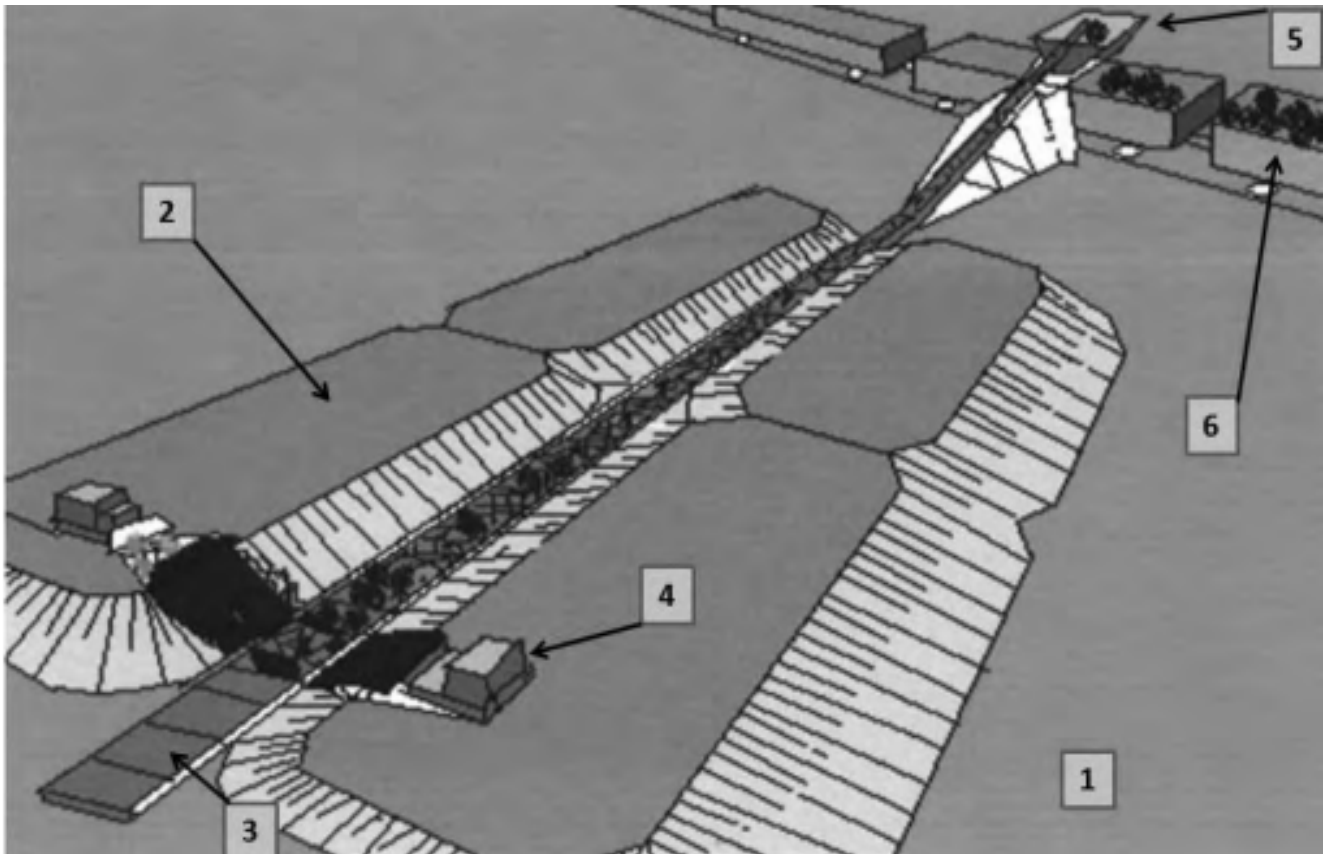
Усереднення на складах [27] одним з основних етапів управління якістю корисних копалин. В даному розділі не будемо детально розглядати усі типи усереднювальних складів та їх особливості, оскільки це може бути темою окремого дослідження. Зупинимось на принципах проектування таких складів, а також на їх ефективності у питанні управління якістю залізорудної сировини.

Аналіз літературних джерел [16, 27, 30] дозволяє зробити висновок, що склади залізних руд у переважній більшості випадків проєктуються виходячи з наступних принципів:

- за основним призначенням – змішувальні та акумулюючі сортувальні склади;
- за функціями – усереднювальні та перевантажувальні;
- за терміном служби – стаціонарні та пересувні;
- за місцем розташування – внутрішньокар'єрні та поверхневі;
- за способом формування складу (штабелю) - з похило шаровою структурою формування штабеля (паралельними похилими шарами); з поздовжньою відсипкою (паралельно довгій осі штабеля); з поступальною схемою формування шарів; з поперечним напрямком відвантаження (перпендикулярно до осі штабелю) тощо.

Аналіз літературних джерел дозволяє також зробити висновок, що на даний момент визначальними параметрами ефективності усереднювальних складів є їх геометричні розміри (висота, ширина та довжина), технологія формування та порядок відпрацювання штабеля, що полягає у певному режимі та порядку розвантаження транспортних судин, відсипання шарів штабеля та їх відбору.

Усереднення показників якості залізорудної сировини на таких складах (рис.19) відбувається наступним чином: на заздалегідь обраній горизонтальній площадці формують штабелі руди у безпосередній близькості від скребкового транспортера з різних його боків. Штабель може формуватися різними способами: пошарово, ромбічно, шевронно, комбіновано. До одного штабелю входить руда різної якості (за різними показниками).



**Рис.19** – Усереднювальний склад: 1 – площадка, 2- штабель, 3 – скребковий транспортер, 4 – навантажувальні машини, 5 – бункер, 6 – залізничні вагони.

Розбір штабелю – усереднення руди – відбувається за допомогою навантажувальних машин. Ними можуть бути бульдозери, скрепери, навантажувачі. Руда в заданих пропорціях подається на конвеєр, в процесі руху перемішується. Додаткове усереднення відбувається під час завантаження у бункер та розвантаження у залізничні вагони.

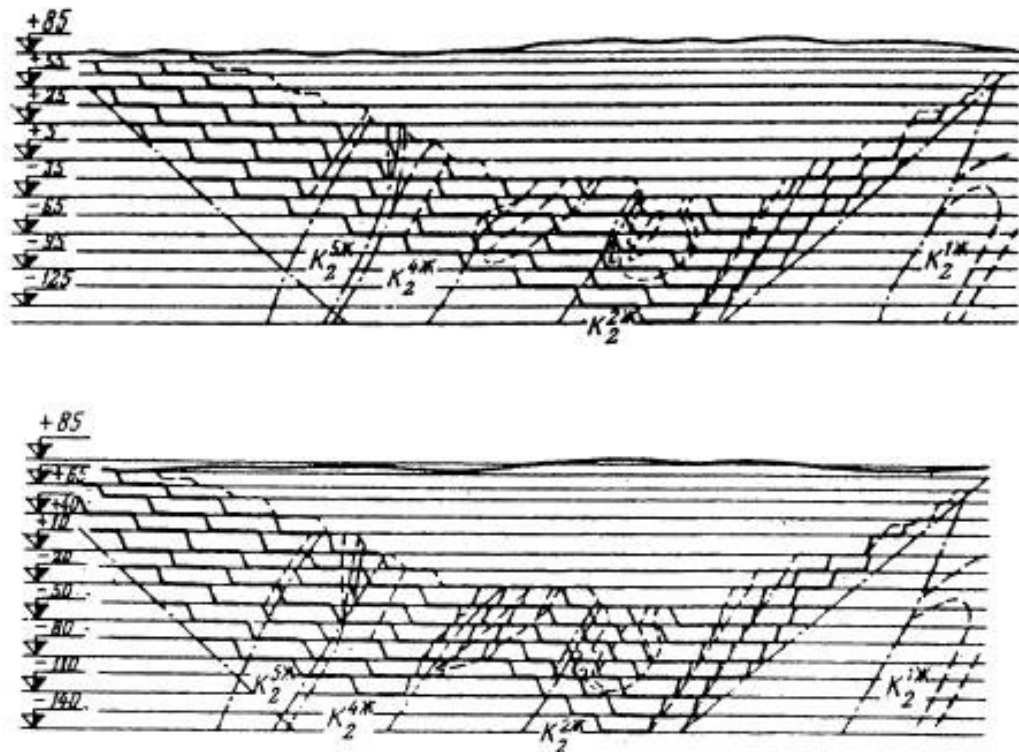
Перевагами даної технології є: надійне усереднення якісних показників, відносна простота технології та надійність обладнання, яке застосовується, можливість усереднення за будь-яким показником. Застосування таких складів може стати ще однією ланкою у системі управління якісними показниками руд.



**Рис.20** – Управління якістю за допомогою усереднювальних складів

### III. ВИВЧЕННЯ ПРАКТИКИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ РУДНОЇ МАСИ

Порядок розвитку гірничих робіт істотно впливає на якість мінеральної сировини та стабільність показників якості. Так, на рис. 21 показано варіанти розвитку гірничих робіт на Глеюватському кар'єрі №1 ЦГЗК.



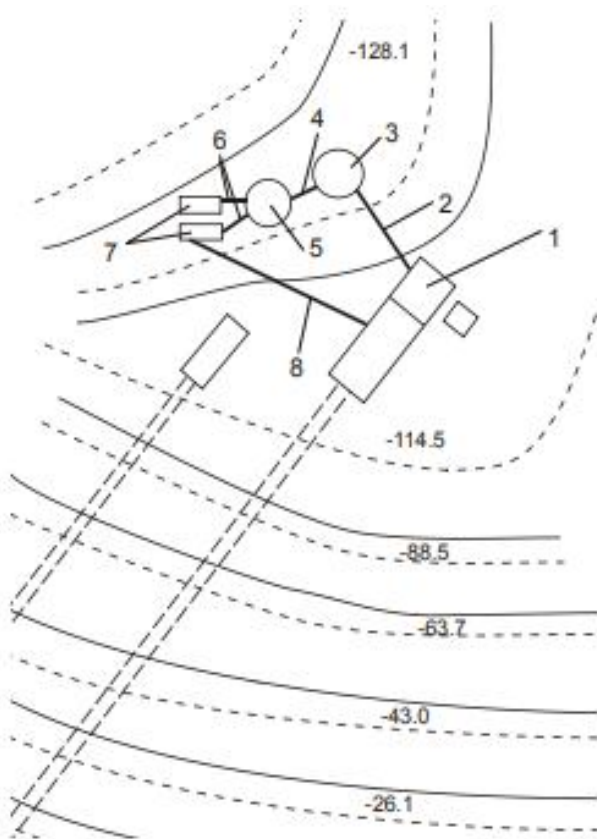
**Рис.21** – Варіанти розвитку гірничих робіт на Глеюватському кар'єрі №1 ЦГЗК

За схемою а глибина ведеться по лежачому боці покладу 2. При роботі за схемою б глибина ведеться одночасно по покладах 2 і 4. Обидва варіанти забезпечують необхідні обсяги видобутку залізної руди, проте у варіанті б більш рівномірно ведеться видобуток руди за сортами і коливання якості руди знаходяться у допустимих межах, що дозволило при плануванні рекомендувати цей варіант для використання.

Для кар'єрів Кривбасу: Інгулецький, Артемівський, Петровський розроблені технологічні схеми технології передзбагачення руди у кар'єрах [50]. Така технологія розроблена у Інституті геотехнічної механіки НАН України. Технологія базується на кваліметричній оцінці якості сировини, взаємозв'язках параметрів систем розробки та схем розкриття кар'єру, закономірностях зміни співвідношення вибухового та механічного руйнування при виборі технологічного комплексу збагачення, закономірностей зміни виробничої потужності кар'єру по руді. Результати наукових досліджень в галузі руйнування гірських порід, можливість застосування продуктивного обладнання з сухої магнітної сепарації, застосування великого механічного дроблення у схемах циклічно-поточної технології, дозволяють підвищити якість вихідної сировини шляхом застосування технології передзбагачення руди в кар'єрі з метою збільшення виробництва залізородного концентрату, покращення його якості та зниження собівартості.

На Першотравневому кар'єрі Північного ГЗК внутрішньокар'єрний дробильно-перевантажувальний пункт розташований на горизонті -115 м. Технологічна схема передзбагачення, розроблена у Інституті геотехнічної механіки НАН України [51], передбачає застосування для доставки руд до корпусу великого дроблення автомобільний транспорт. Варіанти розміщення обладнання наступні:

- а) поступово з переносом на горизонтах -115, -130, -145 м, що дозволяє уникнути необхідності застосування крутопохилих передавальних конвеєрів;
- б) у районі дробильно-перевантажувального пункту на горизонті -128 м (рис. 22).



**Рис.22**–Технологічна схема передбагачення

Вивіз предконцентрату передбачено здійснювати конвеєрним транспортом, а відходи збагачення через відсутність внутрішнього відвалоутворення вивозити автомобільно-залізничним транспортом спільно із розкритвом. На поверхні кар'єру передбачається частково збагачену руду (предконцентрат) постачати залізничним транспортом на збагачувальну фабрику. Технологічний ланцюжок передзбагачення складається з наступних послідовних етапів:

- 1.З вибою руда доставляється автомобільним транспортом, надходить на дробарку великого дроблення.
- 2.Дроблена руда (1) крупністю -300 мм конвеєром (2) подається в дробарку середнього дроблення (3).
- 3.Передавальним конвеєром (4) руда крупністю не більше -70 мм подається на комплекс сепараторів для сухого магнітного збагачення (5).
4. Збагачена руда і відходи передзбагачення крутопохилими конвеєрами (6) подаються в бункери (7).

5. Відвантаження передконцентрату відбувається на похилий стрічковий конвеєр (8), який передає руду на конвеєр, що прямує на поверхню кар'єру.

Усереднювальні системи у вигляді складів застосовуються для управління якісними показниками руд кар'єру Мурунтау. Склади розташовані на поверхні поблизу контуру кар'єру. Вся видобута руда з кар'єру прямує туди автосамоскидами. Кожен із двох приймальних пунктів розбитий на п'ять секторів. Залежно від вмісту руди формується той чи інший сектор складу. Руда розвантажується на укiс із поперечним переміщенням фронту відсипання паралельно короткої осі штабеля похилими шарами. Зачищення майданчика здійснюється бульдозером, завершуючи перший етап усереднення корисних копалин кожного сектора. Другим етапом стабілізації якості руди є поперечне відвантаження руди зі штабелю. Фронт відвантаження переміщається паралельно короткої осі штабеля [38]. Третім етапом усереднення якісних показників руд є перемішування порцій різної руди якості. Найбільша ефективність усереднення досягається при об'єднанні та перемішуванні порцій руди, якісні показники яких різко відрізняються і не пов'язані між собою кореляційною залежністю. Наявність такого складу на кар'єрі Мурунтау не тільки сприяє планомірній роботі підприємства, але й забезпечує ритмічну роботу кар'єра за рахунок запасу продукції. При необхідності виконувати місячні планові показники за обсягом та середнім вмістом рудної маси наявність складу допомагає виконувати план рівномірно протягом місяця, компенсуючи різкі коливання якості, пов'язані з нерівномірним розподілом руд різної якості у надрах.

На Навоїйському ГМК уведені в дію потужні компютерні системи для планування та управління автотранспортом на основі сучасної супутникової навігації в повному обсязі вирішують задачі управління якістю руд за наявності перевантажувальних складів [49]. Задачі управління якістю, які дозволяють вирішувати системи:

- управління селективним вийманням блоків з відображення в режимі реального часу правильності ведення робіт в екскаваторних забоях;

- автоматичне визначення якісних характеристик гірської маси, яка знаходиться в самоскиді з указанням адреси її доставки;
- облік кількості гірської маси кожного сорту;
- оперативне розподілення транспорту по забоях;
- відображення фактичних границь уступів та забоїв.

Застосування комп'ютерних систем управління якістю дозволило а 10-12% збільшити корисний час роботи автотранспорту, на 3-5% знизити втрати та розубоження рудної маси; на 10-15 % збільшити вихід товарної руди з рудно-породної зони кар'єру; знизити дисперсію вмісту металу в руді.



## ВИСНОВКИ

Аналіз наукових джерел за темою дослідження магістерської роботи дозволяє зробити **наступні висновки:**

1. Головним **економічним ризиком** надрокористування є втрати якості руд, що видобуваються, особливо це стосується складноструктурних родовищ зі складною геологією.
2. Забезпечення якості рудної сировини – одна з **найголовніших задач**, яка вирішується при розробці родовищ відкритим способом, оскільки якісні показники сировини напряму впливають на собівартість кінцевого продукту і конкурентоздатність підприємства.
3. Роками напрацьовано **значну кількість технологій** управління якістю сировини, деякі з них є складними в реалізації, мають обмежену сферу застосування, а деякі продовжують удосконалюватись та стають дедалі ефективнішими.
4. Управління якістю продукції кар'єрів є **багатоетапним процесом**. Воно реалізується через виконання незалежних операцій з планування гірничих робіт, організації буро-вибухових, виймально-навантажувальних та транспортних робіт. Також застосовуються спеціальні новаторські рішення на основі сучасних розробок та технологій.
5. Кожне родовище є унікальним за геологічною будовою, мінералогічним складом сировини, тому **вибір комплексу технологічних заходів** по управлінню якістю сировини будуть **індивідуальними**. Навіть якщо застосовується один і той же захід, його параметри можуть відрізнятись, то ж і результативність на кожному родовищі також буде неоднакова.
6. **Збільшення глибини кар'єру** та погіршення гірничо-технічних умов ведення гірничих робіт накладають додаткові складнощі процесу формування сировини необхідної якості. Доводиться залучати цілий комплекс технологій, які дозволяють на високому рівні вирішити

питання якості. Звичайно, це **позначається на собівартості** продукції комбінатів у бік її збільшення.

7. При розробці комплексу методів управління якістю руди необхідно робити ставку на **енергозберігаючі та маловідходні технології**. Одним з таких рішень є технологія передзбагачення руд в кар'єрі, яка є менш енерговитратною, дозволяє складувати продукти збагачення у виробленому просторі, а також залучати до розробки окислені руди.

## **МОЖЛИВІ НАПРЯМКИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ**

На основі проведеного аналізу наукової літератури та практики у питанні технологій управління якістю рудної маси в глибоких кар'єрах, можна окреслити такі **напрямки подальших досліджень**:

1. Провести дослідження щодо **визначення ефективності** технологій управління якістю рудної маси з метою встановлення (визначення) найбільш дієвої з них.
2. Пошуки, дослідження та впровадження **ощадливих енергозберігаючих та маловідходних технологій** при управлінні якістю мінеральної сировини.
3. **Накопичувати досвід** застосування технологій управління якістю рудної маси для родовищ з різними гірничо-геологічними умовами та здійснювати їх порівняльний аналіз.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Азарян В.А. Развитие методов управления качеством рудопотоков карьеров / В.А. Азарян, С.А. Жуков // LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2017. – С. 112
2. Азарян В.А. Развитие теории управления качеством рудопотоков залізородних гірничо-збагачувальних комбінатів / В.А. Азарян, С.О. Жуков // Вчені записки Таврійського національного університету ім. Вернадського : наук. журнал. – Київ. – 2018. – Том 29 (68). № 3 – С. 89– 94. 14
3. Блізнюков В.Г., Луценко С.О., Пижик А.М. Гірнича справа: Навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О. 2014, 412 с.
4. Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи: підручник / А.Ю. Дриженко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т – Д.: НГУ, 2014. – 590 с.
5. Перевантажувальні пункти при автомобільно-конвесрному транспорті на рудних кар'єрах / під заг.ред. В.Т.Лашка – Дніпропетровськ, 2001. – 140 с.
6. Huang, Q., & Chen, J. (2011). Research on Dynamic Mine Ore Blending Optimization Based on Particle Swarm Optimization in Mining Enterprises. Computer Engineering, (8), 50-61.
7. Азарян А.А. Состояние проблемы контроля качества при добыче и переработке железорудного сырья / А.А. Азарян, В.А. Азарян, Г.Н.Лисовой // Гірничий вісник. – вип..95(1).- 2012. – С. 132-135.
8. Качество минерального сырья/А.А.Азарян, Ю.Г Вилкул, В.А Колосов и др. //Металлургическая и горнорудная промышленность - №1. 2004.- С 88-91.
9. Качество минерального сырья/А.А.Азарян, В.А.Колосов, Л.А.Ломовцев, А.Д.Учитель. - Кривой Рог: Минерал, 2001.-203 с.

10. <https://ukrrudprom.com/reference/industry/gmk.html#:~:text=По%20запасам%20железорудного%20сырья%20Украина,а%20по%20объемам%20производства%20—%20седьмое.>
11. Quality of mineral wealth as a factor affecting the formation of refuse of ore mining and processing enterprises / S. Chrykhalova// VII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources”/ - 2018.
12. Claudio O., Pierpaolo O. Underground Quarrying for Marble: Stability assessment through modelling and monitoring / International Journal of Mining Science. 2015;1(1):35–42.
13. Improvement of mineral processing methods in mining structurally complex deposits / V.D. Kantemirov, A.M. Yakovlev, R.S. Titov, A.V. Timokhin // Mining Industry №1S / 2022. - p. 63-70.
14. <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-informacionnye-tehnologii-planirovaniya-gornyh-rabot-dlya-gornyh-inzhenerov-ka.pdf>
15. Горная квалиметрия: Учебное пособие. — 2-е изд., стер. — М.: Горная книга, 2007. — 201 с.: ил
16. Ломоносов Г.Г. Формирование качества руды при открытой добыче. – М.: Недра, 1976. – 252с.
17. <https://www.amcconsultants.com>
18. Четверик М.С. Рациональные области расположения перегрузочных пунктов в рабочей зоне глубоких карьеров при комбинированных видах транспорта // М.С. Четверик, Т.И. Акилбаев // Metallургическая и горнорудная промышленность, 2017. -№ 2. – С.59-65.
19. Исследование парных операционных перегрузочных узлов в цепи стабилизации качества при формировании бинарного рудопотока / В. А. Азарян, С. А. Жуков // Збірник наукових праць "Науково-дослідного гірничорудного інституту" Державного вищого навчального закладу "Криворізький національний університет". - 2016. - № 56. - С. 173-181.

20. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М., Козлова М.В. Современные подходы к выбору методов рудоподготовки минерального сырья / Маркшейдерия и недропользование. 2020;(4):29–34.
21. Богуславский Э.И. Управление качеством руды – основа горно-технологического менеджмента / Записки горного института.- 2006. – С.26-28.
22. Гірничий енциклопедичний словник: В 3т. – Донецьк.: Східний видавничий дім, 2001.
23. Lamghari A., Dimitrakopoulos R., and Ferland J. A. A hybrid method based on linear programming and variable neighborhood descent for scheduling production in openpit mines. *Journal of Global Optimization*, vol. 63, no. 3., 2015, pp. 555—582.
24. Панченко В.В. Анализ состояния и приоритетные направления повышения эффективности открытой разработки железорудных месторождений Украины / В.В.Панченко, А.В.Романенко // Збірник наукових праць НГУ. - 2017. - № 50 [39]. – С.33-43.
25. Эрих О.В. Управление качеством руды при планировании горных работ / Записки горного института.- 2002. – С.57-59.
26. Яковлев А. М. Планирование горных работ в режиме управления качеством сырья на основе геоинформационного моделирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 5—1. — С. 258—268.
27. M. Zarubin, L. Statsenko, V. Zarubina, E. Fionin. (2017). *Mining of Mineral Deposits*, 11(4), 59-70.
28. Горпинич А.В. Формирование стабильного качества рудопотока карьера при совместной цикличной и циклично-поточной технологиях горных работ / А.В. Горпинич / Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. – Д., 1998. – Вып. 4. – С. 67 – 70.
29. Robinson, G.K. (2004). How Much Would a Blending Stockpile Reduce Variation? *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 74(1), 121-133.

30. Бастан П.П., Костина Н.К. Смешивание и сортировка руд. М.: Недра; 1990. 168 с.
31. Горпинич А.В. Применение складов руды в циклично-поточной технологии при формировании рудопотоков на карьерах / А.В. Горпинич // Розробка родовищ: Зб. наук. пр. — 2015. — Т. 9. — С. 231-241.
32. Ржевский В.В. Открытые горные работы. – М.: Недра, 1985.- 550 с.
33. Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С. Применение геоинформационных технологий блочного моделирования для совершенствования методов оценки качественных показателей полезных ископаемых / Известия вузов. Горный журнал. 2021;(1):63– 73.
34. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Тимохин А.В., Яковлев А.М. Совершенствование методов учета повышенных потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче / Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020;(3-1):466–477.
35. Азарян В.А. Технолого-теоретичні засади управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів – дис. на здоб. Наук. ступеня доктора технічних наук, Кривий Ріг, 2019. – 376 с.
36. Галиев Д.А. Автоматизированный способ повышения стабильности качества сырья для глубоких карьеров с комбинированным транспортом / Д.А. Галиев, Е.Т. Утешов // Горный журнал Казахстана, Алматы 2017 г. №7- С.29 – 32
37. Панкевич Ю.Б. Комбайновая выемка горных пород на карьерах Узбекистана / Ю.Б. Панкевич, Г. Хартман, П. Дженге // Горная промышленность. – 1995. – №5.
38. Сытенков В.Н. Формирование качества руды на усреднительных складах карьера Мурунтау / В.Н. Сытенков, А.Н. Лукьянов, А.В. Селезнев // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2000.
39. Порцевский А.К. Управление качеством рудной массы на открытых горных работах. – М, 1998. – 44 с.

40. Критерії та методи оптимізації планування гірничих робіт на кар'єрах по сортам руд / В. Ф. Бизов, В. М. Коробко // Відомості Академії гірничих наук України. – 1998. – № 1. – С. 12-17.
41. Усреднение руд на перегрузочных площадках карьеров / В. Ф. Бызов, Н. Г. Грибенко, А. В. Казавчук // Разработка рудных месторождений: межвед. науч.-техн. сборник. – К., 1972. – Вып. 13: Открытые горные работы. – С. 50-52.
42. Об усреднении качества руд при объединении грузопотоков / В. Ф. Бызов, Ю. Г. Вилкул, И. И. Максимов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1982. – № 2. – С. 64-65.
43. Холодняков Г.А. Технологические схемы усреднения руды при циклично-поточной технологии открытых горных работ / Г.А.Холодняков, А.О.Ипатова, Д.А.Иконников, К.Р.Аргимбаев // Записки Горного института. - 2012. – С.142-145.
44. Ракишев Б.Р. Распределение объемов руды в режиме межзабойного усреднения / Б.Р. Ракишев, Ж.Р. Имашев, И.В. Лункин, В.Н. Курилло // Доповідь на симпозіумі «Тиждень гірника», 2000.
45. Васильев М.В. Внутрикарьерное складирование и перегрузка руд / М.В. Васильев. – М.: Недра, 1968. – 184 с
46. Моссур П.М. Горно-металлургический комплекс Днепропетровской области // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – С.315-318
47. Новожилов М.Г., Ройзен Я.Ш., Эрперт А.М. Качество рудного сырья черной металлургии. – М.: Недра, 1977. – 415с.
48. Кривошеев А.В. Совершенствование перегрузочных пунктов циклично-поточной технологии при переходе к отработке глубоких горизонтов карьеров: автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.15.03 «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых» / А.В. Кривошеев. – Кривой Рог, 1993. – 20 с.



- 49.Медников Н.Н. Система формирования качества рудного потока при разработке сложноструктурного месторождения / Н.Н Медников, П.А. Шеметов, А.В.Селезнёв // Доповідь на симпозиумі «Тиждень гірника», 2003.
- 50.Перспективные направления добычи руд в глубоких карьерах и шахтах Кривбасса / М.С. Четверик // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2012. — Вип. 104. — С. 51-60.
- 51.Четверик М.С. Технология предобогащения в карьерах как перспективное направление добычи магнитных и окисленных руд/ М.С. Четверик, Е.В.Бабий, А.П.Левицкий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – С.99-105.
- 52.Дремин А.А. Стратегия энергосбережения при добыче и переработке железных руд // Горный журнал, 2006. — №12. –С. 45-47