

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова  
Національна академія наук України



Бабій Катерина Василівна

УДК [622.741.3-144:622.271.3.06](043.5)

ГЕОМЕХАНІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДЗБАГАЧЕННЯ РУДИ В  
ГЛИБОКИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРАХ

Спеціальність 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка»  
05.15.03 – «Відкрита розробка родовищ корисних копалин»

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Дніпро-2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор  
**Четверик Михайло Сергійович**,  
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова  
НАН України, завідувач відділу геомеханічних основ  
технологій відкритої розробки родовищ.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Зуєвська Наталія Валеріївна**,  
«Національний технічний університет України «Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
МОН України (м. Київ), професор кафедри геобудівництва  
та гірничих технологій;

доктор технічних наук, професор  
**Собко Борис Юхимович**,  
«Національний технічний університет «Дніпровська  
політехніка» МОН України (м. Дніпро), завідувач кафедри  
відкритих гірничих робіт;

доктор технічних наук, професор  
**Петренко Володимир Дмитрович**,  
«Дніпропетровський національний університет залізничного  
транспорту ім. академіка В. Лазаряна» МОН України  
(м. Дніпро), професор кафедри мости і тунелі.

Захист відбудеться « 5 » липня 2019 р. о 13:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.188.01 у Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2А, тел. (0562) 46-24-26.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2А.

Автореферат розісланий « 4 » червня 2019 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради Д 08.188.01  
доктор технічних наук, професор



В.Г. Шевченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Україна перша в світі країна за обсягами покладів залізорудної сировини. Але на світовому ринку залізорудна продукція займає другорядне значення тому, що відрізняється високою собівартістю виробництва, порівняно низьким вмістом корисного компонента при відносно високих показниках шкідливих домішок. Головною причиною цього є не тільки низька якість вихідної мінеральної сировини, а її суттєве збіднювання при видобутку.

Розробка родовищ відкритим способом супроводжується втратою якості сировини: зниженням вмісту корисного компонента у видобутій рудній сировині в порівнянні з вмістом його в масиві. До підвищеного збіднювання руди призводить складна геологічна будова родовища, використання в видобувному вибої екскаваторної техніки з великою місткістю ківшів і наявність у робочих уступах породних прошарків потужністю до 10 м, які відповідно до галузевої інструкції, визначають як корисну копалину. Окрім того, при проведенні вибухових робіт змішуються рудні породи з породами розкриття та мають різну шматкуватість, що ускладнює їх селективне вилучення.

Дослідження цих процесів свідчать, що втрати і збіднювання руд суттєво впливають на собівартість виробництва концентрату. У першому випадку через ускладнення процесу видобутку при застосуванні селективного виймання, а в другому – через збільшення енерговитрат на переробку пустих порід, що містяться в рудній сировині. З рудних вибоїв, які мають складну геологічну будову, на переробку потрапляє потік рудної маси, який має різну якість і шматкуватість. Тому енерговитрати на переробку вихідної мінеральної сировини сягають більше ніж 45 кВт/год на тону концентрату. Якщо шматкуватість рудного потоку в кар'єрі зменшується за технологічними процесами для забезпечення роботи обладнання, то якісні показники рудного потоку змінюються тільки при вилученні мінеральних зерен на збагачувальній фабриці.

Головним напрямком управління якістю рудного потоку є застосування сухої магнітної сепарації на збагачувальній фабриці або в комплексі механізованої рудорозбірки біля кар'єру. Однак, малодосліджені закономірності попереднього збагачення в кар'єрі, залежності параметрів потоку рудної маси від геологічних, технічних та технологічних параметрів видобутку. Відсутні геомеханічне обґрунтування підготовки гірської маси до попереднього збагачення, розподіл вантажопотоків, технологічні схеми попереднього збагачення руди в кар'єрі, тощо. Вирішення цих питань дозволить визначити параметри технологічного комплексу обладнання, їх вплив на виробничу потужність гірничого підприємства і застосовувати технологію передзбагачення руди в глибоких залізорудних кар'єрах.

Тому розвиток геомеханічних основ технології передзбагачення руди в глибоких залізорудних кар'єрах з урахуванням закономірностей зміни гранулометричного складу і показників рудного потоку від геомеханічних, геологічних, технічних та технологічних параметрів видобутку під впливом вибухового руйнування та сухої магнітної сепарації і розробка способів видобутку і переробки скельних порід розкриття є **актуальною науковою проблемою** в

області геомеханіки відкритої розробки залізородних родовищ, що має важливе значення для підвищення ефективності гірничодобувних підприємств.

**Зв'язок роботи з науковими темами програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідних робіт відділу геомеханічних основ технологій відкритої розробки родовищ в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України відповідно до галузевих планів НДР згідно з Постановами бюро Відділення механіки НАН України: «Розробка теоретичних основ технології передзбагачення руди в кар'єрах та формування технологічних комплексів» (№ ДР 0107U012100), де автор був відповідальним виконавцем, «Розробка наукових основ екологічно безпечної доробки кар'єрів із використанням енергії вибуху і формуванням промислово-господарчих комплексів на порушених та техногенних геологічних середовищах» (№ ДР 0116U004044), де автор виконував окремі розділи, а також за грантом Президента України GP/F27/0171 «Обґрунтування технології передзбагачення залістистих кварцитів в кар'єрах та формування технологічних комплексів з використанням кваліметричних методів оцінки якості сировини» (№ ДР 0110U000676), яку здобувач виконував як науковий керівник. Автор був відповідальним виконавцем прикладних наукових робіт «Обґрунтування раціональних технологічних схем транспортування, складування та переробки порід розкриття з різними властивостями й геомеханічними параметрами в умовах кар'єру ІнГЗК» (№ ДР 0112U006558), «Вибір раціональних параметрів технології внутрішнього відвалоутворення з забезпеченням стійкості ярусів для внутрішнього відвалу на південно-західному борту Першотравневого кар'єру ПАТ «Північний ГЗК» (№ ДР 0116U004044) та інших.

**Ідея роботи** полягає у використанні встановлених закономірностей зміни показників корисного компоненту і шматкуватості в рудній масі під впливом буро-підривних робіт і сухої магнітної сепарації для управління якістю рудного вантажопотоку через відокремлення безрудних порід і корисної копалини безпосередньо в кар'єрі.

**Мета роботи** – визначення закономірностей параметрів потоку рудної маси від геомеханічних особливостей залягання покладу, фізико-механічних властивостей гірських порід та техніко-технологічних параметрів видобутку і переробки під впливом буро-підривних робіт та сухої магнітної сепарації, які дозволяють обґрунтувати коригування виробничої потужності кар'єру та розробити технологічні схеми передзбагачення для реалізації нових способів видобутку й переробки залізних руд.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні **задачі**:

- встановити залежності параметрів потоку рудної маси від геологічних, технічних і технологічних факторів видобутку руди;
- обґрунтувати попередню підготовку рудної маси до переробки через регулювання гранулометричного складу гірської маси;
- виявити вплив додаткового виробничого процесу сухої магнітної сепарації на зміну параметрів вантажотранспортного зв'язку, систем розробки, схем розкриття та обладнання технологічного комплексу кар'єру;

– встановити залежності зміни коефіцієнту запасу стійкості для техногенних укосів видобувного блоку складної геологічної будови від геологічних, геомеханічних і технічних параметрів;

– розробити методику розрахунку енергоємності технологічних процесів видобутку залізних руд та обґрунтувати енергозбереження технологічних схем передзбагачення;

– розробити методику коригування виробничої потужності кар'єру і продуктивності розкривного комплексу при застосуванні технологій передзбагачення руди в кар'єрі;

– розробити нові технічні рішення щодо вдосконалення технології передзбагачення руди в кар'єрі та створення нових способів видобутку й переробки, оцінити економічну ефективність і перспективу розвитку досліджень.

**Об'єктом** дослідження є процеси руйнування складно структурного гірського масиву, екскавації і транспортування гірських порід, дроблення і сухої магнітної сепарації залізорудної сировини в глибоких кар'єрах.

**Предметом** дослідження є закономірності зміни параметрів потоку рудної маси за якістю і шматкуватістю від гірничо-геологічних умов видобутку, техніко-технологічних показників процесів видобутку і переробки, фізико-механічних властивостей гірських порід, які визначають параметри технології передзбагачення руди в кар'єрах.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених завдань використано комплексний метод, що містить: техніко-економічний аналіз практики роботи гірничорудних підприємств, досвід використання обладнання сухої магнітної сепарації на збагачувальних фабриках – для обґрунтування мети та актуальності досліджень; каротаж магнітної сприятливості порід буро-підривних свердловин – для виявлення будови покладу; натурні візуальні спостереження – для дослідження особливостей геологічної будови родовищ Кривбасу; метод косокутної фотопланіметрії – для встановлення гранулометричного складу розвалу гірської маси після вибуху; експериментальні дослідження у полігонних умовах впливу анізотропії міцностних властивостей на шматкуватість гірської маси; методи кваліметрії – для обґрунтування якісних показників рудної маси; імітаційне моделювання технологічних процесів – для вибору оптимальних технічних рішень.

### **Основні наукові положення, що захищаються в дисертації**

1. Кут між віссю вибухової порожнини і площиною контактної зони твердого середовища з породами різної міцності і щільності при вибуховому навантаженні подовженими зарядами впливає на показник кондиційності дроблення, який підвищується на 7-10% при зміні кута від 0 до 90 градусів.

2. Коефіцієнт запасу стійкості техногенного укосу змінюється в поліноміальній залежності від кута падіння безрудного прошарку в рудному середовищі і збільшується в логарифмічній залежності від потужності включення та має мінімальні значення при кутах 35-45 градусів до площини виїмки гірської маси і при потужності безрудного прошарку до 3 м.

3. Збіднювання рудного потоку визначається коефіцієнтом засмічення, який збільшується за ступеневою залежністю від місткості ківшу екскаватора,

зменшується за експоненціальною залежністю від ширини заходки видобувного блоку і висоти уступу та за ступеневою залежністю від кута нахилу безрудного прошарку та його потужності і знижується в 2-3 рази під впливом дії додаткового технологічного процесу сухої магнітної сепарації в кар'єрі до вантажопотоку з контактних зон після середнього механічного дроблення.

4. Збільшення об'єму передзбагачення збіднених руд або порід розкриття з магнітними властивостями впливає на зниження собівартості кінцевої продукції за логарифмічною залежністю і збільшення економічної ефективності видобутку залізних руд в цілому за лінійною залежністю.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Розвинуті геомеханічні основи технологій передзбагачення руди в глибоких залізрудних кар'єрах на підставі встановлених закономірностей зміни гранулометричного складу і якісних показників рудного потоку від геомеханічних, геологічних, технічних і технологічних параметрів процесів видобутку корисних копалин.

2. Вперше експериментально встановлений вплив орієнтування осі вибухової порожнини відносно площини контактної зони складно структурного масиву на показники кондиційного дроблення гірської маси.

3. Вперше встановлені залежності коефіцієнта запасу стійкості техногенних укосів видобувного блоку від кута падіння контактної зони та потужності безрудного прошарку, аналіз яких дозволив встановити, що мінімальні значення при кутах падіння безрудного прошарку в межах 35-45 градусів до площини виїмки гірської маси і при потужності безрудного прошарку до 3 м.

4. Вперше встановлено закономірності збіднювання рудного потоку і втрат корисної копалини під впливом гірничо-геологічних умов розробки, технічних характеристик устаткування, технологічних параметрів видобутку, що дозволило розробити і обґрунтувати нові способи видобутку й переробки залізних руд.

5. Вперше розроблена класифікація контактних зон «руда – вміщуючі породи» за геологічними та технологічними ознаками, яка дозволяє оцінити міру засмічення рудної маси і обсяг втрат корисної копалини.

6. Вперше визначені аналітичні залежності продуктивності збагачувальної фабрики від встановленого взаємозв'язку виробничої потужності кар'єру, продуктивності розкривного комплексу і комплексу передзбагачення руди в кар'єрі.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень,** висновків і рекомендацій забезпечується коректністю постановки задач, використанням апробованих методів дослідження; задовільною збіжністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень щодо впливу фізико-механічних властивостей на енергоємність виробничих процесів з високим коефіцієнтом детермінації 0,94-0,97, а також при дослідженні закономірностей якісних показників рудної маси в аналітичних й емпіричних залежностях отриманий високий коефіцієнт детермінації 0,96-0,99; позитивними результатами впровадження в проектні роботи.

**Наукове значення роботи** полягає в розробці геомеханічних основ технологій передзбагачення руди в глибоких залізорудних кар'єрах на підставі встановлених закономірностей зміни гранулометричного складу і якісних показників рудного потоку від гірничо-геологічних умов розробки, технічних характеристик устаткування, технологічних параметрів видобутку і переробки під впливом дії вибухового руйнування та сухої магнітної сепарації в кар'єрі в залежності від об'єму гірських порід, який перероблюється, що дозволяє підвищити виробничу потужність гірничих підприємств і економічну ефективність їх роботи.

**Практичне значення роботи:**

1. Розроблені рекомендації щодо створення дослідно-промислової ділянки технології передзбагачення руди на Інгулецькому кар'єрі.

2. Розроблена методика оцінювання параметрів видобувних робіт, де підготовка гірської маси до подальшої її переробки виконується вибуховим руйнуванням міцних анізотропних гірських порід у видобувному блоку складної геологічної будови через застосування секцій заряду кумулятивної дії навпроти контактних зон, що сприяє багатоступеневому імпульсному навантаженню по висоті свердловини і формуванні системи радіальних тріщин та розвантажувальної щілини.

3. Розроблена методика коригування виробничої потужності кар'єру і продуктивності розкривного комплексу при застосуванні технології передзбагачення руди в кар'єрі.

4. Розроблено нові способи видобутку та переробки залізних руд і скельних порід розкриття на внутрішньо та зовнішньо кар'єрних перевантажувальних пунктах.

5. Розроблено технологічні схеми видобутку і переробки залізорудної сировини, які рекомендовані для створення спеціальної науково-виробничої ділянки на кар'єрах Кривбасу: Першотравневому, Петровському, Артемівському.

6. Розроблена методика розрахунку енергоємності технологічних процесів видобутку залежно від фізико-механічних властивостей порід і технічних параметрів обладнання і обґрунтовано енергозбереження технологічних схем з передзбагаченням залізних руд.

7. Розроблено рекомендації щодо розташування на внутрішньо кар'єрних перевантажувальних пунктах (автомобільно-залізничний або автомобільно-конвеєрний транспорт) обладнання при використанні технології передзбагачення руди в кар'єрі.

8. Розроблені науково-технічні основи створення технології передзбагачення руди в глибоких залізорудних кар'єрах, результати якої впроваджені в проекти розробки залізорудних родовищ глибокими кар'єрами, що засвідчило високу економічну ефективність технології в комплексі з циклічно-потоковою технологією видобутку руд в Кривбасі.

**Реалізація роботи.** Результати досліджень упроваджувались в проектах: ДП «ДП «КРИВБАСПРОЕКТ» при розробці проекту «Визначення найбільш оптимальної технологічної схеми доставки порід розкриття до місця складування в

умовах ІнГЗК» (Акт використання від 10.12.2012 р.), а при виконанні проектних робіт щодо напрямків розвитку Першотравневого кар'єру ПівніГЗКу використані «Рекомендації по розташуванню на внутрішньо кар'єрних перевантажувальних пунктах (автомобільно-залізничний або автомобільно-конвеєрний транспорт) обладнання при використанні технології передзбагачення руди в кар'єрі» (Довідка про використання від 19.12.11 р.); ТОВ «Южгіпроруда» при розробці проекту «Розвиток сировинної бази комбінату до 2015 року. Ганнівський кар'єр» (Довідка про використання від 05.03.2009 р.) та в рамках робочого проекту «Формування тимчасового внутрішнього відвалу на південно-західному борту Першотравневого кар'єру» (Акт використання від 31.05.2017 р.). Техніко-економічне обґрунтування впровадження нового способу видобутку, транспортування й переробки скельних порід розкриття в умовах Петрівського кар'єру ПАТ "Центральний ГЗК" виконано в межах проекту ДП «ДПІ «КРИВБАСПРОЕКТ». Очікуваний річний економічний ефект 27 401,96 тис. грн (Акт впровадження від 14.03.2017 р.).

**Апробація результатів роботи.** Основні положення і результати досліджень доповідались й обговорювалися: на конференціях молодих учених "Геотехнічні проблеми розробки родовищ" (м. Дніпро, 18.11.2007 р., 15.11.2008 р., 17.11.2009 р., 14.11.2013 р., 29.10.2015 р., 27.10.2016 р., 26.10.2017 р., 25.10.2018 р.); на Міжнародних конференціях "Форум гірників" (м. Дніпро, 11-13.10.2006 р., 11-13.10.2007 р., 30.09-03.10.2015 р.); на Міжнародних науково-технічних конференціях "Гірничо-металургійний комплекс: досягнення, проблеми та перспективи розвитку" (м. Кривий Ріг, 12-16.05.2009 р., 25-28.05.2010 р., 22-25.05.2013 р.); на конференції «Моніторинг та мінімізація негативного впливу господарської діяльності залізрудних підприємств України на навколишнє природне середовище» (м. Кривий Ріг, 08.10.2010 р.); на конференції «Геомеханічні аспекти та екологічні наслідки відпрацювання рудних покладів» (м. Кривий Ріг, 21-22.12.2012 р.); на конференції «Тиждень гірника» (м. Москва, 25-29.01.2010 р.); на XX Міжнародній науковій школі ім. академіка С.О. Христіановича (м. Алушта, 20-26.09.2010 р.); на Міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні технології розробки рудних родовищ» (м. Кривий Ріг, 19.06.2015 р., 23.11.2018 р.).

**Публікації.** З теми дисертації опубліковано 50 праць, у тому числі 8 публікацій у закордонних виданнях та у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз, 1 монографія, 4 патенти, 26 наукових статей у фахових виданнях, 11 в матеріалах конференцій.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел – 198 найменувань на 36 сторінках, містить 386 сторінку машинописного тексту, містить 51 таблицю та 106 рисунків, з яких 36 на окремих сторінках (основна частина 312 сторінки), 17 додатків на 64 сторінках.



## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**В першому розділі** виконано аналіз стану проблеми розвитку перспективних напрямків технології відкритої розробки залізородних родовищ, який засвідчив відсутність геомеханічного обґрунтування підготовки рудної маси до переробки.

У працях провідних вітчизняних та закордонних науковців та фахівців багатьох наукових закладів та підприємств: Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Інститут фізики гірничих процесів НАН України, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України, Інститут проблем природокористування та екології НАН України, ДВНЗ «Криворізький технічний університет» МОН України, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Казахський національний дослідницький технічний університет імені К.І. Сатпаєва, та інші – наведені багатоплідні результати теоретичних, експериментальних та промислових досліджень щодо вирішення проблем в області геотехнічної та гірничої механіки та розробки корисних копалин відкритим способом видобутку.

Виконаний аналіз сучасних технологій видобутку та переробки залізних руд на глибоких кар'єрах Кривбасу свідчить, що вони мають чималу цінність для гірничорудних підприємств, оскільки дозволяють знизити поточний коефіцієнт розкриття і тимчасово підтримати виробничу потужність кар'єру при зменшенні продуктивності розкривних робіт. Однак вони не дають можливості покращити якість рудної сировини, відновити колишні обсяги виробництва та збільшити продуктивність гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК). Тому при розгляді перспективних напрямів подальшого розвитку гірничорудного виробництва з відновленням та нарощуванням виробничої потужності – основним напрямком відкритого способу розробки родовищ залишається циклічно-поточна технологія з крутопохилими конвеєрами. Сучасні технічні і технологічні рішення з оптимізації гірничодобувних і переробних робіт свідчать, що інноваційним в гірничій справі є застосування попереднього збагачення. Але для його застосування необхідні геомеханічне обґрунтування підготовки гірської маси до переробки та теоретичне обґрунтування введення додаткового виробничого процесу в кар'єр.

Для ефективною підготовки корисної копалини та управління гранулометричним складом для подальшої її переробки виконано аналіз способів вдосконалення буро-підривних робіт (БПР), який свідчить, що практично всі способи присвячені монолітним, водонасиченим, абразивним або тріщинуватим породам, і досить рідкісно для масивів зі складною геологічною будовою. Тому питання вдосконалення параметрів БПР і регулювання характеристик продуктів руйнування залишається актуальним.

Розробка глибоких кар'єрів вимагає поглибленого вивчення і надійного обґрунтування параметрів стійкості укосів видобувних блоків, уступів і бортів кар'єрів. Збільшення глибини кар'єрів, погіршення гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов розробки родовищ потребує постійного контролю, забезпечення стійкості укосів видобувних блоків складної геологічної будови.

На основі виявлених проблем розвитку гірничорудної промисловості, а також відповідно до мети дисертаційної роботи сформульовано задачі дослідження та шляхи їх розв'язання. З аналізу виконаних робіт впливає необхідність розвитку геомеханічних основ технології з використанням попереднього збагачення залізних руд в кар'єрі в злагодженому технологічному комплексі видобутку, переробки й транспортування корисної копалини.

**У другому розділі** виконано геомеханічне обґрунтування підготовки рудної маси за якістю і шматкуватістю до попереднього збагачення.

До попереднього збагачення передбачені збіднювані залізні руди та породи розкриття з магнітними властивостями. Означені вантажопотоки формуються в контактних зонах «руда – вміщуючі породи». Тому виконані дослідження родовищ Криворізького залізорудного басейну щодо розповсюдження контактних зон та їх параметрів. Контактні зони поділені на дві групи: перша група представлена стислими синклінальними складками, причому замкова частина синкліналі входить в контури кар'єрного поля; друга група – потужними пластоподібними покладами похилого і крутого падіння значної протяжності. Кар'єри, які розробляють першу групу родовищ, мають складнішу геологічну структуру продуктивного рудного тіла. У зв'язку з великою переміжністю рудних і безрудних шарів контактні зони знаходяться не лише по периметру з породами розкриття, але і з чисельними сланцями в потужності рудного шару.

Кар'єри другої групи, які розробляють крутопохилі поклади, мають простішу геологічну структуру: більше витримані межі з породами, що вміщують, і представлені єдиним рудним тілом. Контактні зони знаходяться вздовж периметру з породами розкриття і незначними безрудними прошарками.

Контактні зони є основним чинником появи втрат і збіднення. Особливо ця проблема актуальна для кар'єрів, що розробляють першу групу родовищ. Це призводить до підвищеного вмісту порожніх порід в рудній масі, великих втрат руди, втрати часу на селективну виїмку, збільшенню транспортних витрат на транспортування збіднених руд до збагачувальної фабрики, витрати електроенергії на дроблення і подрібнення порожніх порід, витрат на дешламацію і перекачування пульпи, що впливає на собівартість видобутку і переробки руди.

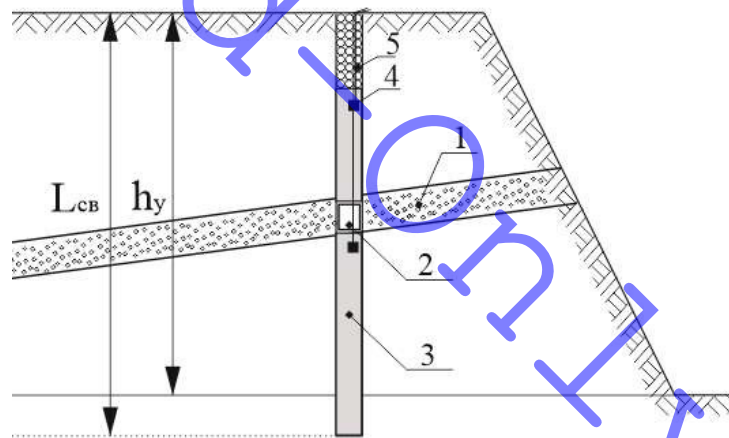
На основі натурних спостережень досліджені контактні зони «руда – вміщуючі породи» за залізорудними родовищами Кривого Рогу і складена класифікація їх прояву, яка охоплює особливості геологічної будови контактної зони (форма, переміжність, складність, магнітна сприйнятливості, візуальні відмінності між різними контактуючими шарами), якісні характеристики порід, які вміщують (типи порід, вміст корисного компонента), відношення до гірничо-технологічних параметрів ведення гірничих робіт (згідне або не згідне падіння контактної зони, лінії укусу уступу і фронту робіт, кут падіння контакту).

Для виявлення геологічної будови спільно з фахівцями Державного підприємства «Укрчерметгеологія» виконувалися геофізичні дослідження масиву: застосовувався каротаж гірських порід методом магнітної сприйнятливості. Метод дозволяє оцінити магнітні властивості порід величинами об'ємної та питомої магнітної сприйнятливості та інтенсивністю залишкового намагнічення.

Результати геофізичного дослідження за координатами устя свердловин заносились до програмного забезпечення (програма Voxler), яка дозволяє в плані і по глибині створити тривимірну візуалізацію гірничо-геологічних параметрів видобувного блоку.

Для розробки технологічних схем з подальшою переробкою гірської маси необхідне регулювання гранулометричного складу та зменшення зростків руди з породами, що вміщують, тому запропоновано коректування параметрів буро-підричних робіт. Для регулювання впливу роботи вибухової речовини на складно структурний масив використані результати досліджень провідних фахівців ІГТМ ім М.С. Полякова НАН України щодо кумулятивних зарядів чл.-кор. НАН України Єфремова Е.І., Іщенко К.С., Косенко В.І.

Розглянуто можливість використання секції заряду кумулятивної дії в подовженому розосередженому заряді вибухової речовини (ВР) в складно-структурних масивах. Для цього через уточнення фізико-механічних властивостей порід при бурінні свердловин і застосовуючи геофізичні методи дослідження геологічної будови, визначено місця розташування контактної зони «руда – вміщуючі породи» або безрудного прошарка в свердловині. Це дозволяє виконувати коректування параметрів конструкції заряду застосуванням секції заряду кумулятивної дії 2 (рис. 1) на рівні контактної зони або безрудного прошарку 1.



1 – безрудний прошарок; 2 - секція заряду кумулятивної дії; 3 – ВР; 4 - проміжний детонатор; 5 – набійка;  $L_{св}$  – довжина свердловини;  $h_y$  – висота уступу

Рисунок 1 – Схема суміщення секції заряду кумулятивної дії з контактними зонами

Доведено, що застосування секції заряду кумулятивної дії в місцях контактування гірських порід дозволить в обраному напрямку створювати систему радіальних тріщин і екрануючу щілину, на підставі чого в контактній зоні буде більш рівномірне дроблення гірський порід і зменшення зростків руди з породами, які їх вміщують. Цей фактор є позитивним при переробці гірської маси на комплексі попереднього збагачення, що забезпечить мінімальні втрати корисної копалини.

Для виявлення впливу ВР на складно структуровану будову масиву виконані експериментальні дослідження щодо вивчення характеру дроблення. Проведено

три серії експериментальних досліджень щодо моделювання руйнування енергією ВР твердого середовища з контактними зонами порід різної міцності за «Програмою-методикою дослідження в полігонних умовах впливу анізотропії міцністних і акустичних властивостей матеріалу моделей на характер їх дроблення вибухом подовженого циліндричного заряду ВР». Виготовлені моделі з піщано-цементної суміші кубічної форми з ребром 200 мм.

Матеріал зруйнованих моделей оцінений методом ситового аналізу з розподілом його на 16 фракцій, за якими визначені питома енергія руйнування, діаметр середнього куска, новостворена поверхня зруйнованого твердого середовища, тощо. Тому продукти руйнування об'єднані в три класи: дрібні – від 0 до 0,3 см; середні від 0,3 см до 6,0 см та великого розміру – від 6,0 см до 8,0 см. За результатами досліджень побудовані діаграми розподілу гранулометричного складу (рис. 2), які підтверджують вплив контактної зони на продукти руйнування на мезорівні.

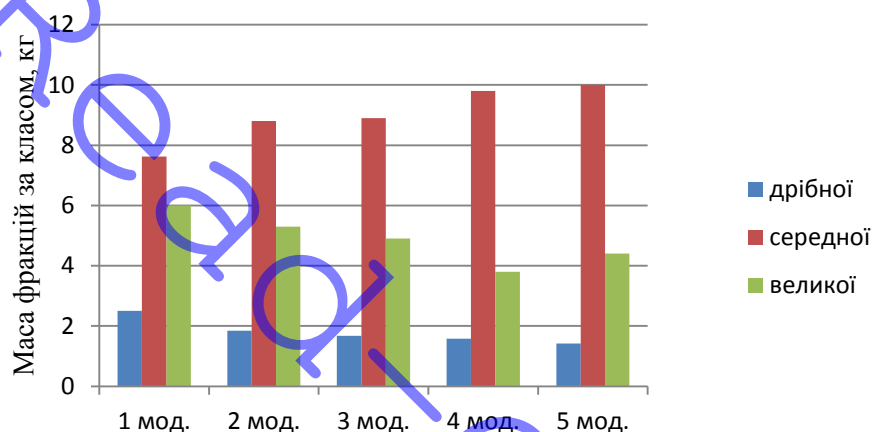


Рисунок 2 – Розподіл маси фракцій моделей за класами

Зіставлення результатів руйнування складно структурних моделей 2-5 з структурно-однорідною моделлю 1 виконано за допомогою інтегрального критерію шматкуватості за Л.І. Бароном. Згідно визначенню показник кондиційного дроблення досягає максимуму 100% при зменшенні негабаритної і дрібної некондиційної фракції. На підставі чого встановлено, що найкращий показник кондиційного дроблення  $K_{др}=63,2-64,5\%$  отриманий для умов розташування вибухової порожнини паралельно контактній зоні шарів, задовільний  $K_{др}=55-57,5\%$  для умов розташування вибухової порожнини відповідно перпендикулярно, і найгірший  $K_{др}=47,2\%$  для структурно однорідної моделі.

На мікрорівні досліджувались дрібні фракції за допомогою мікроскопу ПМ-2 при збільшенні  $240\times$ , який укомплектований інтеграційним столиком для кількісних вимірів. За результатами вимірів отримана мікрогранулометрія зразків: побудовані гістограми фракційного складу, які дозволили побудувати кумулятивні криві кількісного розподілу фракцій.

Відносна рівномірність дроблення матеріалу в призабійній зоні оцінювалась на прямолінійній ділянці кумулятивної кривої за величиною  $tg\alpha$  (табл. 1).

Таблиця 1 – Рівномірність дроблення піщано-цементних моделей з різною орієнтацією руйнівного вибухового навантаження до контактних зон

Номер моделі	Умови навантаження	$tg\alpha$	Середнє значення величини $tg\alpha$
1	Структурно однорідна суцільна модель	199,6	199,6
2	Модель піщано-цементна складної структури з шарами різної міцності (паралельно контактній зоні)	152,4	170,4
3		188,4	
4	Модель піщано-цементна складної структури з шарами різної міцності (перпендикулярно контактній зоні)	146,8	153,4
5		160,0	

Аналіз результатів таблиці 1 свідчить, що найкраща рівномірність дроблення отримана для структурно-однорідного твердого середовища ( $tg\alpha=199,6$ ). Тоді як для піщано-цементних шаруватих моделей, які мали контактні зони шарів різної міцності і щільності – зменшується в 1,1-1,3 рази. Але з точки зору технічного і технологічного обґрунтування підготовки гірської маси кращі результати отримані для умов навантаження масиву подовженими зарядами ВР перпендикулярно до шарів ( $tg\alpha=153,4$ ), тому що менший вихід перездрібненої фракції.

Аналіз гранулометричного складу гірських порід після вибуху на кар'єрах Кривбасу, виконаного за власними дослідженнями і за результатами провідних фахівців свідчить, що незважаючи на чисельні досягнення щодо вдосконалення підривних робіт на практиці відсутній врегульований гранулометричний склад гірської маси. Результати обробки довели, що фракції порід від 0 до 400 мм займають від 44,4% для Ановського кар'єра до 94,5% на окремих ділянках для Інгулецького. Тому при розробці технологічних схем з попереднім збагаченням необхідно додатково вводити крупне механічне дроблення чи грохочення або приділяти більше уваги підривним роботам. Саме тому розглянута можливість регулювання процесом руйнування міцних гірських порід вибухом через коректування геометричних параметрів конструкції свердловинного заряду для отримання необхідного гранулометричного складу порід.

При екскавації гірських порід у видобувних блоках з контактними зонами або безрудним прошарком при несприятливих умовах можливе виникнення зсувонебезпечних явищ. Виконано моделювання розвитку деформацій в масиві рудного видобувного блоку після підривного процесу з дослідженням впливу геологічних параметрів контактної зони або безрудного прошарку на стійкість об'єкту.

Досліджено вплив кута нахилу безрудного прошарку від 0 до 90 градусів по відношенню до площини робочого майданчика (рис. 3). Встановлено, що коефіцієнт запасу стійкості (КЗС) техногенного укосу видобувного уступу має мінімальні значення при кутах падіння безрудного прошарку в межах 35-45 градусів до площини виїмки гірської маси, що є несприятливими умовами виїмки гірської маси екскаватором.

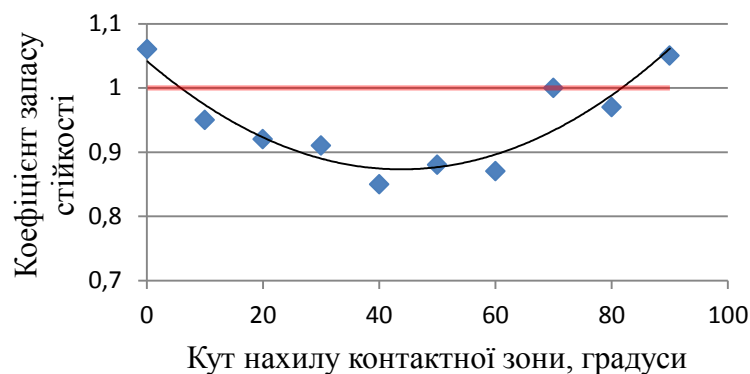


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта запасу стійкості уступу від кута падіння безрудного прошарку

Проведені дослідження зміни коефіцієнта запасу стійкості видобувного блоку від фізико-механічних властивостей гірських порід і гірничо-геологічних параметрів безрудного прошарку (рис. 4).

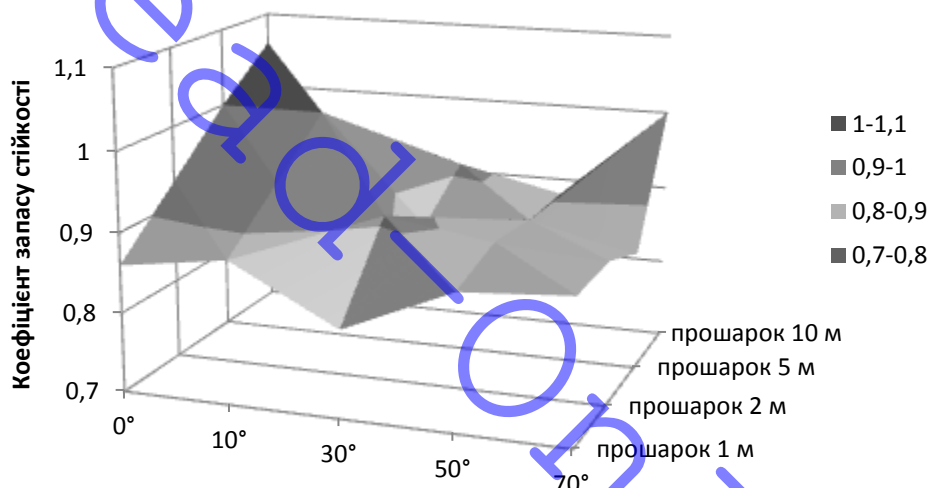


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта запасу стійкості уступу від гірничо-геологічних параметрів безрудного прошарку

Виконані дослідження залежностей втрат і збіднювання корисної копалини при її вийманні від параметрів: геологічних (кут падіння пластів, число пачок в них, різновид геологічних мінералів, потужність безрудного прошарку та ін.); технологічних (висота уступу, ширина заходки екскаватора, параметри видобувного блоку, напрям відробітку блоку за відношенням до площини контактної зони та ін.); технічних (місткість ківшів екскаватора, габаритні розміри устаткування та ін.). Для визначення впливу цих параметрів на збіднювання рудної маси скористалися коефіцієнтом засмічення  $K_3$ , який визначається відношенням об'єму порід збіднювання (безрудні породи чи некондиційні сорти руди) до об'єму добутої корисної копалини. Після перетворення формула визначення коефіцієнту засмічення приймає вигляд:

$$K_3 = \frac{m}{Ш_6 \sin \beta}, \quad (1)$$

де  $m$  – потужність безрудного прошарку, м;  $Ш_6$  – ширина видобувного блоку, м;  $\beta$  – кут нахилу безрудного прошарку по відношенню до ширини блоку, градус.

Встановлено, що при вийманні видобувного блоку складної геологічної будови з безрудним або некондиційним прошарком коефіцієнт засмічення визначається ступеневою залежністю від кута падіння контактної зони та потужності безрудного прошарку (рис. 5).

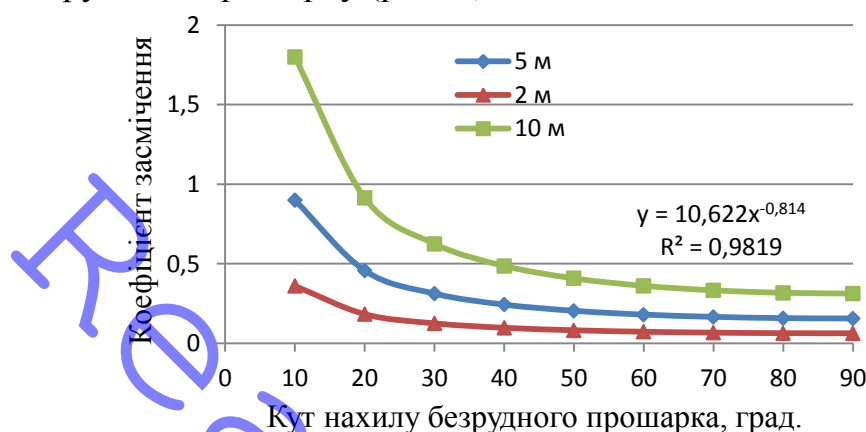


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнта засмічення від кута нахилу та потужності безрудного прошарку

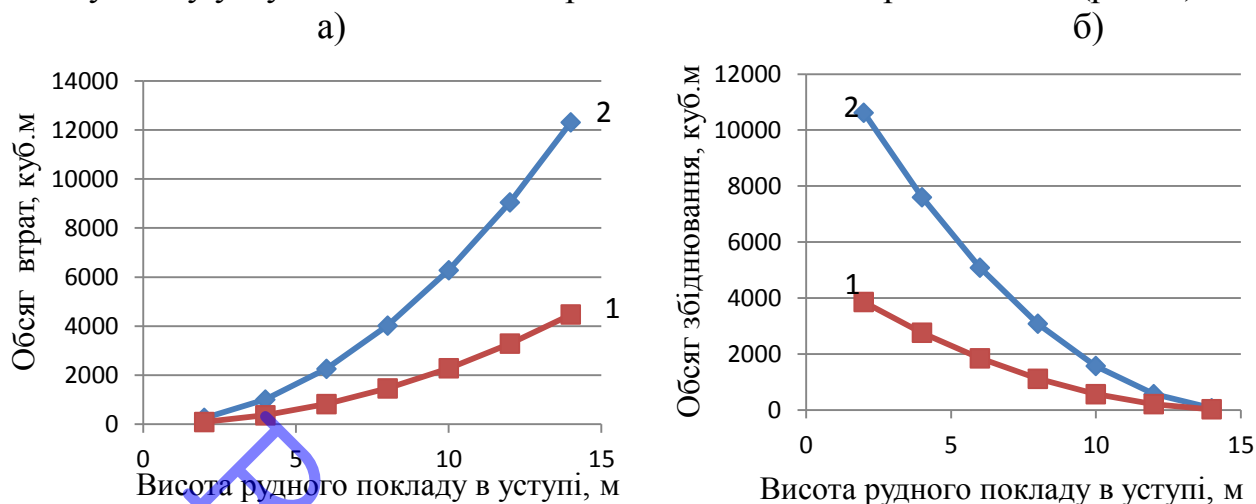
Мінімальний коефіцієнт засмічення руди відбувається при перетині безрудного прошарку під кутом нахилу від 50 до 90 градусів. Відповідно максимальний коефіцієнт засмічення руди при горизонтальному прошарку або пологому нахилу. Крім того ситуація істотно посилюється під впливом потужності безрудного прошарку. Якщо горизонтально розташований прошарок при потужності 2 м визначає коефіцієнт засмічення до 0,4, тоді як при потужності 10 м в уступі заввишки 15 м відбувається переважання порожніх порід над рудою і коефіцієнт засмічення складе до 1,8. Гірська маса з такого блоку виїмки вважається породами розкриття, а руда йде у втрати.

Отримана аналітична залежність коефіцієнту засмічення об'єму рудної маси видобувного блоку  $V_6$  від ширини заходки екскаватору  $Ш_3$  та ширини видобувного блоку  $Ш_6$ , який ділиться на  $n$  заходок, безрудного прошарку площею  $S_n$  в плані, площею порід збіднювання  $S_p$  та чистої кондиційної руди  $S_q$  (об'єм  $V_q$ ) при висоті уступу  $h_y$ .

$$K_{3n} = \frac{B}{(V_6 - V_q)n}, \quad \text{при } Ш_3 = \frac{Ш_6}{n}, \quad \text{де } V_6 = (2nS_p + n(n-1)S_q + S_n)h_y. \quad (2)$$

За результатами розрахунків встановлена емпірична залежність, яка має експоненціальний вид  $K_3 = 1,1312e^{-0,077Ш_3}$  при високому коефіцієнті детермінації  $R^2 = 0,9768$ . Пояснює збільшення коефіцієнта засмічення при зменшенні ширини заходки, що дає можливість визначити раціональні параметри селективного видобутку руди при підході до контактної зони (безрудного прошарку).

Встановлений вплив технологічних показників: згідного і незгідного напряду площини падіння пластів і уосу уступу та висоти рудного покладу в видобувному уступі на величини втрат і збіднювання гірської маси (рис. 6).



1 – при згідному напрямі падіння покладу і лінії уосу уступу; 2 – при незгідному  
Рисунок 6 – Залежності обсягів втрат залізної руди (а) і порід збіднювання (б) при розробці контактних зон

Виконано аналіз існуючих способів підвищення якості руди у видобувному вибої. Встановлено, що на виробництві найпоширенішими залишаються селективна виїмка і усереднювання корисної копалини. Проте селективну виїмку руди було ефективно здійснювати в 1980-1990 рр., коли застосовували екскаватори з місткістю ківшів 3 – 5 м<sup>3</sup> (при вантажопідйомності автосамоскидів 45 – 75 т). У 2000-і роки в вибоях використовують екскаватори з місткістю ківшів 8 – 12 м<sup>3</sup> (відповідно до збільшення вантажопідйомності автосамоскидів до 110 – 150 т) і планується застосовувати екскаватори з місткістю 20 м<sup>3</sup>. Ця тенденція збільшення місткості ківшів екскаваторного устаткування призводить до підвищеного збіднювання рудної маси або великих втрат (рис. 7).

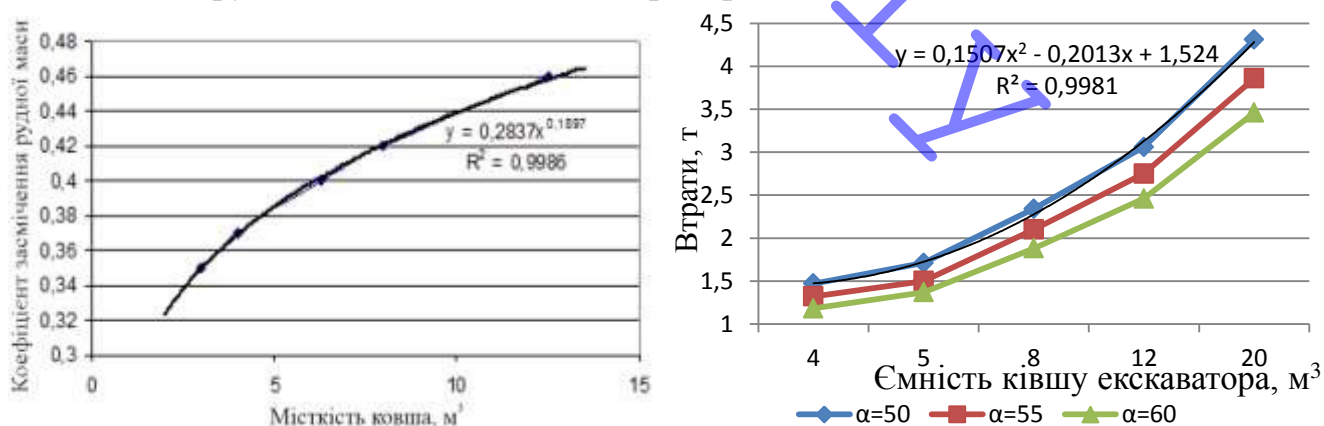


Рисунок 7 – Залежність коефіцієнтів засмічення і втрат руди від місткості ківшу екскаватора



Встановлені залежності застосовані для обґрунтування і регулювання об'єму гірської маси, коли продуктивність дробильно-збагачувального комплексу обмежена, а об'єм гірської маси, який підлягає передзбагаченню, великий.

У третьому розділі приведені теоретичні дослідження щодо обґрунтування параметрів процесів видобутку й переробки та формування технологічних комплексів при технології передзбагачення руди в кар'єрі.

Виконано аналіз причин низької якості та дорожнечі кінцевої продукції гірничо-збагачувальних комбінатів, який виявив багато геологічних, технічних, технологічних, економічних, екологічних й соціальних чинників, які призводять до низької якості вихідної мінеральної сировини, збіднювання та втрат, зайвих транспортних витрат. Напрямок зменшення їх впливу є впровадження технології передзбагачення руди в кар'єрі (ТПРК), яка є єдиним напрямком підвищення якості сировини та зниження енергетичних витрат при виробництві концентратів. Обґрунтування і послідовність етапів технології передзбагачення руди в кар'єрі відображені на рис. 8.

Ефективність технології видобутку корисних копалин визначається чіткою і економічною організацією вантажопотоків (рудного і розкривного), як найбільш витратного процесу відкритих гірничих робіт. Тому досліджений вплив технології передзбагачення на вантажопотоки в кар'єрі (рис. 9).

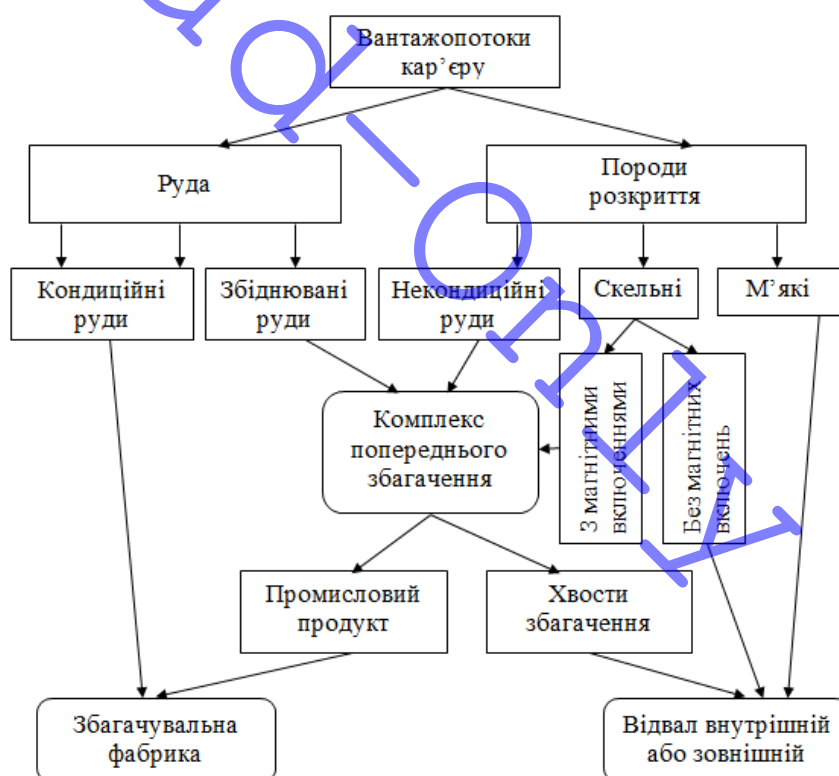


Рисунок 9 – Схема взаємозв'язку вантажопотоків кар'єру при ТПРК

Встановлено, що при формуванні маршрутів транспортування вантажів до комплексу передзбагачення і від нього змінюють своє призначення декілька вантажопотоків (залежні і незалежні): рудний вантажопотік, який на збагачувальній фабриці піддається сухій магнітній сепарації, некондиційні і зубожілі руди та скельні породи розкриття, що містять магнітну складову.

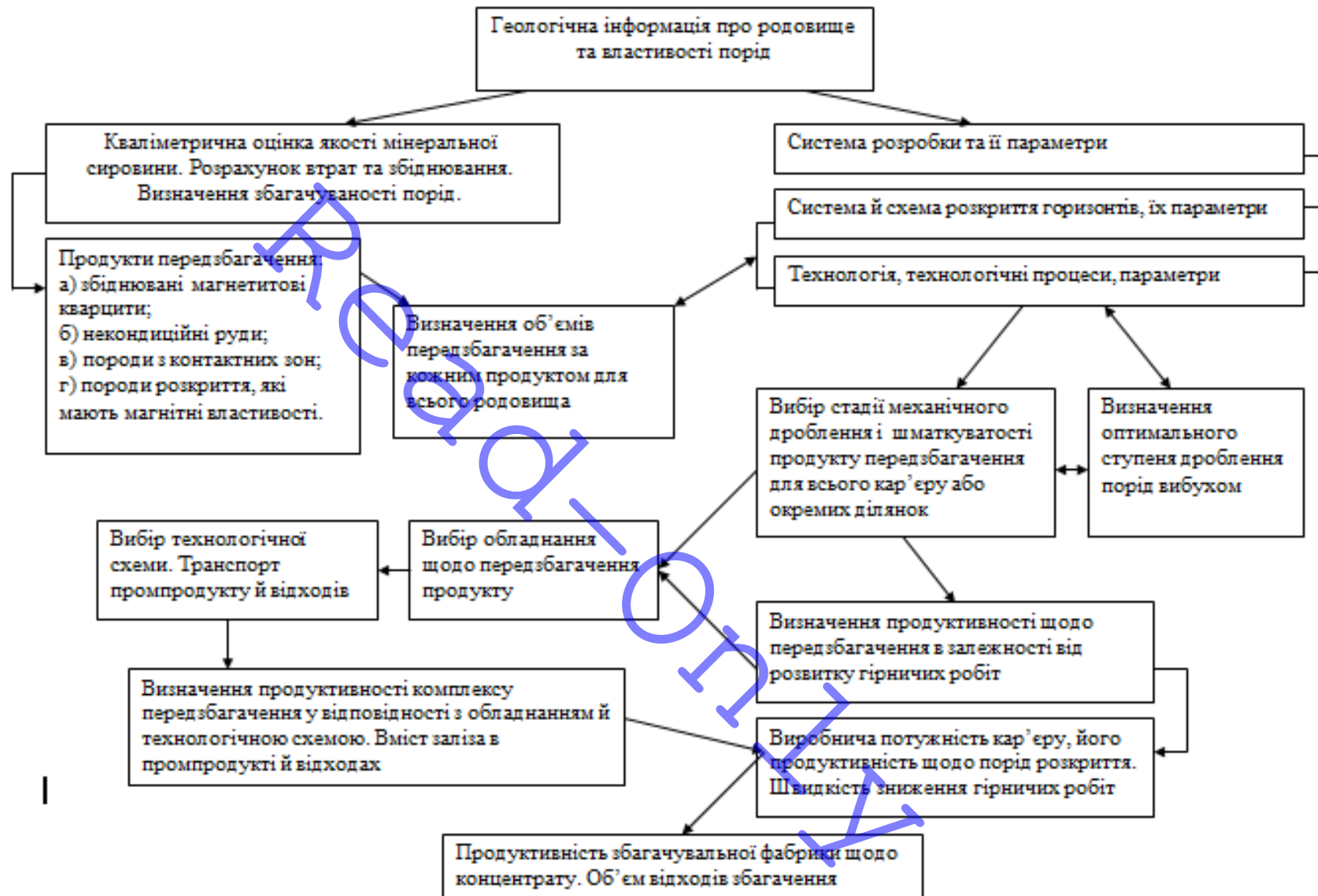


Рисунок 8 – Геомеханічне обґрунтування технології передзбагачення руди в кар'єрі

Ці вантажопотоки стають залежними від комплексу передзбагачення. Крім того, після попереднього збагачення з'являються додатково два елементарних вантажопотоки: промисловий продукт і хвости передзбагачення, для яких необхідно прокласти додаткові маршрути і виділити відповідний транспорт.

Дослідження вантажотранспортного зв'язку між робочими горизонтами кар'єру і земною поверхнею дозволили довести, що технологія передзбагачення руди в кар'єрі незалежно від виду транспортного забезпечення сумісна зі всіма схемами розкриття: траншейна схема розкриття для автомобільного і залізничного транспорту; безтраншейна, підземна або комбінована розкривна виробка для конвеєрного транспорту.

Обґрунтована сумісність технології передзбагачення руди в кар'єрах з існуючими системами розробки для горизонтальних, похилих та крутопохилих покладів, яка показала, що найбільш доречна поглиблююча поперечна однобортна система розробки тому, що розкриваючи виробки, транспортні комунікації і обладнання щодо передзбагачення руди переміщуються у відповідності з переміщенням і зниженням фронту гірничих робіт.

При ТПРК можуть застосовуватись стаціонарні, напівстаціонарні і пересувні комплекси. Встановлено, що стаціонарні комплекси попереднього збагачення раціонально застосовувати при суцільних і поглиблюючих поздовжніх і поперечних двобортних, віялових системах розробки; напівстаціонарні комплекси – при суцільних і поглиблюючих поздовжніх і поперечних однобортних; тоді як пересувні комплекси – при кільцевій або будь-якої іншої системи розробки.

Виконаний аналіз зміни технологій видобутку залізних руд, який дозволив виявити послідовність впровадження в кар'єр виробничих процесів: при зміні циклічної технології на циклічно-потоківу в кар'єр було введено додатково крупне механічне дроблення, тоді як для застосування технології передзбагачення руди в кар'єрі необхідно ввести в технологічну схему два додаткових виробничих процеси: середнє механічне дроблення (при необхідності) і суху магнітну сепарацію.

Розроблена технологічна схема передзбагачення руди в кар'єрі. Повний комплект устаткування дробильно-збагачувального комплексу містить: приймальний бункер, дробарку великого дроблення, грохот, живильник, дробарку середнього дроблення, передатні конвеєра, дробарку дрібного дроблення, сепаратори, бункери під промисловий продукт і хвости збагачення. Гірська маса транспортується в кар'єрі автосамоскидами, з кар'єру похилим чи крутопохилим конвеєром на залізнично-конвеєрний перевантажувальний пункт.

З врахуванням необхідних виробничих процесів сформовані дробильно-збагачувальні комплекси технології передзбагачення, які залежать від об'єкту (кар'єр, відвал, шахта, хвостосховище), якості мінеральної сировини (кондиційні, некондиційні або окислені руди, техногенна сировина) і шматкуватості гірської маси. Залежно від цих чинників індивідуально підбирається місце розташування комплексу, стадія дроблення, тип устаткування і кількість одиниць. При техніко-економічному обґрунтуванні місця розташування дробильно-збагачувального комплексу вирішальну роль несуть: наявність вільної площі (робочого майданчика,

уступу, греблі) для розташування устаткування і можливість використання конвеєрного транспорту, як найдешевшого виду транспорту.

Виконана систематизація сумісності технологічних процесів (екскавація, дроблення, суха магнітна сепарація) для різних типів мінеральної сировини (руда, породи розкриття, техногенна сировина) при застосуванні пересувних, напівстаціонарних і стаціонарних комплексів, яка виявила можливість застосування технології передзбагачення як окремого комплексу попереднього збагачення (на відвалі, хвостосховищі, у безпосередній близькості кар'єру) або на основі циклічно-поточної технології (на перевантажувальному пункті в кар'єрі або на поверхні).

**У четвертому розділі** приведені дослідження щодо розроблення методики розрахунку енергоємності технологічних процесів видобутку залежно від фізико-механічних властивостей порід і технічних параметрів обладнання і обґрунтовано енергозбереження технологічних схем з переробкою залізних руд.

Виконана обробка експериментальних вимірів Тангаєва І.А. щодо питомої енергоємності буріння на різних кар'єрах. Результати класифіковані за однорідністю геологічної структури в уступах, міцністю порід. Статистична обробка значень за отриманим інтервалом дозволила прогнозувати величини питомої енергоємності буріння 1 м погонного  $W_{\text{бур}}$  при зустрічі гірських порід з конкретним значенням  $f$  коефіцієнту міцності порід за шкалою В.В. Протодьяконова виразом  $W_{\text{бур}} = 0.0152f^2 + 0.026f + 0.6035$  (кВт·год/м) з високим коефіцієнтом детермінації  $R^2 = 0,9451$ .

Виконані розрахунки оптимальної питомої енергії ВР, побудований графік залежності питомої енергоємності вибуху від міцності порід і встановлена експоненціальна залежність  $W_{\text{виб}} = 0,3464e^{0,0896f}$  ( $R^2 = 0,9794$ ).

Обробка результатів розрахунку енергоємності механічного дроблення дозволила встановити ступеневі залежності питомої енергоємності стадій механічного дроблення від міцності гірських порід: для великого дроблення  $W_{\text{дроб}}^{\text{вел}} = 0.0165f^{0.7232}$  ( $R^2 = 0,9734$ ); середнього дроблення  $W_{\text{дроб}}^{\text{сер}} = 0.0161f^{0.6682}$  ( $R^2=0,9927$ ); дрібного  $W_{\text{дроб}}^{\text{др}} = 0,0212f^{0.6551}$  ( $R^2 = 0,9976$ ).

Для інших технологічних процесів видобутку і переробки (екскавація, транспортування, сепарація, грохочення) виведені формули питомої енергоємності від номінальної потужності двигуна і виробничої потужності.

Досліджена енергоємність технологічних процесів сучасних технологій видобутку й переробки руди залежно від фізико-механічних властивостей порід, середнього розміру шматка гірської маси, параметрів систем розробки та технологічного обладнання. Для зіставлення показників обрані наступні технології: циклічна технологія (ЦТ), що містить автомобільний або комбінований автомобільно-залізничний транспорт; циклічно-поточна технологія (ЦПТ) з похилими і крутопохилими конвеєрами, що використовує високопродуктивний комбінований автомобільно-конвеєрний транспорт (є технологічний процес – механічне дроблення); потокова технологія (ПТ), при якій для скельних порід необхідна пересувна дробарка крупного дроблення; технологія інтенсивного

вибухового руйнування руд в комплексі з самостійним подрібнюванням (ТІВСД), яка виключає велике механічне дроблення; технологія передзбагачення руди в кар'єрі, де вводяться додаткові технологічні процеси: середнє механічне дроблення (при необхідності) і суха магнітна сепарація.

Для проведення аналізу щодо енергоємності технологій видобутку й переробки корисної копалини були зіставлені результати розрахунку енергоємності при визначеній виробничій потужності та продуктивності за окремий проміжок часу. Тому були розраховані річні витрати енергії в залежності від продуктивності технологічних процесів за математичною моделлю:

$$B_{\text{річ}} = f(Q) = \sum_{i=1}^n W_i * Q_i + W_{\text{const}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

де  $B_{\text{річ}}$  – річні витрати енергії за обраною технологією, кВт;  $n$  – кількість технологічних процесів;  $W_i$  – енергоємність технологічного процесу, кВт/т;  $Q_i$  – продуктивність технологічного процесу, т/рік;  $W_{\text{const}}$  – витрати енергії на інші джерела живлення, які не залежать від виробничої потужності, кВт/рік.

За результатами розрахунків побудовані стовпчасті діаграми щодо сумарних енергетичних витрат за всіма технологічними процесами в кар'єрі (рис. 10а) та загальних з врахуванням витрат на транспортування гірської маси до збагачувальної фабрики комбінату й процесу збагачення на ній (рис. 10б).

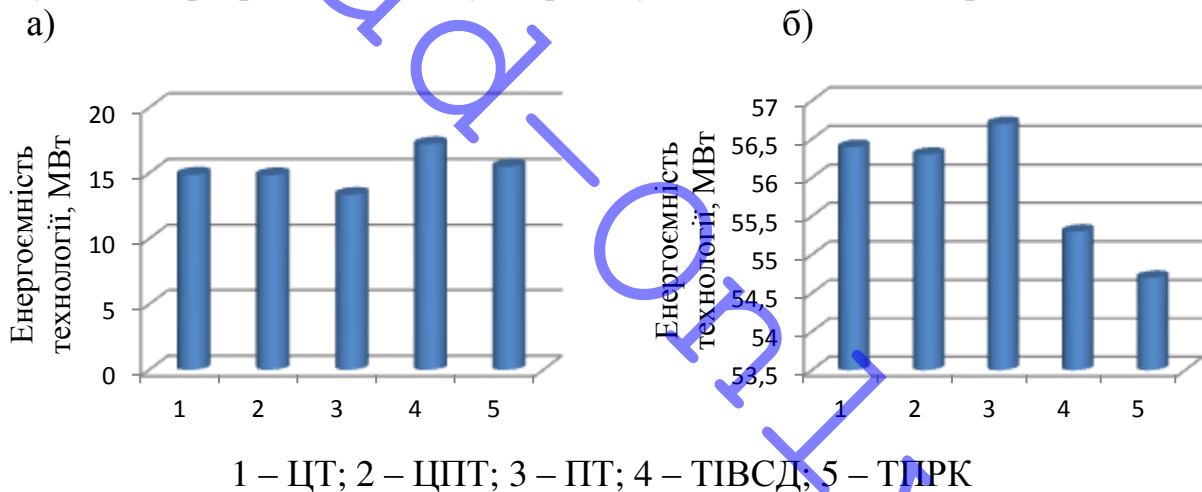


Рисунок 10 – Сумарні витрати енергії на видобуток й переробку залізних руд за технологіями в кар'єрі

За розрахунками отримано, що найнижча енергоємність припадає на ТІРК, незважаючи на те, що при ній в кар'єрі сумарна енергоємність отримана вище (за рахунок впровадження сухої магнітної сепарації), але при загальному аналізі енергоємності гірничо-збагачувального комбінату отримуємо економію, що пояснюється в першу чергу економією енергії в збагачувальному процесі на збагачувальній фабриці (до 12 % від тотожних технологій) через менший об'єм переробки.

Доведено, що об'єм передзбагачення суттєво впливає на енергоємність технології видобутку й переробки залізної руди: так при передзбагаченні лише 10% рудної маси в кар'єрі економія електроенергії складає 1,11% від загального

енергоспоживання (що складає 0,63 МВт); при передзбагаченні 30% економія 2,86% (що складає 1,63 МВт), а при передзбагаченні 50% рудної маси економія 4,79% (що складає 2,73 МВт). Таким чином, технологію передзбагачення руди в кар'єрі можна вважати енергозберігаючою.

**У п'ятому розділі** виконано встановлення залежностей продуктивності збагачувальної фабрики за концентратом від виробничої потужності кар'єра і продуктивності розкривних робіт при застосуванні технологій передзбагачення.

Доведено, що застосування технології передзбагачення руди в кар'єрах на діючих підприємствах призведе до зміни виробничих потужностей. Встановлено, що відносно продуктивності збагачувальної фабрики є наступні випадки:

1. Застосування ТПРК при поточній експлуатації кар'єра призведе до зменшення обсягу гірської маси, що надходить на збагачувальну фабрику, в обсязі виділених хвостів. Отже, на збагачувальній фабриці будуть дні простою.

2. При постійній продуктивності збагачувальної фабрики та застосуванні переднього збагачення руди в кар'єрі необхідно або збільшити виробничу потужність кар'єру, або виконувати передзбагачення порід розкриття або хвостосховища, щоб компенсувати виділений обсяг хвостів і додати об'єм рудної маси до необхідного на збагачувальній фабриці.

3. При збільшенні продуктивності збагачувальної фабрики можна слідувати за двома напрямками: а) збільшити виробничу потужність кар'єру; б) передзбагачувати залізні руди (у т.ч. розкривні породи), в результаті чого поліпшується якість мінеральної сировини та зменшується її кількість на отримання 1 т концентрату.

При застосуванні технологій передзбагачення руди в кар'єрі зменшується виробнича потужність кар'єру на об'єм вилучених хвостів, але підвищується вміст заліза магнетитового в магнітному продукті  $\beta_{np}$ , тому продуктивність підприємства за концентратом складе:

$$Q_2 = (Q_\phi - Q_{xv}) \frac{\beta_{np} - \theta}{\beta - \theta}, \quad (4)$$

де  $Q_\phi$  – продуктивність збагачувальної фабрики щодо дробленої руди, т;  $Q_{xv}$  – об'єм вилучених хвостів попереднього збагачення, т;  $\theta$  – вміст заліза магнетитового в хвостах, %;  $\beta$  – вміст заліза магнетитового в кінцевій продукції після збагачення руди, %.

Виходячи з рівноваги продуктивностей збагачувальної фабрики і кар'єру отримано:

$$Q_\phi = Q_p^k + (Q_3 - Q_{xv}) + \Delta Q_p, \quad (5)$$

де  $Q_p^k$  – виробнича потужність кар'єру за кондиційними рудами, т;  $Q_3$  – об'єм порід збіднювання, який надається на комплекс попереднього збагачення, т;  $\Delta Q_p$  – приріст виробничої потужності кар'єру для компенсації вилучених хвостів:

$$\Delta Q_p = Q_{xv} = Q_3 \gamma_K^{np}. \quad (6)$$

де  $\gamma_K^{np}$  – вихід корисного компоненту в вилученому магнітному продукті, визначається через якісні показники процесу попереднього збагачення:

$$\gamma_K^{np} = \frac{\alpha - \theta_{np}}{\beta_{np} - \theta_{np}}, \quad (7)$$

де  $\alpha$  – вміст заліза магнетитового в руді добутої в кар'єрі, %;  $\theta_{np}$  – вміст заліза магнетитового в хвостах передзбагачення, %;  $\beta_{np}$  – вміст заліза магнетитового в магнітному продукті після передзбагачення, %.

Тоді виробнича потужність кар'єру складе

$$Q_P = Q_P^K + Q_3 \frac{\alpha - \theta_{np}}{\beta_{np} - \theta_{np}} + \Delta Q_P. \quad (8)$$

Відповідно приріст виробничої потужності кар'єру при ТПРК дорівнює

$$\Delta Q_P = Q_P - Q_P^K - Q_3 \frac{\alpha - \theta_{np}}{\beta_{np} - \theta_{np}}. \quad (9)$$

Встановлена аналітична залежність (9) дозволяє дослідити вплив технічних і технологічних параметрів на виробничу потужність кар'єру і продуктивність комплексу передзбагачення. Досліджений вплив технологічного параметру – об'єму порід збіднювання, який надходить до комплексу передзбагачення. Виявлені лінійні залежності виходу магнітного продукту і сухих хвостів від об'єму передзбагачення. Встановлений вплив якісних характеристик вихідної сировини та продуктів попереднього збагачення на продуктивність комплексу передзбагачення на рис. 11.

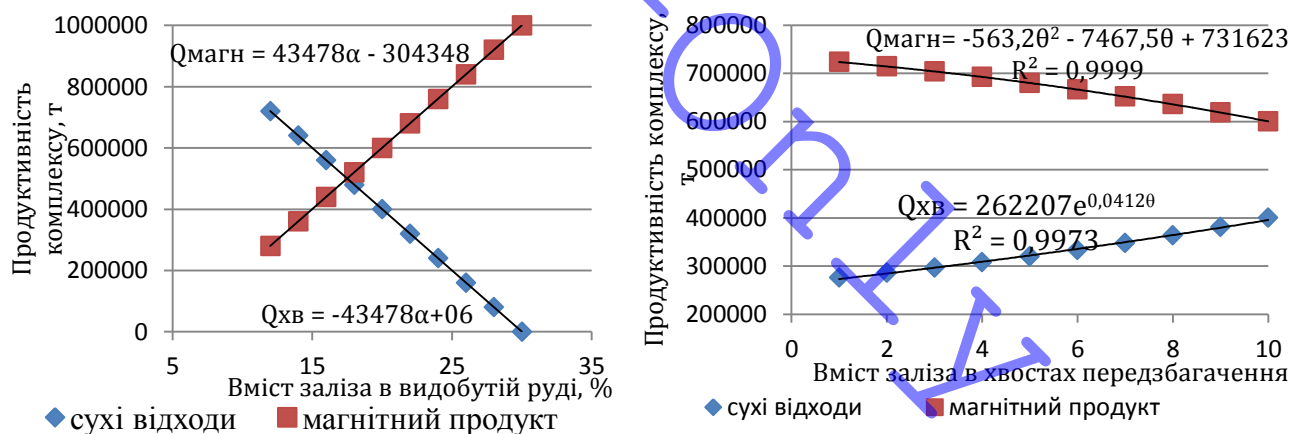
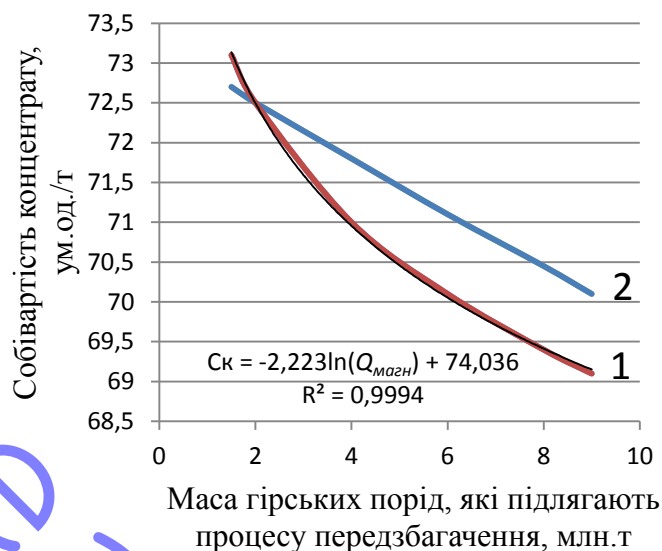


Рисунок 11 – Залежності продуктивності комплексу передзбагачення від вмісту заліза в видобутій руді і хвостах

Встановлені аналітичні залежності виробничої потужності кар'єра, продуктивності збагачувальної фабрики та розкривних робіт при ТПРК в залежності від типу мінеральної сировини: руда (кондиційні і зубожілі руди) або породи розкриття (некондиційні руди і магнітна частина скельних порід розкриття, які піддаються передзбагаченню), належності їх до балансових та позабалансових запасів для умов збільшення, зменшення або постійної продуктивності збагачувальної фабрики.

На підставі проведених досліджень розроблена «Методика коригування виробничої потужності кар'єру і продуктивності розкривного комплексу при застосуванні технології передзбагачення руди в кар'єрі», яка затверджена та передана проектним інститутам. Проведені дослідження щодо впливу обсягів передзбагаченої руди  $Q_{\text{магн}}$  на собівартість концентрату  $C_k$  (рис. 12).



1 і 2 – відповідно при і без збільшення виробництва за концентратом

Рисунок 12 - Залежність собівартості концентрату від обсягів передзбагачення руди в кар'єрі

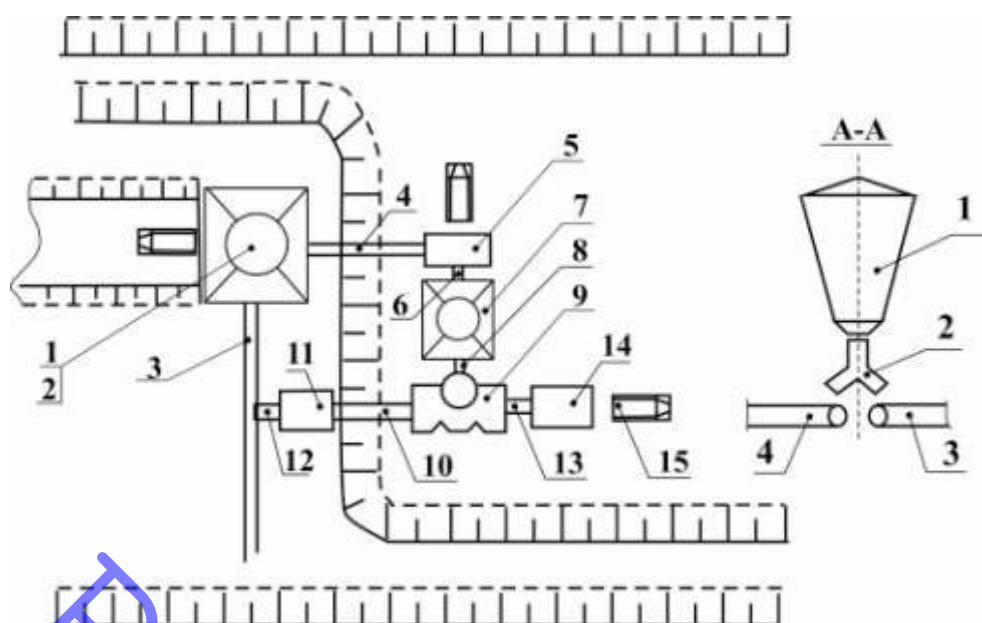
Доведено, що ефективність технології передзбагачення руди в кар'єрі має логарифмічну залежність від об'ємів переробки.

У шостому розділі приведені дослідження щодо розробки нових технічних рішень, створення нових способів видобутку і переробки та геомеханічного обґрунтування стійкості їх будівництва.

Розроблені технологічні схеми з передзбагаченням гірської маси, які дозволяють врахувати наступні умови: тип обладнання, яке застосовується (стаціонарні, напівстаціонарні або мобільні агрегати); тип корисної копалини (кондиційні, збіднілі, некондиційні руди, техногенна сировина, породи розкриття); технологічний комплекс обладнання (стадія дроблення, грохот, сепаратор); місце розташування обладнання (у вибої, на борту кар'єра або в безпосередній близькості від кар'єра); транспорт та передавальні конвеєри (пологі, похилі і крутопохилі конвеєри); наявність потенційного місця для розташування устаткування (на одному уступі, поуступне розташування, робочий майданчик внутрішньо кар'єрного перевантажувального пункту ЦПТ або на земній поверхні); розміщення відходів (внутрішнє або зовнішнє відвалоутворення, виробництво щебню).

Створений спосіб розробки і переробки залізних руд в кар'єрі в комплексі з циклічно-поточною технологією (рис. 13). Суттєвою відзнакою способу є розташування на внутрішньокар'єрному перевантажувальному пункті циклічно-поточної технології або на прилеглих уступах технологічного комплексу обладнання передзбагачення із застосуванням пристрою розподілу, який дозволяє відокремити руду з породами збіднення для здійснення попереднього збагачення.



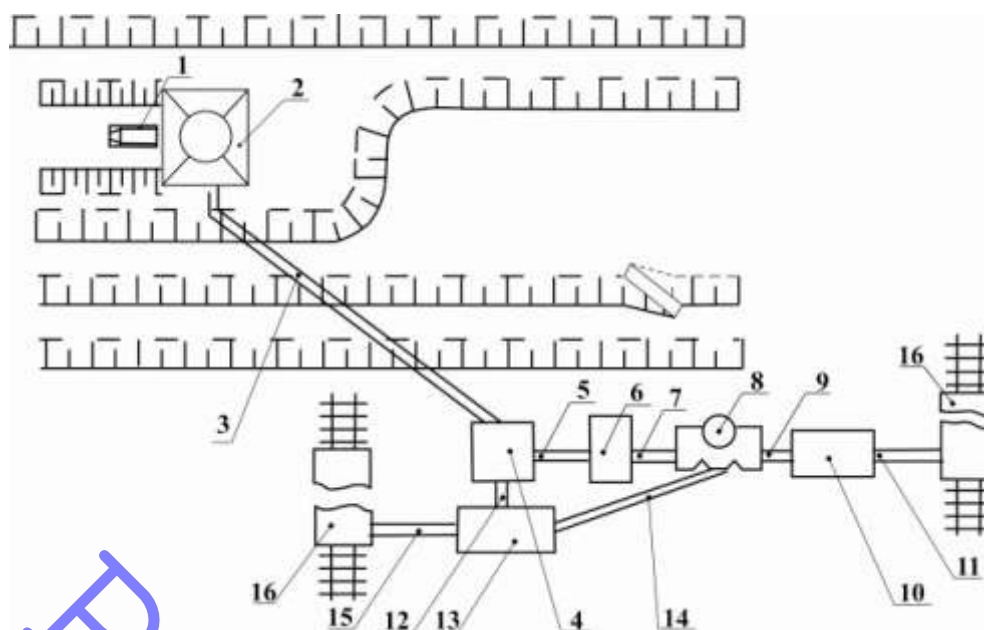


1 – дробарка крупного механічного дроблення; 2 – пристрій розподілу; 3 – крутопохилий конвеєр; 4, 6, 8, 10, 13 – передатні конвеєри; 5, 11, 14 – бункери; 7 - дробарка середнього дроблення; 9 – сепаратори; 12 – живильник; 15 – автосамоскид

Рисунок 13 – Комплекс обладнання передзбагачення збіднілої руди на внутрішньокар'єрному перевантажувальному пункті ЦПТ

Спосіб включає вибухове дроблення, екскаваторну виїмку, автомобільне транспортування гірської маси до внутрішньокар'єрного перевантажувального пункту, її крупне механічне дроблення, який відрізняється тим, що розробці підлягають кондиційні та збіднілі руди, які селективно виймають та за змінним графіком подають до дробарки крупного механічного дроблення 1 на глибоких горизонтах кар'єру, звідки великоподрібнена гірська маса потрапляє на пристрій розподілу 2 з двома відводами, кондиційні руди через перший відвід подають на похилий чи крутопохилий конвеєр 3 циклічно-потокової технології, котрим її видають до перевантажувального пункту денної поверхні, збіднілі руди через другий відвід вивантажують у бункер 5, з якого її постійно подають передатним конвеєром 6 на дробарку середнього дроблення 7, звідки транспортують конвеєром 8 до сепараторів 9 для середньоподрібненої маси, з-під цих сепараторів формують потік 10 магнітного продукту, який накопичують у бункері 11 і яким за змінним графіком посередньо чи безпосередньо живильником 12 заповнюють конвеєр циклічно-потокової технології 3, та потік сухих відходів попереднього збагачення 13, який накопичують у бункері 14 і потім вивозять автомобільним транспортом 15 до автомобільно-залізничних перевантажувальних пунктів порід розкриття, внутрішнього відвалоутворення, внутрішньокар'єрних порожнин для їх заповнення і для формування автомобільних шляхів в кар'єрі.

В обмежених умовах виймання корисної копалини і відсутності робочого майданчика для розташування обладнання во внутрішньо кар'єрному просторі розроблені способи переробки залізних руд чи порід розкриття з магнітними включеннями біля кар'єру (рис. 14).



1 – автосамоскид; 2 – дробарка крупного механічного дроблення; 3 - крутопохилий конвеєр;  
4 - пристрій розподілу; 5, 7, 9, 11, 14, 15 - передатні конвеєри; 6, 10, 13 – бункери;  
8 – сепаратори; 16 – залізничний транспорт

Рисунок 14 – Комплекс обладнання передзбагачення порід розкриття на зовнішньому перевантажувальному пункті ЦПТ

Спосіб переробки включає вибухове дроблення, екскаваторну виїмку, автомобільне транспортування гірської маси до внутрішньокар'єрного перевантажувального пункту, її крупне механічне дроблення, конвеєрне транспортування на денну поверхню, який відрізняється тим, що розробці підлягають кондиційні та збіднілі руди, які селективно виймають та змінним графіком подають до дробарки крупного механічного дроблення 2, звідки великоподрібнену гірську масу подають на похилий чи круто похилий конвеєр 3 циклічно-поточною технології, котрим видають до перевантажувального пункту денної поверхні, де через пристрій розподілу 4 з двома відводами формують два вантажопотоки, кондиційні руди через перший відвід направляють до бункеру 13 або складу корисної копалини для завантаження в залізничний транспорт 16 для транспортування до збагачувальної фабрики, збіднілі руди через другий відвід вивантажують у бункер 6, з якого її постійно подають на сепаратори 8 для великошматкової маси, з-під цих сепараторів формують потік магнітного продукту, який направляють до бункеру 13 або складу корисної копалини для завантаження в залізничний транспорт для транспортування до збагачувальної фабрики, та потік сухих відходів попереднього збагачення, який накопичують в бункері 10 або складі, звідки автомобільним або залізничним транспортом 16 транспортують до зовнішніх відвалів порід розкриття або використовують в виробничих цілях для формування автомобільних шляхів в кар'єрі та інше.

Виконаний комплекс робіт технологічного характеру щодо геомеханічного обґрунтування будівництва внутрішніх та зовнішніх відвалів (в тому числі з робочими майданчиками під комплекси передзбагачення корисної копалини) ПРАТ «ПІВНІЗК». Для виявлення і врахування фізико-механічних властивостей

основи об'єктів були виконані: електрометрична діагностика порід щодо виявлення водонасичення ґрунтів, каротаж магнітної сприйнятливості щодо скельних вміщуючих порід, розрахунок коефіцієнту запасу стійкості об'єктів та розроблені рекомендації щодо безпечного будівництва та експлуатації гірничих об'єктів.

Обґрунтовано пропорційне співвідношення скельних і м'яких осадових порід при формуванні зовнішніх відвалів або техногенних робочих майданчиків. Отримано, що коефіцієнт запасу стійкості техногенного укосу залежить від вмісту глинистих складових в ступеневій залежності з високим коефіцієнтом детермінації  $R^2 = 0,9341$  (рис. 15).

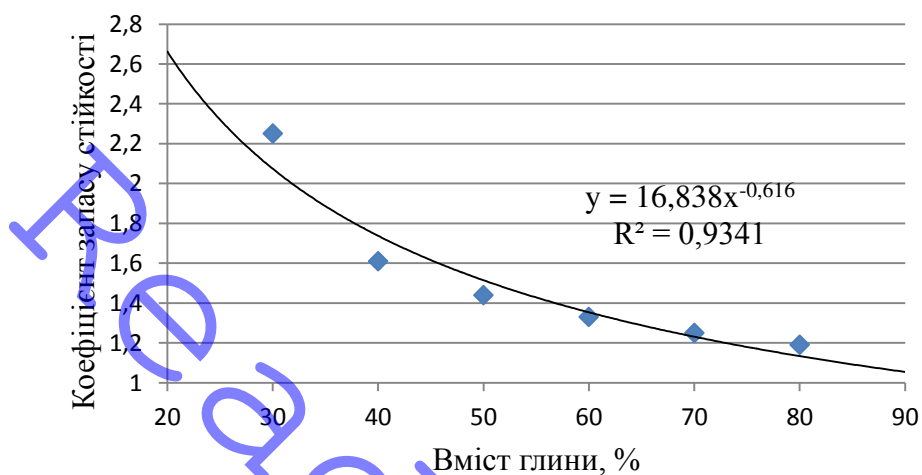


Рисунок 15 – Залежність коефіцієнта запасу стійкості укосу відвалу від вмісту глинистих складових

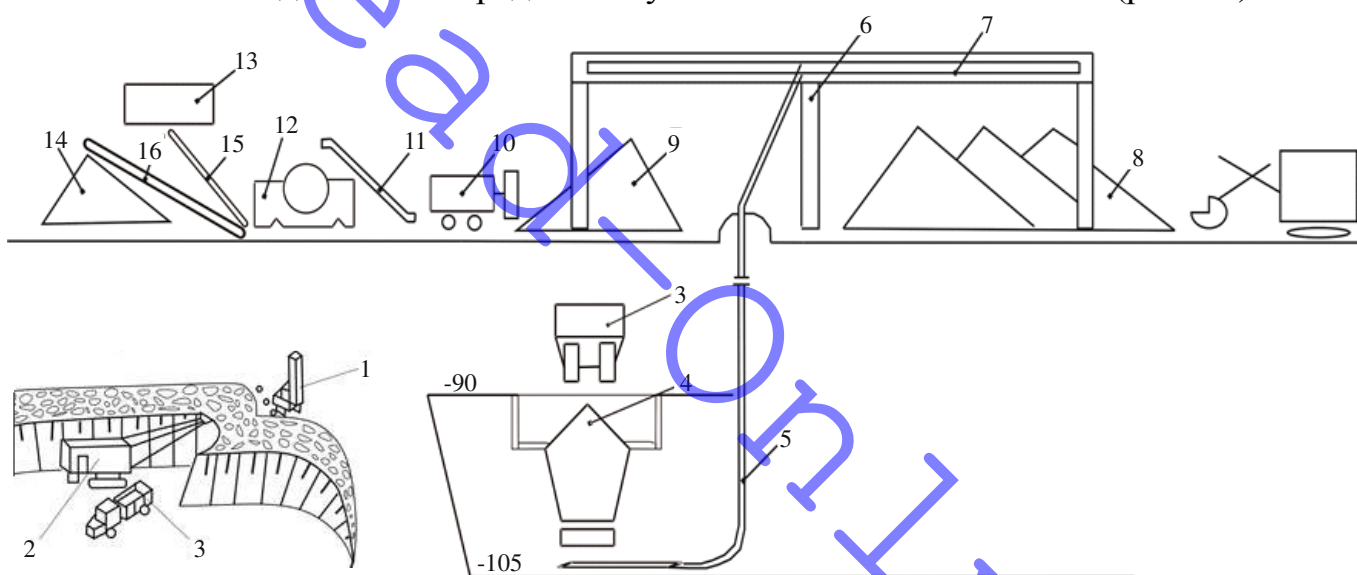
Досліджений вплив водонасичення основи відвалу на стійкість об'єкту будівництва. Аналіз різноманітних умов будівництва відвалів і формування робочих майданчиків засвідчив, що найбільший вплив на КЗС здійснює мінливість властивостей глинистих порід при підвищенні вологості.

Виявлений вплив сейсмічних коливань на стійкість об'єктів будівництва. У дослідженнях сейсмічного впливу було виконано моделювання зі зміною магнітуди від 0 до 7 балів за 12-бальною шкалою Медведева-Шпонхойера-Карника (MSK-64). Встановлено, що коефіцієнт запасу стійкості укосу відвалу знаходиться в поліноміальній залежності від сейсмічних коливань (максимальних горизонтальних прискорень) при  $R^2 = 0,94-0,99$ .

Застосування технології передзбагачення руди в кар'єрі економічно доцільно в комплексі з циклічно-поточною технологією, так як є дробарка великого механічного дроблення. Стосовно до гірничодобувних підприємств Криворізького басейну в першу чергу це стосується кар'єрів: Інгулецький, Ганівський, Першотравневий, 2-біс, 3-й «АрселорМіттал Кривий Ріг», в яких працює ЦПТ. Відповідно комплекс обладнання попереднього збагачення раціонально розташовувати на робочому майданчику (або на прилеглих уступах) перевантажувального пункту в кар'єрі або на поверхні. При наявності внутрішнього відвалоутворення раціонально розміщувати обладнання в кар'єрі.

Родовище залізних руд, яке розробляє Інгулецький кар'єр, представлено стислою синклінальною складкою, причому замкова частина синклінали входить в контури кар'єрного поля. У зв'язку з великою перемижністю рудних і безрудних шарів, контактні зони знаходяться не лише вздовж периметру з породами розкриття, але і з чисельними сланцями. Це призводить до чималого засмічення руди та втрат корисної копалини. Тому для цих умов розроблена технологічна схема створення дослідно-промислової ділянки комплексу технології передзбагачення магнетитових руд. Її передбачено розташувати біля дробильно-перевантажувального пункту на горизонті мінус 60 м. Ці роботи виконувались в рамках господарської теми та були впроваджені в проектну документацію ДП «ДП «КРИВБАСПРОЕКТ».

Для кар'єрів ЦГЗК сучасний видобуток залізних руд і переробка на ЗФ супроводжується постійним зростанням собівартості кінцевої продукції. Головними причинами є дальність транспортування гірничої маси до збагачувальної фабрики (35 км) та збіднювання руди. Для вирішення цих проблем розроблені декілька технологічних схем відпрацювання залістистих кварцитів з комплексом обладнання попереднього сухого магнітного збагачення (рис. 16).



1 – буровий верстат; 2 – екскаватор; 3 – автосамоскид; 4 – дробарка великого дроблення; 5 – конвеєр; 6 – естакада; 7 – реверсивний катучий конвеєр; 8 – склад кондиційної руди; 9 – склад збідненої руди; 10 – навантажувач; 11, 15 і 16 – передатний конвеєр; 12 – сепаратор; 13 – бункер під магнітний продукт; 14 – склад сухих відходів попереднього збагачення

Рисунок 16 – Технологічна схема видобутку і переробки залізних руд при застосуванні технології передзбагачення

Аналітичні розрахунки свідчать, що при застосуванні технології передзбагачення до порід розкриття Петровського кар'єра вилучення корисного компоненту в магнітний продукт становитиме 79-83 % з гірської маси контактних зон з некондиційними кварцитами і 86-89 % з гірської маси контактних зон з безрудними породами. Цей технологічний процес дозволяє знизити втрати

корисних копалин у 5,3 рази і збільшити виробничу потужність кар'єру на 2,1%-8,3% за роками в залежності від обсягу передзбагачення (рис. 17).

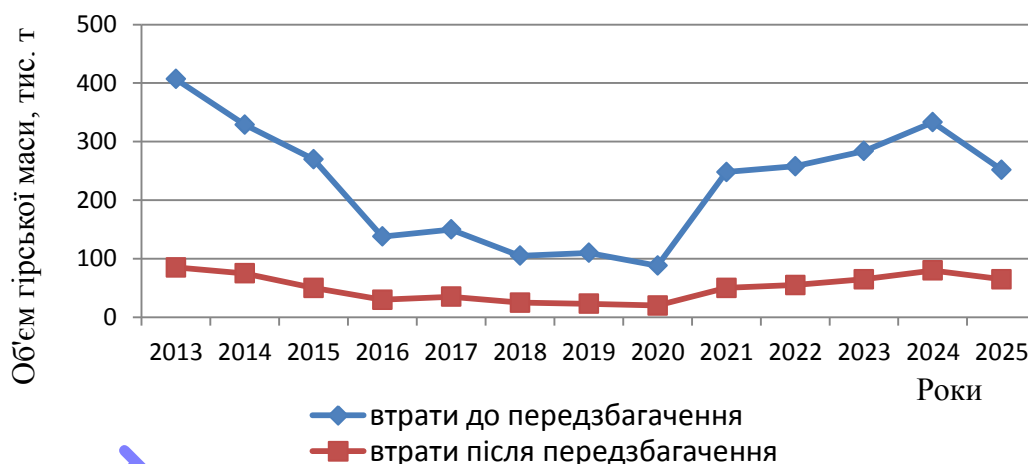


Рисунок 17 – Зниження втрат руди після передзбагачення

Дослідження щодо розміщення комплексу передзбагачення в межах Артемівського кар'єра свідчать, що перспективою розвитку кар'єру є застосування ЦПТ з крутопохилими конвеєрами, які дозволять зменшити протяжність розкривних виробок. Однак враховуючи геологічну будову родовища запропоновано періодичне перенесення крутопохилого конвеєра і видовження на поверхні горизонтального. Для поліпшення якості вихідної сировини та зменшення обсягів транспортування до збагачувальної фабрики, передбачено застосування комплексу ТПРК на зовнішньому перевантажувальному пункті ЦПТ. Запропоновано на поверхні застосовувати перевантажувальний пункт естакадного типу, при якому в окремі штабелі направляються кондиційна руда і збіднювана. Збіднювана руда підлягає передзбагаченню.

Таким чином, розроблено нові способи видобутку і переробки залізних руд, новизна яких підтверджена на рівні винаходів. Технологія передзбагачення руди в кар'єрах може бути застосована на всіх кар'єрах Кривбасу для збіднюваних руд і для скельних порід розкриття, що містять магнітну складову.

**У сьомому розділі** приведені дослідження щодо економічного обґрунтування застосування комплексу попереднього збагачення для скельних порід розкриття кар'єрів Кривбасу.

Впровадження технології передзбагачення скельних порід розкриття, збіднюваних та некондиційних руд в кар'єрі потребує значних капітальних вкладень. Тому важливим є визначення терміну їх окупності та економічної ефективності для гірничодобувного підприємства. Об'єктом дослідження був обраний Петрівський кар'єр ЦГЗК. Згідно даних ДП «ДП «КРИВБАСПРОЕКТ» на борту Петрівського кар'єра запроєктована циклічно-потокова технологія, до якої запропоновано розташувати дробильно-збагачувальний комплекс на земній поверхні у межах перевантажувального пункту.

Розрахунок економічних показників застосування попереднього передзбагачення був визначений в порівняльному аналізі двох варіантів: базового (без передзбагачення) і нового (з передзбагаченням). В основу розрахунку річних

експлуатаційних витрат покладено застосування до фактичних витрат умовно-постійних і умовно-змінних частин собівартості.

Виконано розрахунок основних параметрів комплексу передзбагачення: добової і річної продуктивності, вихід магнітного продукту, параметри ділянки під технологічний комплекс в залежності від кількості і розмірів обладнання, геометричних параметрів складу гірської маси, довжини конвеєрних ставів тощо, питомої річної витрати електроенергії, витрати на обслуговування комплексу та ін.

Очікуваний річний економічний ефект від застосування технології передзбагачення для скельних порід розкриття в умовах Петрівського кар'єру ПАТ "Центральний ГЗК" склав 27 401,96 тис. грн. Термін окупності капітальних інвестицій - 2,4 роки, що в 2,8 рази нижче нормативного (6,7 року). Це свідчить про економічну ефективність використання запропонованої технології передзбагачення скельних порід розкриття.

Виконані аналітичні розрахунки впливу обсягів передзбагачення скельних порід розкриття з магнітними складовими на величину очікуваного річного економічного ефекту (рис. 18).

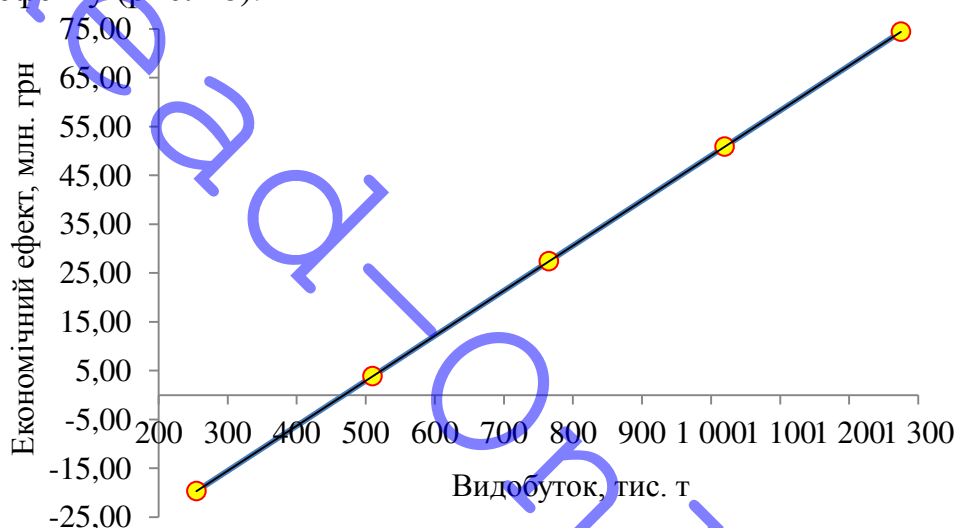


Рисунок 18 – Залежність величини очікуваного річного економічного ефекту від обсягів порід передзбагачення

Визначений вплив обсягів передзбагачення скельних порід розкриття з магнітними складовими  $Q_{\text{Роз}}^{\text{магн}}$  на величину очікуваного річного економічного ефекту  $E = 0,0922Q_{\text{Роз}}^{\text{магн}} - 43,179$ . Що дозволило визначити допустимі значення обсягів видобутку, які забезпечують умову, при якій економічний ефект  $E$  позитивний:  $Q_{\text{Роз}}^{\text{магн}} \geq \frac{43,179}{0,0922} = 468,32$ , тис. т.

### Висновки

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою в галузі геомеханіки відкритої розробки корисних копалин, у якій дано рішення актуальної наукової проблеми розвитку геомеханічних основ технологій передзбагачення руди в глибоких залізородних кар'єрах, яке полягає у встановленні закономірностей зміни

гранулометричного складу і показників рудного потоку від геомеханічних, геологічних, технічних та технологічних параметрів видобутку під впливом вибухового руйнування та сухої магнітної сепарації, що дозволило розробити нові технологічні схеми та способи видобутку і переробки мінеральної сировини в глибоких залізородних кар'єрах, впровадження яких дозволило отримати очікуваний економічний ефект від використання способу передзбагачення порід розкриття з магнітною складовою у сумі більше ніж 27 млн грн в рік, що має суттєве значення для підвищення ефективності гірничодобувних підприємств.

Основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи.

1. Підвищення ефективності видобутку залізних руд досягається управлінням якості рудного вантажопотоку з гірського масиву складної геологічної будови завдяки підготовці гірської маси через рівномірність руйнування та переробки за допомогою сухої магнітної сепарації.

2. Вперше експериментально встановлений вплив орієнтування осі вибухової порожнини відносно площини контактної зони складно структурного масиву на показники кондиційного дроблення гірської маси, розрахунки якого виявили, що оптимальні умови при розташуванні вибухової порожнини паралельно до контактних зон  $K_{др}=63,2-64,5\%$ , задовільні при розташуванні вибухової порожнини перпендикулярно до шарів  $K_{др}=55-57,5\%$  і найгірші для структурно однорідного масиву  $K_{др}=47,2\%$ .

3. Встановлені емпіричні залежності коефіцієнту запасу стійкості укусу видобувного уступу від геологічних параметрів родовища, які характеризується: кількістю анізотропних гірських порід у видобувному блоку різних фізико-механічних властивостей, поліноміальною залежністю від кута падіння контактної зони та логарифмічною залежністю від потужності включення. Виявлено, що несприятливим є виймання гірської маси екскаватором при кутах падіння безрудного прошарку в межах 35-45 градусів до площини виймки гірської маси.

4. Вперше встановлено закономірності збіднювання рудного потоку за допомогою коефіцієнта засмічення, який встановлюється ступеневою залежністю від технічної характеристики (місткість ківшу екскаватора), експоненціальною залежністю від технологічних характеристик (ширини заходки видобувного блоку, висоти уступу) та ступеневою залежністю від геологічних характеристик (кута нахилу безрудного прошарку та його потужності) й знаходиться в прямо пропорційній залежності від згідного напрямку контактної зони і лінії укусу уступу і знижується в 2-3 рази під впливом дії додаткового технологічного процесу сухої магнітної сепарації в кар'єрі.

5. Вперше встановлена залежність втрат корисної копалини від якісних характеристик гірської маси, яка визначається відношенням якісних показників: вмісту заліза в промпродукті від вмісту заліза у вихідній сировині і відходах збагачення, які в свою чергу поліноміально залежать від технічних характеристик устаткування, та зворотно пропорційною залежністю від об'ємів переробки. Обґрунтована ефективність переробки скельних порід розкриття в кар'єрі після стадії крупного механічного дроблення, що досягається зменшенням втрат корисної копалини до 5 разів.

6. Розроблена класифікація контактних зон «руда – вміщуючі породи» за геологічними ознаками (форма, переміжність, складність, магнітна сприйнятливість, візуальні відмінності між різними контактуючими шарами), якісними характеристиками порід, які вміщують (типи порід, вміст корисного компонента), технологічними параметрами ведення гірничих робіт (згідне або незгідне падіння контактної зони, лінії укосу уступу і фронту робіт, кут падіння контакту), яка дозволяє оцінити міру засмічення рудної маси і обсяги втрат корисної копалини.

7. Розроблено нові способи розробки і переробки залізних руд, які відрізняються тим, що в кар'єрі застосовують додаткові технологічні процеси (стадії дроблення та суху магнітну сепарацію) в залежності від типу гірської маси: некондиційні або збіднювані руди, скельні породи розкриття, що стало основою при розробці рекомендацій щодо створення дослідно-промислової ділянки технології передзбагачення руди на Інгулецькому кар'єрі.

8. Розроблено методику коригування виробничої потужності кар'єру і продуктивності розкривного комплексу при застосуванні технології передзбагачення руди в кар'єрі, яка дозволяє дослідити вплив попереднього збагачення на зміну кожного з параметрів виробничих комплексів підприємства в межах об'ємів гірської маси щодо порід розкриття, рудної маси та концентрату.

9. Обґрунтований комплекс устаткування і продуктивність дробильно-збагачувальних комплексів технології передзбагачення, які залежать від об'єкту (кар'єр, відвал, шахта, хвостосховище), якості мінеральної сировини (кондиційні, некондиційні або окислені руди, техногенна сировина) і шматкуватості гірської маси.

10. Доведена ефективність технології передзбагачення руди в кар'єрі, яка визначається енергозбереженням за технологічними процесами видобутку й переробки залізних руд в кар'єрі і на збагачувальній фабриці ГЗК, які визначаються експоненціальною залежністю питомих енерговитрат вибуху, поліноміальною залежністю буріння гірських порід, ступеневою залежністю трьох стадій дроблення від фізико-механічних властивостей порід та лінійною залежністю екскавації, транспорту, грохочення і сепарації від технічних характеристик обладнання, що дозволяє зберегти до 12% енергії в процесі переробки і лінійно залежить від відсотка об'єму передзбагачення до загального об'єму видобутку.

11. Виконано техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження технології передзбагачення скельних порід розкриття в кар'єрах Кривбасу. В умовах Петрівського кар'єру ПАТ "Центральний ГЗК" отриманий очікуваний річний економічний ефект у 27 401,96 тис. грн. Термін окупності капітальних інвестицій 2,4 року, що в 2,8 разу нижче нормативного (6,7 року), свідчить про економічну ефективність використання запропонованої технології.

12. Розроблені науково-технічні основи створення технології передзбагачення руди в глибоких залізрудних кар'єрах, технічні пропозиції, методики і рекомендації, розроблені способи видобутку й переробки руди



упроваджувались в проектах і передавались проектним організаціям та гірничодобувним підприємствам Криворізького залізорудного басейну.

## ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В ТАКИХ РОБОТАХ:

### Монографія

1. Бабий Е.В. Технология предобогащения железных руд в глубоких карьерах: монография. К.: Наук. думка, 2011. 184 с.

### Статті у наукових періодичних виданнях інших держав або України, які включені до міжнародних наукометричних баз

2. Четверик М.С., Бабий Е.В., Левицький А.П. Технология предобогащения в карьерах как перспективное направление добычи магнитных и окисленных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. Научно-технический журнал. М.: Горная книга, 2011. № 1. С. 99-105.

3. Четверик М.С., Молдабаев С.К., Бабий Е.В., Бубнова Е.А. Параметры технологии, процессов и горных машин при открытой добыче руд // Горный журнал Казахстана. Алматы, 2016. № 8 (136). С. 18-23.

4. Бабий К.В. Визначення основних параметрів технології передзбагачення руди в кар'єрах та їх вплив на роботу гірничо-збагачувального комплексу // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, 2018. Випуск 1/2018 (108). С. 87-94.

5. Четверик М.С., Бабий Е.В. Режим горных работ при технологии предобогащения руды в карьере // Горный информационно-аналитический бюллетень. Научно-технический журнал. М.: Горная книга, 2013. № 3. С. 205-210.

6. Ковров А., Бабий Е., Ракишев Б., Куттыбаев А. Влияние обводненности насыпного массива пород на геомеханическую устойчивость участка циклично-поточной технологии // Mining of Mineral Deposits Journal. Volume 10 (2016). Issue 2. pp. 55-63.

7. Ракишев Б.Р., Ковров А.С., Молдабаев С.К., Бабий Е.В. Обеспечение геомеханической устойчивости насыпей для конвейеров при циклично-поточной технологии // Хабаршысы вестник. Сб. научн. тр. НАН Республики Казахстан. Алматы, 2016. Вып. 2. С. 103-110.

8. Бабий Е.В., Султанбекова Ж.Ж. Методические основы обоснования параметров технологии предобогащения руды в карьере для определения ее экономической эффективности // Горный журнал Казахстана. Алматы, 2018. № 11. С. 9-15.

9. Chetveryk M., Bubnova O., Babii K., Shevchenko O., Moldabaev S. Review of geomechanical problems of accumulation and reduction of mining industry wastes, and ways of their solution // Mining of Mineral Deposits Journal. Volume 12 (2018). Issue 4. pp. 63-72.

### Статті у наукових фахових виданнях

10. Четверик М.С., Бабий Е.В., Медведева О.А., Сарвас Н.М. Электрометрическая диагностика массива горных пород, подверженного

оползневим процесам при відкритій розробці // Геотехнічна механіка. Дніпропетровськ, 2011. Вип.95. С. 155-161.

11. Четверик М.С., Бабий Е.В. Обоснование устойчивости насыпи под конвейерную галерею комплекса циклично-поточной технологии на Первомайском карьере // Геотехнічна механіка. Дніпропетровськ, 2015. Вип. 123. С. 142-152.

12. Бабий Е.В., Гребенник В.Н. Комплексный анализ причин развития оползневых процессов в техногенно нарушенных массивах (на примере Анновского карьера) // Геотехнічна механіка. Дніпропетровськ, 2008. Вип. 77. С. 16-24.

13. Ковров А.С., Бабий Е.В., Бубнова Е.А. Геомеханическая оценка устойчивости внутреннего отвала на подработанном основании борта карьера // Metallургическая и горнорудная промышленность. 2017. № 5. С. 60-67.

14. Бабий Е.В., Синенко М.А., Биленко А.Е. Вскрытие горизонтов Артемовского месторождения при технологии предобогащения руды в карьере // Науковий вісник Національного гірничого університету. 2011. № 6. С. 31-35.

15. Бабий Е.В. Зависимость разубоживания полезного ископаемого от параметров экскавационных машин // Геотехнічна механіка. Дніпропетровськ, 2011. Вип. 94. С. 3-10.

16. Бабий Е. В. Производственные процессы технологии предобогащения руды в карьере // Геотехнічна механіка. Дніпропетровськ, 2007. Вип. 72. С. 161-167.

17. Бабий К.В. Теоретичні основи технології передзбагачення руди в глибоких залізородних кар'єрах // Metallургическая и горнорудная промышленность. 2018. № 1. С. 45-50.

18. Бабий Е.В. Применение крутонаклонных конвейеров при технологии предобогащения руды в карьерах // Геотехнічна механіка. Дніпропетровськ, 2009. Вип. 81. С. 17-23.

19. Бабий Е.В. Теоретическое обоснование взаимосвязи производственных мощностей карьера и обогатительной фабрики при технологиях открытой добычи руд // Геотехнічна механіка. Дніпропетровськ, 2011. Вип. 92. С. 36-46.

20. Бабий Е.В., Синенко М.А. Квалиметрическая оценка качества добычи железных руд, потери и разубоживание // Геотехнічна механіка. Дніпропетровськ, 2010. Вип. 89. С. 9-18.

21. Бабий Е.В., Синенко М.А. О качестве рудного потока при технологии предобогащения руды в карьере // Вісник Криворізького технічного університету: Зб. наук. пр. Кривий Ріг, 2010. № 25. С. 19-24.

22. Четверик М.С., Бабий Е.В., Терещенко В.В., Левченко К.А. Повышение производственной мощности карьера с применением комплекса предобогащения // Metallургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск, 2013. № 3. С. 96-101.

23. Бабий Е.В. Экономическое обоснование применения комплекса предварительного обогащения для скальных вскрышных пород карьеров Кривбасса // Геотехнічна механіка. Дніпро, 2016. Вип. 129. С. 205-216.

24. Бабий Е.В. Особенности технологических схем и комплексов оборудования технологии предобогащения сырья в карьерах, шахтах, отвалах и хвостохранилищах // Геотехнічна механіка. Дніпропетровськ, 2012. Вип. 103. С. 28-37.

25. Булат А.Ф., Вилкул Ю.Г., Четверик М.С., Станков А.П., Бабий К.В. Перспективы применения крутонаклонных конвейеров при циклично-поточной технологии в условиях глубоких карьеров Кривбасса // Metallургическая и горнорудная промышленность. 2014. № 6. С. 73-78.

26. Четверик М.С., Бабий Е.В., Икол А.А. Формирование комплексов при технологии предобогащения руды в карьерах // Metallургическая и горнорудная промышленность. 2007. № 3. С. 91-93.

27. Четверик М.С., Бабий Е.В. Современное использование сухой магнитной сепарации и возможность ее применения в технологии предобогащения руды в карьере // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. Кривий Ріг, 2009. № 23. С. 14-18.

28. Бубнова О.А., Бабий К.В., Levchenko K.S. Technology of technogenic deposits development improving // Геотехнічна механіка. Дніпро, 2016. Вип. 130. С. 137-143.

29. Четверик М.С., Бабий Е.В., Бубнова Е.А., Терещенко В.В. Основные направления рационального природопользования при открытой добыче полезных ископаемых // Гірничий вісник. Наук.-техн. зб. Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2013. Вип. 96. С. 58-62.

30. Четверик М.С., Бабий Е.В., Икол А.А., Терещенко В.В. Перспективы применения крутонаклонных конвейеров при циклично-поточной технологии горных работ на карьерах Кривбасса // Metallургическая и горнорудная промышленность. 2010. № 5. С. 94-98.

31. Геомеханика устойчивости системы карьер – внутренний отвал – природная среда / М.С. Четверик, Е.В. Бабий, Е.А. Бубнова, В.Н. Гребенник // Геотехнічна механіка. Дніпро, 2018. Вип. 140. С. 176-187.

32. Бабий К.В. Вплив параметрів вибухового руйнування видобувних блоків складної геологічної будови на формування технологічних комплексів передзбагачення руди в кар'єрах // Metallургическая и горнорудная промышленность. 2018. № 6. С. 23-35.

33. Бабий Е.В., Шевченко А.И., Икол А.А. Крутонаклонные конвейеры в горнодобывающей промышленности и перспективы их применения на глубоких карьерах Кривбасса // Геотехнічна механіка. Дніпропетровськ, 2014. Вип. 118. С. 114-129.

34. Четверик М.С., Бубнова Е.А., Бабий Е.В. Взаимосвязь параметров горных машин, технологии и процессов при открытой добыче руд // Геотехнічна механіка, Дніпро, 2016. Вип. 126. С. 58-70.

35. Четверик М.С., Бабий Е.В., Швец Д.В., Тойманов Н.Т., Акилбаев Т.И. Определение перспективных направлений по извлечению балансовых запасов руд при открытой их добыче // Геотехнічна механіка. Дніпро, 2017. Вип. 132. С. 85-95.

36. Четверик М.С., Перегудов В.В., Романенко А.В. и др. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах. Перспективы развития / Кривой Рог: Дионис, 2012. С. 235-323.

#### **Статті та тези в виданнях конференцій**

37. Chetverik M., Bubnova E., Babiy K. The main technical solutions in rational excavation of minerals in open-pit mining / VII International scientific-practical conference «School Underground Mining» // Annual Scientific-Technical Collection «Mining of Mineral Deposits». Netherlands: CRC Press/Balkema, 2013. P. 173-176.

38. Бабий Е.В., Терещенко В.В. О снижении потерь железных руд на примере Петровского карьера // Матеріали конференції «Сталий розвиток промисловості та суспільства» 22-25 травня 2013р. Кривий Ріг: Криворізький національний університет. 2013. Том 1. С. 5-6.

39. Четверик М.С., Пивень В.А., Романенко А.В., Бабий Е.В. Перспективные технологии открытой добычи руд в условиях Кривбасса (на примере Ингулецкого ГОКа) // Форум горняка – 2006: Материалы международ. конф., 21-23 октября 2006 г. Днепропетровск: НГУ, 2006. С. 100-114.

40. Бубнова Е.А., Бабий Е.В., Ворон Е.А. Пути решения проблем эксплуатации накопителей отходов обогащения // Форум гірників – 2015: матеріали міжнар. конф., 30 вересня-3 жовтня 2015 р., м. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. 2015. Т. 1. С. 211-219.

41. Четверик М.С., Бабий К.В., Бубнова Е.А. Технические решения проблемы накопления отходов горнодобывающей промышленности // Зб. наук. праць за результатами роботи III Міжнародної наук.-техн. конф. «Сучасні технології розробки рудних родовищ» 19 червня 2015 р. Кривий Ріг: Вид. Р.А. Козлов, 2015. С. 34-36.

42. Четверик М.С., Бабий Е.В. Технология предобогащения в карьерах как перспективное направление добычи бедных руд // Форум гірників – 2007: Матеріали міжнарод. конф. Дніпропетровськ: НГУ, 2007. С. 246-253.

43. Четверик М.С., Бабий Е.В., Синенко М.А. Технология предобогащения руды в карьере как ресурсосберегающая технология // Материалы Юбилейной XX Международ. науч. школы. им. академика С.О. Христиановича 20-26 сентября 2010 г. Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2010. С. 361-363.

44. Бабий К.В. Технологія передзбагачення руди в кар'єрі як напрямок зниження негативного впливу на навколишнє середовище // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції 08 жовтня 2010 р. Кривий Ріг: ДП «НДГРІ», 2010. С. 97-98.

45. Четверик М.С., Бабий Е.В. Перспективные технологии добычи руд в глубоких карьерах с минимальными энергетическими затратами // Збірник наукових праць за результатами роботи II Міжнародної науково-технічної конференції 21-22 грудня 2012 р. Кривий Ріг: ФОП Чернявський Д.О., 2012. С. 97-98.

46. Бабий Е.В. Обоснование эффективности применения технологии предобогащения руды в карьере // Збірник наукових праць за результатами роботи

V Міжнародної наук.-техн. конференції (Кривий Ріг, 23-24.11.2018). Кривий Ріг, 2018. С. 30-32.

### Патенти України

47. Спосіб розробки крутоспадних залізрудних кар'єрів: пат. на винахід 101761 Україна / Бабій К.В., Косенко В.І., Ікол О.О. № а 2012 00115; заявл. 04.01.2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 8. (кн. 1), С. 3.161.

48. Спосіб розробки залізних руд та їх переробки біля кар'єру: пат. на кор. модель № 114357 / Четверик М.С., Бабій К.В., Ікол О.О. № и 2016 08448 заявл. 01.08.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5. (кн. 1), С. 4.104.

49. Спосіб розробки порід розкриття в залізрудних кар'єрах: пат. на винахід 109833 Україна / Четверик М.С., Бабій К.В., Ікол О.О., Левченко К.С. № а 2014 04364 заявл. 22.04.14; опубл. 12.10.2015, Бюл. № 19. (кн. 1), С. 3.96.

50. Спосіб розробки залізних руд в кар'єрах: пат. на винахід № 118041 Україна / Четверик М.С., Бабій К.В., Ікол О.О. № а 2016 08458 заявл. 01.08.2016; опубл. 12.11.2018, Бюл. № 21. (кн. 1), С. 3.74.

**Особистий внесок здобувача.** Ідеї щодо розробки науково-технічної проблеми в цілому, які належать здобувачеві, реалізовані в науково-дослідних роботах й опубліковані ним особисто [1, 4, 15-19, 23, 24, 32, 44, 46]. У роботах [26, 39, 42, 43], надрукованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в розвитку науково-технічних основ технології передзбагачення руди в кар'єрах, тоді як в роботах [2, 9, 25, 30, 36] розкритий обраний напрямок досліджень як перспектива розвитку циклічно-поточної технології. В роботах [20, 21, 27, 29, 35, 37, 38] обґрунтовані аспекти раціонального природокористування, підвищення якості сировини через використання сухої магнітної сепарації, проведений аналіз геологічних умов розробки залізрудних родовищ та опублікована класифікація контактних зон. У працях [14, 33, 47-50] особистий внесок здобувача полягає в науковій постановці завдань, участі в узагальненні результатів досліджень, розробці нових способів розробки родовищ, технологічних схем і їх систематизації. В роботах [28, 40, 41] запропоновані технічні рішення щодо попередньої переробки техногенної сировини, а в роботах [3, 5, 34, 35] надаються підходи та обґрунтування щодо визначення параметрів технології передзбагачення руди або порід розкриття в кар'єрі. В роботах [8, 22] наведені результати техніко-економічне обґрунтування доцільності провадження комплексу передзбагачення в залізрудний кар'єр. В роботах [6, 7, 11-13, 31] внесок здобувача полягає в безпосередньому виконанні комплексу робіт щодо геомеханічного обґрунтування будівництва об'єктів гірничодобувного підприємства.

### АНОТАЦІЯ

*Бабій К.В.* Геомеханічні основи технології передзбагачення руди в глибоких залізрудних кар'єрах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальностями 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка» та 05.15.03 «Відкрита розробка родовищ корисних копалин». Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, 2019.

Дисертація присвячена вирішенню важливої науково-технічної проблеми – розвитку геомеханічних основ технологій передзбагачення руди в глибоких залізородних кар'єрах, які полягають у встановленні закономірностей зміни гранулометричного складу і показників рудного потоку від геомеханічних, геологічних, технічних та технологічних параметрів видобутку під впливом вибухового руйнування та сухої магнітної сепарації, що дозволило розробити нові технологічні схеми та способи видобутку і переробки мінеральної сировини в глибоких залізородних кар'єрах, впровадження яких дозволило отримати очікуваний економічний ефект від використання способу передзбагачення порід розкриття з магнітною складовою у сумі більше ніж 27 млн грн в рік, що має суттєве значення для підвищення ефективності гірничодобувних підприємств.

На основі натурних спостережень досліджені особливості геологічної будови залізородних родовищ, виявлені позначки контактних зон. Розроблена класифікація контактних зон «руда – вміщуючі породи», яка дозволяє оцінити міру засмічення рудної маси і обсяг втрат корисної копалини. Досліджено вплив гірничо-геологічних і технологічних параметрів видобутку на втрати і зубожіння руди. Вперше встановлені їх закономірності. Експериментально встановлений вплив шаруватості будови масиву на рівномірність руйнування міцних анізотропних гірських порід при використанні секції кумулятивної дії на гірський масив. Досліджено вплив сухої магнітної сепарації на зміну якості рудного вантажопотоку. Обґрунтована шматкуватість рудного потоку за всіма технологічними процесами з визначенням оптимальної, та визначена оптимальна шматкуватість руди, яка потрапляє на сепарацію при технології передзбагачення руди в кар'єрі. Визначені аналітичні залежності продуктивності збагачувальної фабрики від встановленого взаємозв'язку виробничої потужності кар'єру, продуктивності розкривного комплексу і комплексу передзбагачення руди в кар'єрі.

Очікуваний річний економічний ефект від застосування технології передзбагачення для скельних порід розкриття в умовах Петрівського кар'єру ПАТ "Центральний ГЗК" склав 27 401,96 тис. грн. Термін окупності капітальних інвестицій 2,4 року, що в 2,8 рази нижче нормативного (6,7 року).

Розроблені науково-технічні основи створення технології передзбагачення руди в глибоких залізородних кар'єрах, технічні пропозиції, методики і рекомендації, розроблені способи видобутку й переробки руди упроваджувались в проектах і передавались проектним організаціям та гірничодобувним підприємствам Криворізького залізородного басейну.

**Ключові слова:** кар'єр, залізна руда, фізико-механічні властивості, зубожіння, втрати, попереднє збагачення, циклічно-потокова технологія, шматкуватість, технологічна схема, виробнича потужність.

## АННОТАЦІЯ

Бабий Е.В. Геомеханические основы технологии предобогащения руды в глубоких железородных карьерах. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук за специальностями 05.15.09 – «Геотехническая і горная механика» и 05.15.03 «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых». Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепро, 2019.

Диссертация посвящена решению важной научно-технической проблемы – развитию геомеханических основ технологий предобогащения руды в глубоких железорудных карьерах, которые заключаются в установленных закономерностях изменения гранулометрического состава и показателей рудного потока от геомеханических, геологических, технических и технологических параметров добычи под действием взрывного разрушения и сухой магнитной сепарации, которые позволили разработать новые технологические схемы и способы добычи и переработки минерального сырья в глубоких железорудных карьерах, внедрение которых позволило получить ожидаемый экономический эффект от использования способа предобогащения пород вскрыши с магнитными составляющими в сумме более чем 27 млн грн в год, что существенно влияет на повышение эффективности горнодобывающего предприятия.

На основе натуральных наблюдений исследованы особенности геологического строения железорудных месторождений, установлены признаки контактных зон. Разработана классификация контактных зон «руда - вмещающие породы», которая позволяет оценить степень засорения рудной массы и объем потерь полезного ископаемого. Исследовано влияние горно-геологических и технологических параметров добычи на потери и разубоживание руды. Впервые установлены их закономерности. Экспериментально установлено влияние слоистостого строения массива на равномерность разрушения прочных анизотропных горных пород при использовании секции кумулятивного действия на горный массив. Исследовано влияние сухой магнитной сепарации на изменение качества рудного грузопотока. Обоснована кусковатость рудного потока по всем технологическим процессам с определением оптимальной. Определена оптимальная кусковатость руды, которая попадает на сепарацию при технологии предобогащения руды в карьере. Определены аналитические зависимости производительности обогатительной фабрики от установленной взаимосвязи производственной мощности карьера, производительности вскрышного комплекса и комплекса предобогащения руды в карьере.

Ожидаемый годовой экономический эффект от применения технологии предобогащения для скальных пород вскрыши в условиях Петровского карьера ЧАО "Центральный ГОК" составил 27 401,96 тыс. грн. Срок окупаемости капитальных инвестиций 2,4 года, что у 2,8 раза ниже нормативного (6,7 года).

Разработаны научно-технические основы создания технологии предобогащения руды в глубоких железорудных карьерах, технические предложения, методики и рекомендации, разработаны способы добычи и переработки руды, которые внедрялись в проектах и передавались проектным организациям и горнодобывающим предприятиям Криворожского железорудного бассейна.

**Ключевые слова:** карьер, железная руда, физико-механические свойства, разубоживание, потери, предварительное обогащение, циклично-поточная технология, кусковатость, технологическая схема, производственная мощность.

## ANNOTATION

Babii K.V. Geomechanical bases of technology of pre-enriching of ore are in deep iron-ore careers. – Manuscript.

The dissertation for the degree of a doctor of technical sciences on specialities: 05.15.09 «Geotechnical i Mining mechanics» and 05.15.03 «Openwork of deposits of minerals». N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics the name of NAS of Ukraine, Dnipro, 2019.

The thesis is devoted to solving an important scientific and technical problem - development of the geomechanical fundamentals of ore pre-enrichment technologies in deep iron ore quarries, which are in the established regularities of changes in the particle size distribution and ore flow indicators from geomechanical, geological, technical and technological parameters of mining under the influence of explosive destruction and dry magnetic separation which allowed to develop new technological schemes and methods for the extraction and processing of mineral raw materials in deep iron ore quarries, its' introduction of made it possible to obtain the expected economic effect from using the method of pre-enrichment of overburden rocks with magnetic components in the amount of more than 27 million UAH. per year, which significantly affects the efficiency of the mining enterprise.

On the basis of field observations, the features of the geological structure of iron ore deposits have been investigated, and signs of contact zones have been established. The classification of contact zones "ore - host rocks" has been developed, which allows to assess ore mass contamination rate and the amount of mineral loss. The influence of mining and geological and technological parameters of mining on the loss and dilution of ore was investigated. Such regularities were established for the first time. The influence of the layered structure of the massif on the uniformity of destruction of strong anisotropic rocks using the section of cumulative action on the mountain massif was experimentally established. The effect of dry magnetic separation on changes in the quality of ore cargo traffic has been investigated. Juggling of ore flow over all technological processes with the determination of the optimal one is substantiated. The optimum coarse ore, which falls on the separation with the technology of ore beneficiation in the quarry, has been determined. The analytical dependencies of the concentration plant productivity are determined from the established relationship between the production capacity of the open-pit mine, the productivity of the overburden complex and the ore pre-enrichment complex in the open pit.

Expected annual economic effect from application of technology of pre-enriching for the rocky breeds of stripping in the conditions of the Peter quarry PJС "Central MCC" made a 27 401,96 thousand UAH. Term of return on capital investments 2,4 year, that at 2,8 time below than normative (6,7 year).



The scientific and technical basis for the creation of technology for pre-enrichment of ore in deep iron ore quarries, technical proposals, methods and recommendations have been developed, methods for mining and ore processing that have been introduced into projects and transferred to specific organizations and mining enterprises of the Kriviy Rih iron ore basin have been developed.

**Keywords:** quarry, iron-stone, physical and mechanical properties, dilution, losses, preliminary enriching, cyclic-line technology, piece, flowsheet, production capacity.

Research-Only

БАБІЙ Катерина Василівна

ГЕОМЕХАНІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДЗБАГАЧЕННЯ РУДИ В  
ГЛИБОКИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРАХ

(Автореферат)

Здано на складання .05.2019. Підписано до друку .05.2019.

Формат 210x148. Папір офсетний. Друк цифровий.

Гарнітура Times. Ум. друк. арк. 2,0. Обл.-вид. арк. 2,0

Тираж 100 прим. Зам. №

Видавництво

Адреса видавництва та друкарні: 49000

Дніпро, вул.