

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**КОСЕНКО АНДРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ**

**УДК [622.273.21: 622.274.4](043.3)**

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ПІДПОВЕРХОВОГО ОБВАЛЕННЯ  
ПРИ РОЗРОБЦІ БАГАТИХ ЗАЛІЗНИХ РУД**

**Спеціальність: 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин**

**АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Дніпро – 2021**

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі підземної розробки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України (м. Кривий Ріг).

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин Криворізького національного університету (м. Кривий Ріг) Міністерства освіти і науки України

**КАЛІНІЧЕНКО  
Всеволод  
Олександрович**

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор, професор кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України

**ХОМЕНКО  
Олег  
Євгенович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу проблем технологій підземної розробки вугільних родовищ Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова (м. Дніпро) Національної академії наук України

**ВЛАСЕНКО  
Василь  
Вікторович**

Захист відбудеться «22» квітня 2021 року о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19; тел. (0562) 47-24-11, ауд. 1/60.

З дисертацією можна ознайомитись у Науковій бібліотеці Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» за адресою: 49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.

Автореферат розіслано «19» березня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент



М.В. Петльований

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Основна частина запасів багатих залізних руд України, які становлять близько 1,6 млрд т (вміст заліза > 55%), зосереджена в Кривому Розі, що визначає особливе значення гірничодобувних підприємств Кривбасу в економіці нашої держави. Гірничодобувна промисловість України є однією з основних галузей формування бюджету країни, а використання сучасних механізмів державного регулювання та комплексного освоєння мінерально-сировинної бази басейну забезпечує конкурентоспроможність національної економіки. Розробка покладів багатих залізних руд Кривбасу, приблизно половина з яких характеризуються середньою та нижче середньої міцністю і стійкістю, що дозволяє вести їх відпрацювання за допомогою систем розробки з обваленням руди та вмісних порід, здійснюється на глибинах 1200-1400 м.

Варіанти систем розробки підповерхового обвалення з донним випуском руди і застосуванням стаціонарного та переносного гірничого обладнання, маючи і без того суттєву питому вагу (понад 50%), у процесі видобування багатих залізних руд Кривбасу, зі зростанням глибини набувають ще більшого поширення. Вони характеризуються значним терміном підготовчих робіт (4-6 міс.) і відпрацюванням очисних панелей (3,5-5 міс.) та, як наслідок, дво-, триразовим перекріпленням виробок доставки і перебурюванням 30-40% глибоких свердловин, недостатнім для ефективного процесу відбивання, обсягом компенсаційних камер (до 20%), втратами руди в межах 17-25% та домішуванням до відбитої руди близько 14-18% вмісних порід. Такі показники відпрацювання запасів видобувних блоків не відповідають сучасним вимогам щодо раціональної розробки покладів багатих залізних руд.

Обґрунтуванню раціональних параметрів систем підповерхового обвалення і закономірностей руху сипких середовищ присвячені праці таких вітчизняних та закордонних науковців як: Агошкова М.І., Абрамова В.Ф., Барона Л.І., Вольфсона П.М., Дубиніна Н.Г., Іменітова В.Р., Коржа В.А., Кудрявцева М.І., Кулікова В.В., Малахова Г.М., Черненко А.Р., Черненко В.А., Брауна Е.Т., Кастро Р.Л., Чітомбо Г.П., Піерсі М.Е. та ін. Але в їх працях основну увагу сконцентровано на вивченні впливу ряду конструктивних і технологічних параметрів цих систем розробки на кількісні та якісні показники вилучення руди. Розрахунок параметрів процесу випуску здійснюється за теорією Малахова Г.М., яка є основною і не враховує інтенсивність процесу випуску, фізико-механічні властивості руди та глибину ведення гірничих робіт, а розробці нових режимів випуску не приділялася увага протягом майже 50 років. Тому удосконалення систем розробки підповерхового обвалення на основі встановлення закономірностей зміни показників вилучення руди і параметрів конструктивних елементів днищ приймальних горизонтів від інтенсивності та режиму процесу випуску є актуальним науковим завданням, яке має суттєве комерційне значення для гірничорудних підприємств України.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано відповідно до Закону України «Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» від 21.04.2011 року № 3268-VI. Також вона відповідає планам науководослідних робіт ДВНЗ «Криворізький національний університет» за темами «Розробка та впровадження раціональних варіантів технології виїмки покладів багатих за-

лізних руд на глибоких горизонтах шахт з використанням самохідного гірничого обладнання» (№ ДР 0114U003772), «Удосконалення технології відпрацювання покладів багатих залізних руд на базі застосування самохідної гірничої техніки в умовах глибоких горизонтів шахт Кривбасу» (№ РК 116U001844) та Інституту фізики гірничих процесів НАН України за темою «Розробка моделі вивільнення потенціальної енергії деформованого масиву гірських порід та її випробування в умовах експлуатації родовищ корисних копалин» (№ ДР 0117U002193), за якими здобувач працював виконавцем.

**Мета і завдання дослідження.** *Метою дослідження є вдосконалення систем підповерхового обвалення у процесі розробки покладів багатих залізних руд за рахунок застосування ефективного режиму й інтенсифікації процесу випуску.*

Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовано та успішно вирішено наступні *завдання дослідження*:

1. Установити, за допомогою комп'ютерного моделювання, показники вилучення чистої руди в залежності від режимів та інтенсивності процесу випуску, висоти шару і фізико-механічних властивостей обваленої руди.

2. Установити, за допомогою фізичного моделювання, показники вилучення чистої руди в залежності від режимів випуску та параметрів конструкції днища очисної панелі.

3. Розробити ефективну технологічну схему високоінтенсивного процесу випуску та скреперно-самохідного способу доставки руди.

4. Спроекувати раціональні варіанти систем підповерхового обвалення, що забезпечать ефективну розробку покладів багатих залізних руд на значних глибинах.

5. Визначити економічну ефективність від впровадження на практиці розроблених раціональних варіантів систем підповерхового обвалення.

*Ідея роботи* полягає у використанні ефекту збільшення обсягу вилучення чистої руди від параметрів конструктивних елементів днища очисної панелі, інтенсивності та режиму процесу випуску, що дозволяє визначити раціональні параметри технологічної схеми випуску і доставки руди при системах розробки підповерхового обвалення.

*Об'єкт дослідження* – процес випуску та доставки руди за допомогою самохідної вантажно-доставної техніки.

*Предмет дослідження* – технологічні параметри процесу випуску руди та її доставки в межах днища очисної панелі.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених завдань в роботі використано комплексний метод дослідження, який включав аналіз літературних джерел, проектно-конструкторської документації та практики відпрацювання залізородних родовищ на значних глибинах, чисельне та фізичне моделювання випуску руди задля виявлення закономірностей формування технічних характеристик видобування руди, аналітичний і графоаналітичний методи, задля встановлення та обґрунтування раціональних параметрів технологічних схем очисних робіт, технологічне проектування схем очисних робіт задля створення конструкцій систем розробки рудних родовищ у конкретних гірничо-геологічних та гірничотехнічних умовах.

*Достовірність отриманих результатів і висновків*, що викладено у роботі, забезпечується використанням апробованих фізичних, із дотриманням критеріїв подібності натури та моделі, і сучасних чисельних методів дослідження із застосуванням

обчислювальної техніки, плануванням багатофакторних експериментів з необхідним об'ємом лабораторних і чисельних дослідів, застосуванням сучасних методів математичної статистики, відповідністю результатів чисельного та фізичного моделювання (не менше 96%).

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

#### *1. Уперше:*

– встановлено степеневі залежності зміни кута випуску руди від інтенсивності процесу випуску та межі міцності руди на одновісне стискання;

– встановлено степеневі залежності збільшення об'єму фігури випуску при застосуванні лінійно-почергового режиму випуску від інтенсивності процесу випуску, висоти шару обваленої руди та межі міцності руди на одновісне стискання.

*2. Набула подальшого розвитку* залежність зміни величини тиску в межах фігури випуску від інтенсивності процесу випуску в діапазоні від 1,5 до 12 т/м<sup>2</sup> за добу, шляхом урахування місця розташування очисної панелі за потужністю рудного покладу та кількості контактів з обваленими вмісними породами, глибини ведення очисних робіт і класу покладу, що розробляється.

*3. Удосконалено* залежності зміни показників вилучення руди, які, на противагу відомим, враховують межу міцності руди на одновісне стискання, інтенсивність процесу випуску, розташування очисної панелі за потужністю рудного покладу та кількість контактів з обваленими вмісними породами, глибину ведення очисних робіт і клас покладу, що розробляється.

#### Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Об'єм фігури випуску визначається не лише діаметром випускних виробок і висотою шару обваленої руди, а й межею міцності рудного масиву на одновісне стискання, що при обваленні трансформується у сипкий матеріал, кут випуску якого змінюється за степеневою залежністю від інтенсивності протікання процесу випуску, що дозволяє збільшити відстань між виробками випуску до 7,5 м і до 27% знизити витрати на їх проведення.

2. Застосування лінійно-почергового режиму випуску дозволяє збільшити обсяг вилучення чистої руди до 10,1%, величина якого знаходиться в степеневій залежності від інтенсивності процесу випуску, кількості випускних виробок, з яких одночасно та періодично здійснюється випуск рівномірними дозами, межі міцності руди на одновісне стискання, висоти шару обваленої руди та кута падіння рудного покладу, що дозволяє збільшити до 4,6% кількісні і до 5,2% якісні показники вилучення, а також покращити до 1,5% абсолютну якість видобутої рудної маси.

*Наукове значення* роботи полягає у встановленні закономірностей зміни показників вилучення руди від інтенсивності випуску, межі міцності руди на одновісне стискання, висоти шару обваленої руди та кількості випускних виробок, їх діаметру і відстані між ними, що дозволило обґрунтувати раціональні параметри конструктивних елементів технологічної схеми випуску і доставки.

### **Практичне значення одержаних результатів:**

1. Створено три моделі, дві з яких об'ємні фізичні із використанням еквівалентних матеріалів та імітують розробку крутоспадних рудних покладів різної потужності, а третя – комп'ютерна, для моделювання процесу випуску руди.

2. Обґрунтовано лінійно-почерговий режим випуску руди, який на практиці реалізується за допомогою розробленого комбінованого скреперно-самохідного

способу доставки і дозволяє зменшити вплив людського фактору на дотримання планограми випуску та поліпшити якісні і кількісні показники вилучення.

3. Спроектовано раціональні варіанти систем підповерхового обвалення для більш ефективного відпрацювання покладів багатих залізних руд на значних глибинах.

4. Удосконалено методику визначення показників вилучення руди шляхом урахування комплексу гірничо-геологічних і гірничотехнічних параметрів систем розробки.

5. Розроблено принципово нові комбіновані способи доставки руди, що зареєстровані в Україні у якості корисних моделей № 105304, 105305.

**Реалізація результатів роботи.** На основі проведених досліджень розроблено варіанти технології підповерхового обвалення, елементи яких прийняті у технологічному проектуванні розробки покладів багатих залізних руд у полі шахти «Жовтнева» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат». Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів досліджень складає 14,5-39,4 грн на 1 т за системою розробки. Річний економічний ефект від впровадження у виробництво розроблених у дисертаційній роботі технологічних рішень, в умовах шахти «Жовтнева» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат», складає близько 40,42 млн грн.

**Особистий внесок здобувача** полягає у формулюванні ідеї і мети, постановці завдань досліджень та обґрунтуванні наукових положень, висновків і рекомендацій, доборі методів, розробці методик та проведенні чисельного і фізичного моделювання процесу випуску руди; отриманні нових аналітичних формул, які відображають функціональну залежність параметрів фігур випуску та показників вилучення руди від фізико-механічних властивостей обваленої руди, параметрів конструктивних елементів очисних панелей і режиму випуску, розширенні понятійного апарату управління процесом випуску руди із декількох суміжних випускних виробок, які розташовані на одній осі, одночасно, рівномірними дозами з однаковою періодичністю, розробці лінійно-почергового режиму випуску із створенням теорії розрахунку показників вилучення руди та розробці інженерно-практичних методів, розробленні у співавторстві раціональних варіантів систем підповерхового обвалення. Текст дисертації викладено особисто автором.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати роботи доповідалися та отримали схвалення на наукових конференціях: «Сучасні технології розробки рудних родовищ. Економічні наслідки діяльності підприємств ГМК» (Кривий Ріг, 2015, 2017), «Modern European science» (Sheffield, England, 2015), «Бъдещите изследвания» (София, България, 2016), «Widening our horizons» (Dnipropetrovsk, 2016), «Science without borders» (Sheffield, England, 2016), «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі» (Кривий Ріг, 2016), «Innovative technologies in science and education. European experience» (Vienna, Austria, 2017), «Розвиток промисловості та суспільства» (Кривий Ріг, 2017-2019), «Science in 2018» (Morrisville, USA, 2018), «Наукові дослідження у 2018 році» (Краматорськ, 2018), «Proceedings of International scientific conference» (Суми, 2018).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 27 друкованих наукових працях, з яких: 10 статей у спеціалізованих наукових виданнях, які включено до «Переліку наукових фахових видань Міністерства науки і освіти України», 2 статті у зарубіжних періодичних виданнях; 1 стаття у виданні України, яке внесено до міжнародної наукометричної бази Scopus; 2 патенти на корисні моделі; 4 статті у матеріалах міжнародних наукових конференцій; 8 тез у матеріалах міжнарод-

них наукових конференцій. Без співавторів опубліковано 12 наукових праць, з них 10 статей і 2 тези.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 141 найменування на 17 сторінках, 5 додатків на 21 сторінці. Загальний обсяг дисертації становить 151 сторінка, зокрема 112 – основний текст, 27 рисунків, 8 таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми і необхідність удосконалення технології підземної розробки; відображено зв'язок роботи з науковими програмами і темами; поставлено мету та сформульовано ідею і завдання дослідження; визначено об'єкт, предмет і методи дослідження; подано наукові положення, що виносяться на захист; зазначено наукову новизну і практичне значення роботи; наведено інформацію про особистий внесок здобувача, відомості про апробацію роботи та публікації результатів досліджень.

**Розділ 1. Аналіз стану питання, мета та завдання дослідження,** присвячено аналізу наукових, технічних і проєктних матеріалів, а також досвіду розробки запасів багатих залізних руд в Україні та світі, який показав, що актуальним науково-технічним завданням забезпечення конкурентоспроможності підземних рудників Кривбасу є розроблення та освоєння варіантів систем розробки підповерхового обвалення ресурсозберігаючого рівня, на основі встановлення раціональних параметрів їх конструктивних елементів у залежності від закономірностей випуску руди. Це дозволить підвищити ефективність ведення гірничих робіт та якість товарної продукції.

Обґрунтуванню раціональних параметрів систем підповерхового обвалення та закономірностей руху сипких середовищ, на різних етапах розвитку теорії проєктування гірничотехнічних систем, присвячені праці Агошкова М.І., Абрамова В.Ф., Барона Л.І., Вольфсона П.М., Дубиніна Н.Г., Іменітова В.Р., Коржа В.А., Кудрявцева М.І., Кулікова В.В., Малахова Г.М., Черненко А.Р., Черненко В.А., Брауна Е.Т., Кастро Р.Л., Чітомбо Г.П., Піерсі М.Е. та ін. учених. Але в їх працях основну увагу сконцентровано на виявленні впливу ряду конструктивних і технологічних параметрів цих систем розробки на кількісні та якісні показники вилучення руди. А питанням впливу інтенсивності технологічного процесу випуску руди на показники втрат і збіднення та розробці нових режимів випуску в останні 50 років уваги не приділялося.

Для обґрунтування раціональних параметрів систем підповерхового обвалення із застосуванням самохідної техніки необхідно враховувати закономірності формування фігур випуску в залежності від інтенсивності технологічного процесу випуску, відстані між виробками випуску, висоти шару обваленої руди, фізико-механічних властивостей руди та кількості виробок з яких одночасно здійснюється випуск рівномірними дозами з однаковою періодичністю, що дозволить розробити принципово новий режим випуску. Для встановлення вище зазначених закономірностей проведено аналіз можливих методів вирішення поставлених завдань. На основі чого обрані та обґрунтовані аналітичні та дослідно-експериментальні методи дослідження на комп'ютерній і фізичній моделях. Також на підставі проведеного аналізу сформульовано мету та завдання дослідження, які були вирішені у процесі виконання дисертаційної роботи.

**Розділ 2. Методи та методики проведення досліджень технологічного процесу випуску руди,** присвячено обґрунтуванню комплексної методики проведення досліджень випуску руди, що ґрунтуються на загальних положеннях теорії моделювання випуску рудної маси з урахуванням даних, які отримані в практичних умовах і гарантують високу достовірність одержаних результатів. Чисельне моделювання враховує фізико-механічні властивості руди та гірничотехнічні умови розробки і здійснювалося за допомогою комп'ютерної техніки із застосуванням програмного комплексу «PFC3D». Для проведення фізичного моделювання було здійснено добір еквівалентних матеріалів на підставі теорії подібності з дотриманням рівності визначених констант, що входять в їх диференційні рівняння, та урахуванням основних характеристик функціональності, які вказують на подібність систем моделі та природи: параметрів фігури випуску; площі і кількості зависань; висоти шару руди, який випускається; прогину та діаметру воронки впровадження, включаючи вимоги до сипкого матеріалу. А також визначена необхідна кількість незалежних лабораторних експериментів і здійснено їх планування за загальноприйнятою методикою з допустимим відхиленням не більше 10%.

Виготовлення об'ємних фізичних моделей виконано, виходячи з гірничо-геологічних умов розробки покладів багатих залізних руд Кривбасу, у масштабі 1:100 (рис. 1).

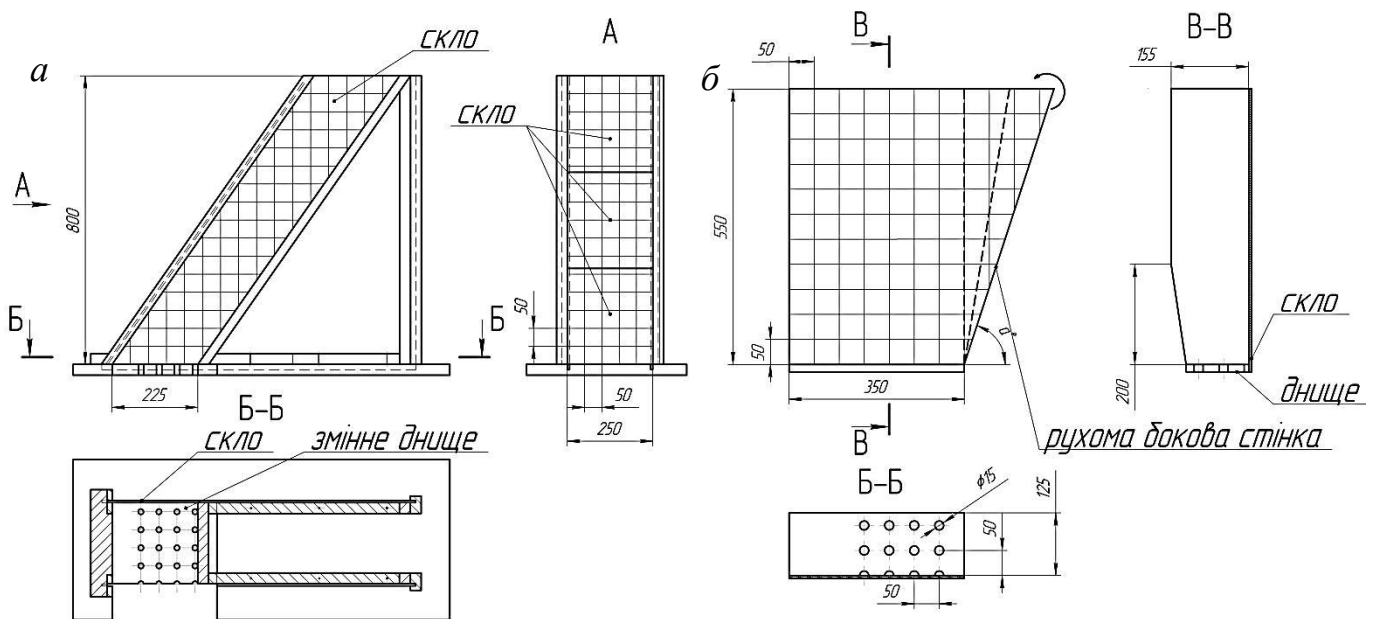


Рисунок 1 – Об'ємна фізична модель: а – при розробці дуже потужних рудних покладів; б – при розробці середньої потужності та потужних рудних покладів

У першому випадку (рис. 1 а) фізична модель відображає очисну панель і являє собою об'ємну фігуру з розмірами: довжина за простяганням – 25 см; висота – 80 см; ширина – 22,5 см; кут нахилу бічної стінки –  $55^\circ$ . Днища моделі – це змінні касети, у яких випускні отвори виконані різного діаметру і з різними відстанями один від одного за заданими сітками (рис. 2). Одна з бічних скляних стінок моделі є віссю симетрії випускних отворів очисної панелі, яка розташована вхрест простягання рудного покладу. Інша бічна скляна стінка моделює граничне рудне відслонення очис-



ної панелі. Для візуального контролю за процесом випуску на скляній стінці моделі нанесені сітки прямих горизонтальних і вертикальних ліній розміром 5×5 см.

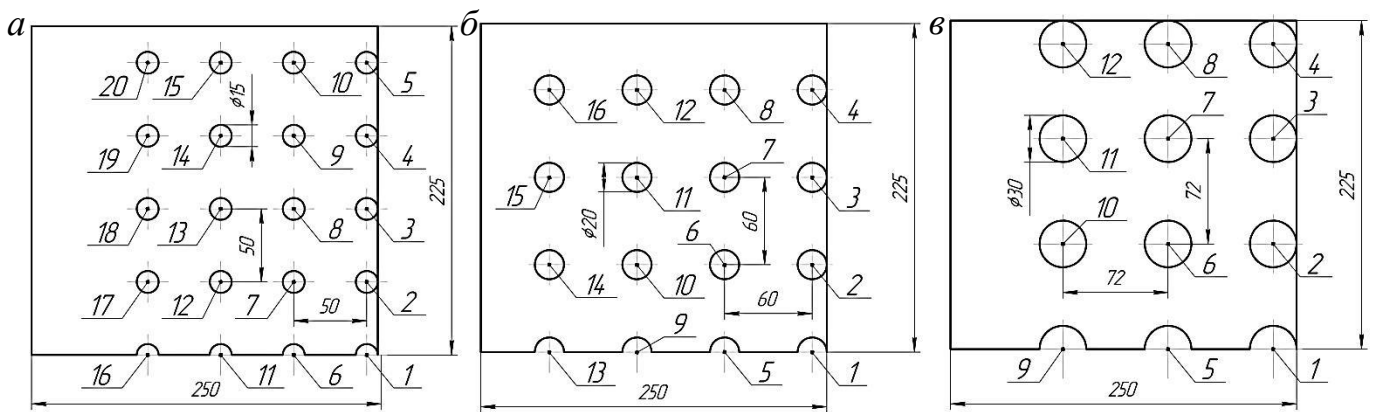


Рисунок 2 – Змінні днища моделі з різними діаметрами випускних отворів та відстанню між ними: *a* – діаметр випускних отворів 15 мм і відстань між ними 50 мм; *б* – діаметр випускних отворів 20 мм і відстань між ними 60 мм; *в* – діаметр випускних отворів 30 мм і відстань між ними 72 мм; 1-20 – номер випускного отвору

Друга модель виконана для проведення лабораторних досліджень з випуску руди у процесі відпрацювання рудних покладів, що розробляються декількома панелями вхрест простягання рудного покладу (рис. 1 б). Бічна стінка моделі, яка імітує суцільний породний масив лежачого боку рудного покладу, кріпиться до основи на шарнірах, для виставлення різного кута нахилу ( $\alpha^\circ$ ). У днищі моделі виконано отвори, які імітують випускні воронки. Перший ряд випускних отворів біля передньої стінки виконано у формі півкругів. Передня стінка виконана зі скла, на якій, задля візуального контролю за процесом випуску, нанесена сітка ліній розміром 5×5 см. Для перевірки відповідності результатів було відпрацьовано необхідну кількість моделей.

Для визначення точності одержаних результатів розраховані відповідні коефіцієнти варіації. Для обробки результатів моделювання прийняті методи математичної статистики.

**Розділ 3. Дослідження технологічного процесу випуску руди для умов розробки покладів багатих залізних руд,** присвячено опису результатів проведеного чисельного і фізичного моделювання випуску руди під обваленими вмисними породами. Моделювання за допомогою програмного пакету «PFC3D» (рис. 3) дало змогу встановити той факт, що збільшення інтенсивності випуску руди з випускної виробки впливає на кут випуску, а відповідно і на об'єм фігури випуску.

Дані проведених досліджень дозволили побудувати графічні залежності між величиною кута випуску руди і її межею міцності на одновісне стискання (рис. 4), на основі яких отримано емпіричний вираз

$$\beta = (0,1 \cdot [\sigma] + 75) \cdot I^{0,01 - 0,0005 \cdot [\sigma]}, \text{ град., при } R^2 = 0,924,$$

де  $[\sigma]$  – межа міцності руди на одновісне стискання, МПа;  $I$  – інтенсивність процесу випуску руди, т/м<sup>2</sup> за добу;  $R$  – коефіцієнт апроксимації.

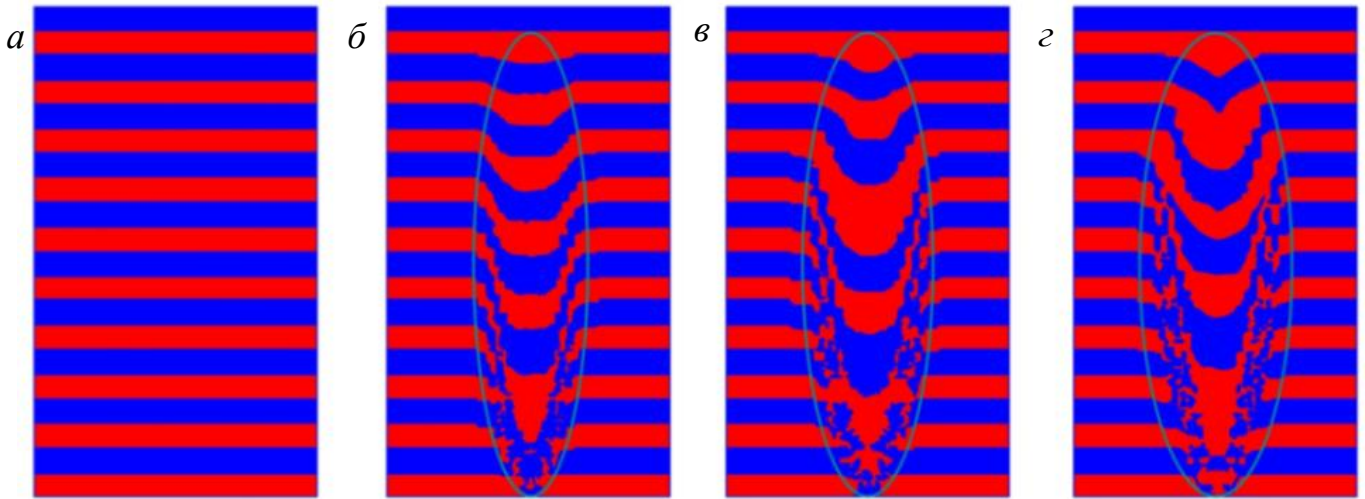


Рисунок 3 – Фрагменти моделі випуску руди, що побудовані за допомогою програмного пакету «PFC3D» (масштаб моделювання 1:1): *а* – модель, що заповнена сипким матеріалом; *б* – модель після випуску 220 т матеріалу рівномірними дозами (по 1,5 т) через кожні 172 с; *в* – модель після випуску 220 т матеріалу рівномірними дозами (по 1,5 т) через кожні 86 с; *г* – модель після випуску 220 т матеріалу рівномірними дозами (по 1,5 т) через кожні 43 с

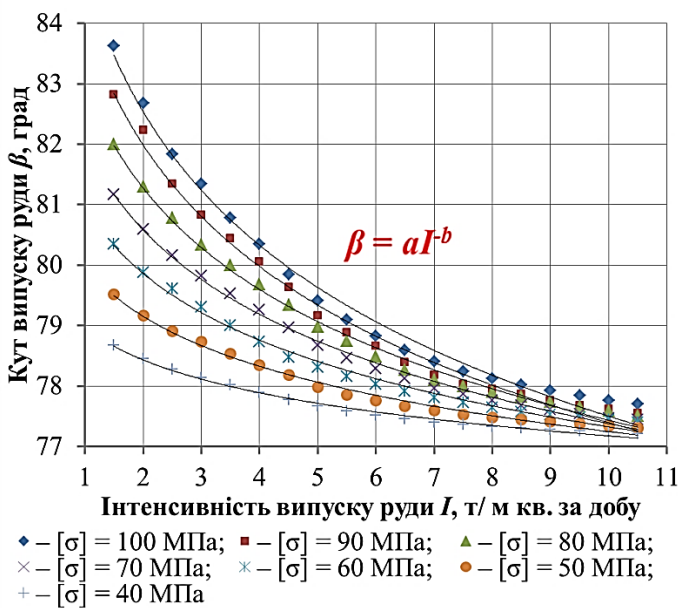


Рисунок 4 – Графіки залежності величини кутів випуску руди ( $\beta$ ) від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску ( $I$ ) для різної межі міцності руди на однісіне стискання  $[\sigma]$

шару руди над випускними виробками, з дотриманням відстані між випускними отворами, яка забезпечує критичну висоту фігур випуску в залежності від шару руди над ними. Такий режим випуску був названий лінійно-почерговим, який характеризується випуском рівномірних доз з усіх випускних виробок по осі виробки первин-

Виходячи з проведених досліджень, було отримано аналітичний вираз залежності відстані між суміжними випускними виробками, які лежать на одній осі і з яких здійснюється випуск рівномірними дозами одночасно з однаковою періодичністю

$$l_{\text{вип.вир.}} = 1,365 \sqrt{\frac{(d \cdot \text{tg} \beta + h_{\text{ш.р.}})^3}{h_{\text{ш.р.}} \cdot \text{tg}^3 \beta}}, \text{ М,}$$

де  $h_{\text{ш.р.}}$  – висота шару руди над випускною виробкою, м;  $d$  – діаметр випускної виробки (отвору), м;  $\beta$  – кут випуску руди, град.

На наступному етапі досліджень було встановлено вплив на параметри фігури випуску кількості випускних виробок, з яких здійснюється випуск рівними дозами одночасно з однаковою періодичністю, для різної висоти

ної доставки з приблизно однаковою періодичністю. Подано на рис. 5 чотири стадії моделювання.

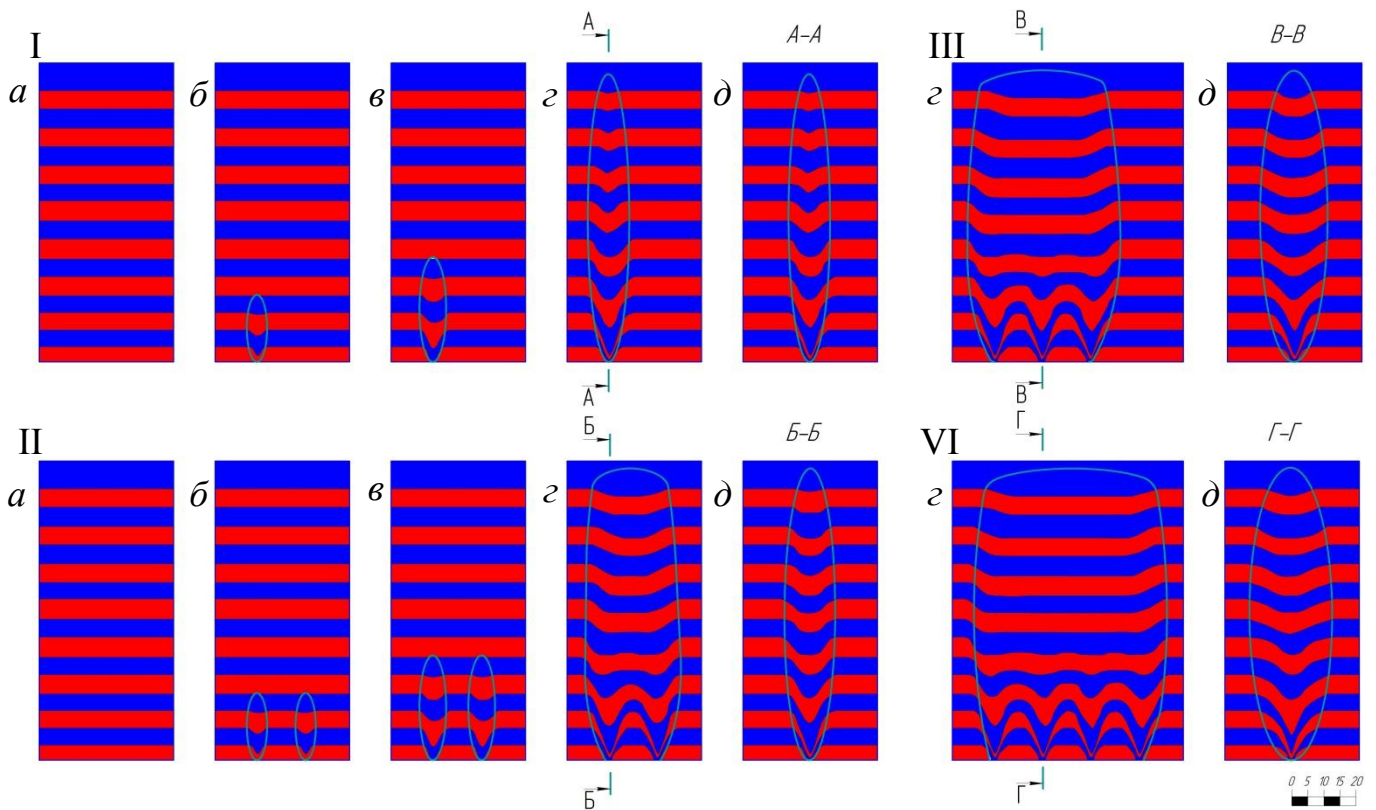


Рисунок 5 – Стадії моделювання випуску руди за допомогою програного комплексу «PFC3D» для різної кількості випускних виробок, з яких одночасно здійснюється випуск рівномірними дозами: I, II, III, IV – моделювання випуску руди рівномірними дозами одночасно з одного, двох, трьох і чотирьох випускних виробок відповідно; а – модель, що заповнена сипким матеріалом; б – модель після першої дози випуску; в – модель після другої дози випуску; г – модель після сьомої дози випуску

За результатами проведеного моделювання отримані графічні та емпіричні зв'язки між збільшенням величини об'єму фігури випуску та інтенсивності процесу випуску, кількості випускних виробок, з яких здійснювали випуск одночасно з однаковою періодичністю, межі міцності руди на одновісне стискання, яка визначається за встановленим виразом

$$\Delta_Q = 1,085^I \cdot 1,4^N \cdot 0,9884^{[\sigma]} \cdot 1,09^{h_{ш.р.}} \cdot 0,17 \text{ , \%}, \text{ при } R^2 = 0,92,$$

де  $I$  – інтенсивність протікання технологічного процесу випуску, т/м<sup>2</sup> за добу;  $N$  – кількість випускних виробок, з яких одночасно здійснюється випуск, од.;  $[\sigma]$  – межа міцності руди на одновісне стискання, МПа;  $h_{ш.р.}$  – висота шару обваленої руди над випускними виробками, м.

Виходячи з проведених досліджень, було отримано аналітичний вираз, за яким визначається об'єм фігури випуску, коли випуск здійснюється з двох, трьох та чотирьох випускних виробок рівномірними дозами одночасно з однаковою періодичністю

$$V = \left( \frac{h_{u.p.}}{\operatorname{tg}\beta} + d \right)^3 \cdot N \cdot k, \text{ м}^3,$$

де  $N$  – кількість випускних виробок, з яких одночасно здійснюється випуск рівномірними дозами, од.;  $k$  – коефіцієнт, що враховує інтенсивність протікання процесу випуску ( $I$ , т/м<sup>2</sup> за добу), кількість випускних виробок, з яких одночасно здійснюється випуск ( $N$ , од.), межу міцності рудного масиву на одновісне стискання ( $[\sigma]$ ) і висоту шару обваленої руди над випускними виробками ( $h_{u.p.}$ , м)

$$k = \frac{1,085^I \cdot 1,4^N \cdot 0,9884^{[\sigma]} \cdot 1,09^{h_{u.p.}} \cdot 0,17}{100} + 1, \text{ ч. од.}$$

За результатами досліджень побудовано графіки залежності обсягу вилучення чистої руди при застосуванні лінійно-почергового та рівномірно-послідовного режимів випуску від кута падіння рудного покладу (рис. 6 а). З яких встановлено, що обсяг вилучення чистої руди, при застосуванні лінійно-почергового режиму випуску, на 10,1% більше ніж при рівномірно-послідовному.

У ході фізичного моделювання досліджувався випуск з декількох (2-4) суміжних випускних виробок, які лежать на одній осі, одночасно рівномірними дозами з однаковою періодичністю (лінійно-почерговий режим випуску) при різній черговості відпрацювання випускних лінійних зон (від лежачого до висячого боку і навпаки) випуску руди через воронки різного діаметру та різними відстанями між ними, зі зміною кута нахилу бічної стінки моделі, що імітує лежачий бік рудного покладу. В результаті чого було встановлено, що: застосування лінійно-почергового режиму випуску руди дозволяє збільшити обсяг вилучення чистої руди на 9,8% у разі відпрацювання покладів з кутом падіння від 35 до 65°, у порівнянні з рівномірно-послідовним режимом випуску (рис. 6 б); пропорційне збільшення діаметру випускних виробок і відстані між ними за площею днища очисної панелі не забезпечує підвищення показників вилучення руди, так як їх різниця у цьому випадку коливається в межах 0,9-1,2%; черга лінійно-почергового режиму випуску руди зонами від лежачого до висячого боку і навпаки суттєво не впливає на обсяг вилучення чистої руди, так як їх різниця у цьому випадку коливається в межах 0,6-1,2%, але за умови нестійких порід висячого боку, які здатні обвалюватись услід за відбитою рудою, що випускається, доцільно здійснювати випуск від лежачого до висячого боку рудного покладу; об'єм «загальної фігури випуску» руди з декількох випускних виробок, при застосуванні лінійно-почергового режиму, є більшим ніж суми об'ємів фігур випуску (еліпсоїдів) з тих же випускних виробок при застосуванні рівномірно-послідовного режиму.

Проведені дослідження дозволили встановити той факт, що застосування лінійно-почергового режиму випуску руди дозволить в практичних умовах збільшити до 4,6% кількісні і до 5,2% якісні показники вилучення, а також покращити до 1,5% абсолютну якість видобутої рудної маси. Це вказує на доцільність впровадження розробленого режиму випуску в практичних умовах.

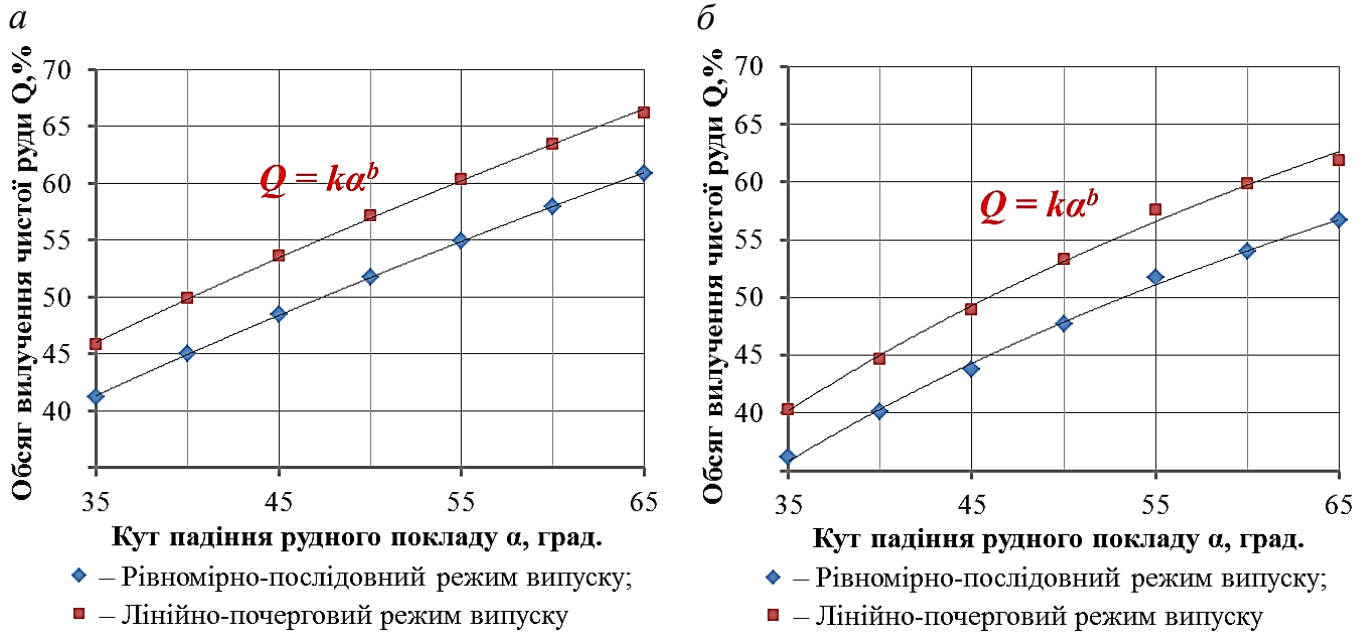


Рисунок 6 – Графіки залежності вилучення чистої руди від кута падіння рудного покладу: *а* – комп'ютерне моделювання; *б* – фізичне моделювання

**Розділ 4. Розробка раціональних технологічних схем очисної виїмки багатих залізних руд в умовах шахт Кривбасу,** присвячено проектуванню раціональних варіантів систем підповерхового обвалення, що забезпечать ефективну розробку покладів багатих залізних руд на значних глибинах, з відбиванням руди глибокими свердловинами на компенсаційний простір та комбінованою скреперно-самохідною доставкою рудної маси, що включають: надання стійких форм і розмірів компенсаційним просторам, шляхом урахування початкової геомеханічної обстановки в межах технологічних ділянок та зменшення часу їх існування, завдяки інтенсифікації технологічних процесів очисних робіт; підвищення ефективності буропідричних робіт, завдяки розташуванню свердловин в зоні розвантаження масиву очисними панелями і застосуванню сучасних типів бурового обладнання; покращення показників вилучення руди при площинному випуску обвалених запасів руди під вмисними породами, завдяки збільшенню частки вилучення чистої руди шляхом застосування лінійно-почергового режиму випуску руди в штреки випуску і скреперної доставки, з двостороннім скреперуванням; здійснення доставки руди в горизонтальній площині, завдяки застосуванню вантажно-доставних машин і капітальних рудоспусків та відмова від панельних вертикальних рудоспусків; встановлення оптимального співвідношення між геометричними розмірами очисних панелей, параметрами конструктивних елементів систем розробки і порядку ведення очисних робіт. У залежності від гірничо-геологічних умов розробки покладів багатих залізних руд на значних глибинах розроблено камерний варіант системи підповерхового обвалення (рис. 7) та варіант системи підповерхового обвалення з відбиванням руди на похилий компенсаційний простір (рис. 8).

Видобувні одиниці, в обох випадках, містять в собі очисну панель і буродоставний цілик. Очисні роботи в панелі полягають у формуванні компенсаційного простору, бурінні, заряджанні та висадженні свердловин в масиві панелі, скреперній двосторонній доставці рудної маси в вантажно-доставно-господарчі орти. В повний

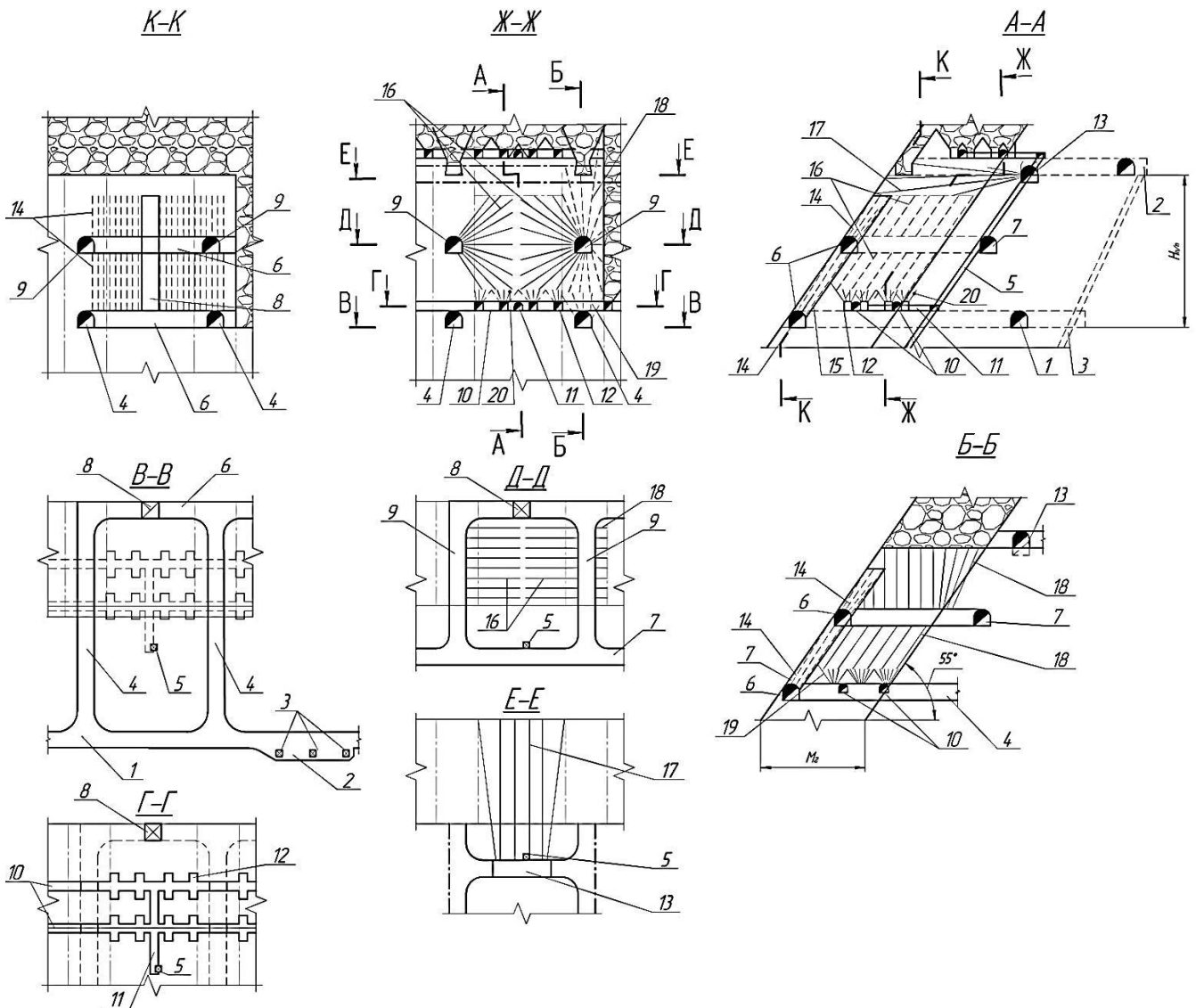


Рисунок 7 – Схема камерного варіанту системи підповерхового обвалення з використанням самохідної техніки при відпрацюванні покладів багатих залізних руд на глибоких горизонтах шахт Кривбасу: 1 – господарчо-транспортно-вентиляційний штрек; 2 – вузол розвантаження селективних потоків рудної маси; 3 – капітальні рудодпуски; 4 – вантажно-доставно-господарчі орти; 5 – збірний вентиляційний підняттявий; 6 – бурові штреки для утворення відрізної щілини; 7 – господарчо-транспортний штрек; 8 – відрізний підняттявий; 9 – бурові орти; 10 – штреки випуску і скреперної доставки; 11 – вентиляцій орт; 12 – випускні ніші; 13 – буровий штрек для обвалення запасів стелини; 14 – комплекти віял глибоких свердловин для утворення відрізної щілини; 15 – відрізна щілина; 16 – комплекти віял глибоких свердловин для обвалення запасів очисної камери; 17 – пучки глибоких свердловин для обвалення запасів стелини; 18 – комплекти віял глибоких свердловин для обвалення запасів цілика; 19 – пучки свердловин для розвороту воронки у межах цілика; 20 – штангові шури для формування випускних воронки



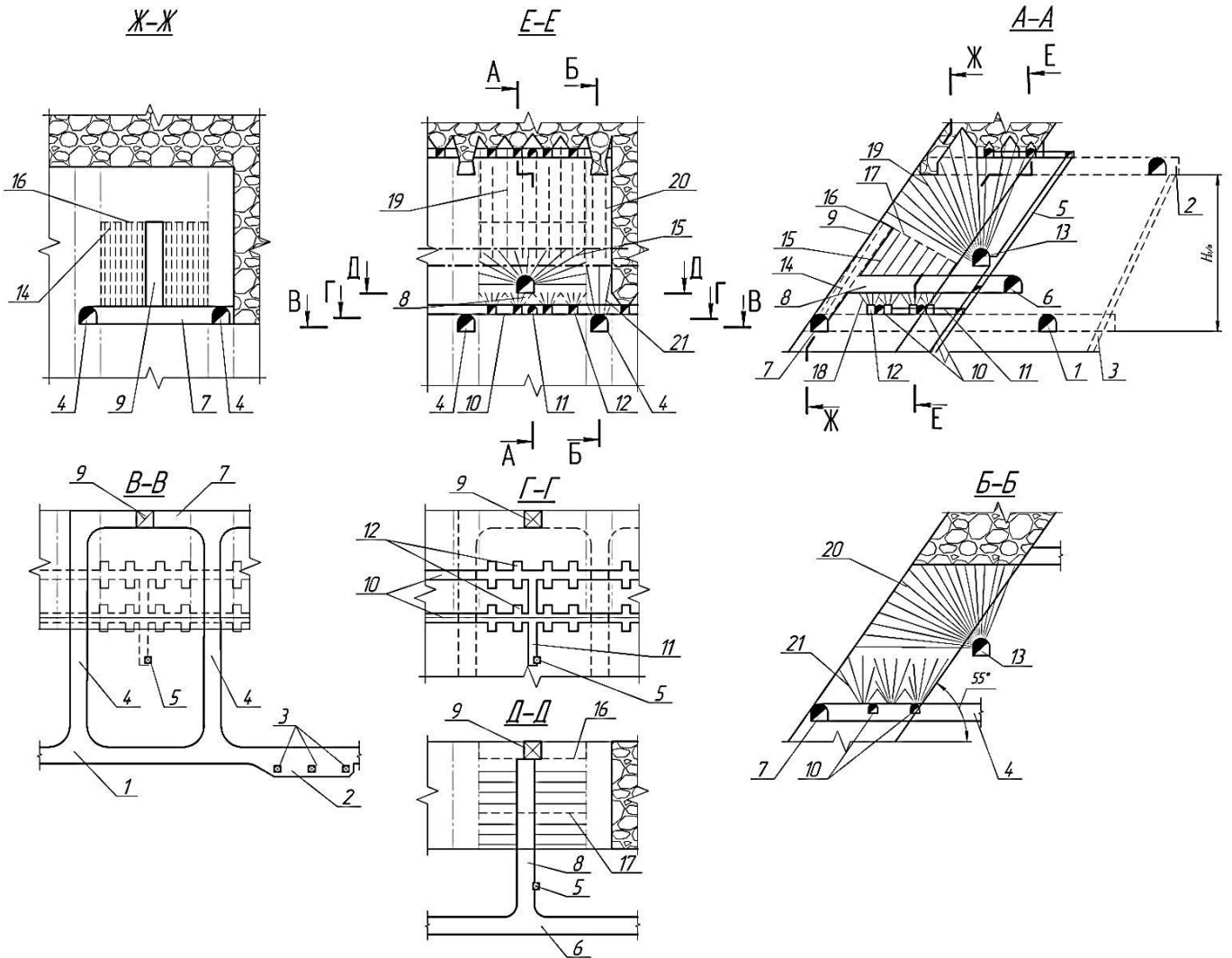


Рисунок 8 – Схема варіанту системи підповерхового обвалення з використанням самохідної техніки при відпрацюванні покладів багатих залізних руд на глибоких горизонтах шахт Кривбасу: 1 – господарчо-транспортно-вентиляційний штрек; 2 – вузол розвантаження селективних потоків рудної маси; 3 – капітальні рудоспуски; 4 – вантажно-доставно-господарчі орти; 5 – збірний вентиляційний підняттєвий; 6 – господарчо-транспортний штрек; 7 – підсічний штрек; 8 – підсічний орт; 9 – відрізний підняттєвий; 10 – штреки випуску і скреперної доставки; 11 – вентиляцій орт; 12 – випускні ніші; 13 – буровий штрек; 14 – комплекти віял глибоких свердловин для утворення відрізної щілини; 15 – похилі віяла глибоких свердловин для утворення похилої компенсаційної камери; 16 – відрізна щілина; 17 – похила компенсаційна камера; 18 – пучки штангових шпурів; 19 – вертикальні віяла глибоких свердловин для відбивання основного запасу панелі; 20 – віяла глибоких свердловин для відбивання запасів цілика; 21 – пучки свердловин для розвороту воронок у межах цілика

цикл технології очисних робіт в буро-доставному цілику входять: формування в покрівлі вантажно-доставно-господарчого орта великогабаритних випускних воронок; порційне відбивання запасу цілика, з почерговим випуском у вантажно-доставно-господарчі орти від висячого до лежачому боку. Окрім перерахованих технологічних процесів, в схему входить формування бурового горизонту і проведення вантажно-доставно-господарчих ортів через 35-40 м, з яких у межах цілика через 10-12 м проводять штреки випуску і скреперної доставки із суміщенням їх підшви з покрівлею вантажно-доставно-господарчих ортів, з них через 5-7 м – випускні ніші.

Конструкції варіантів систем підповерхового обвалення є гнучкими та дозволяють переходити на ділянках нестійких і маломіцних руд від схем камерних варіантів до варіантів з масовим обваленням, в залежності від розрахунку відслонень очисних або компенсаційних камер за умовами стійкості. Розроблені варіанти технології підповерхового обвалення дозволять: спростити конструкцію і знизити витрати підготовчо-нарізних виробок на  $2 \text{ м}^3/1000 \text{ т}$  запасу; підвищити продуктивність праці на 18-20 т/зміну; знизити втрати руди на 2,6-4,6%, збіднення – 2,8-5,2%; підвищити абсолютну якість рудної маси на 0,8-1,5%; знизити собівартість на 10,1-27,5%; забезпечити економічну ефективність в межах 14,5-39,4 грн на 1 т.

Розрахунковий річний економічний ефект від упровадження у виробництво технологічних рішень, які розроблені у дисертаційній роботі, в умовах шахти «Жовтнева» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» складе в середньому 40,42 млн грн.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішено актуальне наукове завдання, що полягає у встановленні закономірностей зміни показників вилучення руди від інтенсивності технологічного процесу випуску, межі міцності руди на одновісне стискання та кількості випускних виробок, з яких здійснюється випуск рівномірними дозами одночасно з однаковою періодичністю. Встановлені закономірності слугували основою для розроблення раціональних варіантів систем підповерхового обвалення у процесі розробки багатих залізних руд на глибинах понад 1400 м і отримати економічний ефект у розмірі 40,42 млн грн на рік.

Основні наукові результати і висновки, що отримані при виконанні роботи, полягають у наступному:

1. Досліджено випуск руди за допомогою комп'ютерного моделювання, на основі чого встановлено, що найкращі показники вилучення чистої руди у розмірі 46-66%, в залежності від кута падіння рудного покладу, який змінюється в межах від 35 до 65°, досягаються у результаті випуску руди рівномірними дозами одночасно з кожної випускної виробки по вісі виробки первинної доставки, з приблизно однаковою періодичністю, почергово або почергово-стадійно за площею днища очисної панелі, який був названий лінійно-почерговим режимом випуску.

2. Установлено, що зменшення межі міцності руди на одновісне стискання і збільшення інтенсивності випуску рудної маси з 1,5 до 10,5 т/м<sup>2</sup> за добу, у процесі розробки покладів на глибинах 1200-1400 м, дозволяє зменшити кут випуску руди від 84 до 76°, врахування якого дозволяє збільшити відстань між виробками випуску до 7,5 м і до 27% знизити витрати на їх проведення.

3. Результати фізичного моделювання процесу випуску руди на еквівалентних



матеріалах дозволили встановити, що обсяг вилучення чистої руди при застосуванні лінійно-почергового режиму збільшуються на 9,8% у порівнянні з рівномірно-послідовним режимом, а пропорційне збільшення діаметру випускних виробок і відстані між ними за площею днища очисної панелі та черга лінійно-почергового режиму випуску руди зонами від лежачого до висячого боку і навпаки не впливає на показники вилучення, так як їх різниця коливається в межах 0,6-1,2%.

4. Уперше розроблений комбінований скреперно-самохідний спосіб випуску і доставки руди (патенти України на корисну модель № 105304, № 105305), який дозволяє зменшити вплив людського фактору на дотримання планування випуску і здійснювати випуск рівномірними дозами одночасно з кожної випускної виробки по висі виробки первинної доставки, з приблизно однаковою періодичністю, почергово або почергово-стадійно за площею днища очисної панелі.

5. Розроблені раціональні варіанти систем підповерхового обвалення з відбиванням руди вертикальними віялами глибоких свердловин оптимальної довжини і орієнтації за умов різного об'єму компенсаційного простору, інтенсивним рівномірним лінійно-почерговим режимом випуску руди та високопродуктивною комбінованою скреперно-самохідною доставкою рудної маси

6. Установлено, що розроблені варіанти систем підповерхового обвалення з відпрацювання багатих залізородних покладів Кривбасу на глибинах 1200-1400 м дозволять: спростити конструкцію і знизити витрати підготовчо-нарізних виробок на 2 м<sup>3</sup>/1000 т запасу; підвищити продуктивність праці на 18-20 т/зміну; знизити втрати руди на 2,6-4,6%, збіднення – 2,8-5,2%; підвищити абсолютну якість рудної маси на 0,8-1,5%.

7. Установлено, що економічна ефективність від впровадження на практиці розроблених варіантів систем підповерхового обвалення залежить від гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов розробки покладів багатих залізних руд на глибинах 1200-1400 м та складе 14,5-39,4 грн/т, що у відсотковому відношенні становить 10,1-27,5%.

### **Основні положення і результати дисертації були опубліковані в наступних роботах:**

1. Калініченко В.О. Дослідження показників вилучення руди на основі фізичного моделювання її випуску для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу / Калініченко В.О., **Косенко А.В.**, Хівренко О.Я. // *Качество минерального сырья*. – 2017. – Т. 1 – С. 143-155.

2. Тарасютін В.М. Обґрунтування ресурсозберігаючих технологічних процесів при підземному видобутку різносортних залізних руд Кривбасу / Тарасютін В.М., **Косенко А.В.** // *Вісник КНУ*. – 2018. – Вип. 46. – С. 152-159. (*Index Copernicus, Research Bible*)

3. **Kosenko A.V.** Ways of increasing qualitative and quantitative recovery percentages of ore in conditions of deep horizons of the mines of Krivbass / **A.V. Kosenko** // *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського: Серія «Технічні науки»*. – 2018. – Том 29 (68). – № 2. – С. 245-250. (*Index Copernicus*)

4. **Kosenko A.V.** Increase of efficiency of technological process of ore drawing and delivery of ore mass at development of deposits of natural-rich iron ores on large depths / **A.V. Kosenko** // *Вчені записки Таврійського національного університету імені*

- В.І. Вернадського: Серія «Технічні науки». – 2018. – Том 29 (68). – № 3. – С. 101-105. (*Index Copernicus*)
5. **Косенко А.В.** Шляхи підвищення ефективності розробки покладів природно-багатих залізних руд в умовах великих глибин / **А.В. Косенко** // Гірничий Вісник. – 2018. – Вип. 103. – С. 70-75. (*Index Copernicus, Research Bible*)
6. **Косенко А.В.** Дослідження технологічного процесу випуску руди на основі фізичного моделювання / **А.В. Косенко**, В.М. Тарасютін // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського: Серія «Технічні науки». – 2018. – Том 29 (68). – № 4. – С. 73-79. (*Index Copernicus*)
7. **Косенко А.В.** Комп'ютерне моделювання інтенсифікації технологічного процесу випуску руди під обваленими пустими породами / **Косенко А.В.**, Тарасютін В.М., Шепель О.Л. // Гірничий Вісник. – 2018. – Вип. 104. – С. 92-96. (*Index Copernicus, Research Bible, Academic Keys*)
8. **Косенко А.В.** Обґрунтування ефективності комплексного застосування самохідної гірничої техніки у процесі відпрацювання запасів природно-багатих залізних руд на великих глибинах / **А.В. Косенко**, В.М. Тарасютін // Гірничий Вісник. – 2019. – Вип. 104. – С. 74-80. (*Index Copernicus, Research Bible*)
9. **Косенко А.В.** Перспективний напрямок подальшої розробки багатих залізних руд на великих глибинах. / **А.В. Косенко** // Физико-технические проблемы горного производства. – 2019. – Вип. 21. – С. 160-172.
10. **Kosenko A.V.** Improvement of sub-level caving mining methods during high-grade iron ore mining / **A.V. Kosenko** // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2021. – № 1. – Р. 19-25. (*Scopus*)
11. **Косенко А.В.** Розроблення та обґрунтування раціонального режиму випуску руди при застосуванні систем розробки підповерхового обвалення у складних геомеханічних умовах / **А.В. Косенко** // Znanstvena Misel. 2020. – № 48 (1). С. 29-34.
12. **Косенко А.В.** Удосконалення технології розробки покладів багатих залізних руд у складних геомеханічних умовах глибоких горизонтів шахт Кривбасу / **А.В. Косенко** // Polish journal of science. – 2020. – № 33 (1). – С. 45-51.
13. **Косенко А.В.** Комп'ютерне моделювання технологічного процесу випуску руди для умов розробки покладів природно-багатих залізних руд різної міцності / **А.В. Косенко** // Молодий вчений. – 2017. – № 10. – С. 59-64. (*CiteFactor, Research Bible, Index Copernicus*)
14. Пат. 105304 Україна, МПК E21C 41/00. Комбінований спосіб доставки рудної маси при підземній розробці крутоспадних потужних рудних покладів / Ступнік М.І., Калініченко В.О., Кривенко Ю.Ю., Калініченко О. В., **Косенко А.В.**, Ковбик К.М.; Заявник і власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – u2015 09471; заявл. 01.10.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5.
15. Пат. 105305 Україна, МПК E21C 41/00. Комбінований спосіб доставки рудної маси при підземній розробці крутоспадних потужних рудних покладів / Ступнік М.І., Калініченко В.О., Кривенко Ю.Ю., Калініченко О.В., **Косенко А.В.**, Грищенко М.А.; Заявник і власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – u2015 09472; заявл. 01.10.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5.
16. Тарасютін В.М. Разработка рациональных вариантов ресурсосберегающей технологии очистной выемки залежей богатых железных руд шахт с использованием самоходного горного оборудования / В.М. Тарасютин, **А.В. Косенко** // Modern

European science – 2015: materials of the XI international scientific and practical conference, (Sheffield, England, June 30-July 7 2015). – Sheffield: Science and education ltd, 2015. – Vol. 11. – С 69-74.

17. **Косенко А.В.** Дослідження показників вилучення руди на основі фізичного моделювання її випуску / **Косенко А.В.**, Хівренко О.Я. // Science without borders – 2016: materials of the XII international scientific and practical conference, (Sheffield, England, Mach 30 – April 7, 2016). – Sheffield: Science and education ltd, 2016. – Vol. 20 – С. 15-24.

18. **Kosenko A.V.** Improving the efficiency of production process and shipping ore on the basis of the use of self-propelled load-delivery machines technology / **A.V. Kosenko** // Science in 2018: proceedings of XIV International scientific conference, (Morrisville, USA, Jan 26 2018). – Morrisville: Lulu Press, 2018. – P. 6-9.

19. **Kosenko A.V.** Definition and justification of rational parameters of technological schemes of delivery ore mass in the process of development of natural-rich iron ore of Krivbass. / **A.V. Kosenko** // Scientific research in 2018: Proceedings of XV International scientific conference of students and young scientists, (Kramatorsk, Ukraine, Feb 9-th 2018). – Vinnytsya: TOV «Nilan-LTD», 2018. – Pp. 85-89.

20. Тарасютин В.М. Ресурсосберегающие технологии очистной выемки залежей богатых железных руд на шахтах Кривбасса. / В.М. Тарасютин, **А.В. Косенко** // Сучасні технології розробки рудних родовищ. Економічні наслідки діяльності підприємств ГМК: матеріали III міжнародної науково-технічної конференції, (Кривий Ріг, 19 червня 2015). – Кривий Ріг: НДГРІ, 2015. – С. 77-78.

21. **Kosenko A.** Research and development of resource process flow chart breaking of high grade iron ore excavation unit under deep horizons of mines / **A. Kosenko**, V.M. Tarasyutin, N.O. Holiver // Widening our horizons: the 11th international forum for students and young researchers, (Dnipropetrovsk, Ukraine, April 14-15, 2016). – Dnipropetrovsk: NMU, 2016. – Vol. 2 – Pp. 31.

22. Kalinichenko V.A. Prospects for the use of load-haul-dump in the process of ore drawing and delivery of ore in difficult geomechanical conditions of ore deposits / V.A. Kalinichenko, **A.V. Kosenko** // Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: матеріали міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції, (Кривий Ріг, Україна, 14 грудня 2016). – Кривий Ріг, 2016. – С. 108.

23. Тарасютин В.М. Фізичне моделювання технологічного процесу випуску руди для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу / В.М. Тарасютин, **А.В. Косенко** // Розвиток промисловості та суспільства: матеріали міжнародної науково-технічної конференції (Кривий Ріг, Україна, 24-26 травня 2017). – Кривий Ріг: КНУ, 2017. – С. 67.

24. Калініченко В.О. Дослідження показників вилучення руди на основі фізичного моделювання її випуску. / В.О. Калініченко, **А.В. Косенко** // Сучасні технології розробки рудних родовищ. Економічні наслідки діяльності підприємств ГМК: IV міжнародна науково-технічна конференція, (Кривий Ріг, Україна, 24-25 листопада 2017). – Кривий Ріг: НДГРІ, 2017. – С. 95-96.

25. **Косенко А.В.** Підвищення ефективності технологічного процесу випуску і доставки руди у процесі розробки покладів природно-багатих залізних руд на великих глибинах. / **А.В. Косенко**, В.М. Тарасютин // Розвиток промисловості та суспільства: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, (Кривий Ріг, Україна, 23-25 травня 2018 р.). Кривий Ріг: КНУ, 2018. – С. 55.

26. **Kosenko A.V.** Increase the recovery percentages of natural-rich iron ore at great depths / **A.V. Kosenko** // Universum view 2: proceedings of international scientific conference, (Sumy, Ukraine, Oct. 19-th, 2018). – Vinnytsya: TOV «Nilan-LTD», 2018. – Pp. 42-43.

27. **Косенко А.В.** Забезпечення ефективності розробки покладів природно-багатих залізних руд в умовах глибоких горизонтів шахт Кривбасу. / **А.В. Косенко** // Розвиток промисловості та суспільства: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, (Кривий Ріг, Україна, 23-25 травня 2019 р.). Кривий Ріг: КНУ, 2019. – С. 41.

**Особистий внесок автора в роботи, опубліковані в співавторстві:** [1, 6, 11, 17, 23, 24] – дослідження закономірностей випуску руди за допомогою фізичного моделювання; [2, 3, 21] – обґрунтування раціональних параметрів технологічних процесів очисної виїмки; [4, 12, 14, 15, 18, 19, 22, 25] – розроблення конструкції комбінованого скреперно-самохідного способу доставки руди та встановлення його раціональних параметрів; [5, 7, 10, 13] – дослідження закономірностей випуску руди за допомогою комп'ютерного моделювання; [8, 9, 16, 20, 26, 27] – розроблення конструкції варіантів систем підповерхового обвалення із зазначенням основних техніко-економічних показників.

## АНОТАЦІЯ

Косенко А.В. Удосконалення систем підповерхового обвалення при розробці багатих залізних руд. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин. – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України, Дніпро, 2021.

Дисертаційна робота присвячена актуальному науковому завданню, яке полягає у встановленні закономірностей зміни показників вилучення руди від інтенсивності випуску, межі міцності руди на одновісне стискання, висоти шару обваленої руди та кількості випускних виробок, їх діаметру і відстані між ними за допомогою чисельного та фізичного моделювання.

Встановлені закономірності дали змогу обґрунтувати раціональні параметри конструктивних елементів технологічної схеми випуску і доставки руди, на основі яких розроблено лінійно-почерговий режим випуску та комбінований скреперно-самохідний спосіб доставки.

Розроблені технологічні рішення лягли в основу конструювання варіантів систем розробки підповерхового обвалення, які забезпечать зниження рівня втрат і збіднення руди у процесі підземної розробки багатих залізних руд у складних геомеханічних умовах значних глибин.

**Ключові слова:** багаті залізні руди, підповерхове обвалення, показники вилучення, втрати руди, збіднення, випуск руди, самохідна техніка, фізичне моделювання, чисельне моделювання.

## АННОТАЦИЯ

Косенко А.В. Совершенствование систем поэтажного обрушения при разработке богатых железных руд. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.02 – подземная разработка месторождений полезных ископаемых. – Национальный технический университет «Днепровская политехника» МОН Украины, Днепр, 2021.

Представленная диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой проведено теоретическое обобщение и дано новое научное и практическое решение важной научной задачи, заключающейся в установлении закономерностей показателей извлечения руды и параметров фигур выпуска от интенсивности выпуска, предела прочности руды на одноосное сжатие, высоты слоя обрушенной руды и количества выпускных выработок, их диаметра и расстояния между ними с помощью численного и физического моделирования.

В процессе исследований было установлено, что при разработке железорудных месторождений подземным способом с помощью систем поэтажного обрушения, выпуск и доставка руды является основным процессом, формирующим показатели извлечения, которые зависят от принятого режима выпуска, параметров конструкций днищ очистных панелей и производительности средств доставки. На основании численного и лабораторного моделирования впервые были выявлены новые закономерности формирования параметров фигур выпуска и показателей извлечения от: интенсификации процесса выпуска; предела прочности руды на одноосное сжатие; количества выпускных выработок, лежащих на одной оси по линии выработки доставки, из которых одновременно, равномерными дозами с одинаковой периодичностью осуществляется выпуск, с учётом высоты слоя обрушенной руды; поочередности выпуска линиями по оси выработки доставки от лежащего к висячему боку и наоборот; пропорционального увеличения диаметра выпускных выработок и расстояния между ними по площади днища очистной панели.

Проведённые исследования дали возможность установить, что: увеличение интенсивности выпуска позволяет уменьшить угол выпуска руды; с увеличением предела прочности руды на одноосное сжатие происходит увеличение угла выпуска руды; объем фигуры выпуска, образующиеся при истечении руды с нескольких выпускных выработок, лежащих на одной оси по линии выработки доставки, из которых одновременно, равномерными дозами с одинаковой периодичностью осуществляется выпуск, в зависимости от высоты выпускаемого слоя, имеет больший объём чем сума объёмов фигур выпуска из тех же выработок при равномерно-последовательном выпуске и, как следствие, влияет на увеличение показателей извлечения; очередность выпуска руды линиями по оси выработки доставки от лежащего к висячему боку и наоборот существенным образом не влияет на показатели извлечения; пропорциональное увеличение диаметра выпускных выработок и расстояния между ними по площади днища приемного горизонта не обеспечивает повышение показателей извлечения руды.

На основании проведённых исследований получены аналитические выражения расчёта объёмов фигур выпуска и расстояния между выпускными выработками. А также предложен новый линейно-поочередный режимы выпуска обрушенной руды под налегающими вмещающими породами, который заключается в выпуске руды одновременно из четырёх выпускных выработок, лежащих на одной оси по линии выработки доставки, равномерными дозами с одинаковой периодичностью, поочередно линиями от лежащего к висячему боку рудной залежи.

Выявленные закономерности выпуска обрушенной руды и разработанные с их учетом режим выпуска и скреперно-самоходный способ доставки руды послужили основой для создания эффективных вариантов систем подэтажного обрушения: камерный вариант системы подэтажного обрушения с применением самоходной проходческой, буровой и доставочной горной техники; вариант системы подэтажного обрушения с применением самоходной проходческой, буровой и доставочной горной техники. Разработанные варианты дают возможность обеспечить: упрощение существующих конструкций технологий очистной выемки; снижение расхода подготовительно-нарезных работ; увеличение производительности труда, как на отдельных процессах очистной выемки, так и в общем по системе разработки; улучшение показателей извлечения руды; снижение себестоимости добытой рудной массы.

Расчетный годовой экономический эффект от внедрения в производство технологических решений, созданных с учетом выявленных закономерностей выпуска обрушенной руды, в условиях шахты «Октябрьская» ПАО «Криворожский железорудный комбинат» составит в среднем 40,42 млн грн.

**Ключевые слова:** богатые железные руды, подэтажное обрушение, показатели извлечения, потери руды, разубоживание, выпуск руды, самоходная техника, физическое моделирование, численное моделирование.

## ANNOTATION

Kosenko A. Improvement of sub-level caving mining methods during high-grade iron ore mining. – Qualifying scientific work on the right of the manuscript.

Thesis for Candidate of Science degree by specialty 05.15.02 – Underground mining of useful mineral deposits. – Dnipro University of Technology of the Ministry of education and science of Ukraine, Dnipro, 2021.

The thesis is devoted to an urgent scientific problem, which consists in establishing the regularities of changes in ore extraction indices from the release rate, the ultimate strength of the ore for uniaxial compression, the height of the collapsed ore layer and the number of exit workings, their diameter and distance between them using numerical and physical modeling.

Regularities have been established that made it possible to substantiate the rational parameters of structural elements of the technological scheme of ore production and delivery. On the basis of which a linear-alternating ore drawing and a combined scraper-self-propelled delivery method have been developed.

The developed technological solutions formed the basis for the design of variants of systems for the development of sub-level caving, which will ensure a decrease in the level of losses and dilution of ore in the process of underground mining of high-grade iron ores in complex geomechanical conditions of deep horizons.

**Keywords:** high-grade iron ores, sub-level caving, recovery percentages, ore losses, dilution, ore drawing, self-propelled machinery, physical modeling, numerical modeling.

**КОСЕНКО Андрій Володимирович**

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ПІДПОВЕРХОВОГО ОБВАЛЕННЯ  
ПРИ РОЗРОБЦІ БАГАТИХ ЗАЛІЗНИХ РУД**

**(Автореферат)**

Підписано до друку 15.03.2021 р. Формат 60×90/16

Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,7

Обл.-вид. арк. 0,7. Наклад 100 прим. Зам. № 70

Національний технічний університет

«Дніпровська політехніка»

49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19