

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

ПЕТЬОВАНІЙ МИХАЙЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 622.273.217.4

**ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТВЕРДЮЧОГО
ЗАКЛАДЕННЯ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ РУДНИХ ЗАПАСІВ
У СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ**

Спеціальність: 05.15.02 - Підземна розробка родовищ корисних копалини

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ)

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ)

**КУЗЬМЕНКО
Олександр
Михайлович**

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, завідувач кафедри розробки родовищ корисних копалин Державного вищого навчального закладу «Національний університет водного господарства та природокористування» Міністерства освіти і науки України (м. Рівне)

**МАЛАНЧУК
Зіновій
Романович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ корисних копалин на великих глибинах Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ)

**КУРНОСОВ
Сергій
Анатолійович**

Захист відбудеться «26» квітня 2013 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 із захисту дисертацій при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, т. 47-24-11).

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий «__» березня 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03
кандидат технічних наук, доцент

В.І. Тимощук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Камерні системи розробки з твердіючим закладенням ефективно застосовуються у складних гірничо-геологічних і гідрогеологічних умовах залягання крутопадаючих рудних покладів, знижують втрати та збіднення руди, підвищують безпеку ведення гірничих робіт. Зростаючий на глибоких горизонтах гірський тиск створює умови, за яких необхідно підвищувати міцність закладного масиву та його стійкість, знижуючи витрати на формування закладної суміші.

Міцність закладного масиву досягається за рахунок вдосконалення складу твердіючої суміші та збільшення в ній в'язучих речовин. Однак це не завжди забезпечує досягнення зазначеної мети. Значення дисперсності в'язучого матеріалу та її вплив на формування стійких структурних новоутворень у закладному масиві не знайшло належного пояснення в наукових роботах.

Таким чином, обґрунтування раціональних параметрів формування стійких структурних новоутворень у твердіючому закладенні під впливом дрібнодисперсних в'язучих речовин є важливою науковою задачею та актуальною для гірничорудної промисловості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота є складовою частиною науково-дослідних робіт Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» за темою ГП-410 «Геомеханічне обґрунтування підземної технології інтенсифікації видобутку вугілля з урахуванням особливостей геологічного середовища» (№ держреєстрації 0108U000541); тема ГП-440 «Фізико-технічні основи енергозберігаючої технології підземної розробки тонких і вельми тонких вугільних пластів» (№ держреєстрації 0108U000556), у яких автор брав участь у якості виконавця.

Мета роботи - обґрунтування раціональних параметрів твердіючого закладення при відпрацюванні рудних запасів у складних гірничо-геологічних умовах на основі встановлених залежностей формування структури та міцності закладного масиву для підвищення його стійкості.

У дисертаційній роботі поставлені наступні наукові завдання:

1. Виконати аналіз застосування складу закладних сумішей твердіючого закладення на підземних рудниках.

2. Дослідити вплив дисперсності в'язучого матеріалу на структурні та міцнісні характеристики закладного масиву.

3. Встановити вплив технології закладних робіт на монолітність формування штучного масиву.

4. Обґрунтувати параметри технології формування твердіючого закладення з дрібнодисперсних в'язучих частинок при видобутку руди у складних гірничо-геологічних умовах.

Об'єкт дослідження - технологічні процеси формування закладної суміші при камерних системах розробки рудних родовищ з твердіючим закладенням.

Предмет дослідження - закономірності впливу дисперсності в'язучого матеріалу закладної суміші на структуру та міцність закладного масиву.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети у роботі використано комплексний підхід, який складається з урахування теоретичних положень хімії в'язучих речовин, сучасних фізико-хімічних методів дослідження структури речовин, лабораторних вимірювань параметрів закладних сумішей, аналізу шахтних вимірів параметрів закладного комплексу.

Наукові положення, які захищаються в дисертації:

1. Збільшення питомої поверхні здрібненого шлаку та вапняку у твердіючому закладенні у діапазоні від 2000 до 6000 см²/г супроводжується зміною форми структурних новоутворень, перетворюючи високоосновні гидросілікати кальцію у низькоосновні за ступеневою залежністю $CaO/SiO_2=124 S_{\text{пит}}^{-0,52}$ (при $R^2=0,86$). Це дозволяє управляти цими параметрами твердіючого закладення, а використання вапняку дозволяє зменшити витрату доменного шлаку і підвищити міцність закладної суміші в 3,1-4,5 разу.

2. У системах розробки рудних покладів з твердіючим закладенням міцність штучного масиву в очисній камері змінюється за поліноміальною залежністю з концентрацією вивалювання на опуклостях кривої контуру камери. Це дозволяє знизити вивалоутворення закладного масиву, підвищити його стійкість до відслонення і зменшити засмічення руди, змінюючи технологічні параметри закладної суміші (міцність масиву підвищується у 1,8-2,5 рази при крупногочастій формі новоутворень, у 3,1 -3,5 рази при голчато-волокнуватій формі, та у 3,1-4,5 рази при шарувато-пластинчастій формі).

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- вперше встановлено, що міцність твердіючого закладення зростає за поліноміальною залежністю від питомої поверхні частинок шлаку та вапняку і за ступеневою залежністю від витрат цих в'язучих речовин у складі закладної суміші; це дозволяє визначати необхідну міцність штучного масиву, що створюється за значенням дисперсного складу доменного шлаку та вапняку в закладній суміші;

- вперше встановлено граничне значення питомої поверхні частинок доменного шлаку та вапняку $S_{\text{пит}}=5500$ см²/г у формуванні структури закладного масиву, вище якого його міцність не змінюється;

- встановлені нові форми структурних утворень у закладному масиві залежно від хімічного складу при різній питомій поверхні частинок шлаку та вапняку; це дозволяє кількісно визначати збільшення міцності твердіючого закладення при різних структурних формах: крупногочаста - 1,8-2,5 раз, голчато-волокнувата - 3,1-3,5 раз, шарувато-пластинчаста - 3,1-4,5 раз.

- вперше встановлена ступенева залежність зміни основності структурних новоутворень у закладному масиві від величини питомої поверхні частинок шлаку та вапняку в закладній суміші.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, виводів і рекомендацій підтверджується:

- збіжністю результатів рентгенофазового, термічного методів аналізу, інфрачервоної спектроскопії, растрової електронної мікроскопії;
- відповідністю структури лабораторного та шахтного зразка твердіючого закладення;
- збіжністю теоретичних і експериментальних досліджень, яка складає 90%;
- проведенням лабораторних досліджень параметрів та структури твердіючого закладення за стандартними методиками на сертифікованому устаткуванні.

Наукове значення роботи полягає в обґрунтуванні параметрів твердіючого закладення на основі залежностей взаємодії дрібнодисперсних компонентів закладної суміші, що покращує структурні новоутворення та характеристики міцності закладного масиву при камерних системах розробки руд у складних гірничо-геологічних умовах.

Практичне значення отриманих результатів:

- уточнені основні мінерали компонентів твердіючого закладення (меліліт, псевдоволластоніт, кальцит, доломіт, хлорит, гематит, мусковіт, біотит) і виявлені мінерали, що володіють активізацією в'язучих властивостей - меліліт, псевдоволластоніт і кальцит;
- розроблено узагальнений графік для вибору складу закладної суміші від необхідної міцності закладного масиву, завдяки якому можливо прогнозувати його структуру;
- розроблені рекомендації технологічних параметрів закладного масиву форми і структурних новоутворень у пропонованих зонах напружень на контурі камер для запобігання вивалювання і збіднення руди закладним матеріалом, що дозволяє понизити на 3,9% витрати компонентів закладення та подрібнення, збільшити міцність на 25%.

Реалізація висновків і рекомендацій роботи. Результати дослідження прийняті до розробки на ЗАТ «ЗЗРК» у вигляді рекомендацій з приготування та формування закладного масиву і будуть враховані при відпрацюванні запасів залізних руд у поверсі 840-940 м. Очікуваний економічний ефект від впровадження складає 3,45 грн. на 1 м³ твердіючої суміші.

Особистий внесок автора полягає у формулюванні ідеї, мети, завдань досліджень, наукових положень, виводів і рекомендацій, виконанні комплексу фізико-хімічних досліджень закладних сумішей, виконанні й узагальненні результатів, розробці практичних рекомендацій технологічних параметрів для шахт, що видобувають залізну руду камерними системами розробки із твердіючим закладенням.

Апробація роботи. Основні матеріали дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на Міжнародному форумі – конкурсі молодих вчених «Проблеми недропользования» (м. Санкт – Петербург, 2010), на ІХХ-ХХІ Міжнародній науковій школі ім. ак. С.А. Хрестіановіча «Деформація та

руйнування матеріалів з дефектами і динамічні явища в гірських породах і виробках» (м. Алушта, 2009-2011 р.), на IV Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми гірничої справи та екології гірничого виробництва» (Антрацит, 2009 р.), на III-V Міжнародній науково-практичній конференції «Школа підземної розробки» (Ялта, 2009-2012), на VII-IX конференції молодих учених ІГТМ ім. Н.С.Полякова «Геотехнічні проблеми розробки родовищ» (Дніпропетровськ, 2009-2012 р.), науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Наукова весна-2012».

Публікації. Основні наукові і практичні результати досліджень опубліковані у 15 наукових роботах, в їх числі 8 робіт опубліковано у спеціалізованих виданнях, 7 - у збірниках міжнародних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, містить 44 рисунки, 18 таблиць, список літератури з 109 найменувань і 2 додатки, викладена на 207 сторінках машинописного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, розглянуто зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету, ідею та завдання досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, викладено основні наукові положення, новизну та значення отриманих результатів, наведено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію результатів та структуру роботи.

Перший розділ дисертації присвячений розгляду питань застосування складу твердіючих сумішей при видобутку руд підземним способом та аналізу вивченості структурних особливостей у закладному масиві. На сьогодні значні обсяги закладних робіт застосовуються на Гайському, Яковлевському, Джекказганському, Норильському, Текелійському, Североуральському, Малеевському, Запорізькому рудниках, що дозволяє високоякісно та повноцінно розробляти рудні поклади.

Запорізький залізорудний комбінат (ЗЗРК) розробляє багаті залізні руди Південно-Білозірського родовища камерною системою розробки з твердіючим закладенням у складних гірничо-геологічних умовах. Вміст заліза у руді досягає 62%. Використовується закладна суміш з доменного шлаку, флюсового вапняку, пустих гірських порід та води. Міцність закладного масиву складає 6-7 МПа, а збіднення руди при її видобутку - 2-5%. Складні умови визначаються заляганням у покрівлі рудно-кристалічного масиву водоносних горизонтів, нестійкими породами всього боку з коефіцієнтом міцності за шкалою проф. М.М. Протод'яконова $f=4-8$, глибиною розробки (330-940 м), тріщинуватістю масиву. Ці фактори обумовлюють підвищені вимоги до міцності закладного масиву. Фактичні вивали закладного масиву спостерігались у його середині та у зонах сполучення боків камери з її покрівлею.

Дослідженню складу твердіючого закладення, технологій ведення

закладних робіт та підвищення стійкості штучного масиву присвятили свої праці видатні вчені М.Н. Цигалов, М.І. Агошков, О.А. Байконуров, В. І. Хомяков, Д.М. Бронніков, В.В. Куліков, К.В. М'ясников, Э.О. Штернбек, В.П. Кравченко, О.В. Колоколов, О.М. Кузьменко, З.Р. Маланчук, В.Г. Перепелиця, Курносів С.А., К.Ю. Репп, Н.Ф. Замесов, А.Л. Требуков, В.П. Волощенко, В.І. Ляшенко, Є.П. Чистяков, П.В. Швидько та ін. У своїх наукових працях вони досліджували співвідношення між компонентами закладної суміші, залучення місцевих матеріалів у закладні роботи для досягнення її здешевлення. В основному, це є металургійні шлаки, цемент, золи, різні види гірських порід, хвости збагачення, вапняки, піски та ін. Однак формування внутрішніх структурних новоутворень у закладному масиві від питомої поверхні в'язучих речовин, умов їх утворення та раціонального застосування у технології ведення гірничих робіт не досліджувалось і не враховувалось. Ці питання у джерелах інформації висвітлені недостатньо, що потребує їх наукового обґрунтування.

За результатами виконаного аналізу сформульовані мета роботи, задачі досліджень та обґрунтовані методи їх вирішення.

У **другому розділі** розглянуті теоретичні передумови отримання міцних новоутворень у закладному масиві і викладена методика лабораторних та фізико-хімічних досліджень параметрів та структури закладного масиву.

Поставлені завдання у роботі вирішувалися комплексно з використанням положень хімії в'язучих речовин, сучасних фізико-хімічних методів дослідження структури речовини, лабораторних виміри параметрів закладних сумішей, а також аналізу шахтних вимірів основних технологічних параметрів закладної суміші.

Встановлено, що за рахунок надтонкого подрібнення у мінералах в'язучих речовин здійснюється більше руйнування кремнекисневих зв'язків, які за своєю природою є одними з найміцніших. При подрібненні шлаку до 55-60% частинок крупністю -0,074 мм у технології приготування закладних сумішей розчин насичується іонами слабких зв'язків $Ca-O$, при цьому у структурі масиву у процесі гідратації формуються желеподібні гідросилікати кальцію високої основності $(1,5 - 2) CaO \cdot (Al_2O_3, MgO, FeO) \cdot SiO_2 \cdot (1-4)H_2O$, де вміст іонів кальцію перевищує вміст іонів кремнію $Ca^{2+} > Si^{4+}$. Це обумовлюється меншою у 1,7 раз енергією зв'язку $Ca-O$ ніж $Si-O$. Якщо вміст частинок крупністю -0,074 мм буде становити 100% та в закладну суміш додавати флюсовий вапняк у якості мікронаповнювача, то кількість іонів Si^{4+} підвищиться, частина іонів Ca^{2+} перейде на формування чотирьохкальцієвого монокарбонатного гідроалюмінату $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$. Це призводить до вирівнювання вмісту іонів $Ca^{2+} \approx Si^{4+}$ у закладній суміші та формування при твердінні гідросилікатів кальцію низької основності волокнистого та шаруватого типу $(0,8 - 1,5)CaO \cdot (Al_2O_3, MgO, FeO) \cdot SiO_2 \cdot (0,5 - 2,5)H_2O$.

Для вивчення впливу дрібнодисперсних частинок в'язучого матеріалу на твердіюче закладення при його структуроутворенні проведені дослідження хіміко-мінерального складу вихідних компонентів закладення та затверділого

штучного масиву.

Хімічні сполуки вихідних компонентів закладення та затверділого масиву досліджувались методами рентгенофазового, термічного аналізу, інфрачервоної спектроскопії і растрової електронної мікроскопії.

Вплив питомої поверхні в'язучого матеріалу на властивості закладних сумішей визначали шляхом подрібнення доменного шлаку і флюсового вапняку у лабораторній газоструминній установці надтонкого подрібнення. Визначення параметрів закладних сумішей на основі дрібнодисперсних частинок в'язучих речовин визначали за стандартною методикою Науково-дослідного гірничорудного інституту (м. Кривий Ріг). Оцінку дисперсності подрібненого шлаку та вапняку здійснювали на зерновому аналізаторі MULTISIZER-3 та приладі Товарова Т-3.

Лабораторні дослідження полягали у виготовленні закладних сумішей при витраті доменного шлаку 100, 200, 300 кг/м³ для встановлення можливості його зменшення в 1 м³. До доменного шлаку додавали 50% подрібненого флюсового вапняку, як мікронаповнювач закладної суміші.

При різних витратах шлаку покроково змінювали питому поверхню частинок шлаку та вапняку 2000, 2800, 4300, 6600 см²/г для визначення її впливу на міцність та структуру твердіючого закладення. У процесі досліджень приготовано 12 закладних сумішей, після твердіння отримано 48 зразків твердіючого закладення для випробування на міцність при терміні твердіння 30 днів і 48 зразків для терміну 90 днів. Після випробувань на міцність зруйновані зразки твердіючого закладення були досліджені на електронному мікроскопі-мікроаналізаторі РЕММА-102-02 для визначення структурно-хімічних змін у штучному масиві, морфологічних форм новоутворень.

Монолітність закладного масиву оцінювалась об'ємом вивалювань по висоті очисної камери у виробленому просторі у поверхах 480-580 та 548-640 м. Вивчалися продуктивність закладного комплексу, його час роботи, кількість зупинок кульового млина, склад закладної суміші, рухливість, тонкість помелу, міцність твердіючого закладення при терміні твердіння 90 днів, об'єм камер під закладення.

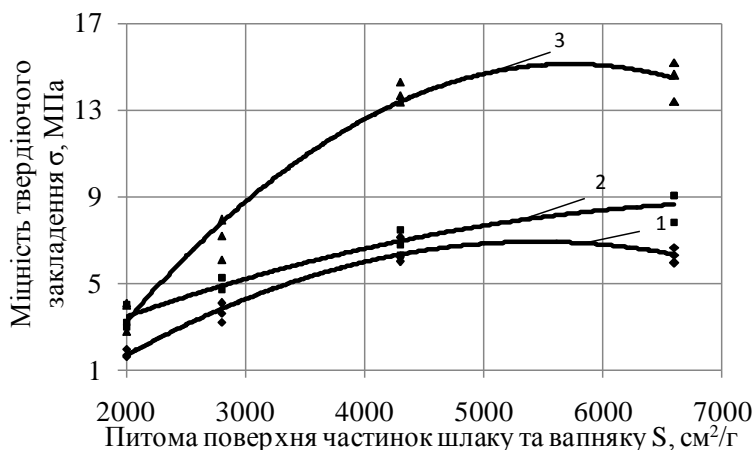
Розподіл міцності закладного масиву здійснювався за шарами міцності, що утворилися по виробленому простору. Ці шари відрізняються складом закладної суміші. Кількість шарів у закладному масиві розраховували за даними переривання подачі закладної суміші за умови, що між ними пройшло не менш 20 годин. Міцність в шарах закладного масиву визначалася на підставі результатів випробувань зразків закладення, відібраних з бункера-змішувача перед транспортуванням у вироблений простір. Припускаємо, що міцність зразків відповідає міцності шару твердіючого закладення в камері.

У третьому розділі наведено результати лабораторних, фізико-хімічних досліджень формування структури та міцності твердіючого закладення на основі дрібнодисперсних частинок доменного шлаку та вапняку.

В результаті проведення лабораторних досліджень встановлено, що міцність закладення залежить від кількості меленого вапняку в складі закладної

суміші та описується поліноміальною залежністю. Рациональною часткою меленого вапняку в суміші слід вважати 50% від частки доменного шлаку. Аналогічну залежність має міцність закладення від збільшення питомої поверхні частинок в'язучих речовин і за ступеневою залежністю від витрати цих в'язучих речовин у складі закладної суміші (Рис. 1). Це дозволяє визначити необхідну міцність масиву, виходячи з дисперсного складу доменного шлаку та вапняку у закладній суміші.

а



б

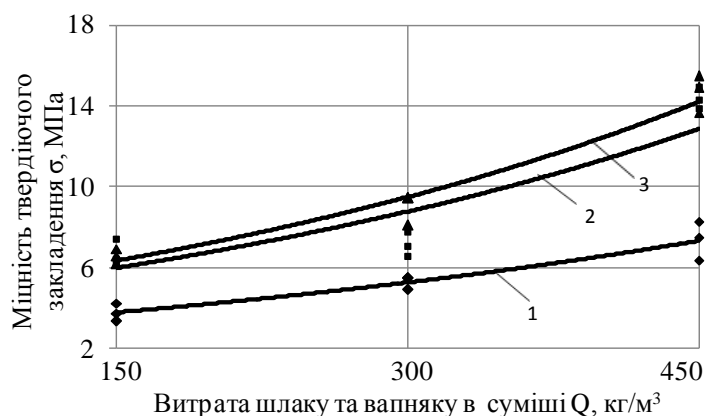


Рисунок 1 - Залежності міцності твердіючого закладення від питомої поверхні шлаку та вапняку (а), їх витрат (б) при терміні твердіння 30 днів: а: 1 - при витраті шлаку 100 кг/м³ та вапняку 50 кг/м³; 2 - при витраті шлаку 200 кг/м³ та вапняку 100 кг/м³; 3 - при витраті шлаку 300 кг/м³ та вапняку 150 кг/м³; б: 1 - при $S_{\text{пит}}=2800$ см²/г шлаку та вапняку; 2 - при $S_{\text{пит}}=4300$ см²/г шлаку та вапняку; 3 - при $S_{\text{пит}}=6600$ см²/г шлаку та вапняку.

За характером отриманих автором залежностей визначено, що граничним значенням питомої поверхні частинок доменного шлаку та вапняку є $S_{\text{пит}}=5500$ см²/г, вище за яке зростання міцності закладного масиву припиняється. Витрата в'язучого матеріалу не суттєво впливає на міцність порівняно з величиною питомою поверхні частинок, значення якої у формуванні структури та міцності закладного масиву незрівнянно більше.

Досліджені основні технологічні параметри сумішей: напруження зрушення рідинної фази, її об'ємна вага та твердіння в часі. Отримані результати показали, що всі параметри задовольняють встановленим вимогам транспортування сумішей у вироблений простір.

В результаті дослідження зразків закладного масиву методом інфрачервоної спектроскопії встановлено, що при тонкості подрібнення 55% частинок крупністю $-0,074$ мм ($S_{\text{пит}}=2000$ см²/г) у структурі закладення формується гель. З підвищенням дисперсності зростає доля ковалентного зв'язку *Si-O* і збільшується вміст новоутворених структур. Результати отриманих спектрограм наведені на рис. 2.

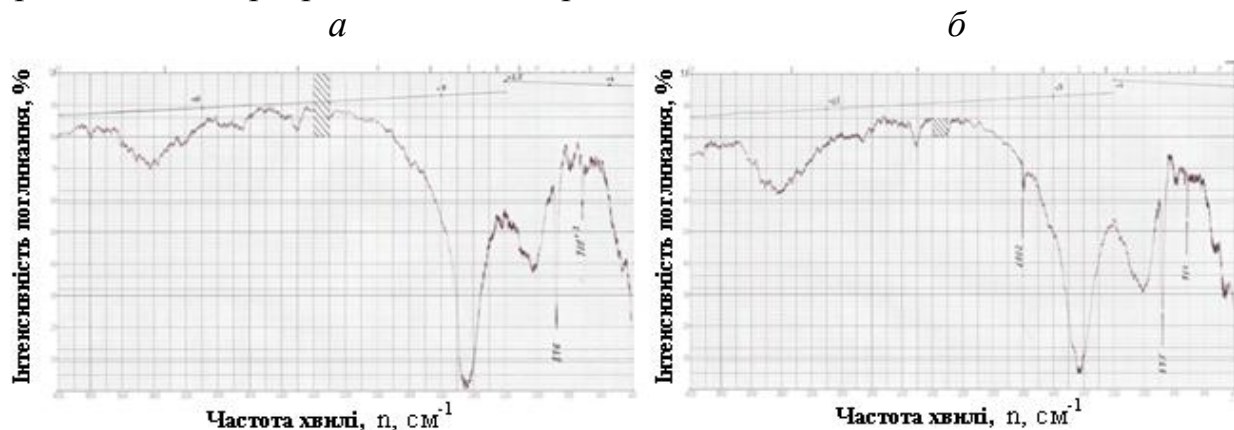


Рисунок 2 - Інфрачервоні спектрограми структури закладного масиву: а - при $S_{\text{пит}}=2000$ см²/г, $\sigma_{\text{ст}}=5,5$ МПа; б – при $S_{\text{пит}}=4300$ см²/г, $\sigma_{\text{ст}}=8,0$ МПа

При порівнянні спектрограми зразків твердіючого закладення різної питомої поверхні частинок спостерігається посилення інтенсивності смуги поглинання в області $900-1000$ см⁻¹, що свідчить про зростання сильного ковалентного зв'язку *Si-O* та зниження вмісту слабого іонного зв'язку *Ca-O*. Це свідчить про зміцнення твердіючої системи і збільшення ступеня кристалізації новоутворень гідросилікатів кальцію. Посилення смуги в області $3400-3600$ см⁻¹ сигналізує про збільшення кількості новоутворених гідросилікатів кальцію в структурі закладення.

Встановлено, що нові структурні утворення в закладному масиві залежать від величини питомої поверхні частинок доменного шлаку та вапняку (Рис. 3). Вони відрізняються формою, хімічним складом і впливом на міцність твердіючого закладення. Основною причиною невисокої його міцності є відсутність стійких кристалічних зв'язків у 3-х місячному терміні твердіння. Голчаста форма новоутворень у закладенні працює на розтягування, шарувато-пластинчаста - на стискання. Це пояснюється тим, що голчасті новоутворення розподіляються у штучному камені хаотично. Голки і волокна взаємно перетинаються, що приводить до армування твердіючої системи та підвищення сили зчеплення між кристалами. При шарувато-пластинчастій формі новоутворення працюють на стискання, що визначається їх щільним і горизонтальним формуванням при твердінні. Встановлена кількісна оцінка зростання міцності твердіючого закладення при різній його структурі:

крупногочаста в 1,8-2,5 разів, голчасто-волокниста - 3,1-3,5 разів, шарувато-пластинчаста - 3,1-4,5 разів.

Отримані дані щодо хімічного складу CaO/SiO_2 структурних утворень і виведені їх хімічні формули залежно від величини питомої поверхні шлаку та вапняку. Використавши положення з виводу справжніх формул новоутворені гідросилікати кальцію мають наступні хімічні формули:

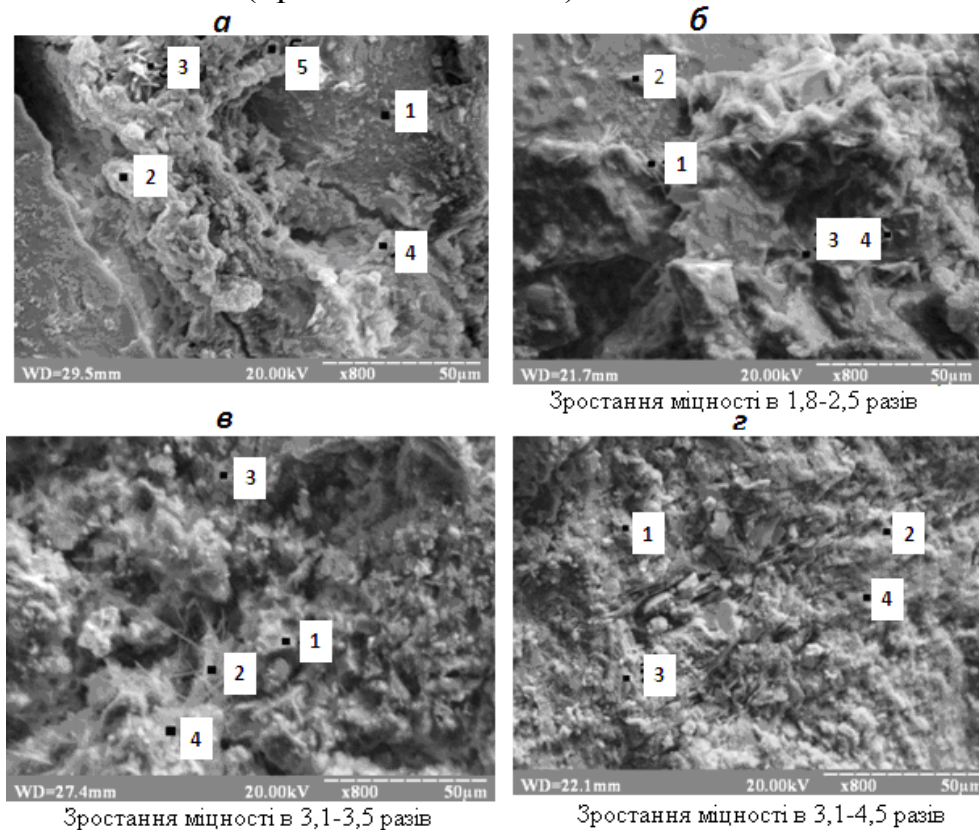
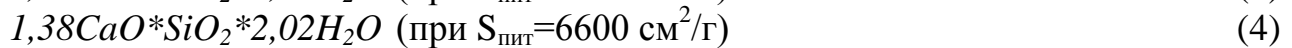
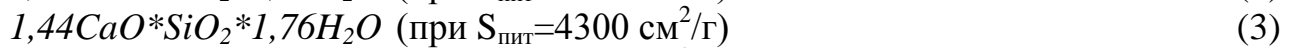
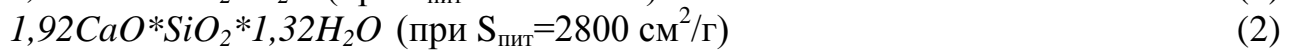
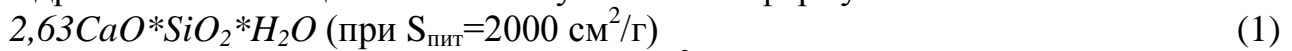


Рисунок 3 - Структурні новоутворення в твердіючому закладенні в залежності від питомої поверхні частинок шлаку та вапняку: а – желеподібна структура (при $S_{\text{пит}}=2000 \text{ см}^2/\text{Г}$); б – крупногочаста структура ($S_{\text{пит}}=2800 \text{ см}^2/\text{Г}$); в – голчасто-волокниста структура (при $S_{\text{пит}}=4300 \text{ см}^2/\text{Г}$); г – шарувато-пластинчаста ($S_{\text{пит}}=6600 \text{ см}^2/\text{Г}$).

Розбіг з теоретичними передумовами формування структури не перевищує 10%. Встановлена ступенева залежність $CaO/SiO_2=124 S_{\text{пит}}^{-0,52}$ зміни основності новоутворень гідросилікатів кальцію у структурі закладення від питомої поверхні частинок шлаку та вапняку (Рис. 4). Низькоосновні гідросилікати кальцію мають у 2 рази більшу міцність на розтягання ніж у високоосновних. Отже зростає стійкість закладного масиву очисних камер першої черги до дії розтягуючих напружень при вийманні запасів руди в камерах другої черги.

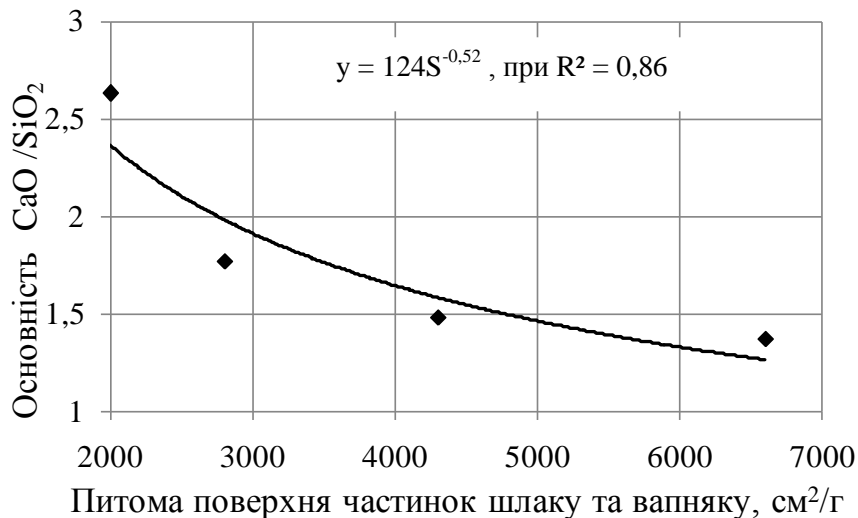


Рисунок 4 - Залежність основності CaO/SiO_2 гідросилікатів кальцію від питомої поверхні частинок шлаку та вапняку

У результаті виконаних досліджень отримана залежність зміни міцності закладного масиву від складу суміші. При зміні співвідношення в'язучого та інертного матеріалу з 1:7,5 до 1:3,8 міцність закладки зростає на 25%. Отримані залежності міцності закладки від співвідношення в'язучий матеріал-інертний заповнювач та вмісту частинок -0,074 мм у пульпі. При максимальному вмісті частинок 55% класу -0,074 мм у пульпі й витраті шлаку 550 кг/м^3 міцність закладного масиву понад 8 МПа не досягається.

Визначено області зміцнення закладного масиву по висоті камери на основі шахтних даних. Розрахунок об'єму відпрацьованих камер поверху 640-740 м дозволив встановити розподіл міцності шарів закладення по висоті камери. В областях зниження міцності масив втрачає стійкість до відслонення при виконанні гірничих робіт. Встановлено, що міцність по висоті камери змінюється за поліноміальною залежністю. Характер її залежить від технології та фізико-хімічних властивостей закладної суміші (Рис. 5). Технологічно шари закладної суміші утворюють області зниженої міцності, де відбуваються фактичні вивали на контурі штучного масиву.

Для кожної очисної камери другої черги відпрацювання необхідно будувати графіки зміни міцності закладного масиву за висотою для виявлення зон зниженої міцності, щоб при бурінні технологічних свердловин запобігти їх перебуру.

Результатом виконаних розрахунків є встановлення коефіцієнта зміни міцності з висотою камери. Це дозволило прогнозувати стійкість закладного масиву камер першої черги при розрахунку параметрів камер другої черги. Міцність закладення за висотою може відхилитись до 15%.

$$k = \frac{\sigma}{\sigma_h}; \quad \sigma = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma}{n}, \text{ МПа}; \quad \sigma_h = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma * h}{H_k}, \text{ МПа} \quad (5)$$

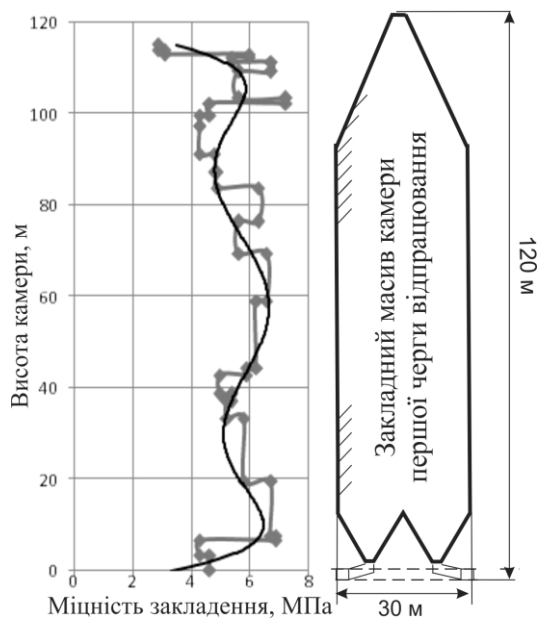


Рисунок 5 - Зміна міцності твердіючого закладення за висотою камери першої черги

де k – коефіцієнт зміни міцності масиву з висотою камери; σ - середньоарифметична міцність закладення у камері, МПа; σ_h - міцність закладення з урахуванням висоти його заповнення, МПа; σ_i - міцність шару закладення в камері, МПа; n - кількість показників міцності у камері; h – висота шару закладення, м; H_k - висота камери, м.

У четвертому розділі роботи обґрунтовані технологічні параметри формування закладного масиву на основі встановлених залежностей зміни міцності закладення від дрібнодисперсних частинок доменного шлаку та вапняку, а також від їх співвідношення в закладній суміші. Розроблено графік визначення складу й структури твердіючого закладення (Рис. 6).

На рис. 6 стрілками позначено послідовність вибору складу закладної суміші, що дозволяє отримати необхідні структурні новоутворення. По величині питомої поверхні частинок шлаку та вапняку здобуваються необхідні структурні утворення в закладному масиві.

У дисертаційній роботі пропонується змінювати форми структурних новоутворень закладення в камері. Це дозволить підвищити його стійкість до відслонення та сейсмічних навантажень під час масового підриву руди. Запропоновані технологічні параметри формування закладного масиву можуть застосовуватись і в інших гірничо-геологічних умовах.

Технологічними параметрами формування закладного масиву на основі дрібнодисперсних частинок шлаку та вапняку в поверсі 840-940 м є: величина дисперсності в'язучого матеріалу, склад і міцність твердіючого закладення, висота заповнення шару закладної суміші та порядок їх утворення, які наведені в таблиці. Це дозволяє підвищити стійкість вертикальних відслонень масиву і понизити збіднення руди закладенням.

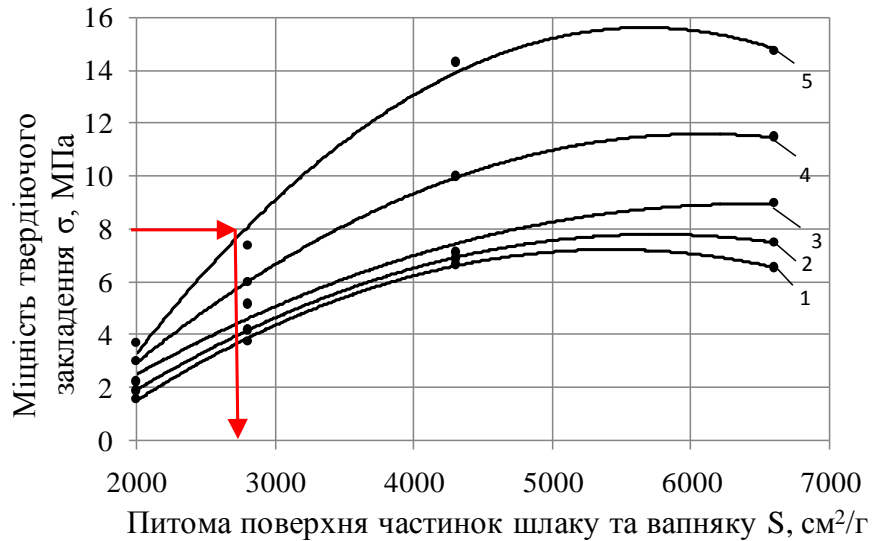


Рисунок 6 - Узагальнений графік для визначення складу й структури твердіючого закладення при співвідношенні в'язучий матеріал – інертний наповнювач: 1 – 1:12,6; 2 - 1:8,4; 3 - 1:6,3; 4 - 1:5,1; 5 - 1:4,2

Таблиця - Рекомендовані параметри формування закладного масиву

Поверх	Область	Коефіцієнт відношення між висотами шарів закладення	$S_{\text{пит}}, \text{см}^2/\text{г}$	Склад закладної суміші на 1 м^3 , кг	Міцність закладення 30 (90) днів, МПа
840-940	I	$\frac{h_d}{H_k}$	5500	Ш-220, МВ - 110, В-940, П-542	10,4 (11,5)
	II	$\frac{h_m - h_b - h_d}{H_k}$	4300	Ш-220, МВ - 110, В-940, П-542	7 (9,2)
	III, V, VII,	$\frac{h_b}{H_k}$	4300	Ш-220, МВ - 110, В-940, П-542	7 (9,2)
	IV, VI, IX	$\frac{h_m}{H_k}$	2800	Ш-220, МВ - 110, В-940, П-542	5,3 (7)
	VIII	$\frac{h_b}{H_k}$	4300	Ш-220, МВ - 110, -940, П-542	7 (9,2)

Примітка: Ш - шлак; МВ - мелений вапняк; В - вапняк, П – порода; h_d - висота днища камери, м; H_k - висота камери, м; h_b - висота підповерхової виробки, м; h_m - висота підповерху, м.

Запропонована двохстадійна схема отримання дрібнодисперсних частинок шлаку та вапняку. На першій стадії треба використовувати кульові млини, у другій – млини надтонкого подрібнення серії Isamill фірми Xstrata (Швейцарія).

Це обладнання ефективно зарекомендувало себе в області надтонкого подрібнення в гірничодобувній промисловості. Воно дозволяє регулювати дисперсність доменного шлаку та вапняку, що забезпечить на виході необхідну їх питому поверхню частинок у діапазоні 2800–5500 см²/г.

Розроблені рекомендації параметрів технології формування твердіючого закладення з дрібнодисперсних в'язучих частинок шлаку та вапняку при відпрацюванні запасів залізної руди в поверсі 840-940 м ЗАТ «ЗЗРК», що дозволить скоротити витрати доменного шлаку в 1,7-2,0 рази, підвищити міцність закладки на 25%. Очікуваний економічний ефект від впровадження складає 3,45 грн. на 1 м³ твердіючої суміші.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є закінченим науковим дослідженням, в якому на основі нових встановлених залежностей зміни міцності, форми та хімічного складу структурних новоутворень масиву від питомої поверхні частинок шлаку та вапняку вирішена актуальна задача з визначення технологічних параметрів формування твердіючого закладення. Це дозволить підвищити його стійкість на контурі камери, запобігти вивалюванням закладки, звести до мінімуму показники збіднення рудної маси.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Виконано аналіз застосування складу твердіючого закладення в складних гірничо-геологічних умовах розробки рудних покладів. Встановлено, що ступінь подрібнення в'язучих матеріалів, що застосовується при розробці руди не забезпечує необхідної міцності закладки, що потребує проведення досліджень її на мікрорівні та формування структурних новоутворень.

2. Запропоновано комплексну методику дослідження дисперсності, мінерального складу закладного матеріалу та новоутворень на основі рентгенофазового й термічного аналізу, інфрачервоної спектроскопії, растрової електронної мікроскопії. Встановлено основні фактори, що впливають на міцність твердіючого закладення - середній діаметр частинок доменного шлаку та вапняку, їх витрати, форма та хімічний склад новоутворень.

3. Встановлено, що міцність закладення з дрібнодисперсних частинок доменного шлаку та вапняку змінюється за поліноміальною залежністю від їх питомої поверхні і виражається емпіричними рівняннями $\sigma = -4E-07S^2 + 0,0048S - 6,16$, ($R^2=0,96$) - для складу при витраті шлаку 100 кг/м³ і вапняку 50 кг/м³; $\sigma = -2E-07S^2 + 0,0026S - 0,95$, ($R^2=0,94$) - для складів при витраті шлаку 200 кг/м³ і вапняку 100 кг/м³; $\sigma = -9E-07S^2 + 0,0098S - 12,91$, ($R^2=0,97$) - для складу при витраті шлаку 300 кг/м³ і вапняку 150 кг/м³. Це дозволяє встановити граничну величину питомої поверхні $S_{\text{пит}} = 5500$ см²/г у формуванні структури закладної суміші, вище якого міцність закладки не змінюється.

4. Вплив питомої поверхні доменного шлаку та вапняку на твердіюче закладення супроводжується зміною форми структури: при 2000 см²/г

формується желеподібна, округла структура новоутворень, при 2800 см²/г гострокутна, крупноголчаста, при 4300 см²/г - голчасто-волокниста, при 6600 см²/г – шарувато-пластинчаста. Дана кількісна оцінка зростанню міцності твердіючого закладення при різній формі структури: крупноголчаста 1,8-2,5 разів, голчасто-волокниста 3,1-3,5 разів, шарувато-пластинчаста - 3,1-4,5 разів.

5. Встановлено ступеневу залежність зміни основності новоутворень гідросилікатів кальцію в структурі закладення від питомої поверхні частинок шлаку та вапняку ($\text{CaO/SiO}_2 = 124S_{\text{пит}}^{-0,52}$). Це дозволяє змінювати форми структури закладення та підвищити його міцність на основі отриманих хімічних формул новоутворення закладного масиву.

6. Встановлено залежності міцності закладки від складу закладної суміші та вмісту частинок -0,074 мм. При вмісті цих частинок до 55% у закладній пульпі та витраті шлаку 550 кг/м³ міцність масиву понад 8 МПа не досягається.

7. Встановлено, що міцність закладки з висотою камери змінюється за поліноміальною залежністю при концентрації вивалювань на опуклостях кривої контуру камери. Нестійкі області масиву збігаються з фактичними даними вивалювань закладення. Стійкість закладного масиву визначається коефіцієнтом зміни його міцності з висотою поверху.

8. Встановлено, що в областях розтягуючих нормальних напружень закладного масиву необхідно формувати закладення голчасто-волокнистої структури, а при стискаючих напруженнях - шарувато-пластинчастої структури.

9. Розроблено рекомендації параметрів технології формування твердіючого закладення з дрібнодисперсних в'язучих частинок шлаку та вапняку при відпрацюванні запасів залізної руди в поверсі 840-940 м ЗАТ «ЗЗРК», що дозволяє скоротити витрати доменного шлаку в 1,7-2,0 рази, підвищити міцність закладки на 25%. Очікуваний економічний ефект від впровадження складає 3,45 грн. на 1 м³ твердіючої суміші.

Основні положення і результати дисертації викладені у наступних роботах:

1. Петлёванный М.В. К вопросу подбора состава твердеющей закладки повышенной прочности / Кузьменко А.М., Петлеванный М.В., Чистяков Е.П., Кулиш С.А. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов. - Днепропетровск. - 2009. – Вып. 82. – Том. 1. – С. 50-57.

2. Петлёванный М.В. Рациональное использование материалов при производстве закладочных работ на рудниках / Петлеванный М.В. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов. - Днепропетровск. - 2010. - Вып. 89. - С. 134-139.

3. Петлёванный М.В. Влияние дисперсности закладочных материалов на структурные особенности закладочного массива при подземной добыче руд / Петлёванный М.В. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов.– Днепропетровск. - 2011. - Вып. 94. - С. 168-173.

4. Петлёваный М.В. О механической активации компонентов твердеющей закладки для заполнения выработанного пространства рудников / Петлёваный М.В. Кузьменко А.М., Горобец Л.Ж., Прядко Н.С., Усатый В.Ю. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - №3. - 2011. - С. 75-78.

5. Петлёваный М.В. Повышение устойчивости закладочного массива из твердеющей закладки при добыче руды на глубоких горизонтах / Петлёваный М.В. // *Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов*. - Днепропетровск. - 2012. - Вып. 98. - С. 287-296.

6. Петлёваный М.В. Закономерности формирования структуры и прочности твердеющей закладки при разной дисперсности вяжущего материала / Светкина С.Е., Петлёваный М.В. // *Збірник наукових праць НГУ*. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». – 2012. - №37. - С. 80-86.

7. Петлёваный М.В. Управление структурой твердеющей закладки при подземной добыче железных руд / Петлёваный М.В. // *Разработка рудных месторождений: науч.-техн. сборник, Криворож. нац. унив.-т.* - 2012. - Вып. 95 (1). - С. 198-202.

8. Петлёваный М.В. Рекомендации параметров технологии заполнения очистных камер твердеющей закладкой / Петлёваный М.В. // *Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов*. - Днепропетровск. - 2012. - С. 160-165.

9. Петлёваный М.В. Влияние структуры закладочного массива на его прочность / Петлёваный М.В. // *Школа подземной разработки: сб. науч. трудов VI Межд. науч.-практич. конференции, 24-28 сентября*. - Днепропетровск: Национальный горный университет, 2012. - С. 253-258.

10. Петлёваный М.В. Причины разрушения закладочного массива при подземной добыче руд / Петлёваный М.В. // *Наукова весна – 2012: Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених (Дніпропетровськ, 29 березня 2012 р.)*. – Д.: Державний ВНЗ НГУ. - 2012. - С. 43-46.

11. Петлёваный М.В. К вопросу подбора состава твердеющей закладки при разработке рудных залежей на больших глубинах / Кузьменко А.М., Петлёваный М.В. // *Школа подземной разработки: Сб. науч. трудов III Межд. науч.-практ. конференции 13-19 октября*. – Днепропетровск: Национальный горный университет. - 2009. - С. 375-381.

12. Петлёваный М.В. Повышение эффективности использования породы в закладочных смесях / Бескровный В.И., Петлёваный М.В. // *Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных выработках: Материалы Юбилейной XX Международ. науч. школы*. - Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2010. - С. 273-277.

13. Петлёваный М.В. Влияние тонкоизмельченных фракций шлака на прочностные свойства твердеющей закладки / Кузьменко А.М., Петлёваный М.В., Усатый В.Ю. // *Школа подземной разработки: сб. науч. трудов IV Международ. науч.-практ. конференции 12-18 сентября*. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2010. – С. 278-283.

14. Петлёванный М.В. Физико-химическое исследование компонентов и структуры шлако-доломитной закладки при подземной добыче железных руд / Петлёванный М.В. // Школа подземной разработки: сб. науч. трудов V Междунар. науч.-практ. конференции 2-8 октября. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2011. – С. 271-280.

15. Петлёванный М.В. Совершенствование схемы приготовления твердеющей закладки при разработке рудных месторождений / Петлёванный М.В. // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: материалы XXII Международной научной школы. - Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2012. - С. 267-271.

Особистий внесок автора в наукові праці, опубліковані в співавторстві: [1, 2, 5] – проведення лабораторних досліджень, обробка результатів; [3, 4] – аналіз та обробка результатів дослідження; [10] – ідея, постановка завдання, проведення лабораторних та фізико-хімічних досліджень, [12] – проведення експериментальних досліджень структури і міцності закладного масиву.

АНОТАЦІЯ

Петльований М.В. Обґрунтування раціональних параметрів твердіючого закладення при відпрацюванні рудних запасів у складних гірничо-геологічних умовах. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 - підземна розробка родовищ корисних копалин. Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2013.

У дисертації вирішена актуальна задача з обґрунтування раціональних параметрів твердіючого закладення при відпрацюванні запасів залізних руд у складних гірничо-геологічних умовах.

Встановлено, що міцність закладки має поліноміальну залежність від величини питомої поверхні доменного шлаку та вапняку і ступеневу залежність від витрати цих в'язучих речовин. Отримані нові структурні утворення в закладному масиві при зміні величини питомої поверхні частинок шлаку та вапняку. Вперше отримана залежність зміни основності структурних новоутворень в закладному масиві від величини питомої поверхні шлаку та вапняку, що дозволяє змінювати структуру закладного масиву та підвищувати його міцність і стійкість на розтягання.

Встановлено, що міцність по висоті камери змінюється за поліноміальною залежністю. Характер її залежить від технології та фізико-хімічних властивостей закладної суміші. Технологічно шари закладної суміші утворюють області зниженої міцності, де відбуваються фактичні вивали на контурі штучного масиву.

У дисертаційній роботі пропонується змінювати форми структурних новоутворень закладного масиву в камері. Це дозволить підвищити його стійкість до відслонення та сейсмічних навантажень під час масового підриву

руди. Запропоновані технологічні параметри формування закладного масиву можуть застосовуватись і в інших гірничо-геологічних умовах.

Розроблено рекомендації параметрів технології формування твердіючого закладення з дрібнодисперсних в'язучих частинок шлаку та вапняку при відпрацюванні запасів залізної руди в поперсі 840-940 м ЗАТ «ЗЗРК», що дозволяє скоротити витрати доменного шлаку в 1,7-2,0 рази, підвищити міцність закладки на 25%. Очікуваний економічний ефект від впровадження складає 3,45 грн. на 1 м³ твердіючої суміші.

Ключові слова: камерні системи розробки з закладенням, міцність закладки, питома поверхня в'язучих речовин, форми структурних новоутворень та їх основність.

АННОТАЦІЯ

Петлёванный М.В. Обоснование рациональных параметров твердеющей закладки при отработке рудных запасов в сложных горно-геологических условиях. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.02 – подземная разработка месторождений полезных ископаемых. Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2013.

В диссертации решена актуальная задача по обоснованию рациональных параметров твердеющей закладки при отработке запасов железных руд в сложных горно-геологических условиях.

Камерные системы разработки с твердеющей закладкой эффективно применяются в сложных горно-геологических и гидрогеологических условиях залегания крутопадающих рудных залежей, снижают потери и разубоживание руды и повышают безопасность ведения горных работ. Возрастающее горное давление на глубоких горизонтах создают условия, при которых необходимо повышать прочность закладочного массива и его устойчивость, снижая затраты на формирование закладочной смеси.

Прочность закладочного массива достигается за счет совершенствования состава твердеющей смеси и увеличения в ней вяжущих веществ. Однако это не всегда обеспечивает достижение поставленной цели. Значение дисперсности вяжущего материала и его влияние на формирование устойчивых структурных новообразований в закладочном массиве не нашло должного объяснения в научных работах.

Установлено, что прочность закладки имеет полиномиальную зависимость от величины удельной поверхности доменного шлака и известняка и степенную зависимость от расхода этих вяжущих веществ. В результате определено, что граничным значением удельной поверхности вяжущих веществ в составе закладочной смеси является 5500 см²/г. Выше данного значения прекращается набор прочности закладочного массива.

Получены новые структурные образования в закладочном массиве при изменении величины удельной поверхности частиц шлака и известняка. Дана количественная оценка увеличению прочности твердеющей закладки при различной ее структуре: крупноигольчатая - 1,8-2,5 раз, игольчато-волокнистая - 3,1-3,5 раз, слоисто-пластинчатая - 3,1-4,5 раз.

Впервые получена зависимость изменения основности структурных новообразований в закладочном массиве от величины удельной поверхности, шлака и известняка, что позволяет изменять структуру закладочного массива, повышать его прочность и устойчивость на растяжение.

Установлено, что прочность закладки по высоте камеры изменяется по полиномиальной зависимости. Ее характер зависит от технологии и физико-химических свойств закладочной смеси. Технологически слои закладочной смеси образуют области пониженной прочности, где происходят фактические вывалы на контуре искусственного массива.

В диссертационной работе предлагается изменять формы структурных новообразований закладочного массива в камере. Это позволит повысить его устойчивость к обнажению и сейсмическим нагрузкам во время массового взрыва руды. Предложенные технологические параметры формирования закладочного массива могут применяться и в других горно-геологических условиях.

Разработаны рекомендации параметров технологии формирования закладочного массива на основе мелкодисперсных вяжущих частиц шлака и известняка при отработке запасов железной руды в этаже 840-940 м ЗАО «ЗЖРК», что позволяет сократить расходы доменного шлака в 1,7-2,0 раза, повысить прочность закладки на 25%. Ожидаемый экономический эффект от внедрения составляет 3,45 грн. на 1 м³ закладочной смеси.

Ключевые слова: камерные системы разработки с закладкой, прочность закладки, удельная поверхность частиц вяжущих веществ, формы структурных новообразований и их основность.

ABSTRACT

Petyovany M.V. Substantiation of rational parameters of solidifying backfill during ore deposits mining under complex mining-geological conditions. – Manuscript.

Candidate of technical sciences dissertation on speciality 05.15.02 – underground mining of mineral deposits. State higher educational establishment “National Mining University”, Dnepropetrovsk, 2013.

Current task on solidifying backfill rational parameters substantiation is solved in the dissertation during iron ores mining under complex mining-geological conditions.

It is established that backfill strength has polynomial dependence on specific surface of blast-furnace slag and limestone and degree dependence on these binding matters consumption. As a result, it is established that boundary value of binding

matters specific surface within backfill mixture is 5500 cm²/g. Strength limit of the backfilled massif finishes above the present value.

New structural formations in backfilled massif were gained when specific surface of slag particles and limestone changes. Dependence of structural new formation basicity change in backfilled massif on specific surface value of slag and limestone were gained for the first time that allows to change backfilled massif structure, to increase its strength and resistance to tension.

The author proposes to change forms of structural new formations of backfilled massif in a room. This will allow to increase its resistance to exposure and seismic loads during massive explosion of an ore.

Recommendations for parameters of backfilled massif formation technology based on fine-dispersed binding particles of slag and limestone are developed during iron ore deposits mining on 840-940 m level at CJSC “ZZhRK” that will allow to shorten expenditures of blast-furnace slag in 1.7-2.0 times, increase strength of backfill by 25%. Expected economic effect from its implementation will make up 3,45 UAH per 1 m³ the backfilled mixture.

Key words: chamber mining methods with solidifying backfill, backfill strength, specific surface of binding matters particles, forms of structural new formations and their basicity.

Петльований Михайло Володимирович

**ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТВЕРДЮЧОГО
ЗАКЛАДЕННЯ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ РУДНИХ ЗАПАСІВ
У СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ**

(Автореферат)

Підп. до друку 20.03.2013. Формат 60×90/16
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. №

ДВНЗ «Національний гірничий університет»
49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19