

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу КАЛІНІЧЕНКО ОЛЕНИ
ВСЕВОЛОДІВНИ на тему: «**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ
УПРАВЛІННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИМ СТАНОМ
МАСИВУ ПРИ ФОРМУВАННІ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК**»

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних
наук за спеціальністю

05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин

В Криворізькому залізорудному басейні більше ста тридцяти років відпрацьовуються поклади залізних руд, у тому числі підземним способом. За останні роки в басейні складалася несприятлива ситуація зі збереженням денної поверхні в межах діючих та ліквідованих шахт. Порушення денної поверхні з формуванням воронок, провалів, зон обвалення стали невід'ємною частиною сьогоденного рельєфу гірничих відводів шахт.

Незважаючи на це, для умов Криворізького басейну відсутні фундаментальні дослідження з питань техногенного впливу підземної розробки залізних руд на стан рельєфу та денної поверхні в цілому. Відсутні дослідження впливу технології відпрацювання глибоких горизонтів залізорудних шахт на напружено-деформований стан гірського масиву та стійкість сформованих підземних виробок. Відсутні стратегічні дослідження майбутніх технологій, які забезпечать збереження денної поверхні, наприклад технологій із закладенням виробленого простору. Такі технології дозволять, крім того, утилізувати відходи гірничодобувних підприємств у виробленому просторі існуючих та законсервованих шахт.

Таким чином представлена дисертаційна робота безумовно присвячена розвитку наукових основ управління процесами взаємодії полів напружено-деформованого стану масиву при формуванні підземних гірничих виробок, що дозволяють встановити закономірності деформацій денної поверхні залежно від глибини розробки, кута падіння покладу, фізико-механічних властивостей гірських порід і матеріалу закладки, а також форми стелени очисних камер та структури штучного цілика, дозволяє обґрунтувати параметри та запропонувати технології відпрацювання рудних покладів, які запобігають утворенню провалів земної поверхні при підземному видобутку руд. Все це дозволяє стверджувати, що представлена дисертаційна робота без сумніву вирішує актуальну науково-технічну проблему, яка має важливе наукове та практичне значення для підвищення ефективності та безпеки підземного видобутку руд.

Дисертація складається з анотації, вступу, 6 розділів, висновків і списку використаних джерел із 317 найменувань на 41 сторінці, містить 299 сторінок машинописного тексту, 18 таблиць та 85 рисунків, з яких 18 – на окремих сторінках, а також 11 додатків на 47 сторінках.

У вступі автором обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, ідею та завдання досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи

дослідження, викладено основні наукові положення, що виносяться на захист, новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено інформацію про апробацію результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі автор проаналізував сучасний стан сировинної бази Кривбасу, а також обґрунтував шляхи розв'язання проблеми збереження денної поверхні в полях відпрацьованих, законсервованих і діючих шахт Криворізького басейну.

Результати виконаного аналізу показали, що при підземному видобуванні з надр корисних копалин змінюється напружено-деформований стан гірських порід. А це, своєю чергою, впливає на процеси зрушення гірських масивів, при яких зміщення можуть досягати верхніх горизонтів і проявлятися у вигляді деформацій земної поверхні.

Автором зроблено висновок, що на сьогодні витрати на реалізацію заходів щодо попередження можливих надзвичайних ситуацій були б значно нижчими, ніж витрати на їх ліквідацію в майбутньому. На погляд автора єдиним ефективним способом, що гарантує неможливість провалів і просідань денної поверхні в межах шахтних полів Кривбасу, є впровадження на шахтах басейну систем розробки із закладенням виробленого простору. В роботі наголошується, що при незначному підвищенні собівартості видобутку такі системи розробки дозволять одержати економію в майбутньому, забезпечивши збереження денної поверхні й безпеку Криворізького залізрудного басейну.

У другому розділі автором запропоновано комплексну методіку дослідження геотехнічних і технологічних завдань, яка забезпечує обґрунтовану перевірку результатів теоретичних, експериментальних та практичних досліджень і гарантує високу достовірність одержаних результатів.

Чисельні методи моделювання, що враховують фізико-механічні властивості неоднорідних гірських масивів виконано з розрахунком напружень і деформацій в гірському масиві за допомогою метода кінцевих елементів. Установлено параметри лінії тренду й визначено рівняння для знаходження величини напружень і деформацій гірського масиву залежно від модуля пружної деформації гірських порід і стану очисних камер. Визначено достовірність апроксимації для діагностованих кривих.

Розрахунок напружено-деформованого стану масиву чисельними методами дозволив одержати значення величини напружень і деформацій у контрольних точках комбінованого масиву.

Для лабораторних досліджень деформацій і напруженого стану масиву автором обґрунтовано використовувались еквівалентні матеріали. Моделювання випуску обваленої руди з блока виконано на статичних моделях випуску. Оброблення результатів моделювання здійснювалося методами математичної статистики.

Перевірка одержаних результатів здійснювалась за допомогою промислових досліджень та експериментів.

Третій розділ присвячено дослідженням напружено-деформованого стану масиву гірських порід у полях діючих шахт Кривбасу. Для одержання необхідних чисельних значень процес дослідження напружено-деформованого стану було розбито на етапи, прив'язані до технологічних циклів відпрацювання покладів, який одержав назву методу «послідовних циклів». Запропоновано універсальну методику розрахунку технологічних циклів при відпрацюванні шахтних полів наявними технологіями. Основною умовою діагностики адекватних результатів є облік технології трансформації гірського масиву.

Для визначення ключових залежностей трансформації напружено-деформованого стану масиву було проведено базові дослідження ділянки шахтного поля шахти «Гігант-Глибока» завдовжки за простяганням понад 2,1 км і завглибшки за падінням до 900 м. Розрахунок напружень і деформацій здійснювався методом кінцевих елементів на базі програмного комплексу Ansys 16.0. Порівнюючи розрахункові значення деформацій денної поверхні з даними інструментальних спостережень визначено збіжність одержаних результатів, при яких похибка не перевищує 10–12 %.

Таким чином доведено, що розроблена в роботі модель є адекватною гірничо-геологічним умовам Криворізького басейну і може бути використана для подальшого моделювання напружено-деформованого стану масиву та прогнозування подальшого розвитку процесів у гірських породах при відпрацюванні родовищ підземним способом.

В роботі досліджено напружено-деформований стан масиву гірських порід і один із основних технологічних параметрів – стійкість оголень очисних камер, особливо їх стелін.

Автором, згідно з умовами експерименту, було сформовано моделі з горизонтальною, шатровою, склепистою і похилою покрівлею камер, кут нахилу яких варіювався в широких межах. В результаті виконаних досліджень доведено, що показник величини максимальних напружень у міжповерхових ціликах змінюється в широких межах, залежить від форми стелини та знаходиться в поліноміально-логіарифмічній залежності від глибини розробки, міцності залізних руд, кута нахилу, відносного радіуса кривизни стелини й при її склепистій формі набуває мінімальних значень, дозволяючи формувати стійкі оголення стелін очисних камер на глибинах до 2000 м.

В роботі виконано дослідження напружено-деформованого стану масиву гірських порід у полях діючих шахт ДП «СхідГЗК». Виконано розрахунки стійкості оголень у відпрацьованих камерах з урахуванням фактичного часу їх існування. Розроблено методику, яка забезпечує високу точність при визначенні проектних параметрів камер в очисних блоках і більшу достовірність прогнозованої стійкості як окремих оголень, так і камер загалом.

Визначено закономірності впливу кута падіння рудного покладу, товщини стелини та ступеня її порушеності гірничими виробками на несучу здатність і стійкість стелін та визначено залежність впливу коефіцієнта

зменшення міцності стелини $K_{кр}$ від дії на неї кислотного розчину при використанні технології підземного блокового вилуговування уранових руд з відпрацюванням спарених по висоті блоків.

Доведено, що при відпрацюванні бідних урановмісних руд із застосуванням технології підземного блокового вилуговування спареними по висоті блоками товщина тимчасового міжповерхового цілика-стелини визначається із урахуванням коефіцієнта зменшення міцності стелини від дії на неї кислотного розчину $K_{кр}$, який визначається як відношення межі міцності уранових руд, що зазнали дії кислотного розчину, до межі міцності вихідних зразків, які не мали такого впливу, і змінюється за поліноміальною залежністю від 0,66 до 0,6 при технологічному терміні дії на уранові руди кислотного розчину від 2 до 6 місяців.

У четвертому розділі роботи автором виконані дослідження і запропоновані технологічні рішення, які запобігають утворенню провалів земної поверхні при підземному видобутку залізних руд.

Автор наполягає, що єдиним розв'язанням визначеної проблеми є заповнення відпрацьованих камер закладними сумішами.

Виконано дослідження й розроблено теоретичні основи впливу штучного поля напружень на розвиток геомеханічних процесів при вийманні корисної копалини камерними системами розробки із закладенням виробленого простору.

В роботі наголошується, що закладення виробленого простору, зазвичай, вимушений захід. Основною перевагою закладення є збереження денної поверхні й налягаючих гірських порід. До основних недоліків закладення камер належить ускладнення технології та підвищення собівартості видобутку.

Для ліквідації зазначених недоліків автором запропоновано технологію комбінованого закладення камер з каркасом твердіючої закладки та породним модулем усередині сформованої структури, яка отримала назву «каркасно-модульної» технології закладення. Запропонована технологія комбінованого «каркасно-модульного» закладення камер може бути рекомендована для заповнення камер як першої, так і другої черг при відпрацюванні родовищ за технологією «камера – цілик». Однак основною перевагою даної технології можна вважати доцільність її застосування в камерах першої черги.

Виконані в роботі дослідження дозволили констатувати, що величина деформації денної поверхні при камерному вийманні магнетитових кварцитів із закладенням камер знижується на 55–95 % і знаходиться в поліноміальній залежності від глибини розробки, кількості відпрацьованих горизонтів, фізико-механічних властивостей гірських порід і матеріалу закладки, а також структури штучного цілика, каркасно-модульна будова якого забезпечує зниження величини деформації на 75–80 % при скороченні собівартості закладних робіт на 43–54 %.

П'ятий розділ в роботі присвячено дослідженням та обґрунтуванню концепції застосування інформаційних технологій для моніторингу та

управління напружено-деформованим станом гірського масиву при видобутку залізних руд підземним способом.

Автор доводить, що на сьогодні необхідно перейти до динамічної моделі вивчення й контролю денної поверхні Криворізького басейну. У зв'язку з цим, необхідним є комплексний підхід до виконання досліджень маркшейдерсько-геодезичної спрямованості з використанням різних методів спостереження природних і техногенних процесів на земній поверхні та в її надрах, виділяючи при цьому вплив підземних гірничих робіт на характер геодинамічних порушень денної поверхні.

Проведено короткий аналіз можливості застосування спеціалізованого програмного забезпечення для розв'язання вищезазначених завдань. Доведено необхідність створення геоінформаційної системи гірничодобувного регіону, яка включає розроблення й організацію головного геоінформаційного центру та створення геоінформаційних центрів на суб'єктах господарської діяльності.

Останній шостий розділ автор присвятив розробленню й упровадженню нових технологій відпрацювання залізних руд з можливістю збереження земної поверхні Криворізького басейну.

Зосереджено увагу на технології випуску відбитої руди із очисних блоків. Зазначено, що основним недоліком донного випуску є наявність втрат руди у гребенях між випускними отворами й на контакті з твердіючим закладним масивом. На них припадає до 7–12 % загальних втрат руди по блоку.

Для підтвердження висловлених припущень, вивчення закономірностей формування й визначення контурів гребенів після повного випуску обваленої руди з блоків другої черги було виконано лабораторні дослідження з випуску обваленої руди на межі з твердіючим закладним масивом.

Представлено технологію випуску відбитої руди з камери другої черги на контакті з похилими бічними поверхнями трапецеїдального днища з твердіючої закладки камер першої черги.

Автором доведено, що втрати руди в гребенях відпрацьованих блоків другої черги на контакті зі штучним масивом закладених камер першої черги експоненційно залежать від висоти відпрацьованих блоків, поліноміально від кута нахилу бічних поверхонь трапецеїдальної основи штучних ціликів і при формуванні кутів нахилу, адекватних твірній воронки випуску, знижуються до величин 0,7–1,2 %, дозволяючи збільшити вилучення руди з блока на 4,1–7,8 %.

На підставі встановлених закономірностей випуску відбитої руди на контакті з твердіючим закладним масивом розроблено технологічну схему відпрацювання ділянки шахтного поля з трапецієподібною формою основи блоків і комбінованою закладкою очисного простору.

В цілому, річний економічний ефект від упровадження у виробництво технологічних рішень, розроблених у дисертаційній роботі, складе на гірничодобувних підприємствах Криворізького басейну 1314,714 тис. грн.

До дисертаційної роботи є зауваження:

1. Представлена робота присвячена вирішенню актуальної проблеми: «...встановлення закономірностей деформацій денної поверхні в залежності від глибини розробки, кута падіння покладу, фізико-механічних властивостей гірських порід ... форми ... очисних камер...». В той же час в роботі відсутні дослідження з проблеми визначення наявності існуючих пустот в полях ліквідованих та законсервованих шахт, відсутні методики їх пошуку, визначення їх параметрів, глибини та місця розташування.

2. В роботі відсутні дослідження проблеми закладки існуючих пустот в полях ліквідованих та законсервованих шахт, адже вони теж є потенційною загрозою для утворення провалів земної поверхні при підземному видобутку залізних руд.

3. В роботі не наведено можливі склади закладних сумішей та рекомендації по їх застосуванню. Відсутні розрахунки їх міцності та собівартість в залежності від складових компонентів.

4. Чому на графіках (рис.3.6; 3,8; 3,10;3,12) формули мають різні символи у порів'язанні з текстом, який нижче пояснює ці вирази?

5. Вважаю, що дослідженні НДС масиву при відпрацюванні уранових руд, які представлені в розділі 3, необхідно було навести окремим розділом, адже їх обсяг, результати і науково-практична новизна дозволяють це зробити.

6. В розділі п'ять рекомендовано до застосування геоінформаційну систему вітчизняного виробництва K-MINE, розроблену в стінах Криворізького національного університету, але відсутні приклади її використання на шахтах Кривбасу.

7. В лабораторних експериментах по випуску відбитої руди на контакт з похилими бічними поверхнями твердого закладного масиву досліджено можливі втрати руди в очисному блоці, але не досліджено можливе засмічення руди закладним матеріалом.

Висновки по дисертаційній роботі:

Наведені зауваження не знижують наукової та практичної цінності представленої роботи, а розв'язана науково-технічна проблема встановлення закономірностей деформацій денної поверхні в залежності від глибини розробки, кута падіння покладу, фізико-механічних властивостей гірських порід і матеріалу закладки, форми стелини очисних камер та структури штучного цілика розв'язана важлива науково-технічна проблема розвитку наукових основ управління процесами взаємодії полів напружено-деформованого стану масиву при формуванні підземних гірничих виробок, що дозволило обґрунтувати параметри та розробити технології відпрацювання рудних покладів, впровадження яких дозволяє отримати очікуваний економічний ефект у розмірі 1314,714 тис. грн., що є важливим для підвищення ефективності та безпеки підземного видобутку руд на

глибинах до 2000 м, збереження непорушеної земної поверхні та дозволяє утилізувати відходи гірничого виробництва у виробленому просторі шахт.

Тому дисертаційна робота Калініченко Олени Всеволодівни «Розвиток наукових основ управління напружено-деформованим станом масиву при формуванні підземних виробок», яка задовольняє «Вимогам до оформлення дисертації» затверджених наказом №40МОН України від 12.01.2017 заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне), професор кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин, д.т.н., проф.

Маланчук З.Р.

