

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

Основна частина розвіданих запасів залізних руд України сконцентрована на українському кристалічному щиті в Криворізькому залізорудному басейні, який разом з Кременчуцьким і Білозерським залізорудним районом утворюють район Великого Кривого Рогу.

Розробка та видобування з надр залізних руд змінює напружено-деформований стан гірського масиву. Виникають порушення денної поверхні з формуванням воронок, провалів, зон обвалення та просідань земної поверхні. Ці порушення викликані застосуванням на підземних гірничих роботах систем розробки з обваленням руди та вміщуючих порід, а також камерних систем розробки.

Авторка обґрунтовує виявлені закономірності, які характеризуються тим, що у першому випадку, при м'яких нестійких рудах, спостерігаються досить плавні просідання денної поверхні з формуванням прогнозованих зон обвалення. При використанні камерних систем розробки, формування зон обвалення відбувалося стрибкоподібно, залежно від обсягу камерного виймання, міцності рудної стелини та вміщуючих порід.

Крім цього, підземна розробка магнетитових кварцитів на вищерозташованих горизонтах шахт за технологією «камера-цілик» привела до формування в надрах величезної кількості пустот. Ці пустоти становлять потенційну небезпеку для денної поверхні в разі їх обвалення.

Тема представленої дисертаційної роботи присвячена розвитку наукових основ управління процесами взаємодії полів напружено-деформованого стану масиву при формуванні підземних гірничих виробок, встановленню 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, обґрунтуванню параметрів та розробці технологій відпрацювання рудних покладів, які запобігають утворенню провалів земної поверхні при підземному видобутку руд, що є актуальною науково-технічною проблемою, яка має важливе наукове та практичне значення для підвищення ефективності та безпеки підземного видобутку руд.

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

У першому розділі дисертаційної роботи автором проаналізовано сучасний стан сировинної бази Кривбасу та шляхи розв'язання проблеми збереження денної поверхні в полях відпрацьованих, законсервованих і діючих шахт Криворізького басейну.

Автором встановлено, що при підземному видобуванні з надр корисних копалин змінюється напружено-деформований стан гірських порід. Зміна НДС гірського масиву впливає на процеси зрушення гірських порід, при яких зміщення можуть досягати верхніх горизонтів і проявлятися у вигляді деформацій земної поверхні. Такі зміщення можуть призводити до руйнування промислових і цивільних об'єктів, розташованих у цій зоні.

На основі виконаного аналізу авторка наголошує, що на сьогодні в Криворізькому басейні відсутні фундаментальні дослідження з проблем впливу технології підземної розробки багатих залізних руд і магнетитових кварцитів на рівень напружено-деформованого стану масиву та стійкість денної поверхні. Відсутні стратегічні дослідження проблеми впровадження

технологій із закладенням виробленого простору, що дозволяють здійснювати підземний видобуток залізних руд зі збереженням стійкого стану гірського масиву, непорушеної денної поверхні та наявних містобудівних структур. Тому, безперечно, тема представленого дисертаційного дослідження, яка присвячена розвитку наукових основ моніторингу й управління процесами взаємодії полів напружено-деформованого стану масиву при формуванні підземних виробок, дослідженню й розробленню технологічних рішень, що запобігають утворенню провалів земної поверхні при підземному видобутку руд, є актуальною і має важливе наукове та практичне значення.

У другому розділі обґрунтовано застосування комплексної методики дослідження геотехнічних і технологічних завдань підземної розробки залізних та уранових руд. Така методика забезпечує обґрунтовану перевірку результатів теоретичних, експериментальних та промислових досліджень і гарантує високу достовірність одержаних результатів.

Чисельні методи моделювання, що враховують фізико-механічні властивості неоднорідних гірських масивів, обумовлюють ефективність застосування сучасної комп'ютерної техніки для розв'язання завдань дослідження, моніторингу та прогнозування напружено-деформованого стану гірського масиву при видобутку залізної руди підземним способом.

Авторкою встановлено закономірності зміни напружень і деформацій у контрольних точках очисних камер а також просідання денної поверхні з визначення цих величин залежно від фізико-механічних властивостей гірського масиву й закладного матеріалу.

Для лабораторних досліджень деформацій і напруженого стану масиву авторкою використовувались еквівалентні матеріали: кварцовий пісок, мелений граніт, чавун і парафін. Для коректного порівняння результатів проведених експериментальних досліджень з результатами математичного моделювання параметри ділянки родовища приймалися адекватними математичній моделі.

Моделювання випуску обваленої руди з блока виконано на статичних моделях випуску. Як еквівалентний матеріал, що моделює обвалену руду, використовувалася відповідна до масштабу моделювання фракція мартитової руди. Для моделювання масиву твердіючої закладки використовувалися зневоднені шлами збагачувальних фабрик Криворізького басейну в суміші з технічним парафіном.

Авторкою, для оброблення результатів моделювання використовувалися методи математичної статистики. Для визначення точності одержаних результатів розраховувалися відповідні коефіцієнти варіації.

У третьому розділі авторка виконала дослідження напружено-деформованого стану гірських порід для різних типів залізних та уранових руд. Запропоновано універсальну методику розрахунку технологічних циклів при відпрацюванні шахтних полів наявними технологіями. Основною умовою діагностики адекватних результатів є облік технології трансформації гірського масиву. З цією метою розглянуто технології формування очисних камер I, II ... *n* черг відпрацювання з наступним закладенням камер як твердіючою закладкою, так і іншими закладними сумішами, включаючи пусті породи від проходки виробок, хвости збагачення та інші відходи гірничодобувних підприємств.

Встановлено параметри лінії тренда і визначені рівняння для знаходження величини вертикальних деформацій ε гірського масиву в залежності від модуля пружної деформації гірських порід E і стану очисних камер тривалого консервування. Отримані дані добре узгоджуються з результатами денних інструментальних спостережень за вертикальними зміщеннями, виконаними в нашому регіоні. Результати моделювання мають високу збіжність з даними інструментальних спостережень. Похибка розрахункових методів не перевищує 10–12 %.

З огляду на отримані результати, при відпрацюванні багатих залізних руд системою підповерхового обвалення авторкою рекомендовано широке

застосування на шахтах Кривбасу вертикальних і похилих компенсаційних камер. Доведена необхідність освоювати технологію відпрацювання панелей з обваленням руди на компенсаційну камеру шатрової форми.

При відпрацюванні багатих залізних руд камерними системами розробки ключовою вимогою є забезпечення стійкості стелин очисних камер. В цьому випадку автором рекомендовано застосування склепоподібної стелини, яка забезпечує максимальну стійкість в складних гірничо-геологічних умовах.

В роботі виконано дослідження напружено-деформованого стану масиву гірських порід в полях діючих шахт ДП «СхідГЗК». Розроблено методику визначення безпечних та стійких параметрів очисних блоків. Визначені закономірності впливу кута падіння рудного покладу, товщини стелини та ступеню її порушеності гірничими виробками на несучу здатність та стійкість стелин 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. Так встановлено, 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, які 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.

Четвертий розділ присвячено дослідженню процесів зсувів і утворення провалів на земній поверхні в полях діючих та відпрацьованих шахт Кривбасу. Доведено, що порушені величезні території земельних угідь, потенційно придатних до сільськогосподарської діяльності, промислового й

цивільного використання. Дані території належать до, так званих, «зон обвалення», які розташовані у висячому боці покладів, мають ширину в кілька кілометрів і простягаються з півночі на південь на десятки кілометрів, виводячи з цивілізованого використання практично всю західну частину міста Кривий Ріг.

В роботі проведені дослідження впливу штучного поля напружень на розвиток геомеханічних процесів при вийманні корисної копалини камерними системами розробки із закладанням виробленого простору. Розглянуто можливі варіанти заповнення відпрацьованих камер різними закладними сумішами. Так як заповнення камер твердіючою закладкою є досить дорогим варіантом автор запропонував 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 характеризується низькою собівартістю і може бути рекомендована для заповнення камер як першої, так і другої черг при відпрацюванні родовищ за технологією «камера – цілик».

Досліджено динаміку трансформації напружено-деформованого стану гірського масиву в процесі відпрацювання та закладання очисних камер першої та другої черги.

В дослідженнях доведено, що каркасно-модульний цілик знаходиться в умовах об'ємного стиснення і його стійкість практично не залежить від ширини каркаса й коливається в межах 3–8 % у відносних величинах. Стійкість оголень каркаса твердіючої закладки залежить загалом від міцності закладки й величини оголення закладного масиву.

Зроблено висновок, що величина деформації денної поверхні при камерному вийманні магнетитових кварцитів із закладанням 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 авторка присвятила дослідженню та розробці технологічних рішень, які запобігають утворенню провалів земної поверхні при підземному видобутку залізних руд.

В роботі запропоновано «дорожню карту» моніторингу денної поверхні в полях діючих і законсервованих шахт Кривбасу, яка повинна включати комплекс робіт з первинного оцінювання ситуації для кожного елемента довкілля. Далі результати досліджень рекомендовано представляти у вигляді матеріалів, які дозволять оцінити кількість і просторове розташування небезпечних ділянок, для яких потрібно виконувати обов'язковий моніторинг з урахуванням сучасних технологій досліджень. В подальшому одержані матеріали повинні забезпечити створення бази даних з основних проблемних ділянок денної поверхні. Ці дані повинні оновлюватися з достатньою регулярністю, аж до технологій он-лайн спостережень. Основою для оброблення й аналізу одержаної інформації буде постійно поповнювана інформаційна база, яку буде покладено в основу геоінформаційної системи (ГІС) моніторингу денної поверхні.

Шостий розділ присвячено розробці нових ресурсозберігаючих технологій відпрацювання залізних руд Криворізького басейну та їх впровадженню у виробництво.

Виконані дослідження та встановлені закономірностей випуску відбитої руди на контакті з твердіючим закладним масивом відпрацьованих блоків. Розроблена технологічна схема відпрацювання ділянки шахтного поля з трапецієподібної формою основи блоків і комбінованою закладкою очисного простору, що дозволяє знизити втрати відбитої руди в очисних блоках.

Встановлено нові закономірності та отримано нові залежності втрат руди в гребенях відпрацьованих блоків другої черги на контакті зі штучним

масивом закладених камер першої черги. Доведено, що вони 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 %.

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.

ЗАУВАЖЕННЯ:

1. В дисертаційній роботі використовуються терміни, що не є загальноновживаними в гірництві, тому вони сприймаються неоднозначно і потребують роз'яснень, наприклад, «трансформація геомеханічних полів напружень» (ідея роботи), «інтегральний показник величини максимальних напружень» (наукове положення), «техногенне поле напружень» (п. 3.3), «трансформація гірського масиву», «трансформація НДС» (стор. 147), «незаймані руди» (стор 163).

2. В тексті дисертаційної роботи присутні неточності і технічні помилки. Наприклад, на стор. 163 вказано модуль пружності $5,5 \cdot 10^{-4}$ МПа, $2,2 \cdot 10^{-4}$ МПа, має бути $5,5 \cdot 10^4$ МПа, $2,2 \cdot 10^4$ МПа, відповідно. На стор. 67 зазначається, що «...напружено-деформований стан змінюється... обернено пропорційно фізико-механічним властивостям», що потребує розлогої інтерпретації. На стор. 198 вказано, що «загальновідомим є факт, що проведення будь якої виробки призводить до порушення початкового поля напружень на відстані, що дорівнює трикратному її розміру». Слід зазначити якого саме розміру (діаметр, радіус, ширина, висота), крім того впливає форма виробки, допущення, що прийняті при інтерпретації (пружна, пружно-пластична постановка тощо).

3. На думку опонента в практичному значенні роботи слід було відзначити які з розроблених методик є затвердженими у встановленому порядку.

4. Чисельне моделювання МКЕ, наведене в дисертаційній роботі, проведено в пружній постановці, проте процеси обвалень і зрушень гірських порід не є пружними. Хоча на стор. 139 стверджується, що в якості рівнянь зв'язку між компонентами тензорів напружень використовуються співвідношення подібні до теорії пружності, ці співвідношення не наведені в роботі. Тому слід було чітко навести умови і допущення, що дозволяють виконувати відповідні розрахунки.

5. Результати розрахунку напружень і деформацій, виконані МКЕ і наведені на рис. 2,4-2,7; 3,4; 3,5; 3,9; 3,11; 3,17; 3,18; 4,4;4,5; 4,8; 4,9; 4,10; 4,12; 4,13 мають неоднозначну інтерпретацію. Так, наприклад, на рис. 2,7 в вузлі 13 в стеліні камери розраховані опускання складають 78 мм, а опускання поверхні 133 мм. Зображена схема деформування не відповідає реальній, оскільки в природних умовах деформації стелини мають бути більшими і тільки після розвитку деформацій в масиві формується мульда зрушень поверхні. Не зрозуміло, які саме напруження характеризують ізолінії напружень. Оскільки, наприклад, на рис. 3,7, головні максимальні напруження в центрі стелини становлять -9,5 МПа, а в правому кутку +51 МПа. Зазвичай знак «+» характеризує розтягування, а знак «-» стиснення, тому результати чисельного аналізу потребують пояснення.

6. Наведені на рис. 3,8; 3,10; 3,12; 3,15 і у формулах 3,55; 3,56; 3,57 залежності напружень від глибини при різних міцностях руди, по суті є залежностями при різних модулях пружності, що витікає з табл. 3,6. Оскільки однозначного чіткий зв'язок між міцністю і модулем пружності руд відсутній необхідно було навести залежність між цими показниками, яка дозволила сформувати таблицю 3,6.

7. Не зрозуміла наукова або практична складова розділу 4.2 , оскільки в ньому наведено розрахунки за загальновідомою методикою. На думку опонента в тексті основної частини дисертації достатньо було обмежитись лише отриманими висновками, а розрахунки при необхідності винести в додатки. Аналогічно п. 5.3 , в якому наведено аналіз характеристик пакетів

Move, GeoMech3D, Flac3D, KMine має характер опису, тому, на думку опонента, без втрати цінності роботи міг бути перенесений в додатки.

ВИСНОВОК:

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, тому представлена дисертація на тему: «Розвиток наукових основ управління напружено-деформованим станом масиву при формуванні підземних виробок» є закінченою науково-прикладною роботою, у якій шляхом встановлення закономірностей деформацій денної поверхні в залежності від глибини розробки, кута падіння покладу, фізико-механічних властивостей гірських порід і матеріалу закладки, форми стелени 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 тікловідходів, 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, відповідає «Вимогам до оформлення дисертації» МОН України а її автор Калініченко Олена Всеволодівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

Доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри розробки
родовищ корисних копалин
Донецького національного
технічного університету
(м. Покровськ)

директор І.Г. Сахно
з НТД

Засвідчено
Воронцов В.В.

