

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Кононенко Максима Миколайовича «Геомеханічне обґрунтування параметрів підземної інфраструктури при видобуванні залізної руди із застосуванням емульсійних вибухових речовин», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальностями 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка» та 05.15.04 – «Шахтне та підземне будівництво»

На рецензію подано дисертацію, автореферат та опубліковані роботи.

Аналіз дисертації Кононенко М.М. «Геомеханічне обґрунтування параметрів підземної інфраструктури при видобуванні залізної руди із застосуванням емульсійних вибухових речовин» дозволяє сформулювати висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості, основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел із 275 найменувань, містить 365 сторінок машинописного тексту, в тому числі 79 рисунків, 55 таблиць, 2 додатки на 15 сторінках.

За темою дисертації опубліковано 54 друковані праці, з яких: 1 монографія, 18 статей у наукових фахових виданнях України та 3 у міжнародних рецензованих виданнях, 17 робіт у наукометричних базах Scopus і Web of Science, 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір, 2 патенти на винаходи, 13 статей і тез доповідей у матеріалах конференцій, 2 посібника, 2 підручника і 3 довідника: з них 1 – за кордоном.

Автореферат і публікації повністю розкривають основні положення дисертаційної роботи. Матеріали кандидатської дисертації в роботі не використовувались.

1. Актуальність обраної теми дисертації та її зв'язок з науковими програмами

Проблема ресурсо- і енергозбереження є актуальною у всіх галузях промисловості, у тому числі і в гірничій справі. Україна є великою мінерально-сировинною базою залізними рудами, яка представлена 80 родовищами, 30 з яких експлуатується (58% розвіданих запасів). Загальні запаси залізних руд сягають понад 30 млрд т, що складає близько 6% світових запасів. Багаті залізні руди і залісті кварцити видобуваються на родовищах Криворізького, Кременчуцького і Білозерського залізорудних басейнів. До війни з РФ лише в Кривому Розі добувалось 100 млн тон залізної руди.

На сьогоднішній день видобування руди здійснюється у все більш складних та небезпечних гірничо-геологічних умовах, що, в свою чергу, потребує більш складної підземної інфраструктури, від параметрів якої у значній мірі залежить ефективність та безпека робіт.

Головним процесом видобутку рудної сировини є вибухові роботи, які вирішальним чином впливають на кінцеві результати виробництва мінеральної сировини та її собівартість, стан довкілля. Раніше для руйнування гірських порід в Україні використовували вибухові речовини, що містять тротил та деякі нітроєфіри. При їх вибуху утворюються отруйні сполуки. Цю проблему вирішує широке впровадження в Україні високоефективних, безпечних емульсійних вибухових речовин, які характеризуються значно меншим негативним впливом на навколишнє середовище. Застосування емульсійних вибухових речовин викликає необхідність ув'язати параметри підземної інфраструктури при видобуванні залізних руд з параметрами буропідривних робіт.

Таким чином, дисертація, яка присвячена вирішенню актуальної науково-практичної проблеми з геомеханічного обґрунтування параметрів підземної інфраструктури при видобуванні залізних руд із застосуванням емульсійних вибухових речовин на основі встановлених закономірностей формування зон зминання, інтенсивного подрібнення та тріщиноутворення навколо зарядної порожнини, що утворюються в масиві порід під дією вибуху, а також встановлення закономірностей зміни густини та швидкості детонації емульсійних вибухових речовин за довжиною сформованої колонки заряду при різних кутах нахилу свердловин на сьогоднішній є досить актуальною.

Слід відмітити, що дисертаційна робота виконана відповідно до Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року, що затверджена Законом України № 3268-VI від 21.04.2011, та у рамках виконання науково-дослідних держбюджетних робіт за темами: «Фундаментальні основи видобування, переробки та оцінки об'єктів надр з каменесамощвітною сировиною», «Обґрунтування комплексу геотехнологічних модулів з використанням природно-техногенного ресурсу родовищ корисних копалин України», «Обґрунтування новітніх технологічних рішень освоєння родовищ корисних копалин у контексті сталого розвитку гірничодобувних регіонів».

2. Оцінка наукових положень, висновків і рекомендацій, їх новизна, достовірність і обґрунтованість

Наведені у дисертації наукові положення, теоретичні та практичні результати досліджень є достатньо обґрунтованими і змістовними, що підтверджується аналізом і узагальненням виконаних досліджень.

Наукові положення, що захищаються в дисертації:

1. Радіуси зон зминання, інтенсивного подрібнення та тріщиноутворення, що формуються при вибуховому руйнуванні гірського масиву, змінюються за ступеневу залежністю від діаметру заряду ВР, тиску продуктів вибуху у зарядній порожнині, міцності порід на розтягання-стискання, коефіцієнтів структурного ослаблення та ущільнення, що підвищує точність оцінки параметрів руйнування гірського масиву до 48%.

2. Початкова густина наливної ЕВР Україніт-ПП-2 у сформованій колонці заряду змінюється під дією гідростатичного тиску за ступеневу залежністю від її довжини та кута нахилу зарядної порожнини у діапазоні 0 – 90°, що дозволяє за зміною швидкості детонації визначати місця розташування патронів-бойовиків (П-Б) і запропонувати конструкції зарядів у свердловинах.

3. Розрахунок параметрів БПР при проведенні горизонтальних і похилих гірничих виробок з використанням ЕВР Україніт-ПП-2 базується на принципі розміщення груп шпурів за площами, які вони займають у вибої виробки, та розташуванням їх за відбійними контурами, а ЛНО шпуру визначається радіусом зони інтенсивного подрібнення. Показники зон руйнування масиву є основою нової методики розрахунку параметрів БПР для проведення підняткових виробок методами шпурових і свердловинних зарядів.

4. Підвищення ефективності БПР зі зменшенням витрат на проведення виробок до 18%, а відбивання масиву порід до 50% досягається використанням ЛНО, що змінюється за ступеневу залежністю від радіусу зони зминання, щільності та швидкості детонації ВР, діаметру шпуру або свердловини, межі міцності порід на стискання, їх тріщинуватості та ущільнення під дією гірського тиску та вибуху, а при патроновій ВР ще й від діаметру заряду.

Достовірність підтверджується застосуванням апробованих методів дослідження, задовільним співпаданням теоретичних та емпіріоаналітичних досліджень параметрів зон руйнування масиву порід (92 – 98%); високою збіжністю аналітичних досліджень та чисельного моделювання радіусів зон зминання, інтенсивного подрібнення та тріщиноутворення (92 – 96%) і натурних експериментів з вимірювання швидкості детонації ЕВР (95%); апробацією розроблених методик на реальних об'єктах.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше обґрунтовані аналітичні моделі радіусів зон зминання, інтенсивного подрібнення та тріщиноутворення, що формуються у масиві порід навколо заряду при вибуховому навантаженні, які комплексно враховують діаметр зарядної порожнини, детонаційні характеристики ВР, міцність порід, а також тріщинуватість та ущільнення під дією гірського тиску та вибуху і діаметр заряду ЕВР, що збільшує точність визначення руйнування масиву на 48%;

2. Вперше за законами гідростатики та газодинаміки визначено перерозподіл густини наливних ЕВР у зарядних порожнинах з різними кутами нахилу та встановлено степеневі залежності зміни густини наливної ЕВР Україніт-ПП-2 за довжиною сформованої колонки заряду до 55 м у залежності від її початкової густини та кута нахилу свердловини від 0 до 90°;

3. Вперше встановлено степеневі залежності зміни швидкості детонації наливної ЕВР Україніт-ПП-2 від її густини та діаметру зарядної порожнини, що дозволило визначити раціональну початкову густину ЕВР Україніт-ПП-2 для відбивання масиву, яка дорівнює 800 – 1000 кг/м³ і при цьому зберігається швидкість детонації за довжиною колонки заряду до 35 м при різних кутах нахилу свердловин;

4. Вперше отримано степеневу залежність ЛНО шпуру від радіусу зони зминання, діаметру шпуру та діаметру самого заряду ВР, детонаційних характеристик ВР, межі міцності порід на стискання, їх тріщинуватості та ущільнення під дією гірського тиску та вибуху, що дозволило обґрунтувати параметри БПР при проведенні горизонтальних і похилих гірничих виробок з розміщенням груп шпурів за площами, які вони займають у вибої та їх розташуванням за відбійними контурами;

5. Вперше встановлено степеневу залежність визначення ЛНО свердловин від комплексних характеристик, що враховують радіус зони зминання, діаметр свердловини, щільність та швидкість детонації ВР, межу міцності руди на стискання, її тріщинуватість та ущільнення під дією гірського тиску та вибуху, що дозволило обґрунтувати параметри БПР для відбивання масиву за зоною інтенсивного подрібнення.

6. Набула подальшого розвитку аналітична модель зони зминання зі встановленням степеневі залежності показників ЛНО, що враховують її радіус, діаметр свердловини, щільність та швидкість детонації ВР, межу міцності руди на стискання, її тріщинуватість, ущільнення під дією гірського тиску та вибуху і розміру кондиційного куска руди;

7. Подальший розвиток отримала параметризація закономірностей зміни швидкості детонації наливної ЕВР Україніт-ПП-2 в залежності від її густини та діаметру зарядної порожнини, що дозволило визначати коефіцієнт працездатності для ПВР, який комплексно враховує теплоту й об'єм продуктів вибуху, їхню густину (щільність) та швидкість детонації.

8. Удосконалено відому степеневу залежність визначення ЛНО свердловин для відбивання масиву через уточнення коефіцієнту відносної працездатності ПВР, що враховує ступінь реалізації швидкості детонації ВР.

3. Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці:

- методики розрахунку густини наливних ЕВР за довжиною заряду під дією гідростатичного тиску при різних кутах нахилу висхідних і низхідних свердловин і створено програму-калькулятор «Густина та швидкість детонації», яка дозволяє розрахувати густину та швидкість детонації вздовж колонки заряду для наливної ЕВР Україніт-ІПІ-2;
- методики розрахунку коефіцієнту відносної працездатності ПВР за ступенем реалізації швидкості детонації;
- нової методики розрахунку параметрів БПР при проведенні виробок, в основу якої закладено принцип розміщення груп шпурів за площами, розташування шпурів – за відбійними контурами, а ЛНО шпурів – за радіусом зони інтенсивного подрібнення;
- комп'ютерної програми побудови паспорту БПР «Україніт – проходка», яка повністю автоматизує процес розрахунку, побудови та формування паспорту при проведенні виробок прямокутно-склепінчастої, аркової та прямокутної форм;
- методик розрахунку параметрів розташування свердловин за радіусом зони інтенсивного подрібнення та розміру кондиційного куска руди;
- рекомендацій щодо раціональних місць розташування П-Б і розроблено конструкції зарядів ЕВР для висхідних і низхідних свердловин за зміною густини та швидкості детонації вздовж заряду наливної ЕВР з використанням прямого, зворотного, прямого з дублюванням та зустрічного ініціювання.
- технологічних схем відбивання руди за допомогою низхідних віял свердловин із застосуванням ЕВР для покладів руди потужністю понад 5 м;
- комп'ютерної програми побудови проекту на підсікання запасів у блоці «Україніт – підсічка», що автоматизує процес розрахунку, побудови та формування воронки або траншей.

Також удосконалено галузеву методику розрахунку параметрів БПР для відбивання масиву шляхом уточнення коефіцієнту працездатності ПВР із врахуванням ступеня реалізації швидкості детонації.

Використання одержаних результатів.

Результати досліджень були використані та багатьох промислових підприємствах України в період з 2012 по 2021 рр. Також результати досліджень використано у навчальному процесі шляхом видання 3-х довідників і 2-х навчальних посібників, 2-х підручників, а також 9-ти матеріалів методичного забезпечення.

4. Аналіз змісту дисертаційної роботи

У першому розділі проведено аналіз стану проблеми підземного видобування руд буропідривним способом і проблематику використання ЕВР при підземному видобуванні руд, систематизовано методики розрахунку параметрів БПР при проведенні гірничих виробок та відбиванні руд і гіпотези механізму руйнування гірських порід вибухом та узагальнено теорії визначення зон руйнування масиву навколо зарядної порожнини. Сформульована мета роботи і задачі досліджень.

У другому розділі виконано дослідження зон зминання та подрібнення навколо зарядної порожнини. Виконано математичне моделювання та розроблено аналітичні моделі радіусів зон зминання, інтенсивного подрібнення та тріщиноутворення, які утворюються навколо зарядної порожнини у монолітному та тріщинуватому масивах гірських порід при його вибуховому навантаженні з урахуванням діаметрів зарядної порожнини та заряду ВР, детонаційних характеристик ВР, міцності порід на розтягання-стискання і їх ущільнення під дією гір-

ського тиску та вибуху. Чисельним моделюванням руйнування моделі навколо зарядної порожнини встановлено степеневі залежності зміни радіусів зон зминання та подрібнення масиву моделі в залежності від діаметру зарядної порожнини, тиску продуктів вибуху і межі міцності порід на розтягання-стискання.

У третьому розділі досліджено детонаційні характеристики промислових вибухових речовин і визначено їх працездатність. Розроблено нову методику розрахунку коефіцієнту працездатності для різних ПВР за ступенем реалізації швидкості детонації.

В четвертому розділі виконано обґрунтування параметрів буропідричних робіт при проведенні підготовчо-нарізних виробок. Розроблено нову методику розрахунку параметрів БПР при проведенні горизонтальних і похилих гірничих виробок. За радіусами зон зминання та інтенсивного подрібнення масиву порід навколо зарядної порожнини розроблено нові методику розрахунку параметрів БПР для проведення підняткових виробок методами шпурових і свердловинних зарядів. У ліцензійному середовищі «Delphi» було розроблено комп'ютерну програму побудови паспорту БПР «Україніт – проходка», яка повністю автоматизує процес розрахунку, побудови та формування паспорту БПР при проведенні горизонтальних і похилих гірничих виробок прямокутно-склепінчастої, аркової та прямокутної форм.

У п'ятому розділі виконано обґрунтування буропідричних робіт при відбиванні руди. Розроблено методику розрахунку параметрів буропідричних робіт за параметрами зони інтенсивного подрібнення та методику розрахунку параметрів буропідричних робіт за кондиційним куском руди. Для вирішення проблеми, що пов'язана з автоматизацією проектування підсікання руди у блоці за допомогою ліцензійного середовища «JavaFX» було розроблено комп'ютерну програму побудови проекту на підсікання блоку «Україніт – підсічка».

У шостому розділі приведена економіко-екологічна ефективність використання емульсійних вибухових речовин при підземному видобуванні руди.

5. Зауваження щодо змісту дисертації та її оформлення

1. Що автор має на увазі під терміном «показники гірського масиву» при формулюванні мети роботи? Слід відмітити, що мета роботи занадто багатослівна.

2. Нажаль, в роботі недостатньо відображений зв'язок параметрів підземної інфраструктури при видобуванні залізної руди з отриманими автором параметрами буропідричних робіт.

3. Наскільки правомірно розглядати радіальні і тангенціальні напруження, якщо у зоні зминання порода тече в ударній хвилі? (с. 109)

4. У роботі не обґрунтовано застосування рівняння задачі Ламе при визначенні головних напружень в зоні інтенсивного подрібнення породи. (с. 113).

5. Викликає сумнів твердження автора про збільшення густини скальної породи на 50 кг/м³ на кожні 500 м глибини (розрахунок за формулою Тета показує, що на перші 500 м густина граніту зростає на 0,36 кг/м³). (с. 118).

6. При внутрішньому діаметрі пластикової труби 30 мм або 40 мм бічна хвиля розрідження зменшує швидкість детонації і приведені значення швидкостей викликають сумніви. (с. 182).

7. Швидкість детонації ЕВР Україніту 5000-5600 м/с при густині 1000-1350 кг/м³ (табл. 3.1) зavelика, так як у Гелекса-650 з густиною 1400 кг/м³ швидкість детонації не перевищує 5000 м/с.

8. У формулі 2.13 замість показника степені 3 слід вживати показник 6.

Висновок

1. Структурне побудування дисертації, стиль викладення та подача матеріалу досліджень логічні, послідовні та пов'язані єдиною цільовою спрямованістю.
2. Структура та склад автореферату повністю відповідає рукопису дисертаційної роботи.
3. Автореферат і публікації повністю розкривають основні положення дисертаційної роботи. Матеріали кандидатської дисертації в роботі не використовувались.
4. Дисертація Кононенко М. М. відповідає паспорту спеціальності 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка» та паспорту спеціальності 05.15.04 – «Шахтне та підземне будівництво». Спрямованість дисертаційної роботи характеризується як технічна.
5. Дисертація Кононенко М. М. є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна та важлива проблема з геомеханічного обґрунтування параметрів підземної інфраструктури при видобуванні залізних руд із застосуванням емульсійних вибухових речовин на основі встановлених закономірностей формування зон зминання, інтенсивного подрібнення та тріщиноутворення навколо зарядної порожнини, що утворюються в масиві порід під дією вибуху, а також встановлення закономірностей зміни густини та швидкості детонації емульсійних вибухових речовин за довжиною сформованої колонки заряду при різних кутах нахилу свердловин, на основі яких було розроблено ряд методик та комп'ютерних програм, використання яких при розрахунку параметрів буропідривних робіт для проведення гірничих виробок дозволяє знизити собівартість проходки 1 м3 виробки до 18%, а для відбивання 1 м3 руди – до 50%. Екологічною оцінкою встановлено зменшення індексу небезпеки до 36% при застосуванні емульсійних вибухових речовин типу «Україніт» у порівнянні з використанням тротиловмісних вибухових речовин, що знизило техногенне навантаження на атмосферне повітря.
6. Дисертація відповідає пп. 7 та 9 «Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» Кабінету міністрів України від 17.11.2021 року № 1197, а її автор Кононенко Максим Миколайович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальностями 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка» та 05.15.04 – «Шахтне та підземне будівництво».

Офіційний опонент


Провідний науковий співробітник
відділу механіки гірських порід
Інституту геотехнічної механіки
ім. М. С. Полякова НАН України
доктор технічних наук

 Паламарчук Т. А.

Підпис Паламарчук Т. А. завіряю:

Вчений секретар
Інституту геотехнічної
механіки ім. М. С. Полякова
НАН України
доктор технічних наук, професор

Шевченко В. Г.


Відділ секретаря
В.О. Виноградова секретар



В.В. Зарученко