

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кононенка Максима Миколайовича на тему: «Геомеханічне обґрунтування параметрів підземної інфраструктури при видобуванні залізної руди із застосуванням емульсійних вибухових речовин», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальностями: 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка» та 05.15.04 – «Шахтне та підземне будівництво»

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

Спорудження систем гірничих виробок при підземній розробці залізних руд в Україні в повному обсязі реалізується буропідривними роботами із застосуванням вибухових речовин, з яких на сьогодні 58% – це емульсійні. Впровадження емульсійних вибухових речовин, що було розпочате в 2009 році, розкрило недосконалість існуючих методик визначення параметрів буропідривних робіт. Методики, що офіційно діють у галузі з 1980-х років, не враховують фізико-хімічні особливості та детонаційні характеристики емульсійних вибухових речовин, тріщинуватість порід та їх ущільнення під дією гірського тиску та вибуху. Це призводить до використання некоректних параметрів буропідривних робіт із зниженням ефективності спорудження виробок.

Під терміном підземна інфраструктура шахти (рудника) розуміють системну мережу підземних гірничих виробок, до якої відносяться всі розкривні, підготовчі, нарізні та очисні виробки з розташованими в них обладнанням та комунікаціями, що забезпечують доступ до корисної копалини та її видобування. Вдосконалення способів буропідривного способу спорудження виробок автор реалізує, використовуючи саме цей підхід. Науковцями з багатьох країн світу досліджено механізм руйнування порід вибухом та запропоновано значну кількість методик розрахунку параметрів буропідривних робіт для проведення виробок і відбивання масиву. Однак, більшість з цих методик має емпіричну основу, яка ґрунтується на використанні поправних коефіцієнтів, а меншість – аналітичну, що базується на визначенні зон руйнування масиву.

Всі означені методики не розглядають зону інтенсивного подрібнення, радіус якої є вирішальним при визначенні суттєвої характеристики – лінії найменшого опору. Тому, при визначенні розмірів зон, що утворюються навколо заряду під дією вибуху, необхідне врахування окрім діаметру зарядної порожнини, детонаційних характеристик вибухових речовин та міцності порід, ще їх тріщинуватість, ущільнення під дією гірського тиску та вибуху і діаметр самого заряду ВР. Не врахування цих показників при визначенні лінії найменшого опору для шпурів і свердловин збільшує витрати на проведення виробок до 18%, а на відбивання масиву до 50%. Окрім того, для зберігання рівномірної швидкості детонації у наливних емульсійних вибухових речовин, потрібне врахування зміни густини за довжиною заряду та її контроль відносно критичної величини.

Отже необхідність геомеханічного обґрунтування параметрів, що суттєво підвищують ефективність створення підземної інфраструктури при видобуванні руд із застосуванням емульсійних вибухових речовин, шляхом параметризації зон зминання, інтенсивного подрібнення та тріщиноутворення у масиві порід є актуальною науково-технічною проблемою.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується її відповідністю до Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року, що затверджена Законом України № 3268-VI від 21.04.2011, та координаційними планами Міністерства освіти і науки України за фундаментальним напрямком «Гірничі науки» на 2000 – 2020 рр. з планами 3-х держбюджетних дослідних робіт, що виконувалися у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, їх достовірність і новизна.

Метою дисертаційної роботи є геомеханічне обґрунтування параметрів підземної інфраструктури при видобуванні залізної руди із застосуванням емульсійних вибухових речовин на підставі встановлених закономірностей параметрів зон руйнування масиву навколо зарядної порожнини у залежності від властивостей вибухових речовин, динаміки вибуху та зміни показників гірського масиву у просторі.

Поставлена мета досягається шляхом вирішення наступних завдань дослідження:

1. Виявити з використанням математичного моделювання закономірності утворення зон зминання, інтенсивного подрібнення та тріщиноутворення, що формуються в масиві порід навколо зарядної порожнини під дією енергії вибуху емульсійних вибухових речовин.

2. Виконати скінченно-елементний аналіз руйнування масиву гірських порід навколо зарядної порожнини та встановити закономірності зміни радіусів зон зминання та подрібнення в залежності від фізико-механічних властивостей породного масиву і тиску продуктів вибуху.

3. Змоделювати за допомогою скінченно-елементного методу параметри воронки викиду та виявити особливості зміни лінії найменшого опору в залежності від діаметру зарядної порожнини, тиску продуктів вибуху і міцнісних характеристик породного масиву.

4. Дослідити зміну густини емульсійних вибухових речовин за довжиною заряду спираючись на закони гідростатики та газової динаміки й встановити експериментальні закономірності зміни швидкості детонації емульсійної вибухової речовини у залежності від її густини та діаметру зарядної порожнини, а також визначити працездатність промислових вибухових речовин.

5. Обґрунтувати доцільні параметри буропідривних робіт при проведенні підготовчо-нарізних виробок за працездатністю вибухових речовин, радіусами зон зминання та інтенсивного подрібнення гірських порід.

6. Обґрунтувати технологічні параметри буропідривних робіт при відбиванні масиву за працездатністю вибухових речовин, радіусом зони інтенсивного подрібнення та кондиційного куска руди.

7. Визначити економічну ефективність видобування руд із використанням розроблених методик розрахунку параметрів буропідричних робіт і провести екологічну оцінку стану атмосферного повітря при використанні емульсійних вибухових речовин.

Достовірність отриманих результатів і висновків.

Достовірність отриманих результатів і висновків підтверджується застосуванням апробованих методів дослідження, задовільним співпаданням результатів 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 емульсійної вибухової речовини (95%); апробацією розроблених методик на реальних об'єктах.

Наукове значення роботи.

Наукове значення роботи полягає у встановлених нових закономірностях формування радіусів зон руйнування масиву навколо зарядної порожнини залежно від густини і швидкості детонації емульсійних вибухових речовин, міцності порід, їх тріщинуватості та ущільнення під дією гірського тиску та вибуху, що дозволило обґрунтувати параметри підземної інфраструктури при видобуванні залізної руди.

Практичне значення роботи.

1. Розроблено методику розрахунку густини наливних емульсійних вибухових речовин 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 емульсійної вибухової речовини Україніт-ПП-2.

2. Запропоновано методику розрахунку коефіцієнту відносної працездатності промислових вибухових речовин за ступенем реалізації швидкості детонації.

3. Запропоновано нову методику розрахунку параметрів буропідричних робіт при проведенні виробок, в основу якої закладено принцип розміщення груп шпурів за площами, розташування шпурів – за відбійними контурами, а лінія найменшого опору шпурів – за радіусом зони інтенсивного подрібнення.

4. Розроблено комп'ютерну програму побудови паспорту буропідричних робіт «Україніт – проходка», яка повністю автоматизує процес розрахунку, побудови та формування паспорту при проведенні виробок прямокутно-склепінчастої, аркової та прямокутної форм.

5. Удосконалено галузеву методику розрахунку параметрів буропідричних робіт для відбивання масиву шляхом уточнення коефіцієнту працездатності промислових вибухових речовин із врахуванням ступеня реалізації швидкості детонації.

6. Розроблено методики розрахунку параметрів розташування свердловин за радіусом зони інтенсивного подрібнення та розміру кондиційного куска руди.

7. Визначено раціональні місця розташування патронів-бойовиків і розроблено конструкції зарядів ЕВР для висхідних і низхідних свердловин за

зміною густини та швидкості детонації вздовж заряду наливної емульсійної вибухової речовини з використанням прямого, зворотного, прямого з дублюванням та зустрічного ініціювання.

8. Розроблено технологічні схеми відбивання руди за допомогою низхідних віял свердловин із застосуванням емульсійних вибухових речовин для покладів руди потужністю понад 5 м.

9. Розроблено комп'ютерну програму побудови проекту на підсікання запасів у блоці «Україніт – підсічка», що автоматизує процес розрахунку, побудови та формування воронки або траншей.

10. Здійснено використання результатів дослідження у навчальному процесі шляхом видання 3-х довідників і 2-х навчальних посібників, 2-х підручників, а також 9-ти матеріалів методичного забезпечення.

Впровадження результатів досліджень:

1. Спосіб розробки запасів на рудниках «Гурванбулаг» і «Дорнод» використано у ДУЕК «Мон-Атом» (Улан-Батор, рекомендації від 10.09.2013 і 25.10.2013, відповідно).

2. Спосіб збереження стійкості нарізних виробок при поверхово-камерних системах розробки впроваджено на шахтах АТ «КЗРК» (Кривий Ріг, рекомендації від 14.10.2012).

3. Обґрунтування параметрів буропідричних робіт при відбиванні руди здійснено для умов шахт ПрАТ «Суша Балка» (Кривий Ріг, рекомендації від 10.03.2020).

4. Розроблений програмний продукт «Густина та швидкість детонації» з розрахунку густини та швидкості детонації за довжиною колонки заряду при заряджанні свердловин з різним кутом нахилу наливною емульсійною вибуховою речовиною Україніт-ПП-2 використано у ТОВ «ЕККОМ» (Дніпро, акт впровадження від 16.11.2020).

5. Контроль густини наливної емульсійної вибухової речовини Україніт-ПП-2Б за довжиною заряду при заряджанні висхідних і низхідних свердловин прийнятий у ТОВ «ЕККОМ», (Дніпро, рекомендації від 25.05.2021).

6. Параметри буропідричних робіт при проведенні підготовчих і нарізних виробок прийняті для умов шахт ПрАТ «ЗЗРК» (Дніпрорудне, рекомендації від 26.05.2021).

7. Конструкції зарядів емульсійної вибухової речовини Україніт-ПП-2Б при заряджанні висхідних і низхідних свердловин впроваджено у ТОВ «ІСТ-ФОРТ», (Харків, рекомендації від 01.07.2021).

8. Наливна емульсійна вибухова речовина Україніт-ПП-2 при видобуванні руд використана на шахтах ПрАТ «Суша Балка» (Харків, акт впровадження від 30.12.2021).

9. Навчальні програми підготовки бакалаврів і магістрів з дисциплін «Особливості підземної розробки рудних родовищ», «Гірничі машини для підземної розробки рудних родовищ», «Вибухові роботи», «Процеси підземної розробки рудних родовищ», «Технологія підземної розробки рудних родовищ», «Проектування рудних шахт» та «Цифрові технології при руйнуванні

геоматеріалів вибухом» впроваджені у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» (Дніпро, 2010 – 2022 рр.).

3. Повнота викладення результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях.

За результатами досліджень 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.

Оцінка змісту роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 6-ти розділів, висновків; містить 79 рисунків, 55 таблиць, список використаних джерел з 275 найменувань на 25-ти сторінках і 2 додатки на 15-ти сторінках. Загальний обсяг роботи 365 сторінок.

Стиль викладання матеріалу в дисертаційній роботі чіткий, технічно грамотний та зрозумілий. Усі розділи мають логічно завершений зміст, містять достатню кількість ілюстрацій і завершуються ґрунтовними висновками. У розділах достатньо повно наведені дані аналітичних досліджень та чисельного моделювання радіусів зон руйнування масиву порід навколо зарядної порожнини під дією вибуху; результати натурних експериментів з вимірювання швидкості детонації емульсійної вибухової речовини, а також апробації розроблених методик розрахунку параметрів буропідливних робіт в реальних умовах.

За звітом подібності щодо перевірки на плагіат, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Кононенка Максима Миколайовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідні джерела. Дисертація характеризується єдністю змісту та відповідає вимогам щодо її оформлення. Вищенаведене підтверджує цілісну та логічну будову дисертаційної роботи та свідчить про її завершеність.

Ідентичність змісту реферату й основних положень дисертації.

Зміст реферату цілком відповідає змісту дисертаційної роботи. У рефераті достатньо повно відображено зміст вступу, 6-ти розділів дисертації та висновків. Усі опубліковані здобувачем роботи за темою дисертації представлені у списку літератури та внесені до реферату.

4. Основні зауваження до дисертації та реферату:

1. У формулах розрахунку радіусів зони інтенсивного подрібнення та зони тріщиноутворення (формули 2.42 і 2.43, с. 120 дисертації) відмінність полягає лише в межах міцності зразків порід на стискання та зсув. Проте введені в дані формули коефіцієнти структурного ослаблення масиву та ущільнення порід під дією гравітаційних сил стосуються породного масиву, а не породних зразків. Те саме структурне ослаблення масиву вплине на межі міцності порід на стискання та зсув різним чином. Виходячи з цього, бажано було б врахувати масштабний ефект шляхом застосування в формулах міцнісних показників у масиві, а не в породних зразках.

2. У розділі 2.2 дисертації вказується, що руйнування масиву під дією вибуху відбувається за допомогою хвиль напружень та тиску продуктів вибуху. Але враховуючи той факт, що при руйнуванні слабких порід більшу роль відіграє тиск продуктів вибуху, а міцних і монолітних – хвилі напружень, варто було б зазначити діапазон умов у межах яких отримані формули радіусів зон руйнування масиву будуть працювати.

3. З першого наукового положення не зовсім зрозуміло як встановлено точність оцінки параметрів руйнування гірського масиву до 48%. Доцільно було б вказати, як зазначені відсотки було отримано та які результати порівнювалися. Крім того, точність слід було подати певним діапазоном, а не конкретним значенням.

4. Оскільки поняття підземної інфраструктури не тотожне поняттю гірничих виробок, а передбачає комплексний, системний підхід до їх розгляду, доцільно було б у розділі 4 більш чітко й структуровано розкрити вплив отриманих параметрів БПР на розвиток підземної інфраструктури рудника: швидкість та пріоритетність спорудження виробок, переваги тих чи інших форм та площ перерізу, систем кріплення, взаємодії з гірським масивом тощо. Певні складові зазначених впливів отримані автором в роботі, але не охоплені окремим науковим висновком.

5. Зустрічаються нечисленні вади оформлення роботи. Так результати дослідження математичних моделей радіусів зон зминання, інтенсивного подрібнення та тріщиноутворення, що подано у таблицях 2.3 (стор. 124), 2.4 (стор. 126) і 2.5 (стор. 128), доцільно було б винести у додатки, тому що є графіки, які побудовані на основі означених табличних даних. Для наведеної в підрозділ 6.1 загальновідомої методики визначення економічної ефективності при проведенні гірничих виробок достатньо було б надати лише посилання, а не розкривати в розділі. У тексті містяться окремі дефініції (зокрема визначення буропідричних робіт, підземної інфраструктури тощо), які відомі фахівцям і не потребують включення в текст дослідження.

Перераховані вище зауваження не є критичними і не ставлять під сумнів наукові та практичні результати роботи. Більшість із зауважень вказує на можливі напрями продовження досліджень щодо параметрів підземної інфраструктури при видобуванні руди із застосуванням емульсійних вибухових речовин.

Висновки щодо дисертації та автореферату.

1. Дисертаційна робота Кононенка Максима Миколайовича є завершеним науковим дослідженням, у якому вирішена актуальна науково-практична 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 встановлених закономірностей зміни густини та швидкості детонації емульсійних вибухових речовин за довжиною сформованої колонки заряду при різних кутах нахилу свердловин, що дозволило розробити методики розрахунку параметрів буропідричних робіт при проведенні

гірничих виробок і відбиванні масиву, а також розрахунку працездатності промислових вибухових речовин за ступенем реалізації швидкості детонації.

2. Дисертація має наукову новизну та практичну цінність. Результати роботи достатньою мірою обґрунтовані, їх вірогідність доведена, вони будуть корисними при вирішенні задач з проектування параметрів буропідричних робіт як при проведенні гірничих виробок, так і для відбивання масиву при створенні підземної інфраструктури із застосуванням емульсійних вибухових речовин.

3. Робота відповідає вимогам, що висуваються до докторських дисертацій та за своїм науковим рівнем, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам пп. 7 та 9 «Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197, та паспортам спеціальностей 05.15.09 – геотехнічна і гірнична механіка та 05.15.04 – шахтне та підземне будівництво.

4. Автореферат відповідає структурі та змісту дисертації. Найбільш вагомі результати дисертації належним чином опубліковані в спеціалізованих наукових виданнях та ґрунтовно були представлені на зарубіжних і вітчизняних наукових конференціях протягом останніх 10-ти років.

5. За встановлення закономірностей утворення зон зминання, інтенсивного подрібнення та тріщиноутворення, що формуються в масиві порід при підриванні зарядів емульсійних вибухових речовин (зокрема, Україніту-ПП-2Б), а також виявлення закономірностей зміни густини та швидкості детонації емульсійних вибухових речовин за довжиною сформованої колонки заряду при різних кутах нахилу свердловин, що є основою запропонованих методик визначення параметрів буропідричних робіт при проведенні гірничих виробок і відбиванні масиву для створення підземної інфраструктури Кононенко Максим Миколайович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальностями 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка» та 05.15.04 – «Шахтне та підземне будівництво».

Офіційний опонент: професор
кафедри геоінженерії
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»,
доктор технічних наук,
професор

Геннадій ГАЙКО

Підпис проф. Г. І. Гайка завіряю:



Відбуло отримано
01.11.2022

В.О. Виноградова секретарка *Володимир Леонідович Загребний*