

ВІДГУК

офіційного опонента Фролова Олександра Олександровича
на дисертаційну роботу
Закусила Романа Васильовича
на тему: **«Наукові основи впровадження низькошвидкісних процесів
детонації на відкритих гірничих роботах»,**
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за
спеціальністю 05.15.03 – Відкрита розробка родовищ корисних копалин

Актуальність теми дисертації.

Розвиток новітніх вибухових технологій орієнтується на комплексний підхід щодо вирішення питання підвищення ефективності дії вибуху. Аналіз стану світової і вітчизняної науки у сфері прикладних аспектів вибухової справи показує, що вдосконалення у цьому напрямку можливе за рахунок регулювання швидкості детонації ініціюючих пристроїв та промислових вибухових речовин на всіх етапах поширення вибуху, тобто від ініціювання системи промислових зарядів вибухових речовин (ВР) до подрібнення скельних гірських порід.

Серед можливих перспективних напрямків у вдосконаленні засобів і способів виконання масових вибухів на кар'єрах є покращення існуючих вітчизняних вибухових технологій, які повинні ґрунтуватися на економічній доцільності, умовах безпеки обслуговуючого персоналу у поводженні з вибуховими матеріалами, а також на зростаючих вимогах щодо охорони довкілля.

Зважаючи на певне відставання вітчизняної вибухової справи в частині розвитку засобів ініціювання промислових зарядів, актуальним є питання створення наукової теоретичної основи, на підставі якої можна розробити певні конструктивні рішення для виготовлення сучасного вітчизняного аналога неелектричної системи ініціювання. Слід відзначити, що в Україні майже відсутні відомості щодо теоретичних аспектів неелектричної низькошвидкісної детонуючої системи, зокрема, опису особливостей фізичних процесів і явищ при детонації хвилеводу з високим рівнем експлуатаційної безпеки та розкриття специфіки технології виготовлення хвилеводу.

В загальному комплексі науково-дослідницьких робіт у сфері вдосконалення вибухових технологій значна увага завжди приділялася створенню кінцевого об'єкта детонаційного процесу масових вибухів, а саме – розробці нових ВР. З огляду щодо сучасних тенденцій, це стосується виготовлення емульсійних вибухових речовин (ЕВР) місцевого приготування. Основними завданнями при цьому є досягнення регульованої щільності та швидкості детонації при високій фізичній стабільності, підвищення вибухової здатності і безпеки у застосуванні, а також забезпечення низької токсичності газів вибуху, що в умовах потужних масових вибухів має сприяти покращенню екологічного стану навколишнього середовища.

Також одним з важливих напрямків розвитку вибухових технологій є удосконалення способу ошадливого відділення блочного каменю від масиву за рахунок створення більш безпечного та ефективного патронованого заряду ВР на основі доступних невибухових матеріалів.

Зважаючи на перспективність наведених вище напрямків досліджень, спрямованих на підвищення ефективності вибухових технологій в умовах відкритих гірничих робіт, практична реалізація технологічних переваг низькошвидкісних детонаційних процесів є безумовно важливою і свідчить про актуальність і значимість заявленої в роботі наукової проблеми.

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

Робота виконана в рамках держбюджетної теми Шосткинського інституту СумДУ № 0117U003110 «Розробка низькошвидкісних вибухових засобів та їх застосування при відкритих гірничих роботах», науково-дослідної теми № 117.09.06.17/2017/у/ТХО/486 «Вибір і обґрунтування оптимального варіанту використання наливних і патронованих емульсійних вибухових матеріалів в умовах кар'єру ПАТ «Південний ГЗК», міжнародної грантової науково-дослідної теми № 80.11-2020.01 «Науково-технічний супровід робіт та розробка директивно-проектної документації для створення хімічного виробництва на ділянці ТОВ «D M Servis» (республіка Азербайджан), науково-дослідної теми № 80.11-2023.СП/02 «Розробка Директивного технологічного процесу виробництва по збиранню системи ініціювання неелектричної «Хвиля» на ділянці ПрАТ "Інтервибухпром" та розробка проекту Технічних умов «Система ініціювання неелектрична "Хвиля"», науково-дослідної теми №117.05.10.12 "Розробка директивного технологічного процесу (ДТП) отримання модифікованого анозиту потужністю до 1000 т/рік із заданими характеристиками", науково-дослідної теми № 117.05.11.12 "Розробка способу отримання кристалічного анозиту із

заданими характеристиками", науково-дослідної теми №117.05.12.12 "Розробка, виготовлення та поставка обладнання дослідної установки кристалізації для отримання модифікованого анозиту із заданими характеристиками", науково-дослідної теми № 80.11-2024.СП/09 «Розробка технологічного регламенту на виробництво для ТОВ «ТЕХНОСТАРТ УА», науково-дослідної теми № 80.11-2024.СП/10 «Розробка технічних умов на продукт для ТОВ «ТЕХНОСТАРТ УА» в яких автор дисертації був науковим керівником або виконавцем за окремими розділами робіт.

Структура, зміст та оформлення дисертації.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 7-ми розділів та загальних висновків, викладених на 347 сторінках тексту. Вона містить 18 таблиць, 88 рисунків, 19 додатків, список використаних джерел з 272 найменувань.

Стиль викладення матеріалу та оформлення дисертаційної роботи зауважень не викликають.

Основні наукові результати та їх новизна.

Наукову новизну отриманих результатів представлено науковими положеннями, серед яких найбільш важливими є:

- вперше теоретично обґрунтовано механізм дії специфічних хвильових ефектів в трубчастому детонуючому хвилеводі з нанесеним на внутрішню поверхню трубки шаром ВР докритичної маси, а саме, досліджено умови струшування напиленої ВР зі стійким детонаційним розкладом пилоповітряної вибухової суміші та дотриманням безпечного режиму пружного деформування оболонки хвилеводу;
- вперше встановлено механізм та умови безкапсульної передачі детонації пилоповітряної вибухової суміші в трубчастому хвилеводі та в комутаційних вузлах системи ініціювання;
- вперше досліджено детонаційні властивості принципово нових низькошвидкісних вибухових композицій на основі доступних невибухових матеріалів: нітрометану, емульсії водного розчину аміачної і натрієвої селітр в нафтопродукті, перекису водню і гліцерину з сенсibilізаторами та стабілізуючими домішками, придатних для виготовлення проміжних детонаторів на місці ведення вибухових робіт;
- обґрунтовано ефективний склад вибухової суміші для спорядження патронуваного заряду для ощадливого і безпечного відбивання блочного каменю із застосуванням гетерогенних малочутливих низькошвидкісних вибухових сумішей місцевого приготування на основі невибухових матеріалів.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджуються методичною правильністю застосування апробованих методів досліджень, що реалізуються за допомогою використання теоретичних положень фізики вибуху, лабораторних досліджень та експериментальних дослідів; аналізу та узагальнення сучасних уявлень про механізм вибухового руйнування гірських порід; застосуванням методів математичної фізики, математичного і фізичного моделювання; використанням сучасних методів і способів реєстрації швидкоплинних процесів, сучасної дослідницької апаратури для вивчення термодинамічних характеристик низькошвидкісних детонуючих сумішевих композицій; задовільною збіжністю математичних моделей з експериментальними даними та результатами полігонних досліджень; практичною реалізацією розробок з актами впровадження розроблених методичних положень від українських та закордонних організацій.

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає у наступному:

- обґрунтовано раціональні технологічні параметри вітчизняної низькошвидкісної системи ініціювання, відпрацьовано процес застосування її елементів;
- розроблено технологію виготовлення вітчизняної неелектричної системи ініціювання «Хвиля»;
- запропоновані нові технологічні рішення щодо застосування трубчастого безкапсульного комутаційного блоку (розгалужувача) для формування вибухової мережі розосереджених свердловинних зарядів на масових вибухах;
- розроблено ефективні за складом і формою низькошвидкісні проміжні детонатори на основі вибухових низькошвидкісних композицій місцевого приготування з використанням нітрометану, перекису водню, гліцерину і перхлоратів;
- розроблено емульсійну вибухову речовину «Азнітро» для складних геологічних умов застосування;
- обґрунтовано застосування окремих елементів неелектричної системи ініціювання в якості засобу формування інтервалів сповільнень на мікро- і мілісекундних рівнях при короткочасному підриванні системи свердловинних зарядів ВР та управління сейсмічним ефектом масового вибуху.

Публікації і апробація результатів дисертації.

За темою дисертації опубліковано 91 наукову працю: 56 фахових статей (з них 16 у виданнях, індексованих наукометричними базами Scopus/WoS, 22 у іноземних виданнях), 17 патентів на винахід, 14 тез доповідей (6 іноземних), 4 монографії (3 іноземні, 1 індексована наукометричними базами Scopus/WoS).

Відповідність змісту автореферату і дисертаційної роботи та висвітлення результатів роботи в наукових виданнях

Автореферат повністю відображає структуру дисертаційної роботи та відповідає за змістом основним її положенням і висновкам.

Оформлення автореферату виконано відповідно до існуючих вимог. Висновки, наведені у дисертаційній роботі та в авторефераті, ідентичні.

Кількість, склад та зміст наукових публікацій повністю відповідає вимогам пункту 8 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» від 17 листопада 2021 р. № 1197 і висвітлює результати наукових досліджень дисертаційної роботи.

Оцінка змісту дисертації.

Текст дисертації викладено, відповідно до зазначеного змісту, послідовно, логічно, мова викладення наукового матеріалу роботи зрозуміла, без складнощів і зайвих складних оборотів. Роботу супроводжено достатньою кількістю ілюстративного матеріалу, включаючи рисунки і таблиці, підсилено додатками, що разом сприяє однозначному розумінню викладених результатів досліджень.

Стилістично мова в тексті викладеного матеріалу дисертації відповідає вимогам до дисертаційних робіт.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. При аналізі електричного ініціювання слід було б відзначити ненадійність електричних з'єднань у свердловинах, особливо під час зовнішніх навантажень (п.1.2).

2. Спосіб управління вибуховим імпульсом полягає у регулюванні часу дії на породний масив, а не лише його збільшення (п.1.4, стор. 58).

3. Мабуть некоректно описувати рівняння руху циліндричної оболонки для осесиметричного випадку таким чином «... у вигляді (15) з [82, 83]. Використовуючи вираз (16) в [82], виключимо з рівнянь (15)...». Все ж таки треба наводити безпосередньо рівняння.

4. Бажано було б навести більш повну інформацію про результати дослідів та подати їх, наприклад, у вигляді таблиць (п.3.2, стор. 88-93).

5. Бажано було б навести докази ефективності окатуваних часток октогену при налипанні і струшуванні (п.3.3, стор. 99).

6. Яким чином вирішується питання герметичності та міцності з'єднання хвилеводу та безкапсульного комутатора, який можливо опускати в свердловину? (п. 3.6.). В цьому ж пункті треба було б надати результати дослідів по передачі детонації для 5 сполучень хвилеводів.

7. Як пояснити, що при додаванні скляних мікросфер з типовою щільністю $0,15 \text{ г/см}^3$ «суміші, що містять скляні мікросфери, мають помітно вищу щільність, ніж зразки без них» (п.4.2, стор. 138).

8. Потрібно було б представити ізолінії щільності продуктів вибуху кінчного заряду при його ініціюванні з вузької та широкої основи, а також надати роз'яснення щодо переважаючого напрямку орієнтації вершини кінчного заряду в нижній частині свердловини (п.4.5, стор. 160).

9. На стор. 164 зазначено, що знижувати кут конусності нижче 30° недоцільно, але ж в той же час надається у висновках до розділу 4 рекомендований діапазон конусності проміжних детонаторів від 15° до 45° .

10. У п.7.4 (стор.244-270) розглядається схема формування полів напружень для двох поруч розташованих зарядів, які підриваються одночасно. В той же час відомо, що, через відносно невисоку швидкість передачі детонації, хвилевід формує мікро- та мілісекундні сповільнення між зарядами і в такому разі загальне поле полів напружень буде дещо іншим.

11. Варто було б порівняти ефективність та витрати на застосування розробленої системи ініціювання «Хвиля» з іншими вітчизняними неелектричними системами, зокрема «Імпульс» та ПРИМА-ЕРА (п.7.6).

Загальні висновки по роботі

1. Дисертаційна робота Закусила Романа Васильовича “ Наукові основи впровадження низькошвидкісних процесів детонації на відкритих гірничих роботах” є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішено актуальну наукову проблему розробки сучасних засобів ведення вибухових робіт в низькошвидкісних режимах на основі гармонізації взаємодії фізичних і технологічних параметрів вітчизняних низькошвидкісних систем підривання місцевого приготування, стабільних за детонаційними властивостями, екологічно необтяжливих та безпечних у використанні в достатньо широкому спектрі практичних завдань гірничої інженерії.

2. Наукові положення, дослідження і результати дисертації безперечно мають наукову новизну, є достатньо обґрунтованими та достовірними.

3. За своїм змістом і загальним рівнем виконання, поданням теоретичного матеріалу, за результатами досліджень та формулюванням

основних висновків, дисертаційна робота Закусила Р.В. відповідає поставленій меті та завершується вирішенням сформульованих дисертантом задач.

4. Основні положення дисертації представлені у наукових публікаціях, які видано у достатній кількості у фахових виданнях та доповідалися на міжнародних конференціях.

5. Наведені зауваження роботи, не впливають на наукову та практичну значимість результатів дисертації. Поставлені в дисертації задачі досліджень слід вважати виконаними, а мета досягнута.

6. Дисертація «Наукові основи впровадження низькошвидкісних процесів детонації на відкритих гірничих роботах» повністю відповідає вимогам пунктів 7-9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197, а її автор, Закусило Роман Васильович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.03 – Відкрита розробка родовищ корисних копалин.

Офіційний опонент:
професор кафедри геоінженерії
Національного технічного
університету України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», доктор технічних
наук, доцент
21.05.2025 р.



Олександр ФРОЛОВ

Підпис Фролова О.О. засвідчую

учасний секретар
КМ/Ім. Чорна Олександрівна




Валерій Холевко