

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**Романченко Анжела Миколаївна**



УДК 662.235

**ОБҐРУНТУВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ І ДЕТОНАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ  
НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАРЯДІВ КАР'ЄРНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ**

05.15.03 – Відкрита розробка родовищ корисних копалин

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат технічних наук,  
**Закусило Роман Васильович**,  
Шосткинський інститут  
Сумського державного університету  
в.о. заступника директора з наукової роботи.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент  
**Фролов Олександр Олександрович**,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
ім. І.Сікорського»,  
професор кафедри геоінженерії

доктор технічних наук, професор  
**Соболевський Руслан Вадимович**,  
Житомирський державний технологічний  
університет,  
завідувач кафедри маркшейдерії

Захист відбудеться 28 лютого 2019 р. о 14<sup>00</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.22 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, корп. 22, ауд. 511.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «26» січня 2019 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



В.В. Вапнічна

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Високопродуктивні динамічні способи відділення блоків природного каменю від масиву традиційно передбачають застосування димного пороху, ниток детонуючого шнура (ДШ) та генератора тиску хімічного (ГТХ) «ЛІТОКОЛ». Однак димний порох має високу чутливість до тертя і вогню, його відрізняє висока гігроскопічність, що в умовах експлуатації призводить до відмов ініціювання, а більш надійний детонуючий шнур з високою швидкістю детонації (понад 6000 м/с) і відповідною бризантністю чинить занадто інтенсивний динамічний вплив на гірський масив, що призводить до порушень структури природного каменю і відповідно до значних технологічних втрат сировини.

До недоліків ГТХ «ЛІТОКОЛ» слід віднести високу швидкість розкладання суміші та утворення токсичних газів при горінні основного компонента газогенеруючої суміші.

Останніми десятиліттями в міжнародній практиці для «м'якого» відділення монолітів вибухом використовують метод К-труб, що містять спеціально розроблені та індустриально виготовлені заряди вибухових речовин (ВР) з низькою швидкістю детонації. Однак для їх сенсibilізації до складу вибухових сумішей вводяться високочутливі та небезпечні нітроефіри. Разом з тим через значну вартість цих виробів і необхідні заходи безпеки під час виробництва і транспортування готових виробів з'являється потреба розробки подібного, але більш безпечного вітчизняного аналога, що виготовляється на місці виконання гірничих робіт без застосування нітроефірів на основі доступних невибухових матеріалів.

В зв'язку з цим наукове обґрунтування ефективного складу безпечної вибухової суміші та способу приготування в умовах кар'єру вітчизняного аналога К-труб на основі невибухових безпечних компонентів для ощадливого видобування блокового каменю слід вважати **актуальною** науково-практичною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася в рамках науково-дослідної тематики Шосткинського інституту Сумського державного університету відповідно до програми держбюджетних науково-дослідних фундаментальних і прикладних робіт МОН України: «Низькоенергетичні заряди піротехнічного типу» (№ ДР 0115U001030).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування і розробка технології виготовлення зарядів низькоенергетичних гетерогенних систем кар'єрного приготування на основі перхлорату калію.

Для досягнення мети роботи поставлено наступні задачі:

- обґрунтування вибору компонентів низькоенергетичних гетерогенних систем на основі термодинамічних розрахунків можливих рецептур та кількісного і якісного аналізу складу газоподібних продуктів вибуху зарядів при використанні різних видів пального;

- визначення кінетичних закономірностей термічного розкладання перхлорату калію у відкритих системах та виявлення особливостей впливу каталізаторів на характеристики і стійкість процесу термічного розкладання гетерогенних систем,

що складають основу низькоенергетичних вибухових систем для їх приготування на місці виконання гірничих робіт;

- розроблення технології виготовлення вибухових сумішей на місці проведення вибухових робіт з невибухових матеріалів та їх заряджання на місці проведення підривних робіт.

*Об'єкт дослідження* – процеси розкладання низькоенергетичних вибухових речовин кар'єрного виготовлення із заданими термодинамічними характеристиками.

*Предмет дослідження* – фізико-хімічні та вибухові характеристики гетерогенних систем на основі перхлорату калію та їх вплив на ефективність та безпеку відбивання декоративного каменю зарядами низькоенергетичних ВР, виготовленими на місці проведення підривних робіт.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети в роботі використано наступні методи: комплексного аналізу – для узагальнення та аналізу досягнень теорії і практики у сфері видобування блокового каменю; теоретичних досліджень – для наукового обґрунтування вибору компонентів низькоенергетичних гетерогенних систем на основі термодинамічних розрахунків можливих рецептур та кількісного і якісного аналізу складу газоподібних продуктів вибуху зарядів при використанні різних видів пального (з використанням прикладних програмних пакетів для розрахунку газового складу «Астра» - моделювання хімічних і фазових рівноваг при різних температурах), термодинамічних і вибухових характеристик гетерогенних систем на основі перхлорату калію («Авакян»); статистичного аналізу – для обробки результатів: експериментальних досліджень визначення чутливості розроблених вибухових сумішей до механічних і теплових впливів (здійснювали в Науково-дослідному інституті хімічних продуктів м. Шостка згідно із затвердженими програмами-методиками), диференційно-термогравіметричного аналізу для визначення особливостей термічного розкладання перхлорату калію і гетерогенних систем на його основі (Thermoscan-2 НПО «Аналитприбор», м. Санкт-Петербург і дериватограф Q-1500D «F.Paulic, J.Paulic, L.Erdey»), дослідження кінетики розкладання за методом Фримена і Керролла, методу інфрачервоної спектроскопії на основі перетворення Фур'є для вивчення рецептури складу (Інфрачервоний спектрометр Agilent Cary 630) та дослідження енергетичних і детонаційних характеристик розроблюваних гетерогенних систем (здійснювали на спеціалізованих майданчиках полігону заводу «Імпульс» м. Шостка та в промислових умовах); техніко-економічний аналіз використання розроблених зарядів.

**Наукова новизна одержаних результатів** представлена наступними науковими положеннями, в яких вперше:

- обґрунтовано рецептури низькоенергетичних гетерогенних систем на основі перхлорату калію (ПХК) для видобування блокового каменю, які включають в себе 94,5 % ПХК, 5 % ДП і 0,5 %  $MnO_2$  в разі застосування дизельного палива в якості горючого матеріалу або ж 89,5 % ПХК, 10 % нітрометану і 0,5 %  $MnO_2$  в разі застосування нітрометану як горючого матеріалу;

- обґрунтовано безпечність використання зарядів на основі перхлорату калію шляхом оцінки кількісного і якісного складу газоподібних продуктів вибуху у

відповідності до гранично допустимих концентрацій шкідливих газів у навколишньому середовищі при використанні дизельного палива або нітрометану в якості горючого компонента у сумішевих ВР для зарядів місцевого приготування;

- визначено фізико-хімічні і вибухові характеристики розроблених низькоенергетичних зарядів місцевого приготування з невибухових компонентів та встановлено залежність вибухових характеристик від застосовуваних горючих компонентів.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в наступному:

- розроблено рецептури низькоенергетичних зарядів на основі перхлорату калію, пального і каталізаторів (патент України №68559), що дозволяють реалізувати якісне відбивання блочного декоративного каменю в ощадливому режимі зі зниженням інтенсивності динамічного впливу (патент України №106545) на блоки каменю, що видобуваються;

- розроблено спосіб виготовлення вибухового складу на місці проведення вибухових робіт з невибухових матеріалів (патент України № 105003);

- розроблено конструкцію і технологію формування трубчастих низькоенергетичних зарядів, що забезпечує їх просторове розміщення в шпурі на місці проведення підричних робіт.

**Особистий внесок здобувача** в роботи, які опубліковані у співавторстві. Експериментально досліджено вплив каталітичних домішок на вибухові характеристики сумішей на основі перхлорату калію шляхом дослідження процесу термічного розкладання сумішей на основі перхлорату калію [2]; обрано полімерну композицію на основі поліетилену високого тиску та доведено дієздатність отриманої конструкції подовжених зарядів [3]; визначено за допомогою методу Фрімена та Керрола кінетичні залежності процесу розкладання вибухових сумішей на основі перхлорату калію при додаванні до складу сумішей оксиду марганцю (IV) [4,12]; встановлено залежності критичного діаметру детонації та швидкості детонації вибухової суміші від дисперсності перхлорату калію шляхом виготовлення дослідних зразків з різною дисперсністю перхлорату калію та визначення їх вибухових характеристик [5,6]; здійснено дослідження з отримання вибухового складу на основі перхлорату калію шляхом виготовлення дослідних зразків та проведення випробувань [1,13]; проведено експериментальну перевірку заявленого способу виготовлення вибухового складу на місці проведення вибухових робіт шляхом змішування компонентів на дослідному майданчику та визначення вибухових характеристик [9,10]; обґрунтовано перспективність використання перхлорату калію в якості окислювача у вибуховій суміші [8,14]; обрано рецептуру вибухової суміші для подовжених зарядів на основі термодинамічних розрахунків та відпрацьовані технологічні режими їх виготовлення [7,17]; проведено комплекс експериментальних випробувань щодо визначення вибухових характеристик сумішей на основі перхлорату калію [16]; запропоновано спосіб виготовлення подовжених зарядів на місці проведення вибухових робіт з невибухових компонентів [21]; визначено кількісний та якісний склад продуктів вибуху та вибухові характеристики сумішей на основі перхлорату калію з каталізаторами

розкладу та дизельним паливом або нітрометаном у якості горючого компонента [22].

**Апробація результатів роботи.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: I Міжнародній науково-технічній конференції «Хімічна технологія: наука і виробництво», м. Шостка, 2012 р.; XII Всеукраїнській конференції молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, м. Дніпропетровськ, 2014 р.; II Міжнародній науково-технічній конференції «Хімічна технологія: наука і виробництво», м. Шостка, 2014 р.; VIII міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні концепції наукових досліджень», м. Москва, 2014 р.; V Науково-технічній конференції «Проблемні питання розвитку озброєння і військової техніки Збройних Сил України», м. Київ, 2014 р.; VII Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Хімія та сучасні технології», м. Дніпропетровськ, 2015 р.; Міжнародній науковій конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Science and Scientists», м. Дніпропетровськ, 2015 р.; I Всеукраїнській науково-методичній конференції «Освіта, наука і виробництво: розвиток і перспективи», м. Шостка, 2016 р., III Міжнародній науково-технічній конференції «Хімічна технологія: наука, економіка і виробництво», м. Шостка, 2016 р.

**Публікації.** Основні наукові положення і результати дисертації опубліковані в 22 наукових працях, у тому числі 1 колективна монографія, 5 статей у наукових фахових виданнях (з них 4 статті у виданнях України, що включені до міжнародних наукометричних баз та 1 стаття у виданні Польщі, яке включене до міжнародних наукометричних баз), 4 патенти на корисну модель, 3 статті в інших виданнях, 9 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел з 134 найменувань. Повний обсяг дисертації становить 175 сторінок, з них: 26 рисунків, 23 таблиці, 6 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність виконання роботи, її зв'язок з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету і завдання дослідження, наукову новизну, практичне значення одержаних результатів, наведено загальну характеристику роботи, особистий внесок автора, повноту апробації результатів дисертації.

У першому розділі проведено аналіз даних щодо існуючих способів відбивання блочного каменю в Україні та за кордоном.

В Україні розробляються близько 300 родовищ облицювального (декоративного) каменю, які представлені переважно високоміцними породами: гранітами, лабрадоритами, андезитами, габро та ін. В даний час для відбивання блочного каменю існує низка вибухових та механічних способів, заснованих на використанні різних видів устаткування. Незважаючи на відносно великі втрати цінної корисної сировини при видобуванні, вибухові технології і засоби відбивання

каменю через свою високу продуктивність продовжують використовуватися і удосконалюватися в усьому світі.

На даний час в Україні для вибухового відбивання блокового каменю застосовується в основному димний порох, що використовується на 11 % кар'єрів України, детонуючий шнур та імпорتنі К-заряди, а також невибухова технологія видобування блочного каменю на кар'єрах за допомогою газогенеруючого патрона «ЛІТОКОЛ», що широко використовувалася до недавнього часу.

Враховуючи недоліки та складнощі більшості існуючих способів відділення блочного каменю, в державах світу, провідних за розробкою буровибухових технологій, розроблено і застосовуються заряди ВР з низькою швидкістю детонації, сенсibilізовані нітроефірами, що здатні детонувати при малих діаметрах в пластиковій оболонці, так звані К-заряди або К-труби (заряди фінської фірми «Форсіт» та заряди такого ж типу, розроблені в Швеції («Гурит-А») і Росії «Гранілен»).

Зважаючи на їхні переваги, зокрема невисокі втрати корисної копалини та технологічність застосування, розробка конструкції аналогічних подовжених зарядів вітчизняного виробництва є актуальною. Однак, перевезення таких вибухових зарядів від підприємства-виробника до місця проведення вибухових робіт вимагає наявності дозволу на перевезення і спеціального транспорту, що ускладнює застосування даної технології.

Тому в роботі проведено дослідження з розробки технології виготовлення безпечних за застосуванням та екологічною оцінкою низькоенергетичних вибухових речовин на місці проведення вибухових робіт і відповідно якісного, безпечного та економічно конкурентного засобу відбивання блочного каменю.

**У другому розділі** обґрунтовано методи хіміко-аналітичних та теоретичних досліджень, лабораторних та промислових випробувань для складання рецептур низькоенергетичних гетерогенних систем для зарядів кар'єрного виготовлення.

Для виконання термодинамічних розрахунків обрано метод Авакяна, який дозволяє досліджувати енергетичні та вибухові характеристики ВР.

Кількість газів вибухового перетворення ВР визначаємо за допомогою багатоцільової програми «Астра» - «Моделювання хімічних і фазових рівноваг при різних температурах», яка надає найбільш коректні результати для широкого спектру матеріалів та температур, для отримання мінімальної кількості шкідливих продуктів газоутворення при вибуховому перетворенні ВР.

Диференційно-термічний аналіз (ДТА) здійснюється за допомогою дериватографа Q-1500D, а також установки «Thermoscan-2», універсальних приладів для визначення термічних параметрів фазових переходів речовин. Це дозволяє виявити особливості впливу каталізаторів ПХК, переважно оксидів металів, на термічну стійкість і характеристики процесу термічного розкладання (енергію активації, константу швидкості) за допомогою метода Фрімена та Керролла.

Для визначення властивостей розроблюваної енергонасиченої системи проводиться якісний і кількісний аналіз компонентів досліджуваної промислової ВР, застосовуючи інфрачервону спектроскопію на основі перетворення Фур'є.

Експериментальне дослідження процесу отримання низькоенергетичних зарядів виконуємо в лабораторних умовах, готуючи компоненти шляхом сушіння та просіювання, а згодом безпосередньо змішування в лабораторному змішувачі СРК-3,5.

Вибухові випробування отриманих експериментальних зразків низькоенергетичних зарядів піротехнічного типу місцевого приготування, а саме швидкості детонації, пропонується визначати за методом Дотриша, критичного діаметру – за методом «конуса».

Таким чином, обрано методи і визначено методики отримання якісних і кількісних характеристик розроблюваного складу на основі ПХК, а також вибухових досліджень отриманих експериментальних зразків низькоенергетичних зарядів місцевого приготування.

**Третій розділ** присвячено дослідженню та обґрунтуванню вибору компонентів низькоенергетичних ВР для зарядів місцевого приготування, виявленню особливостей кінетики термічного розкладання ПХК шляхом дослідження впливу домішок неорганічних сполук на процес термічного розкладання гетерогенних систем на основі ПХК, аналізу кількісного та якісного складу газоподібних продуктів вибуху ПВР при використанні різних видів пального (з урахуванням кисневого балансу суміші).

Перхлорат калію є одним з сильних окислювачів та має ряд переваг, однак він розкладається з незначним виділенням тепла, і тому його вибухове перетворення в складах з  $\text{KClO}_4$  здійснюється з великими труднощами. Зважаючи на це, була виявлена необхідність дослідження різних домішок, що володіють каталітичною дією, на розкладання перхлорату калію, тобто на зниження початкової температури його розкладання, а також їх вплив на вибухові характеристики складу на основі ПХК.

Параметри термічного розкладання ПХК і сумішей на його основі визначалися за допомогою дериватографа, приладу для реєстрації кривих термічного розкладання. Поєднаний ТГА/ДТА аналіз проводився в атмосфері повітря при швидкості нагрівання 10 град/хв з наважкою зразка 200 мг. Як еталон використовувався зразок оксиду алюмінію (III)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Роботи проводилися при температурах в діапазоні від 20 °С до 700 °С. Результати досліджень отримували у вигляді термограм (рис. 1) завдяки тому, що при зміні температури в зразку можуть протікати процеси зі зміною ентальпії, які супроводжуються поглинанням або виділенням тепла, температура зразка і еталону розрізняються.

Після дослідження термічного розкладання ПХК в чистому вигляді, виконано термічний аналіз даного окислювача разом з оксидами металів. Вихідні дані дослідів (наважка зразка, швидкість нагрівання) залишалися однаковими, як у випадку з чистим перхлоратом калію.

В результаті дослідження визначено вплив домішок оксидів (3 %) на процес термічного розкладання (табл.1). За впливом досліджувані каталізатори розкладання ПХК розмістилися наступним чином в бік зниження температури розкладання:



MnO<sub>2</sub>, CuO, MgO, NiO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>. Таким чином, кращим з розглянутих каталізаторів, що прискорюють розкладання перхлорату калію є MnO<sub>2</sub>.

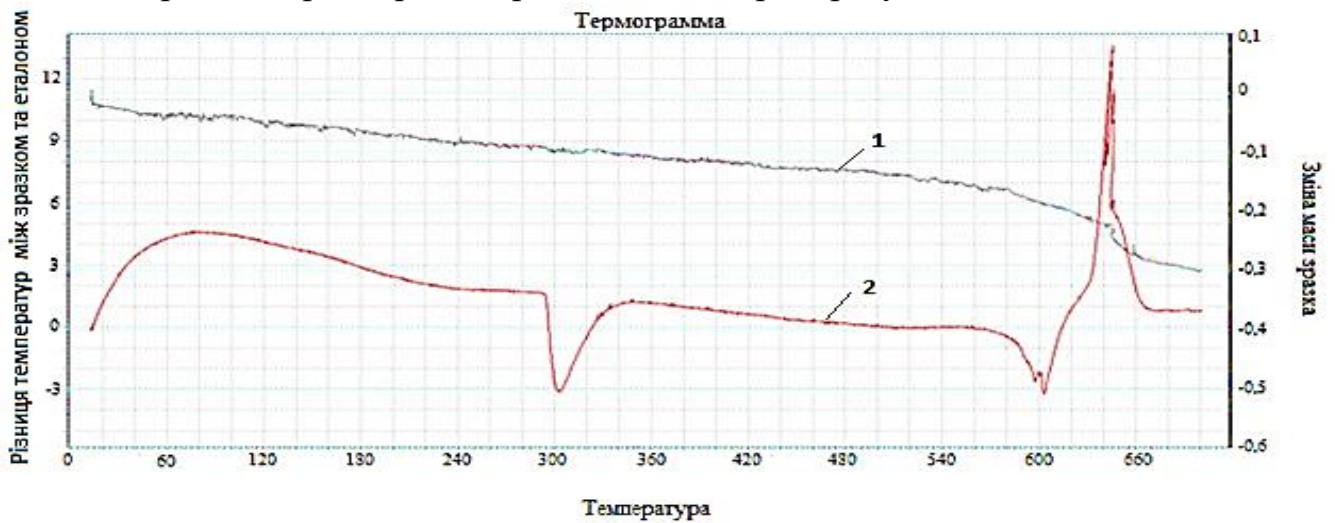


Рис. 1. Термограма розкладання перхлорату калію: 1 – крива ТГ (залежність зміни маси зразка від температури), 2 – крива ДТА.

Таблиця 1 – Дані термічного розкладання ПХК і сумішей на його основі

№ п/п	Компоненти в зразку	Поліморфний перехід			Плавлення			Розкладання		
		Темпер. інтервал, °С	Зміна маси зразка, г	Зміна ентальпії, кДж/моль	Темпер. інтервал, °С	Зміна маси зразка, г	Зміна ентальпії, кДж/моль	Темпер. інтервал, °С	Зміна маси зразка, г	Зміна ентальпії, кДж/моль
1	KClO <sub>4</sub>	295 – 303,5	0,02	6,5	578,1 – 603,2	0,035	4,89	603,2 – 646,2	0,045	2,2
2	KClO <sub>4</sub> , MnO <sub>2</sub>	293,5 – 300,1	0,02	4,97	512,5 – 516,3	0,035	3,78	516,3 – 552,1	0,065	1,95
3	KClO <sub>4</sub> , CuO	294 – 303,7	0,025	5,38	514 – 521,2	0,04	3,62	521,2 – 552,4	0,055	1,86
4	KClO <sub>4</sub> , MgO	296,1 – 303,1	0,02	5,04	526,1 – 538,2	0,035	2,87	538,2 – 566,8	0,06	1,56
5	KClO <sub>4</sub> , NiO	294,5 – 302,8	0,02	4,81	520,3 – 531,7	0,03	2,17	531,7 – 578,8	0,05	1,17
6	KClO <sub>4</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	295,4 – 300,5	0,025	5,79	536,4 – 543,5	0,03	3,21	543,5 – 587,6	0,055	1,34
7	KClO <sub>4</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	293,9 – 303,2	0,02	4,59	546,6 – 559,1	0,04	1,99	559,1 – 601,3	0,055	1,68
8	KClO <sub>4</sub> , TiO <sub>2</sub>	294,6 – 302,7	0,025	4,68	559,3 – 583,2	0,025	2,54	583,2 – 622,1	0,05	1,12

Одночасно визначено, що раціональний вміст каталізатору  $\text{MnO}_2$  складає 0,5 % (рис. 2).

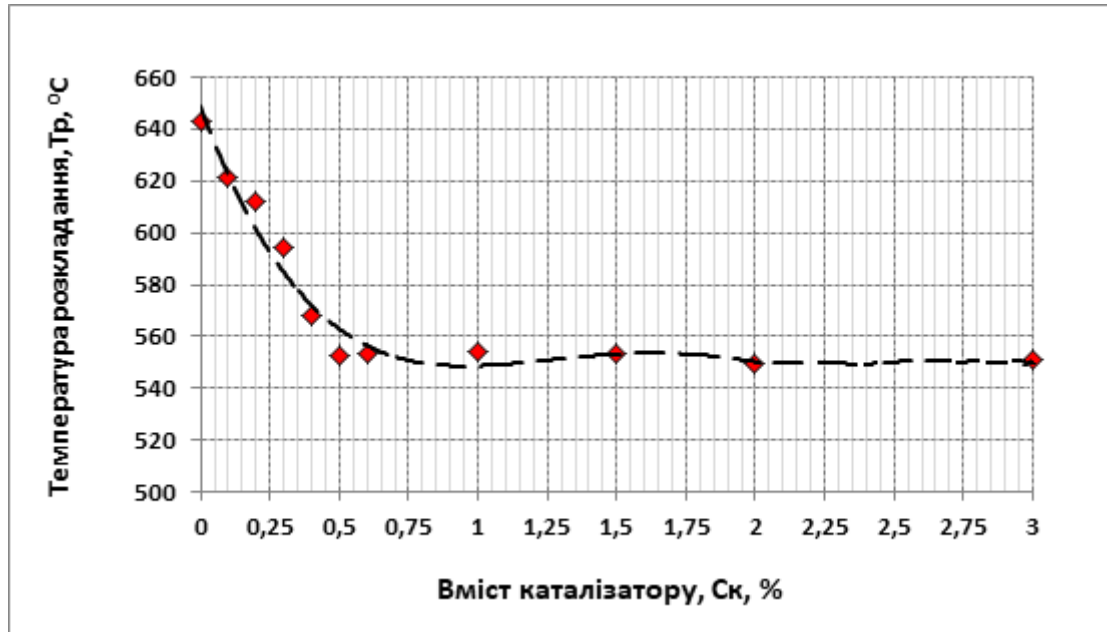


Рис. 2. Залежність температури розкладання ПХК від вмісту каталізатора  $\text{MnO}_2$

Дана крива описується поліноміальною функцією четвертого порядку:

$$T_p = 17,06 \cdot C_K^4 - 119,4 \cdot C_K^3 + 288,3 \cdot C_K^2 - 284,3 \cdot C_K + 647,9 \quad (1)$$

Розходження результатів  $R=0,964$ .

За методом Фрімена та Керролла досліджено кінетику розкладання сумішей на основі перхлорату калію з каталізаторами розкладання. Згідно з цим методом для поточної швидкості розкладання  $P_T$  конденсованої речовини  $Q$  при температурі  $T$  в певний момент часу справедливий вираз:

$$P_T = Z \cdot e^{-Ea/RT} \cdot W^{n/q} \quad (2)$$

де  $P_T$  – температурна швидкість розкладання, мг/К;  $Z$  – перед експоненціальний множник;  $Ea$  – енергія активації;  $R$  – універсальна газова постійна;  $T$  – абсолютна температура;  $q$  – швидкість нагрівання, К/хв;

Енергію активації процесу розкладання ПХК і сумішей на його основі розраховано для ділянки зміни маси речовини (TG) до моменту встановлення постійної маси зразка, тобто закінчення процесу розкладання. Для цього на даній частині кривої обрано чотири точки і визначено в кожній з них відповідну їй температуру ( $T_i$ ), обернену величину даного значення температури ( $1/T_i$ ), температурну швидкість розкладання ( $P_{T_i}$ ), швидкість перетворення ( $P_{\tau_i}$ ):

$$P_{T_i} = \operatorname{tg} \alpha_i, \text{ мг/К} \quad (3)$$

де  $\alpha_i$  – кут нахилу дотичної до ділянки термограми в точці зі значенням температури  $T_i$ .

$$P_{\tau_i} = P_{T_i} \cdot q, \text{ мг/хв} \quad (4)$$

де  $q$  – швидкість нагрівання при знятті термограми, К/хв;  $q = 10 \text{ К/хв}$ .

За графічною залежністю  $\lg P_{\tau_i} = f(1/T)$ , а саме за кутом нахилу кривої  $\beta$  знайдено величину константи швидкості  $K$ , після цього розрахунковим шляхом знайдено енергію активації.

Визначено, що каталізатори знижують енергію активації процесу термічного розкладання ПХК практично вдвічі (енергія активації складів на основі перхлорату калію без каталізатора складає 422,6 кДж/моль, з каталізатором  $\text{MnO}_2$  – 216,3 кДж/моль), що призводить до покращення вибухових характеристик розроблюваної вибухової суміші. Розрахунково-графічні результати вивчення кінетики розкладання ПХК з каталізаторами приведені на рис. 3.

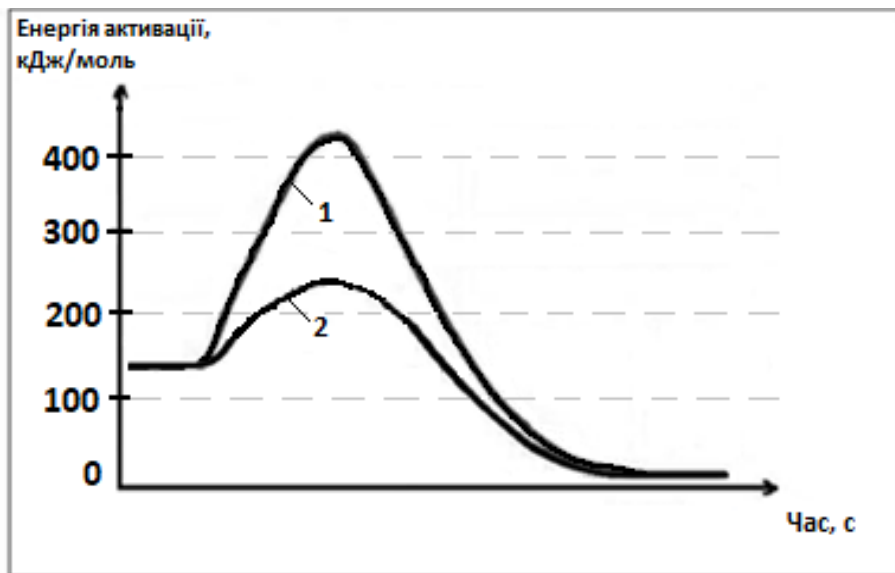


Рис. 3. Вплив наявності каталізатора на протікання реакції: 1 – без каталізатора, 2 – при наявності каталізатора  $\text{MnO}_2$ .

Склад продуктів вибуху, а значить і  $Q_{\text{вib}}$  значною мірою залежать від забезпеченості складу киснем, який характеризується кисневим балансом ВР.

Термодинамічні розрахунки для рецептур, що розробляються, визначали за методом Авакяна, який дозволяє досліджувати енергетичні і вибухові характеристики ВР.

На основі аналізу термодинамічних розрахунків обрано оптимальні рецептури складу у випадку застосування дизельного палива або нітрометану в якості горючого компонента, які за своїми характеристиками відповідають вимогам до ВР для відбивання блочного каменю, %:

- |                            |     |                             |
|----------------------------|-----|-----------------------------|
| - KClO <sub>4</sub> – 94,5 |     | - KClO <sub>4</sub> – 89,5; |
| - MnO <sub>2</sub> – 0,5   | або | - MnO <sub>2</sub> – 0,5;   |
| - дизельне паливо – 5      |     | - нітрометан – 10.          |

З метою оцінки складу газоподібних продуктів вибуху ПВР при використанні різного виду горючого компонента, кількості і складу газів, що виділяються при вибуховому перетворенні сумішевих ВР для зарядів місцевого приготування, проведено відповідні розрахунки, в основу яких покладено універсальний термодинамічний метод визначення характеристик рівноваги гетерогенних систем, що базується на фундаментальному принципі максимуму ентропії.

Результати розрахунку кількості газів приведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Вміст газоподібних продуктів вибуху складів ПХК з дизельним паливом та нітрометаном

№ п/п	Склад газів	Кількість газів, моль/кг		
		100 % ПХК	94,5 % ПХК, 5 % ДТ, 0,5% MnO <sub>2</sub>	89,5 % ПХК, 10 % НМ, 0,5 % MnO <sub>2</sub>
1	H <sub>2</sub> O	–	4,053	2,03
2	O <sub>2</sub>	14,296	5,922	11,51
3	KCl	7,0548	6,27	6,14
4	Cl <sub>2</sub>	0,0006	0,0004	0,13
5	CO	–	0,265	0,081
6	NO <sub>2</sub>	–	–	0,002
7	N <sub>2</sub>	–	–	0,73
8	HCl	–	0,266	0,17
9	CO <sub>2</sub>	–	2,451	1,55
10	H <sub>2</sub>	–	0,437	–
Всього:		21,3514	19,6644	22,343

З результатів розрахунків випливає, що під час вибуху ПХК з домішками дизельного палива і каталізаторів розкладання кінцевими продуктами є значна кількість кисню (саме 5,922 моль/кг та 11,51 моль/кг відповідно, оскільки суміш має позитивний кисневий баланс) та хлориду калію. Розрахункова кількість кисню в разі дослідження зразка ПХК вища в 2 рази ніж в досліджуваному зразку при введенні пального компонента, що зумовлено зниженням кисневого балансу системи за рахунок введення пального компонента. Також при наявності дизельного палива утворюється невелика кількість H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> (до 5,922 моль/кг). В даному випадку вуглець практично повністю окислений до CO<sub>2</sub>, водень до H<sub>2</sub>O. Токсичні гази типу

CO, і Cl<sub>2</sub>, які мають здатність чинити негативний вплив на організм людини аж до летального результату, присутні в незначній кількості (до 0,265 моль/кг).

Основними продуктами вибуху складів ПХК - Нітродетан є KCl і кисень (оскільки кисневий баланс 33,35 %). Вуглець практично повністю окислюється до CO<sub>2</sub>, водень до H<sub>2</sub>O. Токсичні гази типу NO<sub>2</sub>, CO і Cl<sub>2</sub> присутні в незначній кількості - до 0,13 моль/кг.

Таким чином, вищенаведені дані у відповідності до гранично допустимих концентрацій шкідливих газів у навколишньому середовищі підтверджують, що суміші перхлорату калію з каталізаторами розкладу, а також паливом у вигляді дизельного палива або нітродетану з точки зору утворення газоподібних продуктів вибуху є безпечними для навколишнього середовища, а також для працівників на кар'єрах.

**У четвертому розділі** досліджено вибухові характеристики розроблених низькоенергетичних сумішей для зарядів місцевого приготування.

Вибухові випробування отриманих експериментальних зразків низькоенергетичних сумішей на основі перхлорату калію для зарядів місцевого приготування, а саме швидкості детонації проводили за методом Дотриша, критичного діаметру – за методом «конуса». Також визначали повноту детонації. Досліджувані суміші мають невисокі значення температури (2003,65 К) і теплоти (2165,8 кДж/кг) вибуху і відповідно незначний обсяг газоподібних продуктів вибуху – 334 л/кг. Заряди надійно спрацьовують від штатних засобів ініціювання - електродетонатора ЕД-8 і детонуючого шнура ДШЕ-12, які контактують з кожним трубчастим зарядом у шпурі. Пропоновані заряди мають низьку чутливість до механічних впливів (чутливість до удару 36–40 %, чутливість до тертя 3650–3740 кг/см<sup>2</sup>), що виключає небезпеку при їх застосуванні в якості засобів відбивання блочного каменю.

Заряд формують в пластикові трубки з внутрішнім діаметром до 27 мм, виходячи з критичного діаметра детонації даного складу, і відповідно такі заряди можуть розміщуватися в шпурах діаметром 36–42 мм, які найчастіше використовують в Україні при відбиванні блочного каменю.

Вибуховий пристрій виконано у вигляді поліетиленової трубки, яка має з'єднувальні елементи, що являють собою пластмасові насадки з гальмівними направляючими крильцями (оперенням) для розміщення трубки просторово по осі шпура, а також з'єднання трубок між собою, подовжуючи заряд за потреби.

Заряди застосовуються для відбивання блочного каменю шпурами довжиною близько 2 м і діаметром від 36 до 42 мм. Відомо, що при використанні подовжених зарядів малого діаметра насипної щільності можливо загасання детонації, що може бути пов'язане з каналним ефектом, тобто ущільненням вибухової речовини попереду фронту детонації ударною хвилею.

Пристрій для відбивання блочного каменю та схема розташування вибухового пристрою представлені на рис. 4.

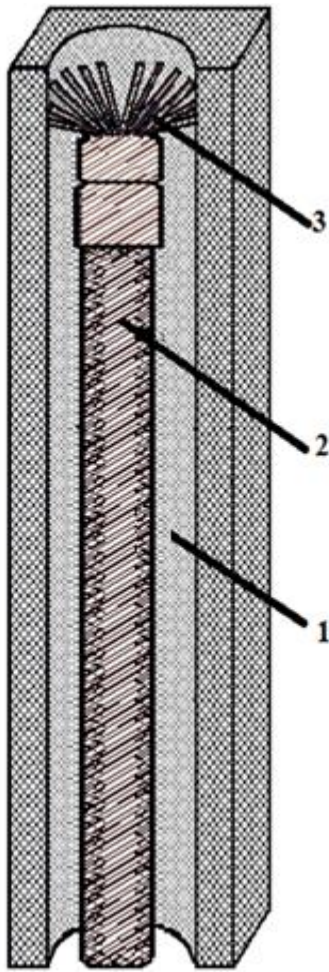


Рис. 4. Схема розташування вибухового пристрою в шпурі: 1 - шпур, 2 - вибуховий пристрій, 3 - з'єднувальний елемент (муфта) з гальмівними крильцями.

Для встановлення детонаційної здатності подовженого піротехнічного заряду проведено випробування суміші, що складається з 94,5 % ПХК дисперсністю 200 мкм, 0,5 % каталізатора  $MnO_2$  і 5 % дизельного палива. Діаметр заряду дорівнював 40 мм, довжина 1000 мм. Швидкість детонації вимірювали на початковій ділянці подовженого заряду на відстані 80 мм від торця з базою вимірювання 80 мм і в кінці заряду (від 820 мм до 900 мм) з базою теж 80 мм. Проводили низку серій експериментів. Ініціювання здійснювали електродетонатором ЕД-8. Швидкість детонації на початковій ділянці заряду становила 1800 м/с, в кінцевій частині заряду вона підвищилась на 20 % – до 2160 м/с. Підвищення швидкості детонації в кінці заряду ймовірно пов'язане з ущільненням заряду по довжині ударною хвилею.

Для з'ясування цього припущення проведено вимірювання насипної щільності піротехнічного заряду з утрускою і з ущільненням дерев'яним пуансоном. Насипна щільність заряду з утрускою склала  $1,04 \text{ г/см}^3$ , а ущільненого –  $1,14 \text{ г/см}^3$ . При випробуванні ущільненого заряду отримано значення швидкості детонації 2100 м/с. Це підтверджує механізм ущільнення вибухової складу подовжених зарядів попереду фронту детонації. Точно визначити ступінь цього ущільнення при вибуху

Пристрій являє собою поліетиленову трубку 2, заповнену низькоенергетичною вибуховою сумішшю перхлорату калію, оксиду марганцю (IV) і дизельного палива (нітрометану). Трубка може мати зовнішній діаметр різних типорозмірів (до 32 мм) в залежності від діаметра шпура. Довжина вибухової трубки не має особливого значення, оскільки вона може нарощуватися за рахунок з'єднувального елемента (сполучної муфти) до довжини декількох метрів, що дає можливість використовувати її при відбиванні блочного декоративного каменю висотою до 6 метрів. Зазвичай виготовляють трубчасті заряди для вибухового пристрою довжиною 40–50 см. На кінці трубку обладнано з'єднувальним елементом (муфтою) 3.

не виявляється можливим, але ясно, що величина ущільнення заряду в даному випадку сприяє підвищенню швидкості детонації і не призводить до загасання детонації. Даний факт підтверджує дієздатність подовжених зарядів.

Проведено випробування з визначення вибухових характеристик розроблених зарядів на полігоні заводу «Імпульс» м. Шостка та виконано порівняння отриманих характеристик сумішей з існуючими засобами для відбивання блочного каменю.

Зіставлення цих характеристик (табл. 3) показує, що розроблені заряди мають ряд переваг:

- зменшення використання ВР в порівнянні з насипним зарядом;
- зниження кількості викидів шкідливих газів в атмосферу внаслідок малого обсягу їх виділення;
- низькі значення теплоти вибуху і швидкості детонації, що сприяє досягненню техніки «м'якого» вибуху;
- конкурентоспроможні енергетичні характеристики в порівнянні з застосовуваними в наш час засобами для видобування блокового каменю.

Таблиця 3 – Порівняльні характеристики застосовуваних засобів для відбивання блочного каменю

Характеристики	ОУ Forcit	Димний порох	Гранилен-3	Заряди з НМ	Заряди з ДП
Щільність заряду, г/см <sup>3</sup>	0,95	0,9–1,0	1,86	1,05–1,10	0,99–1,02
Швидкість детонації, м/с	1700–2000	1200–1600	2400	1600–2000	1800–2100
Теплота вибуху, кДж/кг	1200–1500	3024	2070	858,1	2165,8
Лінійна маса ВР, кг/м	0,11–0,24	0,80–1,20	0,36	0,16–0,30	0,12–0,26
Об'єм газів, л/кг	160	280	440	334	310

**Розділ п'ятий** присвячено розробці технології формування низькоенергетичних зарядів місцевого приготування для видобування блокового каменю.

Технологічна схема виготовлення вибухових сумішей складалася з чотирьох основних стадій: – підготовка компонентів: сушка, подрібнення, просіювання; – змішування компонентів; – виготовлення полімерних оболонок; – виготовлення подовжених трубчастих зарядів.

Компоненти, які поступають на виробництво, містять різну кількість вологи. Волога відіграє велике значення в сумішевих ВР, оскільки вона впливає на злежуваність ВР, їх працездатність і чутливість до займання.

Перхлорат калію має низьку гігроскопічність, проте його вологість треба підтримувати на рівні не більше 0,2 %. Чим більше вологи міститься в частках

компонентів сумішевої вибухової речовини, тим менше швидкість детонації, яка поступово досягає своїх нестійких форм і загасає або навіть зовсім не розвивається.

Встановлено вплив дисперсності вихідних компонентів на експлуатаційні характеристики вибухової суміші. Визначено, що дисперсність вихідного перхлорату калію і каталізаторів розкладання повинна становити 100 мкм. Ретельне перемішування високодисперсних ПХК і оксиду марганцю (IV) забезпечує достатній контакт між ними і повноту хімічної реакції розкладання ПХК. Горючий компонент - дизельне паливо повністю всмоктується сумішшю, забезпечуючи тісний контакт усіх компонентів. Це сприяє більш повному протіканню хімічної реакції розкладання складу з високою дисперсністю ПХК і тому критичний діаметр детонації такого складу мінімальний (рис.5).

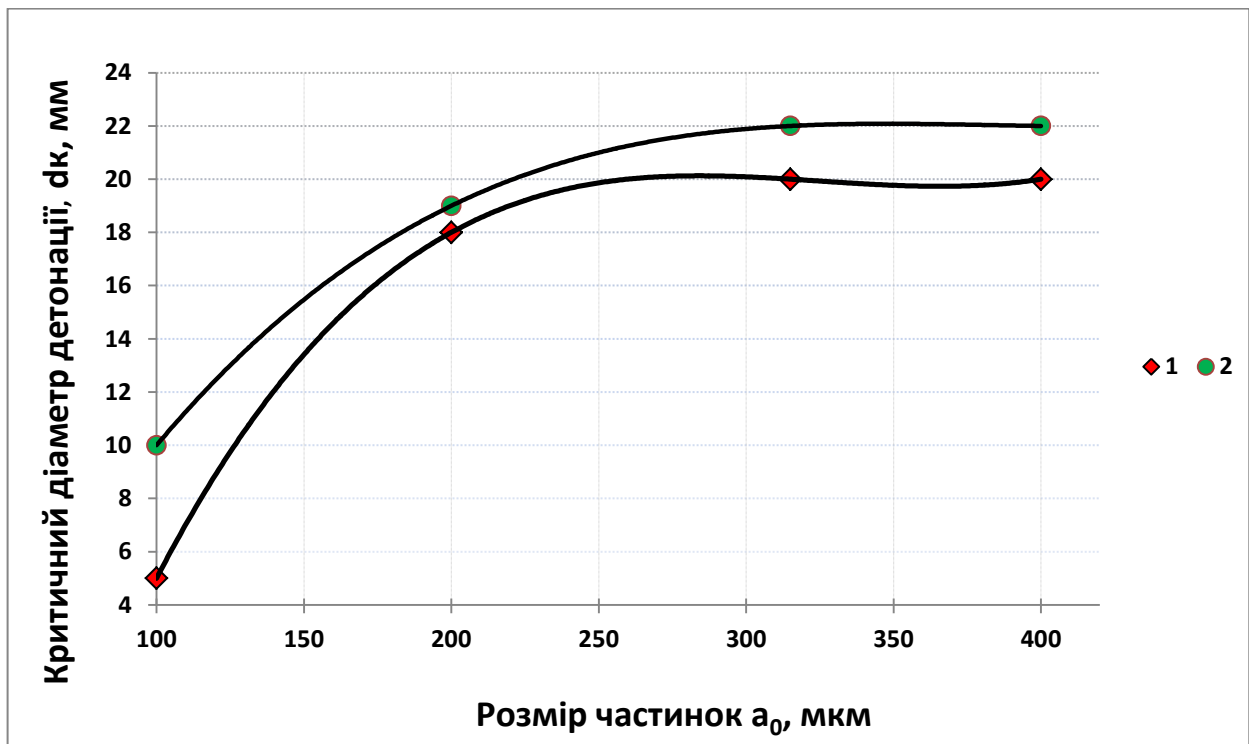


Рис. 5. Залежність критичного діаметру детонації від розміру частинок перхлорату калію у складах з: 1 – нітрометаном, 2 – дизельним паливом

Дані графічні залежності описується поліноміальними функціями третього порядку:

$$d_{K1} = 10^{-6} \cdot a_0^3 - 0,0014 \cdot a_0^2 + 0,4538 \cdot a_0 - 27,648 \quad (5)$$

$$d_{K2} = 6 \cdot 10^{-6} \cdot a_0^3 - 0,0006 \cdot a_0^2 + 0,2429 \cdot a_0 - 8,4489 \quad (6)$$

З рис. 5 видно, що в залежності від розміру частинок перхлорату калію від 100 мкм до 400 мкм критичний діаметр детонації складу змінювався від 5 мм до 20 мм у випадку використання нітрометану в якості горючого матеріалу та від 10 до 22 мм – дизельного палива.



В той же час, швидкість детонації (рис.6) склала від 1660 м/с до 2060 м/с та від 1890 м/с до 2130 м/с відповідно. Враховуючи низьку пористість складу, швидкість детонації зразка з високодисперсним перхлоратом калію буде нижчою, ніж у зразка з великими частками перхлорату калію. Великі частинки окислювача не забезпечують його тісного контакту між собою і з каталізатором, тому каталізатор не повною мірою забезпечує повноту хімічної реакції розкладання складу і відповідно критичний діаметр детонації буде більший. Оскільки при цьому склад буде мати підвищену пористість, наявні пори можуть служити «гарячими точками» при вибуху, тому склад з низькодисперсним перхлоратом калію має підвищену швидкість детонації у порівнянні зі складом на основі високодисперсного перхлорату калію.

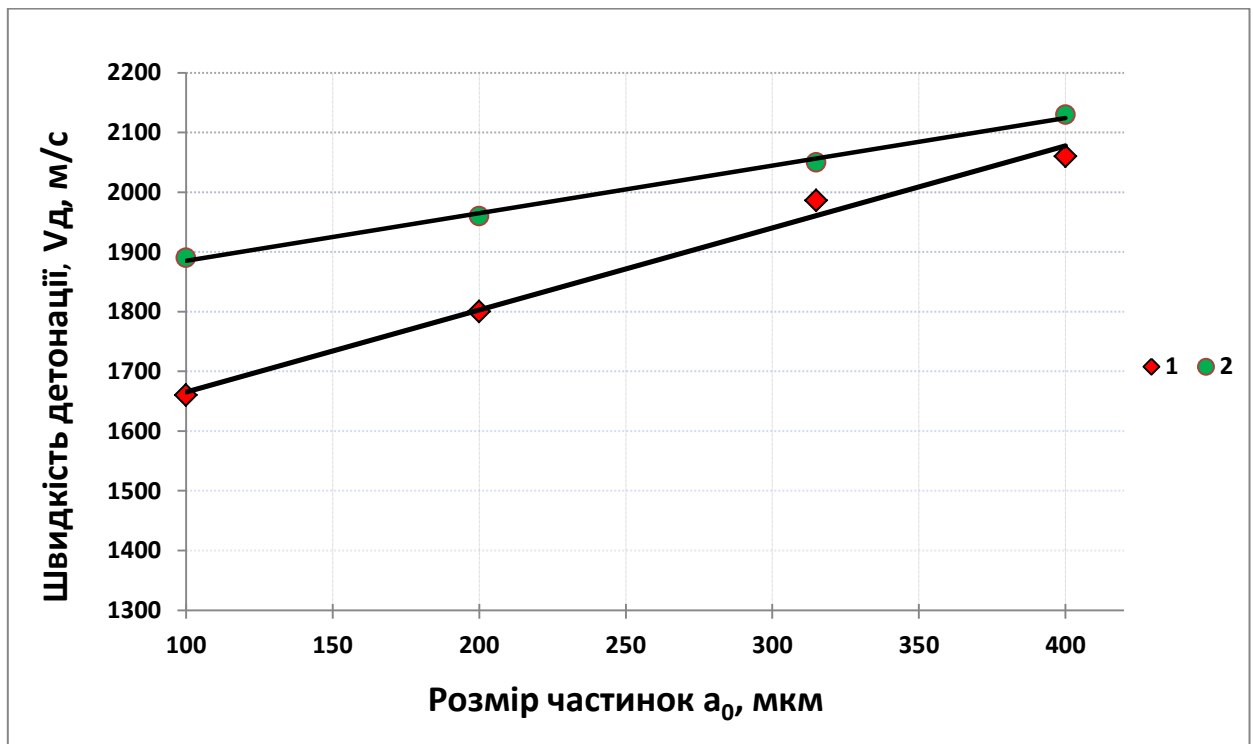


Рис. 6. Залежність швидкості детонації від розміру частинок перхлорату калію у складах з: 1 – нітрометаном, 2 – дизельним паливом

Дані графічні залежності описується лінійними функціями:

$$V_{d1} = 1,373 \cdot a_0 + 1528,1 \quad (7)$$

$$V_{d2} = 0,7962 \cdot a_0 + 1805,0 \quad (8)$$

Вибуховий склад з невибухових компонентів (перхлорат калію, оксид марганцю (IV) та дизельне паливо або нітрометан) пропонується виготовляти безпосередньо на місці проведення вибухових робіт, тобто на прикар'єрному пункті. Невибухові матеріали тільки після змішування утворюють суміш з вибуховими характеристиками. Це дозволяє виключити перевезення вибухових сумішей від

підприємства-виробника спеціальним транспортом по території країни, що пов'язано з безпекою населення, та зменшити кількість охоронюваних складських приміщень.

Вибухові заряди виготовляються на місці проведення вибухових робіт шляхом дозування необхідної кількості пального компонента в пластикові трубки, попередньо виготовлені на підприємстві та заповнені сумішшю ПХК з каталізатором розкладання (попередньо просушеними, просіяними та змішаними в СРК-3,5). Оскільки трубки заповнені невибуховим матеріалом, їх відправляють на кар'єри звичайним автомобільним або залізничним транспортом, де вони можуть зберігатися в звичайних матеріальних складах. Горючі компоненти - дизельне паливо або нітрометан підприємства закупають на місцевих заводах або АЗС.

Для дозування пального відкривають пробку і додають розраховану кількість пального компонента. Для дозування компонентів в поліетиленову оболонку застосовується ручний шнековий змішувач MUNSCH MAK-32.

Для перевірки якості виготовлення вибухових зарядів на місцях проведення вибухових робіт визначалась швидкість детонації за методом Дотриша. У всіх випадках заряди детонували надійно, швидкість детонації складала в середньому 1830 м/с.

Крім того, застосування методу інфрачервоної спектроскопії на основі перетворення Фур'є дозволило зробити висновок, що розподіл паливного компонента по висоті заряду є рівномірним. Також було встановлено, що для повного просочування перхлорату калію дизельним паливом (нітрометаном) у трубі діаметром 20 мм та висотою 400 мм необхідна витримка до 15–20 хв.

Зовнішній вигляд розроблених подовжених зарядів представлено на рис.7.



Рис. 7. Подовжений заряд для відбивання блочного каменю

Низькоенергетичні заряди типу можуть виготовлятися різного діаметра і довжини. Встановлено, що для виготовлення одного заряду довжиною 500 мм і діаметром 20 мм (виходячи з критичного діаметра детонації даного складу) необхідно 200 г вибухової складу і 150 г ПЕВТ для виготовлення оболонки заряду у вигляді трубки з фіксатором.

Проведені контрольні випробування низько енергетичних зарядів кар'єрного виготовлення в порівнянні з використанням димного порошу. Випробування проводили на території ТОВ «Буропідричник» м. Івано-Франківськ за стандартними методиками.

Для проведення експерименту (рис.8) в умовах кар'єру вибрали:

- метод вибухових робіт – шпурові заряди;
- висота уступу  $H_u=6$  м; розміщення шпурів вертикальне;

- діаметр пробурюваного шпура  $D_{шп} = 42$  мм для димного пороху та  $D_{шп} = 32$  мм для низькоенергетичних зарядів;
- спосіб підривання електровогневий, за допомогою електродетонаторів ЕД – 8Ж;
- розміри моноліту  $6 \times 2 \times 3$  м.

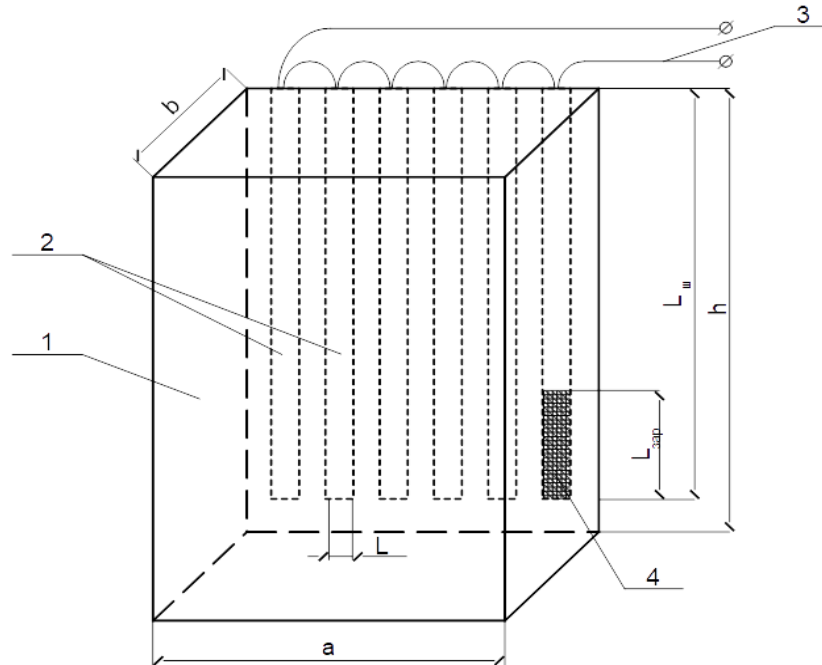


Рис. 8. Схема відокремлення блоку від масиву: 1 – моноліт, 2 – шпур, 3 – магістраль, 4 – заряд.

Результати розрахункових експлуатаційних параметрів відбивання блокового каменю за допомогою розроблених низькоенергетичних зарядів та димного пороху, підтверджених експериментами, наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Розрахункові параметри для відбивання моноліту від масиву

№	Використаний заряд	Довжина шпура, м	Діаметр шпура, м	Вага суміші на шпур, кг	Відстань між шпурами, м	Витрати пороху на моноліт, кг	Кількість шпурів, шт
1	Димний порох	5,7	0,42	1,2	0,5	7,2	6
2	Розроблені заряди (ПХК+ДТ+MnO <sub>2</sub> )	4,0	0,32	1,3	0,6	6,5	5

Очікуваний річний економічний ефект від впровадження методу відбивання блокового каменю розробленими зарядами, що пропонуються виготовляти на місці проведення вибухових робіт, замість застосування димного пороху, складає 27320 грн. на видобування  $1000 \text{ м}^3$  блокового каменю.

Заряди планується використовувати для видобування блокового каменю на кар'єрах Івано-Франківської та Житомирської областей України, зокрема Івано-Франківському спецкар'єрі, Пинязевичському, Коростенському кар'єрах.

Розроблені заряди мають експортний потенціал, зокрема в перспективі передбачається співпраця з гранітними кар'єрами Словачії та Чехії, наприклад Бренський, Лужинський та Домажницький кар'єри.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій представлено нове рішення актуальної науково-практичної задачі наукового обґрунтування та розробки безпечних та доступних для місцевого виготовлення засобів ощадливого видобутку монолітів декоративного каменю відкритим способом, що базується на створенні рецептури і технології виготовлення низькоенергетичних гетерогенних систем на основі перхлорату калію шляхом встановлення закономірностей їх термічного розкладання в присутності каталізаторів, а також виготовлення шпурових зарядів на їх основі безпосередньо в умовах гірничого підприємства.

1. Обґрунтовано необхідність введення до складу суміші додаткових компонентів – каталізаторів термічного розкладання ПХК для зменшення температури розкладання з 646,2 °С до 552,1 °С. Досліджено вплив каталізаторів - оксидів металів на зниження температури розкладання ПХК і зниження енергії активації процесу його розкладання, що забезпечило надійну роботу сумішей від штатного засобу ініціювання - електродетонатора ЕД-8. Встановлено раціональний вміст каталізатора  $MnO_2$  в кількості 0,5 %.

2. На підставі розрахунків енергетичних і вибухових характеристик запропоновано рецептури гетерогенних конденсованих систем на основі перхлорату калію із співвідношенням компонентів: 94,5 % перхлорату калію, 5 % дизельного палива і 0,5 % оксиду марганцю (IV) в першому варіанті та 89,5 % перхлорату калію, 10 % нітрометану і 0,5 % оксиду марганцю (IV) – у другому варіанті.

3. На підставі якісного і кількісного аналізу газоутворення при вибуху, визначено, що токсичні гази типу  $NO_2$ ,  $CO$  і  $Cl_2$  присутні в кількості до 0,13 моль/кг, що не перевищує ГДК, внаслідок чого розроблені суміші є безпечними для навколишнього середовища, а також для працівників на кар'єрах.

4. Встановлено, що дисперсність компонентів суміші ПХК з каталізаторами розкладання і горючими компонентами впливає на критичний діаметр детонації - при розмірі частинок ПХК 100 мкм критичний діаметр досліджених зразків складає 5 мм, а при збільшенні розміру частинок до 400 мкм значення критичного діаметра зростає до 20 мм, що можна пояснити кращою гомогенізацією дрібнодисперсного складу, яка призводить до збільшення насипної щільності. Встановлена залежність швидкості детонації від дисперсності ПХК, яка є прямо пропорційною, для зразків з розміром частинок 100 мкм при застосуванні дизельного палива в якості горючого компонента швидкість детонації суміші складає 1,89 км/с, з розміром частинок 400 мкм – 2,13 км/с.

5 Розроблений спосіб виготовлення зарядів безпосередньо на місці проведення вибухових робіт та технологія підривання дозволяє виключити перевезення вибухових сумішей і патронів з підприємства-виробника спеціальним транспортом по території країни, збільшити безпеку для населення, зменшити кількість охоронюваних складських приміщень.

Загальний економічний ефект, отриманий при впровадженні результатів теоретичних і експериментальних досліджень даної роботи становить 27320 грн. на видобування 1000 м<sup>3</sup> блокового каменю.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Zakusylo R. Innovative technology of manufacturing charges for splitting of block stone at places of blasting works: multi-authored monograph / Zakusylo R., Romanchenko A, Kravets V. // Topical issues of resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petrosani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2018. PP. 166–185.

2. Закусило В. Р., Романченко А. М., Закусило Р. В. Влияние катализаторов на термическое разложение перхлората калия и взрывчатые характеристики составов на его основе // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2013. Вип. 5 / (82). С.103–107. (включено до баз даних «Україніка наукова», «Ulrich's Web Global Serials Directory», «eLIBRARY», «Index Copernicus», «Polish Scholarly bibliography», «Infobase Index», «Inspec», «Open Academic Journals Index», «Google Scholar», «CiteFactor» і «Scientific Indexing Services».)

3. Дослідження по вибору полімерної композиції та методу виготовлення оболонки для К-труб / Р. В. Закусило, А. М. Романченко, В. Р. Закусило, В. Г. Кравець // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Серія «Гірництво». 2014. Вип. 24. С. 49–56. (включено до баз даних «BASE», «WorldCat», «Google Scholar», «OpenAIRE», «Research Bible», «UIF», «OAJ».)

4. Закусило Р.В. Дослідження характеристик та ефективності просторового розташування низькоенергетичних зарядів для видобування блокового каменю / Закусило Р.В., Романченко А.М. //Вісник Житомирського державного технологічного університету, Серія Технічні науки. 2018. Вип.1 (81). С. 246–250. (включено до баз даних «Index Copernicus International», «DOAJ», «WorldCat», «BASE», «Google Scholar»).

5. Wojewódka Andrzej T. Investigation of Metal Oxides as Catalysts for the Thermal Decomposition of Potassium Chlorate(VII) /Andrzej T. Wojewódka,\* Roman Zakusylo, Viktor Kravets, Angela Romanchenko, Tomasz Jarosz // Central European Journal of Energetic Materials. 2018. No 15 (2). PP. 327–338. (включено до баз даних Scopus, Web of Science.)

6. Р.В. Закусило. Розробка технології отримання подовжених зарядів для видобування блокового каменю / Закусило Р.В., Романченко А.М., Закусило Д.Р. // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2018. Вип. 4 / (111). С.75–80.

(включено до баз даних «Україніка наукова», «Ulrich's Web Global Serials Directory», «eLIBRARY», «Index Copernicus», «Polish Scholarly bibliography», «Infobase Index», «Inspec», «Open Academic Journals Index», «Google Scholar», «CiteFactor» і «Scientific Indexing Services».)

7. Патент на корисну модель 68559 У Україна, МПК6 С06В 31/28. Вибуховий склад / Закусило В.Р., Єфименко А.О., Романченко А.М. № у 201112120; заявл. 17.10.2011; опубл. 26.03.2012. Бюл. № 6. 4 с.

8. Патент на корисну модель 100445 У Україна, МПК С06В 31/28. Вибуховий склад / Закусило В.Р., Романченко А.М., Закусило Р.В. № у 201501015; заявл. 09.02.2015; опубл. 27.07.2015. Бюл. № 14. 4 с.

9. Патент на корисну модель 105003 Україна, МПК6 С 06 В 29/00. Спосіб виготовлення вибухового складу на місцях проведення вибухових робіт / Закусило В.Р., Романченко А.М., Закусило Р.В. № у 2015 09630; заявл. 05.10.2015; опубл. 25.02.2016. Бюл. № 4. 4 с.

10. Патент на корисну модель 106545 Україна МПК F 42 В 3/02. Вибуховий пристрій для відбивання блочного декоративного каменю / В.Р. Закусило, Р.В. Закусило, А.М. Романченко. № у 2015 11414; заявл. 19.11.2015; опубл. 25.04.2016. Бюл. № 8. 4 с.

11. Zakusylo V., Romanchenko A. Potassium perchlorate – the component of the low-speed explosive composition // Metallurgical and Mining Industry, 2014. No 6. PP. 64–70. (включено до баз даних Sci Verse Scopus, «Index Copernicus», «eLIBRARY», «Scientific Indexing Services», «Academic Resource Index "ResearchBib"», «WorldCat», «Eurasian Scientific Journal Index», «International Innovative Journal Impact Factor», «UlrichsWeb».)

12. Zakusylo V. , Romanchenko A., Zakusylo R. Explosive composition on the basis of potassium perchlorate and nitromethane // Metallurgical and Mining Industry. 2015. No 11. PP. 170–175. (включено до баз даних Sci Verse Scopus, «Index Copernicus», «eLIBRARY», «Scientific Indexing Services», «Academic Resource Index "ResearchBib"», «WorldCat», «Eurasian Scientific Journal Index», «International Innovative Journal Impact Factor», «UlrichsWeb».)

13. Закусило В.Р., Романченко А.Н., Закусило Р.В. Гетерогенные взрывчатые составы пиротехнического типа // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Серія Гірництво. 2015. Вип. 27. С.60–66. (включено до баз даних «BASE», «WorldCat», «Google Scholar», «OpenAIRE», «Research Bible», «UIF», «OAJI».)

14. Закусило В. Р. Вибухові склади на основі перхлорату калію / В. Р. Закусило, А. М. Романченко // Хімічна технологія: наука та виробництво: матеріали І Міжнародної науково-технічної конференції (м. Шостка, 7-9 листопада 2012 р.). Суми: СумДУ, 2012. С. 118.

15. Романченко А.Н. Термическое разложение перхлората калия // матеріали XII Всеукраїнської конференції молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії (м. Дніпропетровськ, 19-21 травня 2014 р.). Дніпропетровськ: Поліграфічно-видавничий центр «Адверта», 2014. С. 130.

16. Romanchenko A., Zakusylo V., Sokorenko D. Research of the influence of manganese (II) oxide on the thermal decomposition of potassium perchlorate // Хімічна технологія: наука та виробництво: матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції (м. Шостка, 27-29 листопада 2014 р.). Суми: СумДУ, 2014. С. 230.

17. Закусило В. Р., Романченко А. Н. Низкоскоростные заряды для отбойки блочного камня // Современные концепции научных исследований: сборник научных трудов «Технические науки» VIII Международной научно-практической конференции (г. Москва, 28-29 ноября 2014 г.). Москва, 2014. Вып. 8. С. 144–147.

18. Закусило В. Р., Романченко А. Н. Композиционные системы с низкой скоростью детонации // Проблеми питання розвитку озброєння та військової техніки: матеріали V Науково-технічної конференції (м.Київ, 9-12 грудня 2014 р.). Київ: ЦНДІ ОБТ ЗС України, 2014. С. 318.

19. Романченко А. Н., Закусило В. Р. Влияние дисперсности перхлората калия на взрывчатые характеристики пиротехнического состава // Хімія та сучасні технології: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (м. Дніпропетровськ, 27-29 квітня 2015 р.). Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2015. С. 80.

20. Романченко А.М. Використання конверсійних ВР в якості сенсibilізатора піротехнічних складів // Science and Scientists: матеріали Міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених ( м. Дніпропетровськ, 21-22 грудня 2015 р.). Дніпропетровськ, 2015. С. 275–276.

21. Романченко А.Н. Изготовление удлиненных зарядов пиротехнического типа на местах проведения взрывных работ // Освіта, наука та виробництво: розвиток і перспективи: матеріали I Всеукраїнської науково-методичної конференції (м. Шостка, 21 квітня 2016 р.). Суми: СумДУ, 2016. С. 56–58.

22. Романченко А.Н., Фукс М.Я. Влияние применяемого горючего компонента на взрывчатые характеристики зарядов на основе перхлората калия // Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво: матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції (м. Шостка, 23-25 листопада 2016 р.). Суми: СумДУ, 2016. С. 15–17.

## АНОТАЦІЇ

**Романченко А.М. Обґрунтування фізико-хімічних і детонаційних параметрів низькоенергетичних зарядів кар’єрного виготовлення. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин. – НТТУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2019.

Дисертаційна робота присвячена науковому обґрунтуванню рецептур та розробці способу місцевого виготовлення низькоенергетичних шпурових зарядів шляхом дослідження фізико-хімічних та вибухових характеристик гетерогенних систем на основі перхлорату калію та їх впливу на ефективність відбивання декоративного каменю зарядами низькоенергетичних ВР, виготовлених на місці проведення підричних робіт.

В роботі науково обґрунтовано необхідність введення до складу суміші для низькоенергетичних зарядів додаткових компонентів – каталізаторів термічного розкладання ПХК, що покращують вибухові характеристики розроблених зарядів.

На підставі якісного і кількісного аналізу газоутворення при вибуху, визначено, що токсичні гази типу  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$  і  $\text{Cl}_2$  присутні в незначній кількості, внаслідок чого розроблені суміші є безпечними для навколишнього середовища, а також працівників на кар'єрах.

Розроблена технологічна схема виготовлення гетерогенних конденсованих систем на основі перхлорату калію з паралельним виготовленням оболонок у вигляді трубок, а також безпосередньо спорядження подовжених зарядів. Сумішеві ВР знаходяться в поліетиленовій оболонці, що виключає контакт працівників кар'єра з вмістом зарядів. Таким чином, поліпшуються умови роботи з даними засобами відбивання блочного каменю. Крім того, розроблено спосіб виготовлення розроблюваних зарядів безпосередньо на прикар'єрному пункті. Це дозволяє виключити перевезення вибухових складів від підприємства-виробника спеціальним транспортом по території країни, що пов'язано з безпекою населення та зменшити кількість охоронюваних складських приміщень.

**Ключові слова:** перхлорат калію, каталізатор, термічне розкладання, низькоенергетичні заряди, місцеве виготовлення, технологія.

**Романченко А.Н. Обоснование физико-химических и детонационных параметров низкоэнергетических зарядов карьерного изготовления. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.03 – открытая разработка месторождений полезных ископаемых. – НТТУ «КПИ им. Игоря Сикорского» МОН Украины, Киев, 2019.

Диссертация посвящена научному обоснованию рецептур и разработке способа местного изготовления низкоскоростных зарядов путем исследования физико-химических и взрывчатых характеристик гетерогенных систем на основе перхлората калия и их влияния на эффективность отбойки декоративного камня зарядами низкоскоростных ВВ, изготовленных на месте проведения взрывных работ.

На основании литературного обзора, обоснован выбор направления и сформулированы задачи исследования по разработке рецептуры и технологии изготовления низкоскоростных гетерогенных систем на основе перхлората калия и зарядов на их основе.

Обоснована необходимость введения в состав смеси дополнительных компонентов – каталізаторов термического разложения ПХК. Исследовано влияние каталізаторов оксидов металлов на снижение температуры разложения ПХК и снижение энергии активации процесса его разложения, что обеспечило надежную работу смесей от штатного средства инициирования электродетонатора ЭД-8.

Исследована кинетика разложения смесей на основе перхлората калия с каталізаторами разложения. Определено, что каталізаторы снижают энергию



активации процесса термического разложения ПХК в 2 раза, что приводит к улучшению взрывчатых характеристик разрабатываемых взрывчатых смесей.

На основании качественного и количественного анализа газообразования при взрыве, определено, что токсичные газы типа  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{Cl}_2$  присутствуют в незначительном количестве, вследствие чего разработанные смеси являются безопасными для окружающей среды, а также работников на карьерах.

Разработана технологическая схема изготовления гетерогенных конденсированных систем на основе перхлората калия с параллельным изготовлением оболочек в виде трубок, а также непосредственно снаряжения удлиненных зарядов. Смесевые ВВ находятся в полиэтиленовой оболочке, что исключает контакт работников карьера с содержанием зарядов. Таким образом, улучшаются условия работы с данными средствами отбойки блочного камня. Кроме того, разработан способ изготовления разрабатываемых зарядов непосредственно на прикарьерном пункте. Это позволяет исключить перевозку взрывчатых составов от предприятия-изготовителя специальным транспортом по территории страны, что связано с безопасностью населения и уменьшить количество охраняемых складских помещений.

Определены взрывчатые характеристики разработанных зарядов. Критический диаметр детонации составил от 5 до 20 мм, а скорость детонации в пределах 1,3–2,1 км/сек. Данные результаты показывают возможность получения низкоскоростных зарядов различного диаметра путем варьирования рецептуры смесей на основе ПХК.

Достоинством разработанных трубчатых зарядов местного приготовления является:

- простота заряжания;
- отсутствие россыпи взрывчатого вещества;
- легкость регулирования количества ВВ в шпуре;
- возможность пространственного размещения зарядов;
- наличие воздушного пространства между зарядом и стенками шпура снижает пиковое давление при детонации, что препятствует развитию трещин в отделяемом блоке;
- использование ДШ дает возможность инициировать трубчатые заряды, находящиеся в шпуре, практически одновременно, что обеспечивает практически равную нагрузку давления взрыва по всей длине заряда;
- отсутствие контакта обслуживающего персонала с взрывчатым веществом;
- уменьшение расхода ВВ в сравнении с насыпным зарядом;
- снижение количества выбросов вредных газов в атмосферу вследствие малого объема;
- надежность срабатывания зарядов от штатных средств инициирования.

Исходя из вышеприведенных преимуществ и опытов, проведенных зарубежными учеными, а также повышением спроса на продукцию, которая изготавливается из блочного камня, в Украине предложена разработка отечественной конструкции удлиненных зарядов местного производства (типа К-туб).

**Ключевые слова:** перхлорат калия, катализатор, термическое разложение, низкоскоростные заряды, местное изготовление, технология.

**Romanchenko A.M. Substantiation of physico-chemical and detonation parameters of low-energy charges of career fabrication. – Manuscript.**

The dissertation for the candidate of technical sciences degree (comparable to the Academic Degree of Doctor of Philosophy) on specialty 05.15.03 – opencast mining operation. – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, by the Ministry of education and science of Ukraine, Kiev, 2019.

The dissertation is dedicated to scientific substantiation of recipes and developing the local manufacturing of low-speed charges through the study of physical and chemical and explosive characteristics of heterogeneous systems based on potassium perchlorate and their impact on the decorative stone reflection efficiency with low-speed explosive charges made on-site blasting.

It is scientific caused the necessity of additional components introduction to the mixture of low-speed charges, which are the catalysts of PP thermal decomposition and improve explosive characteristics of the developed charges.

On the basis of qualitative and quantitative analysis of explosion gases, it was determined that the toxic gases such as  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ , and  $\text{Cl}_2$  are present in a minor amount, as a result of the developed mixtures are safe for the environment and workers in quarries.

The technological scheme of heterogeneous condensed systems based on potassium perchlorate manufacture with a parallel production of shells in the form of tubes and equipment for elongated charges is developed. Explosive mixtures are in the plastic shell that eliminates from the contact of career workers with the charges content. Thus, the working conditions with means of block stone breaking are improved. In addition, the method of developed charges making directly in the career is developed. This eliminates the explosives transportation from the manufacturer, special transport on the territory of the country, which relates to the safety of the population and reduce the amount of protected storage space.

**Keywords:** potassium perchlorate, catalyst, thermal decomposition, low-energy charges, local manufacturing, technology.

Романченко Анжела Миколаївна

**Обґрунтування фізико-хімічних і детонаційних параметрів низькоенергетичних зарядів кар'єрного виготовлення**

05.15.03 – Відкрита розробка родовищ корисних копалин

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук