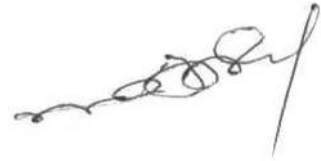


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ"**

КИРИЧЕНКО Олексій Леонідович



УДК 622.235.63:622.236.4+662.2

РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ШПУРОВИМИ ЗАРЯДАМИ ЕМУЛЬСІЙНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ПРИ ПРОВЕДЕННІ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК

Спеціальність 05.15.09 – «Геотехнічна та гірничча механіка»

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

Дніпропетровськ – 2015

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі будівництва, геотехніки і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Соболєв Валерій Вікторович,
професор кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки
Державного вищого навчального закладу
«Національний гірничий університет»
Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Петренко Володимир Дмитрович,
завідувач кафедри тунелів, основ та фундаментів
Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна
Міністерства освіти і науки України;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Кратковський Ігор Леонідович,
старший науковий співробітник відділу механіки вибуху
гірських порід Інституту геотехнічної механіки імені
М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ).

Захист дисертації відбудеться "___" _____ 2015 р. о __— годині на засіданні спеціалізованої вченої ради при Державному вищому навчальному закладі "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, т. (0562) 47-24-11).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий "___" _____ 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Для забезпечення ефективного руйнування гірських порід тривалий час застосовувалися промислові вибухові речовини, що містять у своєму складі нітроєфіри і тротил. Володіючи високими енергетичними параметрами, такі вибухові речовини (ВР) характеризуються низьким рівнем безпеки і негативним впливом на навколишнє середовище й організм людини. Необхідність підвищення рівня безпеки, як під час виготовлення промислових ВР, так і при їх використанні для вибухових робіт призвела до розвитку напрямів щодо вдосконалення вибухових технологій, у тому числі з використанням нових видів ВР. На цей час промисловості запропоновані концептуально нові водонаповнені емульсійні ВР (ЕВР), що не містять високобризантних речовин типу тротилу і нітрогліцерину, і які об'єднали в собі за відносно низької вартості технологічну ефективність і високий рівень безпеки.

Однак в Україні в підземних умовах, як і раніше у великих обсягах використовуються ВР, що містять тротил або нітроєфіри. Така ситуація на підземних гірничодобувних підприємствах пояснюється низькими темпами впровадження ЕВР другого класу застосування, що зумовлено технологічними особливостями процесу буропідричних робіт (БПР), відсутністю досвіду застосування ЕВР, відомостей щодо їх вибухових характеристик і низькою іншими факторів. Необхідність оптимізації рецептури вибухових речовин в цілому, і в тому числі з метою зменшення або повного запобігання утворення в продуктах детонації токсичних і отруйних газів, є особливо актуальною в обмеженому просторі підземної гірничої виробки. Очевидним є і те, що ця задача повинна вирішуватися з урахуванням особливостей фізико-хімічних властивостей і мінералогічної спеціалізації гірських порід, ступеня їх вологості та інших параметрів.

Таким чином, встановлення закономірностей зміни вибухових характеристик ЕВР від головних факторів, що впливають, для широкого впровадження нових типів ЕВР другого класу застосування, а також вирішення питань, пов'язаних з підвищенням ефективності БПР в підземних умовах, є актуальною науково-технічною задачею, яка має велике значення в забезпеченні сталого розвитку гірничодобувної галузі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт на базі науково-освітнього центру фізики енергонасичених матеріалів і процесів, створеного ДП НВО «ПХЗ» та Державного ВНЗ «НГУ», програми відпрацювання технологічного процесу БПР у виробничих умовах ДП «Свердловантрацит» із застосуванням патронівних ЕВР марки «ЕРА»-Р (2010-2011 рр.), а також в рамках цільової регіональної програми «Перехід гірничодобувних підприємств, підконтрольних Криворізькому гірничопромислому територіальному управлінню Держгірпромнагляду України, на безтритилові екологічно безпечні вибухові речовини» (2013 р.).

Підставою для проведення дослідження є договір № 1151/2-10-10611 від 29.12.2010 р. між ДП «НВО« ПХЗ» та ДП «Свердловантрацит».

Метою роботи є обґрунтування рецептурного складу та вибухових характеристик ЕВР на основі твердих вуглеводнів сенсibilізованих хімічним способом

для ефективного руйнування гірських порід у прохідницьких забоях вугільних шахт, безпечних за газом і пилом.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

1. Виконати аналіз та узагальнення результатів досліджень і досвіду використання ВР другого класу застосування при проведенні підземних виробок.
2. Розробити методики проведення експериментальних досліджень з визначення вибухових характеристик патронованих ЕВР в умовах впливу різних зовнішніх факторів.
3. Визначити вибухові характеристики патронованих ЕВР на основі твердих вуглеводнів, сенсibiliзованих хімічним способом.
4. Розробити методику оцінки тиску на стінки зарядної камери з урахуванням ізоентропи продуктів детонації ВР та ударної адіабати породи для моделювання процесу та оцінки зони передроблення порід навколо заряду ВР.
5. Провести серію експериментальних досліджень під час проведення БПР з використанням ЕВР в умовах прохідницьких забоїв вугільних шахт, безпечних за газом і пилом.
6. Провести промислову перевірку і визначити економічний ефект від застосування нових типів ЕВР.

Об'єкт досліджень – процес руйнування гірських порід шпуровими зарядами патронованих ЕВР в умовах прохідницьких забоїв підземних виробок.

Предмет досліджень – вибухові характеристики шпурових зарядів ЕВР з хімічною газифікацією на основі твердих вуглеводнів.

Методи досліджень. В основу наукових досліджень покладено комплексний підхід, який передбачає аналіз та узагальнення літературних джерел за темою дисертації, лабораторні та промислові експериментальні дослідження, фізико-хімічні методи дослідження, аналітичні дослідження з використанням методів чисельних розрахунків, теорії пружності та механіки руйнування порід вибухом. Для оцінки параметрів дроблення підірваної гірничої породи використовувався фотопланіметричний метод. Отримані по кожному вибуху фотопланиграми аналізувалися з використанням системи фотоаналізу «WipFrag».

Основні наукові положення, що захищаються у дисертації:

1. Швидкість зміни детонації в заряді ЕВР діаметром 32 мм з щільністю $1000...1300 \text{ кг/м}^3$ описується параболічною функцією з максимумом ($4100 \pm 100 \text{ м/с}$) в межах щільностей $1120...1180 \text{ кг/м}^3$, що дозволяє встановлювати «ефективний» діапазон щільності, в межах якого забезпечуються задані характеристики ЕВР.
2. Швидкість детонації ЕВР, що містить $7 \pm 1 \%$ води і $3,7 \pm 0,1\%$ твердих вуглеводнів під час впливу хвилі напруження, генерованої вибухом заряду ВР попередньої серії, змінюється у діапазоні $0,9...9\%$, що дозволяє розкрити механізм деформації шпурового заряду ЕВР і оцінити параметри його щільності.
3. Деформація стиснення заряду ЕВР хвилею напруження має однакову тривалість $6 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ і зменшується зі збільшенням відстані ($0,5...1,0 \text{ м}$) від джерела коливаний за ступеневою залежністю; на відстані $\geq 1,1 \text{ м}$ деформація припиняється, і після проходження хвилі щільність ЕВР відновлюється за час, що не перевищує $\sim 8 \cdot 10^{-3} \text{ с}$, що дозволяє рекомендувати раціональну відстань та інтервал уповільнення між шпурами, які виключають «переущільнення» ЕВР.

Наукові результати та їх новизна.

1. Вперше експериментально встановлені параметри зміни швидкості детонації у шпуровому заряді ЕВР, що містить в рецептурі $7\pm 1\%$ води і $3,7\pm 0,1\%$ твердих вуглеводнів, під час впливу хвилі напруження, викликаной вибухом заряду попередньої серії уповільнення, що дозволяє вибирати раціональну відстань між шпурами, яка виключає «переушільнення» ЕВР.

2. Вперше експериментально доведено здатність ЕВР відновлювати свою щільність до вихідних значень після впливу хвилі напруження за час ($\sim 8 \cdot 10^{-3}$ с), який залежить від властивостей і фізичної структури газифікованої емульсійної матриці на основі твердих вуглеводнів, що дозволяє використовувати отримані дані для розробки раціональних схем підривання шляхом підбору інтервалів уповільнення між шпурами.

3. Розроблено нову спрощену методику визначення та побудови ударних адіабат гірських порід за даними про кількісний склад вмісту основних мінеральних компонент, що дозволило скласти універсальну обчислювальну програму, яка повністю автоматизує всі етапи розрахунку параметрів ударного стиснення багатокомпонентного середовища.

4. Запропоновано нову фізико-математичну модель механізму утворення додаткових отруйних газів в продуктах детонації під час руйнування гірських порід вибухом.

5. Отримано нову залежність, яка дозволяє розрахувати відстань передачі детонації між патронами ЕВР «ЕРА»-РЗ (підкласу 1.1), залежно від таких параметрів, як щільність і діаметр заряду.

6. Експериментально встановлено ефективний діапазон щільності ($1120 \dots 1220$ кг/м³) для заряду ЕВР «ЕРА»-РЗ діаметром 32 мм, при якому у заряді досягається максимальна швидкість детонації, а також критична щільність (~ 1270 кг/м³), при якій ЕВР з вмістом води $6,8\pm 0,2\%$ втрачає здатність стійко сприймати ініціюючий імпульс від капсюль-детонатора (КД) з навіскою $0,6 \dots 0,7$ г РЕНТ.

7. Отримано залежність впливу щільності розподілу шпурових зарядів ЕВР у вибої гірничої виробки на параметри коефіцієнта використання шпуру (КВШ).

8. Отримано рівняння, яке за параметрами КВШ, дозволяє уточнювати значення питомої витрати ЕВР, необхідної для ефективного дроблення і викиду гірської маси за межі воронки вибуху.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується системним підходом при проведенні експериментальних досліджень; використанням відомих методів фізико-хімічних досліджень, а також апробованих методик випробувань енергонасичених матеріалів; використанням атестованого обладнання та засобів контролю; використанням сучасних методів теоретичного аналізу під час вирішення задач; задовільною збіжністю результатів теоретичних досліджень з результатами лабораторних і промислових досліджень з похибкою не більш $12 \dots 20\%$.

Наукове значення роботи полягає у встановленні вибухових характеристик патронуваного ЕВР з хімічною газифікацією та закономірностей їх зміни під впливом низки фізико-хімічних (внутрішніх) і фізико-механічних (зовнішніх) факторів, що визначають технологічну ефективність та екологічну безпеку за-

стосування шпурових зарядів ЕВР у вугільних шахтах безпечних щодо вибуху газу та займання вугільного пилу.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці:

- паспорта буропідривних робіт для прохідницьких робіт з використанням ЕВР марки «ЕРА»-Р;
- рекомендацій для розрахунку схем розташування і підривання шпурових зарядів ЕВР у прохідницьких забоях підземних гірничих виробок.

Реалізація висновків і рекомендацій роботи. Результати досліджень впроваджені та в даний час використовуються під час виконання буропідривних робіт у вугільних шахтах ДП «Свердловантрацит», ПрАТ «ЗФ КВ-Донбас» «Краснолучська Північна № 1», ТОВ «ПФК «Схід «Вугільпромвидобуток», ТОВ НВК «Лучвуглевидобуток» Артема-Західна», рудних шахтах СхідГЗК, ПАТ «КЗРК», гіпсовій шахті ім. Артема ТДВ «Лафарж гіпс».

Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні методів і методик досліджень, проведенні експериментальних досліджень, аналізі отриманих результатів та встановленні залежностей, що описують досліджувані явища.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на IV Міжнародній науково-технічній конференції «Використання промислових та конверсійних вибухових речовин при руйнуванні гірських порід вибухом і екологічна безпека» (смт. Свалява Закарпатської області, 2008); VII і X Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології ведення буровибухових робіт, їх економічна ефективність і техногенна безпека» (смт. Курортне, АР Крим, 2009, 2012); VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Розробка, використання та екологічна безпека сучасних гранульованих та емульсійних вибухових речовин» (смт. Свалява, Закарпатської області, 2013); VII і IX Міжнародних наукових семінарах «Високоенергетична обробка матеріалів» (м. Дніпропетровськ, 2007, 2013).

Публікації. За матеріалами виконаних досліджень опубліковано 17 наукових робіт, в тому числі 10 в спеціалізованих фахових виданнях, що входять до переліку ВАК України, 2 у збірниках конференцій та 5 у інших виданнях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 141 найменування на 15 сторінках і 3 додатків на 15 сторінках. Робота викладена на 144 сторінках машинного тексту, у тому числі містить 36 рисунків і 13 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 179 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі наведені результати аналізу сучасного стану та основних напрямків розвитку БПР в умовах шахт і рудників, безпечних за газом і пилом. Ці дані свідчать, що в Україні накопичений великий досвід зі створення і виробництва промислових ВР, у тому числі й сучасних та більш безпечних водонаповнених ЕВР. Однак на підземних гірничих підприємствах основними штатними ВР як і раніше є неводостійкі: амоніти, грамоніти, а також детоніт який містить нітроефіри.

Крім цього при вибуховому способі руйнування гірських порід негативним і практично неминучим результатом дії вибуху є передроблення породи.

Дослідженнями механізму руйнування гірських порід та розробкою методик оцінки зони руйнування раніше займалися В.В. Адушкін, В.М. Мосинець, В.В. Даниленко, В.О. Боровіков, М.Ф. Друкований, В.М. Комір, Е.І. Єфремов, В.Д. Петренко, І.Л. Кратковский та інші вчені.

Однак для вирішення завдань з обґрунтування вибухових характеристик ВР з метою зменшення об'єму передробленої породи існує необхідність розробки універсальної обчислювальної програми, яка дозволить автоматизувати всі етапи розрахунків параметрів вибухового ударного стиснення багатокомпонентного середовища.

Виходячи з цього, впливає, що задачі забезпечення необхідного рівня ефективності та безпеки нерозривно пов'язані між собою і повинні вирішуватися з урахуванням особливостей не тільки властивостей ВР, але й фізико-механічних властивостей, мінералогічного складу гірських порід і т.п.

У другому розділі обґрунтовані методи теоретичних і експериментальних досліджень фізико-хімічних і вибухових характеристик ЕВР з хімічною газифікацією на основі твердих вуглеводнів та охарактеризовано обладнання для реєстрації експериментальних вимірювань, а також аргументований обсяг досліджень.

Третій розділ дисертації присвячений теоретичним дослідженням механізму утворення додаткових отруйних газів в продуктах детонації та розробці методики оцінки вибухового навантаження гірських порід.

Розглядаючи механізм руйнування гірської породи як сукупність складних видів деформацій, що супроводжуються зміною фізичного стану її поверхні, впливає, що між поверхнями новоутворених тріщин виникає напруженість електричних полів, величина яких може сягати $\sim 10^8$ В/см. За таких параметрів при взаємодії компонентів продуктів вибуху з зарядами на твердих поверхнях існує велика ймовірність розриву хімічно стійких зв'язків молекул, утворених в результаті вибуху. Такий сценарій припускає, що найбільш ймовірними активними частинками, потенційно здатними взяти участь у створенні рухливих хімічних сполук, можуть бути різні іони. Особливо сильна активність проявляється, якщо гірські породи представлені кам'яним вугіллям або рудами, що містять метали.

У даній роботі для оцінки стійкості хімічного зв'язку продуктів детонації використаний метод квантово-механічної оцінки хімічного зв'язку, згідно з яким передбачається, що на хімічний зв'язок між двома атомами діє поле електричного заряду (третього центру), тобто виникає деяке збурення.

Рішення модельної задачі показує, що при зближенні молекули N_2 з точковим зарядом або у разі збільшення валентності іона при фіксованій відстані молекули від заряду спостерігається поступове "розпушування" хімічного зв'язку, а на деякій відстані від заряду (або при певній величині заряду) здійснюється розрив зв'язку. При збільшенні заряду активуюча дія на хімічний зв'язок молекули посилюється, тобто за інших рівних умов молекула руйнується з більшою ймовірністю в порівнянні з тією, на яку впливає заряд меншої величини.

Встановлені закономірності свідчать про активність точкового електричного заряду, яка проявляється у здатності його поля викликати ослаблення і роз-

рив хімічних зв'язків молекул. Каталітичні реакції, що протікають на поверхнях новостворених тріщин, є процесом природним, при цьому неможливо змінити або управляти їх параметрами. Проте, з нашої точки зору, застосування ЕВР обмежить утворення додаткового об'єму отруйних газів, оскільки менша кількість продуктів вибуху у каталітичних реакціях з пороною утворить відповідно і меншу кількість додаткових отруйних газів.

Явище передроблення породи під час вибуху є актуальною проблемою безпеки праці. Численні дослідження показують, що більша частина передробленої породи утворюється в безпосередній близькості до заряду ВР. У цьому зв'язку в роботі було приділено увагу процесам руйнування порід поблизу заряду ВР. Для оцінки зони руйнування, в якій порода дезінтегрується до дрібнодисперсних фракцій, використовували рівняння стану конденсованої речовини, засноване на його ударній адіабаті, поданої у вигляді лінійного рівняння

$$D = c_0 + \lambda u. \quad (1)$$

Оскільки дані ударного стиснення для більшості порід відсутні, розрахунок основних параметрів ударної адіабати виконувався за спрощеною аналітичною методикою, яка передбачає використання моделі багатокомпонентного середовища, яке еквівалентне реальному. Основні рівняння запропонованої методики наступні:

$$c_{осм} = \left[c_{02} \left(\alpha_1 \left(\frac{\rho_{02}}{\rho_{01}} - 1 \right) + 1 \right) \right] \div \left[\sqrt{\alpha_1 \left(\frac{\rho_{02}^2 c_{02}^2}{\rho_{01}^2 c_{01}^2} - 1 \right)} + 1 \right]; \quad (2)$$

$$\lambda_{см} = \left[1 - \frac{\alpha_1 \rho_{02} \left(1 - \frac{1}{\lambda_1} \right) + (1 - \alpha_1) \rho_{01} \left(1 - \frac{1}{\lambda_2} \right)}{\alpha_1 \rho_{02} + (1 - \alpha_1) \rho_{01}} \right]^{-1}; \quad (3)$$

$$u_{см}^2 = P \left[\frac{\alpha_1 \left(1 - \frac{\rho_{01}}{\rho_1} \right)}{\rho_{01}} + \frac{(1 - \alpha_1) \left(1 - \frac{\rho_{02}}{\rho_2} \right)}{\rho_{02}} \right], \quad (4)$$

де α_1 і α_2 – вагова частка першої та другої компонент; ρ_{01} , c_{01} , ρ_{02} , c_{02} – параметри суміші першої та другої компонент.

Результати чисельного аналізу розрахунків, виконані за запропонованою методикою, показали задовільну збіжність з результатами експериментів для близьких за складом сумішей в області тисків, в яких визначені константи компонент досліджуваних матеріалів.

Після того як були отримані експериментально або розраховані за запропонованою в даній роботі методикою основні параметри рівняння ударної адіабати, визначали параметри тиску, при якому відбувається термопружне руйну-

вання породи. Розрахунки виконували для умов нормального падіння фронту детонації на поверхні породи без пористості з використанням відомих виразів:

$$\rho_D (u_D + D_1) = \rho^* (u^* + D_1); \quad (5)$$

$$P^* - P_D = \rho_D (u_D + D_1)(u_D - u^*); \quad (6)$$

$$P_1 D_2 = \rho^{**} (D_2 - u^*); \quad (7)$$

$$P = \rho_1 D_2 u^*; \quad (8)$$

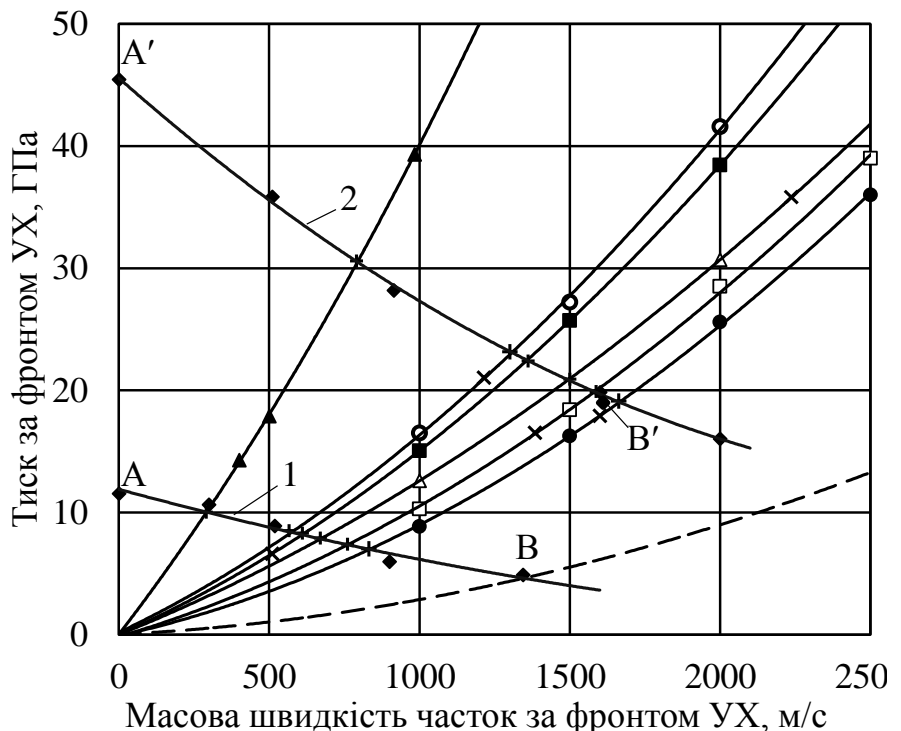
$$P^* = \rho_1 (a + b u^*) u^*; \quad (9)$$

$$P^* = A \rho^{*k}, \quad (10)$$

де P_D , ρ_D і u_D – відповідно тиск, щільність і масова швидкість часток за фронтом детонаційної хвилі; P^* , u^* , ρ^* – відповідно тиск, швидкість часток і щільність у продуктах вибуху (ПВ) за фронтом відбитої від поверхні породи (границі розділу) ударної хвилі; P^* , u^* , ρ^{**} – тиск, швидкість часток і щільність породи за ударною хвилею, що розповсюджується від границі розділу; P , ρ_1 і u – початкові параметри (тиск, масова швидкість часток і щільність) в породі; D_1 і D_2 – відповідно швидкість ударної хвилі в ПВ і в породі.

Результати розрахунку параметрів адіабат гірських порід і ПВ наведено на рис. 1. На графіку точки перетину ударних адіабат порід і ПВ (позначені +) відповідають початковому тиску в породі на границі розділу двох середовищ ПВ-порода. На ударній адіабаті ЕВР «ЕРА» точки А, А' і В, В' тиск у випадку зіткнення з жорсткою стінкою і в точці Чепмена-Жуге відповідно.

Рис. 1. Ударні адіабати порід: ● – пісковик; Δ – кварц; ○ – доломітна цегла; ▲ – маловуглецева сталь ($D = 3,8 + 1,58u$); □ – граніт; ■ – вапняк; × – пороговий тиск; 1 – ізоентропа ПВ ЕВР ($\rho_0 = 1120 \text{ кг/м}^3$; $D = 4175 \text{ м/с}$); 2 – ізоентропа ПВ тротилу ($\rho_0 = 1637 \text{ кг/м}^3$; $D = 6940 \text{ м/с}$); пунктирна крива – усереднена ударна адіабата кам'яного вугілля марок від Г до К (похибка оцінок не більше 10%)



На прикладі моделювання процесів вибухового навантаження порід з використанням запропонованої методики була отримана порівняльна характеристика, яка показує, що у разі застосування ЕВР обсяг передроблення породи буде змен-

шуватися, оскільки тиск на границі ВР-порода менше порогових тисків для більшості досліджених порід. Тиск у зразку вугілля при контактному заряді ЕВР збігається з тиском в точці Чепмена-Жуге – $P=5$ ГПа, $u=1320$ м/с. Тому для оцінки тиску на границі ЕВР-кам'яне вугілля буде достатньо знати тиск в точці Чепмена-Жуге.

Четвертий розділ присвячений вибору рецептурного складу та обґрунтуванню раціональних параметрів вибухових характеристик патронуваних ЕВР для шпурових зарядів.

Для обґрунтування оптимального вмісту води в складі ЕВР, при якому в заряді діаметром 32 мм забезпечується стійка детонація від ініціюючого детонаційного імпульсу КД № 8, проводили дослідження чутливості зразків ЕВР з вмістом води 4...11% і щільністю 1080...1160 кг/м³. Кисневий баланс зразків, що випробували, дорівнював $-0,57...-0,78$. Результати досліджень наведені на рис. 2 та описані залежністю

$$E_I = 0,0706 \cdot x^2 - 0,6239 \cdot x + 10,58. \quad (11)$$

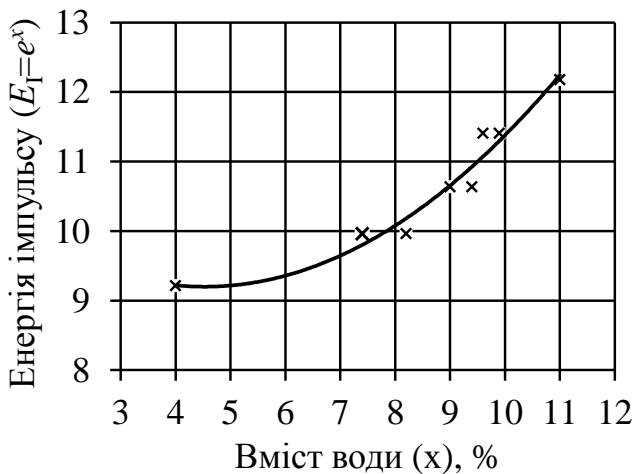


Рис. 2. Залежність зміни енергії початкового ініціюючого імпульсу від вмісту води у складі ЕВР

Встановлено, що стійкий розвиток детонації в заряді ЕВР діаметром 32 мм і вмістом води до 8,2% забезпечуватиметься від стандартних КД №8 електродетонаторів (ЕД) або систем неелектричного ініціювання (СІН) з енергією імпульсу $E_I = 9,21 \div 9,96$ (0,6 ÷ 0,8 г РЕТН).

Таким чином, для проведення подальших досліджень була обрана рецептура ЕВР з вмістом води ~7% (аналог ЕВР марки «ЕРА»-РЗ).

Під час неодновимірного перебігу реакції за фронтом ударної хвилі параметри детонації в певних границях стають залежними від попереч-

них розмірів заряду ВР ($d_{ЗАР}$). Дослідження граничного діаметру ($D_{ГР}$), при якому досягається оптимальна швидкість детонації, виконували на зарядах ЕВР діаметром: 32, 40, 60, 70 і 90 мм при щільності ($\rho_{ЕВР}$) ЕВР 1120...1180 кг/м³.

Для визначення критичного діаметра детонації використовували заряди телескопічної форми. Випробування проводили для зразків ЕВР з щільністю 1000...1300 кг/м³. Результати дослідження граничних параметрів розповсюдження детонаційної хвилі в заряді ЕВР представлені у вигляді залежностей (12) і (13). Встановлено, що гранична швидкість детонації ЕВР досягається в зарядах діаметром не менше 60 мм. При зменшенні діаметру заряду ЕВР до 32 мм швидкість детонації становить 92,6% від граничної швидкості детонації.

$$d_{ГР} = 0,162 \cdot d_{ЗАР}^2 + 25,694 \cdot d_{ЗАР} + 3536,6; \quad (12)$$

$$d_{KP} = 4,88 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{EBP}^2 - 0,1007 \cdot \rho_{EBP} + 74,62 \quad (13)$$

Величина мінімального критичного діаметра детонації (d_{KP}) в заряді ЕВР зі щільністю 1000...1170 кг/м³ складає ~23 мм. Для зразків ЕВР зі щільністю 1180...1270 кг/м³ величина критичного діаметра збільшується на ~10% і становить 25 мм. При щільності >1270 кг/м³ в заряді ЕВР спостерігається переривання детонації. Характер отриманих залежностей вказує на те, що патрони ЕВР з щільністю 1000...1270 кг/м³ задовольняють критерію безвідмовного застосування в шпурах стандартного діаметру.

Залежність швидкості детонації від щільності ЕВР наведена на рис. 3. Аналіз показує, що максимум швидкості детонації зразків ЕВР досягається у вузькому діапазоні щільності 1120...1180 кг/м³. При щільності більш 1270 кг/м³ досліджувані заряди ЕВР втрачають здатність стійко сприймати ініціюючий імпульс і детонувати від КД з навіскою 0,72 г РЕТН, що ускладнює подальше визначення їх швидкості детонації в зразках ЕВР діаметром 32 мм. Математичний опис отриманої залежності може бути представлений у вигляді рівняння

$$D_{EBP} = -11,26 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{EBP}^2 + 26,155 \cdot \rho_{EBP} - 10998. \quad (14)$$

Вираз (14) дозволяє якісно охарактеризувати залежність зміни швидкості детонації від щільності ЕВР у заряді постійного діаметра.

При підриванні зарядів ВР, які складаються з групи патронів, істотний вплив на параметри детонації може надавати порушення суцільності заряду з утворенням проміжків з інертного середовища між патронами. Для визначення здатності передачі детонації через повітряний проміжок (r) між патронами ЕВР проведені дослідження для патронів ЕВР діаметром 23, 32, 45, 70, 75 і 90 мм. Критичний діаметр детонації досліджуваних зразків ЕВР відповідав 23 мм.

$$r = 69,15 \cdot \left(\frac{d_{ЗАР}}{4,88 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{EBP}^2 - 0,1007 \cdot \rho_{EBP} + 74,62} \right) - 68,531. \quad (15)$$

Отримана залежність (15) дозволяє визначити відстань передачі детонації від величини співвідношення діаметрів заряду і критичного діаметра детонації. Результати рішення отриманого рівняння наведені на рис. 4.

З наведеної на рис. 4 залежності видно, що максимальна відстань передачі детонації досягається в діапазоні щільності ЕВР 1000...1100 кг/м³. При щільності ЕВР нижче 1100 кг/м³ здатність ЕВР до передачі детонації на відстань знижується в 1,7 рази. Як показує залежність (15) максимальний тиск детонації

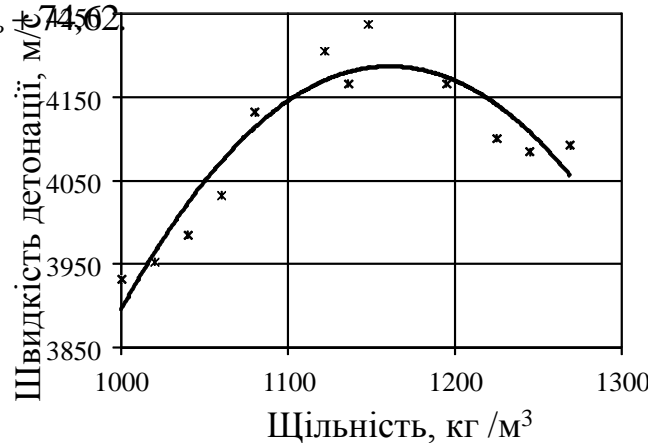


Рис. 3. Залежність зміни швидкості детонації від щільності ЕВР

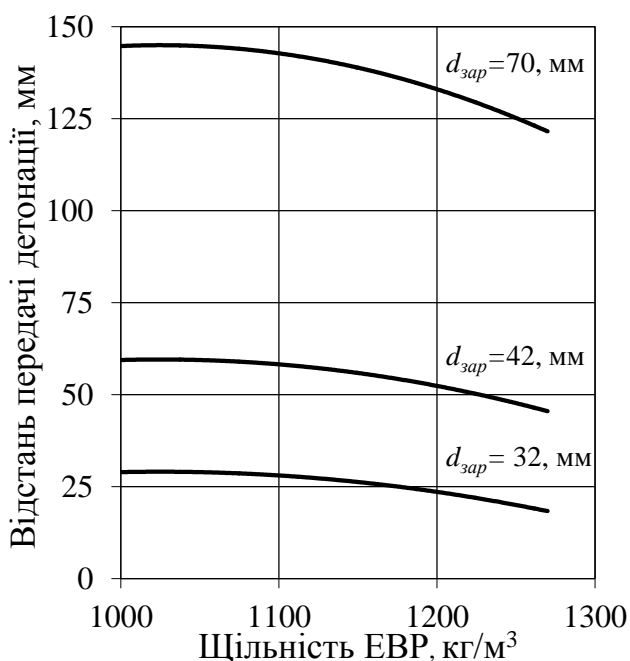


Рис. 4. Залежність відстані передачі детонації між зарядами від щільності ЕВР

масою 0,35 кг. Щільність ЕВР відповідала 1006 кг/м^3 . Попередньо на кожному заряді встановлювали по два оптоволоконних кабелі, підключених до реєстраційних каналів приладу вимірювання швидкості детонації «Explometr». Заряди ініціювали за допомогою електронних детонаторів «Daveytronik» з високою точністю часу спрацьовування. Під час підривання першої пари зарядів перший шпур підривали з уповільненням (τ_1) 0 мс, а другий з $\tau_2 = 3$ мс.

Для другої і наступних пар зарядів послідовно збільшували τ_2 з кроком 6, 9, 12, 15, 20 і 25 мс відповідно при цьому у всіх випадках $\tau_1 = 0$ мс. Всього було підрвано 7 пар шпурових зарядів. Такі ж аналогічні випробування були проведені на відстанях $R = 0,6, 0,8$ і $1,0$ м. Результати досліджень наведено на рис. 5.

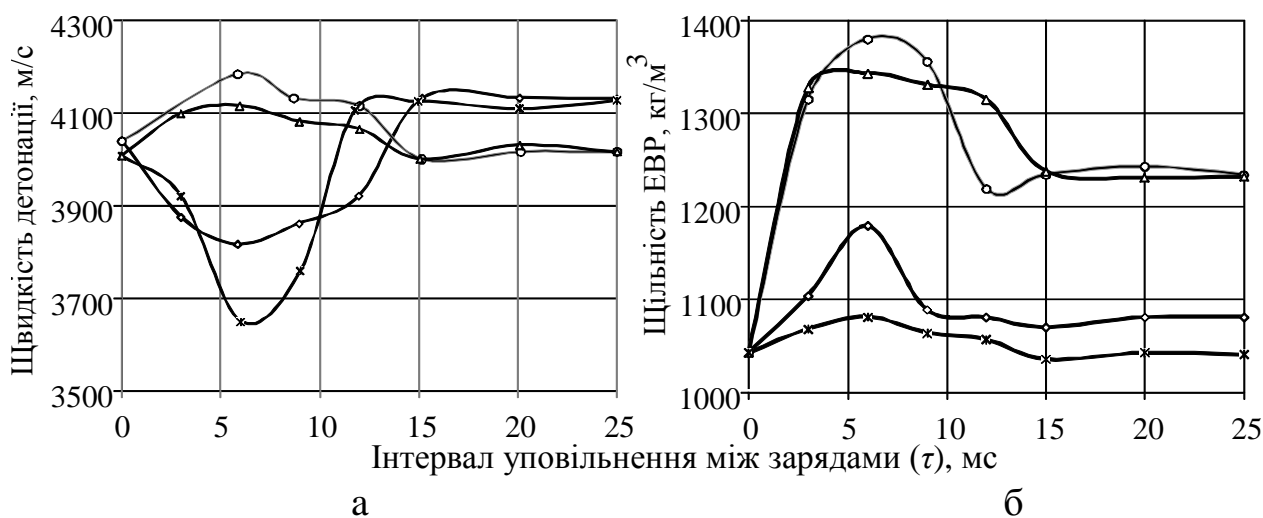


Рис. 5. Залежність зміни швидкості детонації ЕВР (а) та щільності ЕВР (б) від τ між шпурами на відстанях 0,5 м (x), 0,6 м (◇), 0,8 м (○), 1,0 м (Δ)

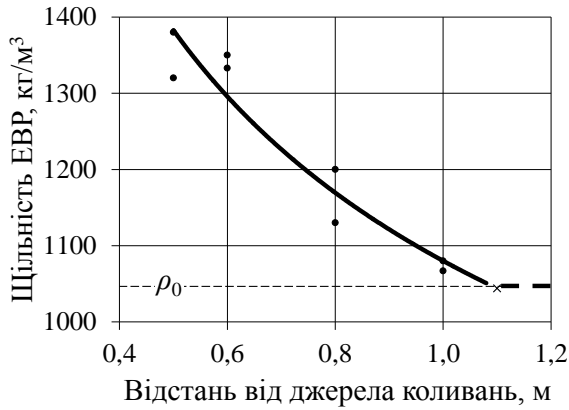


Рис. 6. Залежність змінення щільності ЕВР від відстаней між зарядами

хвилі напруження викликає в заряді зміни щільності ЕВР за рахунок деформації стиснення і подальшого розвантаження. Тривалість деформації заряду становить $\sim 15 \cdot 10^{-3}$ сек.

За результатами аналізу даних, (рис. 5, б) отримана залежність (рис. 6), яка показує, що деформація стиснення заряду ЕВР хвилиною напруження зі збільшенням відстані 0,5...1,0 м від джерела коливаль зменшується за ступеневою залежністю. На відстані $\geq 1,1$ м деформація припиняється, що дозволяє рекомендувати раціональні відстані між шпурами, що виключають «переущільнення» ЕВР під час групового підривання.

Таким чином, за результатами досліджень була обрана рецептура ЕВР, вибухові характеристики якої задовольняють основним критеріям для ВР другого класу застосування. Розміри, форма, маса патронованих ЕВР відповідали вимогам технічних умов ЕВР «ЕРА».

У п'ятому розділі наведені результати досліджень в підземних умовах вугільних шахт, безпечних за газом і пилом. Апробація та оцінка ефективності патронованих ЕВР здійснювалася у 12 прохідницьких забоях шахт ДП «Свердловантрацит».

Забой обурювалися шпурами діаметром 42 мм. Для формування шпурових зарядів використовували патрони ЕВР «ЕРА»-РЗ Ø32 мм. Проектом вибухових робіт передбачалося використання схем підривання з прямим врубом, розташованим в центрі виробки. В якості ініціаторів застосовувалися ЕД, що забезпечують десять ступенів уповільнення – з I до IV через 15 мс, з IV до VI через 20 мс, з VI до X через 500 мс. Загальний час уповільнення не перевищував 2 сек. Підривання шпурових зарядів здійснювалося за схемою із зворотним ініціюванням.

Всього за результатами досліджень було проведено 23 вибухи, підірвано 1256 шпурових зарядів ЕВР загальною масою ~ 1166 кг. Загальна протяжність гірничих виробок, пройдених по вуглепородному масиву, склала ~ 45 м.

Встановлено, що використання патронованих ЕВР в породах міцністю $f < 10$ дозволяє створювати врубову порожнину максимального обсягу і при цьому забезпечує ефективну роботу всіх шпурів у вибої виробки з КВШ 0,9÷1,0.

При застосуванні ЕВР, що містять у своєму складі 7% води, у вуглепородних масивах міцністю $f > 10$ встановлено, що параметри КВШ при відносно рівних умовах ведення вибухових робіт коливаються в діапазоні 0,76÷0,94.

Аналіз результатів вибухів патронованих ЕВР дозволив встановити залежність КВШ від щільності розподілу шпурових зарядів по площі перерізу виробки ($\delta_{ШП}$) для порід різної міцності. Величина $\delta_{ШП}$ визначалася як відношення кількості шпурів до площі поперечного перерізу гірничої виробки. Результати проведеного аналізу для шпурових зарядів $\varnothing 42$ мм і довжиною 1,8...2,1 м наведені на рис. 7 і в апроксимуючих залежностях (16) і (17). Дані на рис. 7 вказують на очевидну залежність величини КВШ від $\delta_{ШП}$ та міцності породи.

$$\eta_{<10} = -0,0377 \cdot \frac{\left(\frac{1,27 \cdot q_{BP} \cdot S_{BP}}{\rho_{BP} \cdot d_{\Pi}^2 \cdot k_{ЗАП}} \right)}{S_{BP}} + 1,0521, \quad (16)$$

$$\eta_{>10} = -0,0462 \cdot \frac{\left(\frac{1,27 \cdot q_{BP} \cdot S_{BP}}{\rho_{BP} \cdot d_{\Pi}^2 \cdot k_{ЗАП}} \right)}{S_{BP}} + 1,0343, \quad (17)$$

де S_{BP} – площа поперечного перерізу виробки, м²; d_{Π} – діаметр патрона ВР, м; $k_{ЗАП}$ – коефіцієнт заповнення шпуру; ρ_{BP} – щільність ВР.

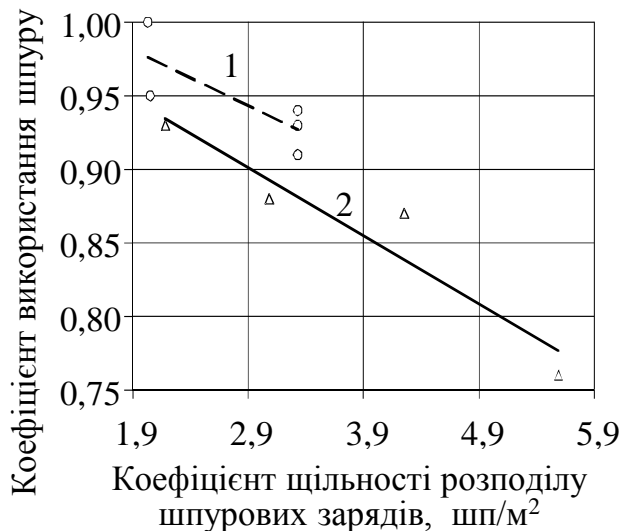


Рис. 7. Залежність КВШ від $\delta_{ШП}$: 1 – вуглепородний масив з міцністю $f < 10$; 2 – вуглепородний масивів з міцністю $f > 10$

тину виробки на параметри дроблення гірських порід були проаналізовані фотопланіграми, отримані за результатами дослідних вибухів в умовах вибоїв шахт «Должанська-Капітальна», «Харківська» і «Центросоюз». Результати вимірювань умовно поділяли на результати, отримані в породах з міцністю $f < 10$ і $f > 10$.

Оцінка параметрів дроблення порід з міцністю $f > 10$ показала, що під час підривання шпурів з щільністю зарядження патронованих ЕВР 0,86...0,93 г/см³ зі зменшенням величини $\delta_{ШП}$ з 6,0 до 2,05, величина середнього куска породи може збільшуватися до 1,57 разів і становити від 0,14 до 0,22 м відповідно. Така величина середнього куска породи є допустимою для вантажної техніки. Для порід з міцністю $f < 10$ вплив щільності розподілу шпурів по перетину виробки

За обраної схеми підривання шпурових зарядів ЕВР, а також відстані між шпурами в ступенях уповільнення зі збільшенням параметра $\delta_{ШП} \geq 3$ відбувається зниження КВШ, яке стає $< 0,9$. Зниження величини КВШ до 0,9 для порід з міцністю $f > 10$ і до 0,95 для порід з міцністю $f < 10$ при збільшенні кількості шпурових зарядів на 1 м² площі перетину може бути пояснено явищем компресії, яке виникає в ЕВР під час проходження хвилі стиснення від вибуху шпурових зарядів попередніх уповільнень.

Для оцінки впливу щільності розподілу шпурових зарядів по перетину

менш виражений. Так, зі зменшенням δ_{III} з 3,33 до 2,18 величина середнього куска породи збільшується до 1,25 разів і становить від 0,1 до 0,12 м відповідно.

Вирішуючи рівняння (16) і (17) можна встановити оптимальну величину питомої витрати ЕВР (19), необхідну для дроблення породи та її викиду за межі воронки вибуху:

$$q_{EVP} = \frac{(a - \eta) \cdot \rho_{EVP} \cdot d^2 \cdot k_{ЗАП}}{b \cdot 1,27}, \quad (19)$$

де коефіцієнт $a = 1,0521$ при ($f < 10$), $a = 1,0343$ при ($f > 10$); коефіцієнт $b = 0,0377$ – при ($f < 10$), $b = 0,0462$ при ($f > 10$).

Для оцінки достовірності отриманої залежності, порівняємо результати розрахунку питомої витрати, виконаного за рівнянням Протод'яконова та (19). Результати проведеної оцінки представлені на рис. 8. Також для порівняння наведені параметри q_{EVP} , що використовувались при проведенні дослідних вибухів. Для розрахунку прийнято: $S = 15,9 \text{ м}^2$; $\rho_{EVP} = 1080 \text{ кг/м}^3$; $k_{ЗАП} = 0,5$; $k = 1,3$.

Представлені дані показують, що величина q_{EVP} , отримана за формулою (19), має хорошу збіжність з експериментальними даними.

Таким чином, рівняння (19) дозволяє надійно з достатньою точністю визначати параметри q_{EVP} для умов підривання у вуглепородних масивах з міцністю порід f від 6 до 14. При цьому отримана залежність може бути рекомендована для визначення q_{EVP} у більш міцних породах. Для цього буде потрібно експериментальним шляхом визначити лише коефіцієнти a і b .

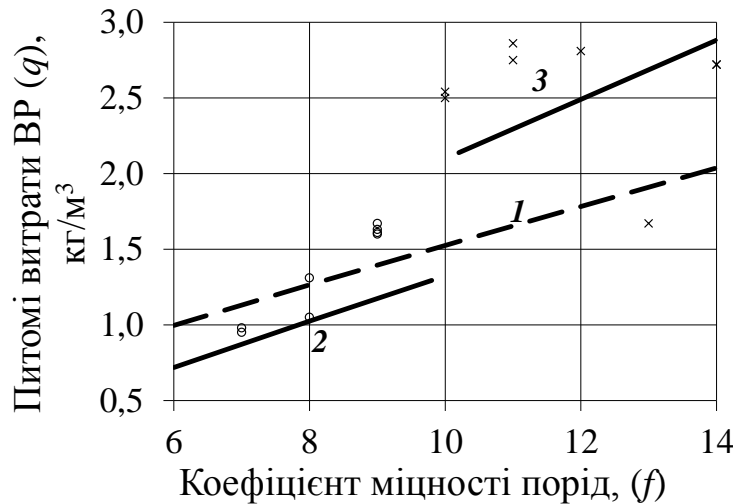


Рис. 8. Результати порівняльного аналізу розрахункових і фактичних величин q_{EVP} для підривання ЕВР у породах різної міцності: 1 – за рівнянням Протод'яконова; 2 і 3 – за рівнянням (19) для порід з $f < 10$ (o) і $f > 10$ (x) відповідно

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених вибухових характеристик нового типу патроніваних ЕВР з хімічною газифікацією і закономірностей їх зміни під впливом низки факторів вирішене науково-технічне завдання з підвищення техніко-економічних показників та безпечних параметрів БПР при проведенні підземних виробок.

Основні наукові та практичні результати полягають у наступному:

1. На основі фізико-математичної моделі багатокомпонентного середовища, яке еквівалентне реальному, побудований алгоритм розрахунку, за допо-

могою якого були визначені основні параметри ударної адіабати для деяких порід і вугілля, а також виконана оцінка тиску термопружного руйнування породи до дрібнодисперсних фракцій під час вибуху заряду ЕВР.

2. За результатами вирішення модельної задачі з оцінки стійкості хімічного зв'язку продуктів детонації у разі каталітичної дії новоутвореної поверхні породи встановлено, що дія поля точкового електричного заряду здатна викликати ослаблення або руйнування хімічного зв'язку стійких молекул, внаслідок чого можуть утворюватися нові рухливі хімічні сполуки, у т.ч. отруйні гази. Проте за даними термохімічної оцінки встановлено, що в продуктах детонації ЕВР утворюється менша кількість активних хімічних сполук, здатних взяти участь у каталітичних реакціях з породою, що обмежує імовірність утворення додаткових отруйних газів.

3. Експериментально визначені раціональні вибухові характеристики для патронуванних ЕВР з хімічною газифікацією на основі твердих вуглеводнів, а саме, встановлено вплив кількості води в рецептурі ЕВР, його щільності і поперечного розміру заряду на:

– чутливість ЕВР до механічних і електростатичних впливів, величину енергії імпульсу, необхідну для забезпечення стійкої детонації в заряді ЕВР з вмістом води 4...11%;

– граничні параметри розповсюдження детонації (критичний і граничний діаметри детонації) у відкритому заряді ЕВР з щільністю 1000...1320 кг/м³ і діаметром 22...90 мм.

4. Встановлений ефективний діапазон щільності ЕВР, при якому в заряді діаметром 32 мм досягається максимальна швидкість детонації, а також значення критичної щільності, при якій ЕВР з вмістом води $6,8 \pm 0,2\%$ втрачає здатність стійко сприймати ініціюючий імпульс від КД з навіскою 0,6...0,7 г РЕНТ.

5. На основі експериментальних досліджень отримана залежність, яка дозволяє розрахувати відстань передачі детонації між патронами ЕВР (підкласу 1.1) відносно таких параметрів як щільність і діаметр заряду.

6. Розроблена методика, яка дозволила виконати оцінку деформації заряду ЕВР під впливом хвилі напруження, збудженої вибухом заряду ВР попередньої серії.

7. Вперше розкритий механізм деформації шпурового заряду ЕВР с хімічною газифікацією на основі твердих вуглеводнів хвилею напруження, який вказує, що деформація ЕВР обмежена часом і зменшується зі збільшенням відстані між зарядами. Тому для повної реалізації енергетичного потенціалу ЕВР потрібно, щоб інтервал уповільнення між групами зарядів ЕВР був не менш ніж $15...17 \cdot 10^{-3}$ с.

8. Економічний ефект за результатами впровадження патронуванних ЕВР на вугільних шахтах ДП «Свердловантрацит», ПрАТ «ЗФ КВ-Донбас» Краснолучська північна № 1», ТОВ «ПФК «Схід «Вугільпромвидобуток», ТОВ «НВК «Лучвуглевидобуток» Артема-Західна» становить 54 грн/п.м. гірничої виробки, що на $40 \pm 5\%$ менш у порівнянні з аналогічними за вибуховими характеристиками ВР, у т.ч. з амонітом 6ЖВ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кириченко А.Л. Опыт применения бестротиловых эмульсионных взрывчатых веществ марки «ЕРА» на взрывных работах при зарядании скважин механизированным способом с использованием смесительно-зарядных машин / Л.Н. Шиман, Е.Б. Устименко, Л.И. Подкаменная, А.Л. Кириченко, Й.Г. Касперский // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 5/2007(46). Ч. 1. – С. 113-117.
2. Кириченко А.Л. Опыт механизированного зарядания скважин эмульсионных ВВ марки «ЕРА», в том числе с продуктами переработки твердого ракетного топлива / А.Л. Кириченко, Л.Н. Шиман, Е.Б. Устименко, Л.И. Подкаменная // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 1/2008(48), Ч. 1. – С. 94-96.
3. Кириченко А.Л. Формирование комбинированных скважинных зарядов ВВ при взрывных работах на дневной поверхности /Л.Н. Шиман, Е.Б. Устименко, А.Л. Кириченко, Л.И. Подкаменная // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 6/2008(53) Ч. 1 – С. 114-117.
4. Кириченко А.Л. Особенности свойств ЭВВ для безопасного применения их при взрывных работах / Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман, А.Л. Кириченко // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 2/2009(55), Ч. 1. – С. 86-89.
5. Кириченко А.Л. Оценка влияния условий применения смесевых ВВ на их взрывчатые характеристики при проведении взрывных работ / Л.Н. Шиман, Е.Б. Устименко, А.Л. Кириченко, Л.И. Подкаменная // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. Науково-виробничий збірник: Кременчуцький державний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2010 – Вип. 1/2010(5) – С. 60-68.
6. Кириченко А.Л. Некоторые технологические подходы для повышения эффективности применения шпуровых зарядов ВВ при подземной добыче полезных ископаемых / Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман, А.Л. Кириченко, Л.И. Подкаменная // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. Науково-виробничий збірник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КНУ, 2010 – Вип. 2/2010(6) – С. 61-67.
7. Кириченко А.Л. Развитие детонационных процессов скважинных зарядов малочувствительных промышленных взрывчатых веществ при инициировании от патронов боевиков / А.Л. Кириченко, Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман, О.В. Колтунов // Науковий вісник НГУ – 2011 – Вип. 4 – С. 59-63.
8. Кириченко А.Л. Оптимизация способов зарядания и инициирования шпуровых зарядов патронированных ЭВВ марки «ЕРА» при проходческих работах в углепородных массивах / А.Л. Кириченко, Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман, Л.И. Подкаменная, В.В. Политов // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 2/2012 (73). – С. 84-87. (Міжнародна наукометрична база даних «Index Copernicus»).
9. Кириченко А.Л. Исследование детонационных характеристик шпуровых зарядов патронированных ЭВВ / А.Л. Кириченко, Е.Б. Устименко,

Л.Н. Шиман, В.В. Политов // Науковий вісник НГУ. – 2012 – Вип. 6(132). – С. 37-41. (Міжнародна наукометрична база даних SciVerse Scopus).

10. Кириченко А.Л. Использование биоиндикационных методов исследования в системе экологического мониторинга промышленных предприятий / Т.Ф. Холоденко, Е.Б. Устименко, А.Л. Кириченко, А.И. Горювая // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 4/2013(81). – С. 155-160. (Міжнародна наукометрична база даних «Index Copernicus»).

11. Alexey Kirichenko. Substantiation of effective parameters of drilling and blasting operations in coal mines using emulsion explosives / British Journal of Science, Education and Culture, 2014. – No.2. (6) (July-December). –Vol. 1. “London University Press”. London, 2014. – 410 p. – P. 11-21. – Proceedings of the Journal are located in the Databases Scopus.

12. Кириченко А.Л. Метод построения ударных адиабат и численный анализ ударного сжатия горных пород / В.В. Соболев, А.Л. Кириченко // X Міжнар. наук.-техн. конф. «Розробка, використання й екологічна безпека сучасних гранульованих та емульсійних вибухових речовин», Кошице 2-9 лютого 2014. – Кременчук: КрНУ, 2014. – С. 12-16.

13. Кириченко А.Л. Возможный механизм образования дополнительных ядовитых газов в продуктах детонации при взрывании зарядов ВВ в горных породах / В.В. Соболев, А.Л. Кириченко // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (21-23 мая 2014 г., г. Бийск) / Алт. гос. тех. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. тех. ун-та, 2014. – С. 74-82.

14. Кириченко А.Л. Применение патронированных эмульсионных взрывчатых веществ марки «ЕРА» на горнодобывающих предприятиях металлургического комплекса / А.Л. Кириченко, Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман, Л.И. Подкаменная, О.В. Колтунов // Информационный бюллетень «Вестник УСИВ». – 2011. – № 2. – С. 3-7.

15. Кириченко А.Л. Экспериментальные исследования детонационных характеристик патронированных ЭВВ / А.Л. Кириченко, Е.Б. Устименко, Т.Ф. Холоденко, Д.В. Вашневский // Высокоэнергетические системы, процессы и их модели: [Сб. научн. тр.]/. – Днепропетровск: АкцентПП, 2013. – С. 179-188.

16. Кириченко А.Л. Возможная причина измельчения горных пород в ближней зоне взрыва ЭВВ / А.Е. Войтенко, В.В. Соболев, А.З. Прокудин, Л.Ю. Чебенко, А.Л. Кириченко // Высокоэнергетические системы, процессы и их модели: [Сб. научн. тр.]/. – Днепропетровск: АкцентПП, 2013. – **Ошибка! Ошибка связи.** С. 247-254.

17. Kirichenko A.L. The industrial emulsion explosives of the mark «ERA»/ L.N. Shyman, A.L. Kirichenko, V.V. Sobolev, A.Z. Prokudin // Высокоэнергетические системы, процессы и их модели: [Сб. научн. тр.]/. – Днепропетровск: АкцентПП, 2013. – С. 229-238.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві: [1-5] – проведення експериментальних досліджень, аналіз їх результатів та оцінка параметрів ефективності та безпеки використання засобів механізації для ви-

готовлення ЕВР; [6, 8] – виконання і обробка результатів експериментальних досліджень; [9] – розробка методики оцінки зміни фізичних та вибухових характеристик зарядів патронованих ЕВР під впливом хвилі напруження; [10] – аналіз результатів попередніх досліджень та обґрунтування можливості доповнення існуючих методів оцінки стану навколишнього середовища біоіндикаційними методами при виконанні буро підіривних робіт з використанням ЕВР; [7, 14, 15, 17] – визначення детонаційних властивостей та процесів вибухового перетворення патронованих ЕВР; [12, 13, 16] – розробка та вирішення фізико-математичних моделей.

АНОТАЦІЯ

Кириченко О.Л. Руйнування гірських порід шпуровими зарядами ЕВР при проведенні підземних виробок. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка». – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ, 2015.

Дисертація присвячена питанням руйнування гірських порід шпуровими зарядами ЕВР з хімічною газифікацією на основі твердих вуглеводнів в умовах прохідницьких забоїв вугільних шахт, безпечних щодо вибуху газу й займанню вугільного пилу.

Дана теоретична оцінка механізму утворення додаткових отруйних газів при руйнуванні хімічних зв'язків молекул газу при взаємодії продуктів детонації з новоутвореними поверхнями породи в процесі її руйнування.

Розроблений алгоритм чисельного моделювання ударного навантаження гірських порід, за допомогою якого виконана оцінка порогового тиску, при якому виникає термпружне руйнування породи в ближній зоні вибуху.

Організовані і проведені комплексні експериментальні та теоретичні дослідження фізико-хімічних і вибухових властивостей ЕВР, за результатами яких обрана рецептура патронованих ЕВР для використання у якості шпурових зарядів. Отримані закономірності використані для розробки рекомендацій, щодо оптимізації вибухових характеристик і підвищення ефективності шпурових зарядів патронованих ЕВР під час руйнування вуглепородних масивів різної міцності в умовах прохідницьких забоїв шахт ДП «Свердловантрацит».

Економічний ефект від впровадження патронованих ЕВР «ЕРА» на ДП «Свердловантрацит» становить 54 грн/п.м. гірничої виробки, що на $40\pm 5\%$ менш у порівнянні з аналогічними за вибуховими характеристиками ВР, у т.ч. з амонітом 6ЖВ.

Ключові слова: емульсійні вибухові речовини, вибухові характеристики, продукти вибуху, шпуровий заряд, коефіцієнт використання шпурів.

АННОТАЦИЯ

Кириченко А.Л. Разрушение горных пород шпуровыми зарядами эмульсионных взрывчатых веществ при проведении подземных выработок. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика». – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2015.

Диссертация посвящена вопросам разрушения горных пород шпуровыми зарядами ЭВВ с химической газификацией на основе твердых углеводородов в условиях проходческих забоев угольных шахт, не опасных по взрыву газа и воспламенению угольной пыли. Дана теоретическая оценка механизма образования дополнительных ядовитых газов при разрушении химических связей молекул газа при взаимодействии продуктов детонации со свежееобразованными поверхностями породы в процессе ее разрушения. По результатам решения физико-математической модели установлены закономерности, свидетельствующие об активности точечного электрического заряда, которые проявляются в способности его поля вызывать ослабление или разрыв химических связей молекул продуктов детонации.

Разработан алгоритм численного моделирования ударного нагружения горных пород с помощью, которого выполнена оценка порогового давления, при котором возникает термоупругое разрушение породы в ближней зоне взрыва. По результатам численных расчетов показано, что применение ЭВВ ограничит образование мелкодисперсных частиц породы, так как давление на границе ВВ-порода меньше порогового давления для большинства исследованных пород. Давление в образце каменного угля при контактном взрыве ЭВВ соответствует давлению в точке Чепмена-Жуге и составляет 5 ГПа.

Разработана методика, с помощью которой был исследован процесс деформации заряда ЭВВ волной напряжения, вызванной взрывом заряда предыдущей серии замедления. Установлено, что с момента прихода волны напряжения в заряде ЭВВ с химической газификацией увеличивается плотность. Деформация сжатия ЭВВ продолжается $6 \cdot 10^{-3}$ с. После прохождения волны наступает фаза разгрузки с восстановлением плотности ЭВВ за время до $\sim 8 \cdot 10^{-3}$ с. С увеличением расстояния (0,5...1,0 м) от источника колебаний величина деформации ЭВВ уменьшается по степенной зависимости. Из этого следует, что волна напряжения является внешним фактором воздействия, которое может привести к изменению скорости детонации ЭВВ с химической газификацией до 0,9...9%.

Организованы и проведены комплексные экспериментальные и теоретические лабораторные исследования физико-химических и взрывчатых характеристик ЭВВ, по результатам которых выбрана рецептура патронированных ЭВВ для использования в шпуровых зарядах. Установлена зависимость изменения параметров распространения детонационной волны в заряде ЭВВ, содержащем до 11% воды и $3,7 \pm 0,1\%$ твердых углеводородов, от плотности и

диаметра заряда. По результатам экспериментальных исследований выполненных в производственных условиях установлена зависимость изменения КИШ и степени дробления горных пород от плотности распределения шпуровых зарядов ЭВВ по сечению горной выработки и коэффициента крепости породы. По результатам анализа установленной зависимости было получено уравнение, которое по данным КИШ позволяет уточнять величину удельного расхода ЭВВ для обеспечения эффективных параметров БВР при проходке подземных выработок.

Результаты исследований были использованы для разработки рекомендаций по оптимизации взрывчатых характеристик и повышения эффективности шпуровых зарядов патронированных ЭВВ при разрушении углепородных массивов различной крепости в условиях проходческих забоев на ГП «Свердловантрацит» и ряде других угольных шахт.

Экономический эффект от внедрения патронированных ЭВВ «ЕРА» на ГП «Свердловантрацит» составляет 54 грн/п.м. горной выработки, что на $40\pm 5\%$ меньше в сравнении с аналогичными по взрывчатым характеристикам ВВ, в т.ч. с аммонитом 6ЖВ.

Ключевые слова: эмульсионные взрывчатые вещества, взрывчатые характеристики, продукты взрыва, шпуровой заряд, коэффициент использования шпуров.

ABSTRACT

Kirichenko A.L. **Destruction of rock by blast-hole charges of emulsion explosives during construction of underground workings.** – Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences: Specialty 05.15.09 – Geotechnical and mining mechanical engineering. – State Higher Educational Institution «National Mining University». – Dnepropetrovsk, 2015.

The thesis is devoted to problems of rock destruction by blast-hole charges of emulsion explosives (EE) with chemical gasification based on solid hydrocarbons in terms of drifting faces in coal mine, which are safe to gas explosion and ignition of coal dust.

The theoretical evaluation for the formation of additional noxious fumes during chemical bonds opening when detonation products interacting with newly formed surfaces of destructed rocks is given.

The algorithm of the numerical simulation of shock loading in rocks is developed. It makes possible to estimate the threshold pressure, at which there is the thermoelastic destruction of rocks in the near field of explosion.

Comprehensive experimental and theoretical investigation of physical, chemical and explosive properties of EE is organized and carried out. The results allowed to pick out the formulation of cartridged EE for usage as blast-hole charges. The recommendations for optimizing the explosive characteristics and efficiency of blast-hole charges of cartridged EE during the destruction of coal-bearing mass of different strength in drifting faces of SOE «Sverdlovantratsit» mines are elaborated.

The economic effect of the cartridged EE «ЕРА» implementation on SOE «Sverdlovantratsit» is 54 UAH/rm of underground working, which is $40\pm 5\%$ less compared with explosive characteristics, including ammonites 6GW.

Key words: emulsion explosives, explosive characteristics, explosion products,

blast-hole charge, blasthole efficiency ratio.

Кириченко Олексій Леонідович

РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД
ШПУРОВИМИ ЗАРЯДАМИ
ЕМУЛЬСІЙНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН
ПРИ ПРОВЕДЕННІ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК

(Автореферат)

Підписано до друку 26.01.2015. Формат 60x90/16
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. №

Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19