

**РЕЗУЛЬТАТИ ПРОМИСЛОВИХ ВИПРОБУВАНЬ
РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНО ЕФЕКТИВНОЇ
КОНСТРУКЦІЇ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ**

О. Я. Тверда, К. К. Ткачук

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

просп. Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056, Україна.

E-mail: tverdaya@ukr.net; kkttkk297@gmail.com

Проведено промислові випробування розробленої конструкції свердловинного заряду на ПрАТ «Товкачівський ГЗК». Розроблена конструкція свердловинного заряду передбачає застосування радіального проміжку між зарядом і стінкою свердловини, який заповнюється інертною речовиною з високою акустичною жорсткістю та забійки, яка виконує двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених у процесі вибухового руйнування скельних порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами виробництва, які його включають, та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами. Встановлено, що розмір зони переподрібнення зменшився у два рази за умов застосування розробленої конструкції заряду, обсяг товарної продукції майже не змінився, зросла доля негабариту в загальному об'ємі роздробленої гірської маси. Визначено, що концентрація пилу в процесі використання запропонованої конструкції забійки зменшилась більш ніж на 20 % у порівнянні з традиційною. Доведено, що наявності оксидів вуглецю та діоксиду азоту можна уникнути уже на межі санітарно-захисної зони. Результати наведені у роботі є корисними, так як підтвердили ефективність використання розробленої конструкції свердловинного заряду в процесі ведення вибухових робіт на кар'єрах скельних порід.

Ключові слова: конструкція заряду, забійка, свердловина, заряд, вибух, гази, адсорбент, інертний проміжок, зона переподрібнення, кар'єр.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОЙ
КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА**

О. Я. Твердая, К. К. Ткачук

НТУУ «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

просп. Победы, 37, г. Киев-56, 03056, Украина.

E-mail: tverdaya@ukr.net; kkttkk297@gmail.com

Проведены промышленные испытания разработанной конструкции скважинного заряда на ЗАО «Товкачевский ГОК». Разработанная конструкция скважинного заряда предусматривает применение радиального промежутка между зарядом и стенкой скважины, который заполняется инертным веществом с высокой акустической жесткостью, и забойки, которая выполняет двухстадийную очистку от вредных газов, образованных в процессе взрывного разрушения скальных пород, и базируется на хемосорбции газов негашеной известью или отходами производства, которые его включают, и физико-химической сорбции

ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

(адсорбції) цеолитами. Установлено, що розмір зони переизмельчення уменьшился в два раза при условии применения разработанной конструкции заряда, объем товарной продукции почти не изменился, возросла доля негабарита в общем объеме раздробленной горной массы. Определено, что концентрация пыли в процессе использования предложенной конструкции забойки уменьшилась более чем на 20% по сравнению с традиционной. Доказано, что наличие оксидов углерода и диоксида азота можно избежать уже на границе санитарно-защитной зоны. Результаты, приведенные в работе, полезны, так как подтвердили эффективность использования разработанной конструкции скважинного заряда в процессе ведения взрывных работ на карьерах скальных пород.

Ключевые слова: конструкция заряда, забойка, скважина, заряд, взрыв, газы, адсорбент, инертный промежуток, зона переизмельчения, карьер.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На сьогоднішній день скорочення пилогазовиділення під час масових вибухів досягається за рахунок технологічних, інженерно-технічних і організаційних заходів [1]. Найбільшого поширення набули технологічні заходи, які передбачають удосконалення конструкції заряду та забійки. Удосконалення конструкції заряду реалізується через додавання в заряди вибухової речовини (ВР) гашеного вапна або соди, зменшення діаметру заряду, розділення колонки заряду повітряними та інертними проміжками, зменшення величини перебуру [2]. Удосконалення конструкції забійки можливе через застосування гідрозабійки, забійки водним розчином поверхнево-активних речовин [1]. Однак такі заходи в процесі застосування їх по окремо не дають бажаного ефекту. Під час додавання в заряди ВР гашеного вапна або соди зменшується кількість шкідливих газів, які утворюються в процесі підривання. При цьому питання пилоутворення та якості гірської маси залишаються відкритими.

Результати досліджень впливу діаметра свердловинного заряду на площу контакту ВР з породою, яка руйнується, а також на вихід дрібних фракцій наведено у роботі [3]. Однак зменшення діаметру заряду сприяє зменшенню зони переподрібнення і не вирішує питання виходу шкідливих газів та однорідності фракційного складу, водночас за розширеної мережі свердловин зумовлює утворення негабаритних фракцій, які потребують додаткового подрібнення. Автором [4] розроблено конструкцію свердловинного заряду з повітряною порожниною в донній частині свердловини. Її застосування дозволяє знизити питомі витрати ВР до $0,513 \text{ кг/м}^3$ підірваної гірської маси.

Ларичьовим А. Ю. розглянуто можливість удосконалення конструкції заряду використанням повітряних проміжків. Доцільність широкого впровадження такого рішення підтверджується наведеними експериментальними дослідженнями, що свідчать про зменшення утворення пилу за використання зарядів з повітряними проміжками на 25–30 % [5]. Курінним В. П. [6] проведено теоретичне дослідження газодинамічних процесів, що протікають в зарядній порожнині під час детонації комбінованих зарядів, зарядів з інертними, повітряними і водними проміжками. Варто відзначити, що розділення колонки заряду повітряними та інертними проміжками дозволяє лише більш ефективно використовувати енер-

ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

гію вибуху, а збільшення об'єму зони регульованого подрібнення в роботах науково не обґрунтовано.

Для зменшення зони переподрібнення та викиду пилу більш доцільними є розробки конструкцій заряду з повітряними або водними проміжками між зарядом і стінкою свердловини. Наявність повітряного радіального проміжку призводить до зменшення величини амплітуди ударної хвилі, зниження початкового пікового тиску та збільшення ширини амплітуди. Це дозволяє збільшити тривалість імпульсу ударної хвилі на оточуюче середовище і призводить до скорочення витрат енергії на дисипативні втрати. У результаті застосування таких конструкцій значно збільшується коефіцієнт корисної дії енергії вибуху [7]. Проте, такий ефект потенційно може бути посилений за рахунок науково-обґрунтованого вибору заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини.

Зменшення величини перебуру дозволяє зменшити обсяги пилоутворення за рахунок скорочення дії вибуху на зону перебуру, однак сприяє утворенню порогів по підшві уступу. В технології підривання, описаній в роботі [2], використано свердловинні заряди без перебуру, в нижній частині яких на рівні підшви уступу формуються повітряні «подушки», названі авторами «Power Deck». До заряджання в свердловину опускається «Power Deck», ємність якого попередньо заповнюється буровим дріб'язком для збільшення ваги конструкції і безперешкодного її падіння на дно свердловини [2]. На думку авторів, ефект повітряної подушки «Power Deck» полягає у сумарній дії енергії УХ та поршневої дії ПВ на забій свердловини. В результаті реалізації запропонованого рішення автори частково вирішили проблему порогів та переподрібнених фракцій. Однак трудоемність та дороговизна процесу заряджання не дала можливості широкого застосування на кар'єрах скельних порід.

Вибору раціональної конструкції та матеріалу забійки присвячено багато праць [8–13]. Однак у них переважно розглядаються конструкції забійок, що створюють максимальний опір виштовхуванню ПВ. При цьому мало уваги приділяється питанням фільтрації ПД в атмосферу через матеріал забійки [8].

Відомі розробки конструкцій забійки направлені, у більшій мірі, на підвищення ефективності вибухових робіт. Такі забійки дають можливість зменшити частково викид пилу, однак не дозволяють нейтралізувати шкідливі гази. Спроби вирішити дану проблему були зроблені авторами робіт [9–13].

У роботі [9] нейтралізацію шкідливих газів запропоновано здійснювати використанням гашеного вапна безпосередньо у забійці над верхнім торцем заряду. Автори [10] наводять результати експериментів щодо зменшення рівня небезпечних викидів в атмосферу під час здійснення масових вибухів за рахунок застосування водної набивки з домішкою пропарювального розчину, що містить $\text{Ca}(\text{OH})_2$. ДП «НДІБПГ» [11] розроблено спосіб пилогазоподавлення під час масових вибухів із використанням твердої забійки, зволоженої водним розчином вуглекислого реагента концентрації 1–2 мас. %, і захисного екрану у вигляді зволоженого шару порід на поверхні блоку. Автори [12] пропонують вводити до складу забійкового матеріалу солі лужноземельного матеріалу. Катановим І. Б. і

ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

Скачіловим П. Г. [13] запропоновано в процесі заряджання свердловини простір над стовпцем заряду ВР заповнювати низькощільним складом.

Підводячи підсумок виконаному аналізу, варто відзначити, що на кар'єрах скельних порід розроблені заходи не отримали широкого застосування. Основними причинами є складність, трудоємність та дороговизна з однієї сторони, і низький їх вплив на результати вибуху (фракційний склад гірської маси та обсяг пилоутворення) з іншої. У зв'язку з цим на кар'єрах скельних порід до сьогодні існує проблема високого відсоткового вмісту некондиційних фракцій гірської маси у фракційному складі. Зокрема переподрібнених, котрі, на відміну від фракцій більших за кондицію, не можливо довести до кондиційного розміру. Саме переподрібнена фракція є джерелом пилоутворення на кар'єрі і займає основну долю у відходах гірничого виробництва. До цих пір не виявлено які саме параметри конструкції заряду можна змінювати без зниження ефективності дроблення і які, водночас, мають суттєвий вплив на розміри зони переподрібнення. Найбільш доцільним на даному етапі вважається застосування проміжку між зарядом і стінкою свердловини, заповненого водою. Доведено, що вода, виступаючи демпфером, зменшує розміри зони переподрібнення і має більший ефект ніж повітря. Однак до сьогодні не визначено вплив характеристик і властивостей заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини та його величини на результати руйнування порід вибухом. Процес руйнування скельних порід є, в більшій мірі, некерованим.

Проведення практичних експериментальних досліджень в обраній галузі ускладнюється трудомісткістю та великою вартістю. Неможливість постійного практичного підтвердження тих чи інших доробок зумовлює необхідність більш глибокого та охоплюючого вивчення та доопрацювання теоретичних робіт за даним напрямком. Високий рівень антропогенного навантаження та жорсткі вимоги щодо використання природних ресурсів спонукають до пошуку нових та удосконалення вже існуючих заходів, спрямованих на екологізацію ГПК з виробництва щебеню.

Мета роботи – провести промислове випробування розробленої конструкції свердловинного заряду та обґрунтувати доцільність її застосування в умовах кар'єрів скельних порід під час проведення вибухових робіт.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для дослідження впливу конструкції свердловинних зарядів ВР (рис. 1) на результат дроблення масиву гірських порід проведено масовий вибух, який розділено на 2 серії. Вибух проводився на уступі № 4, блоці № 8, горизонт +116. Загальна кількість свердловин – 30 шт. Діаметр свердловин – 250 мм. Довжина свердловини – 14 м. Довжина перебуру – 2–3 м. Свердловини бурились порядно згідно квадратної мережі свердловин, розмірами 7 м × 7 м у 4 ряди. Обводненість уступу від 0 м до 6 м. Буріння проводилось станком СБШ-250 МНА 32. Вибухова речовина – Гранеміт И-30 У. Засоби ініціювання: шашка тротилова Т-400Г, електродетонатор ЕД-8Ж, неелектрична система ініціювання (УНС). Інтервал уповільнення прийнято рівним 20–30 мсек.

ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

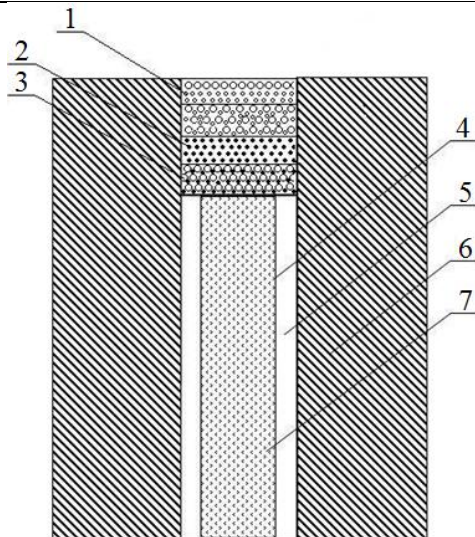


Рисунок 1 – Розроблена конструкція заряду із забійкою: 1 – цеоліт; 2 – негашене вапно; 3 – щебінь фракції 5–25 мм; 4 – поліетиленовий рукав; 5 – проміжок між зарядом і стінкою свердловини; 6 – гірська порода; 7 – вибухова речовина

Перші від вільної поверхні два ряди свердловин заряджались з урахуванням розроблених рекомендацій (табл. 1). У свердловині опускався поліетиленовий рукав діаметром 160 мм. Рукав заповнювали ЕВР Гранеміт И-30 У. У проміжок між рукавом і стінкою свердловини подавалась вода до рівня рукава. Після чого у воду засипався Ферум (III) сульфат. Враховуючи, що об'єм необхідного розчину $0,3 \text{ м}^3$ або 300 л, необхідна кількість води становила 260 л, а Ферум (III) сульфату – 174 кг. Відповідно за такої пропорції (60:40) можна досягнути густини розчину 1449 кг/м^3 .

Таблиця 1 – Параметри конструкції заряду для першої серії вибуху

Показники	Величина показника
Діаметр свердловин, мм	250
Діаметр заряду, мм	160
Довжина свердловин, м	14
Довжина перебуру, м	2
Довжина забійки, м	3
Для формування проміжку між зарядом і стінкою свердловини:	
кількість води, л	260
кількість Ферум (III) сульфату для утворення водного розчину, кг	174
Для формування забійки:	
кількість щебеню, кг	459
кількість негашеного вапна, кг	59
кількість цеоліту, кг	14

ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

Забійку формували наступним чином згідно рис. 1 та табл. 1. На першому етапі засипали 2/3 забійки сумішшю, утвореною щебнем фракції 5–25 мм і негашеним вапном. Необхідна маса негашеного вапна вираховувалась за формулою (1) і становила 59 кг на одну свердловину. На другому етапі засипалась верхня частина забійки (1/3 забійки) сумішшю, утвореною щебнем фракції 5–25 мм та клиноптилолітом. Необхідна маса цеоліту визначалась за формулою (2) і становила 14 кг.

$$m_{CaO} = \frac{\pi}{4} \rho_{BP} d_3^2 l_3 \left[(0,003V_{NO_2} + 1,74V_{CO}) \cdot 10^{-3} + \frac{V_{CO_2}}{396} \right]; \quad (1)$$

$$m_{ц} = \frac{\pi}{2} \rho_{BP} d_3^2 l_3 \frac{0,3 \cdot V_{CO}}{280}, \quad (2)$$

де ρ_{BP} – щільність ВР, кг/м³; d_3 – діаметр заряду, м; l_3 – довжина заряду, м; V – об'єм відповідного шкідливого газу з 1 кг ВР, л/кг.

Інші два ряди свердловин заряджали без застосування поліетиленового рукава на повний об'єм свердловин Гранемітом И-30 У (табл. 2). Забійку виконували із щебеню фракції 5–25 мм.

Таблиця 2 – Параметри конструкції заряду для другої серії вибуху

Показники	Величина показника
Діаметр свердловин, мм	250
Діаметр заряду, мм	250
Довжина свердловин, м	14
Довжина перебуру, м	2
Довжина забійки, м	4
Для формування забійки:	
кількість щебню, кг	530

Критеріями оцінки ефективності розробленої конструкції заряду приймалися: вихід переподрібненої фракції, вихід товарної фракції, кількість пилу та газів, викинутих в атмосферне повітря. Для визначення фракційного складу гірської маси застосовувався метод косокутної фотопланіметрії. Результати виходу переподрібненої фракції наведено у табл. 3 та на рис. 2.

Таблиця 3 – Фракційний склад гірської маси за результатами
двох серій масових вибухів

Серія вибуху/ Фракційний склад у %	0–5 мм	5–100 мм	> 100 мм
І	4	14	82
ІІ	8	15	77

ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

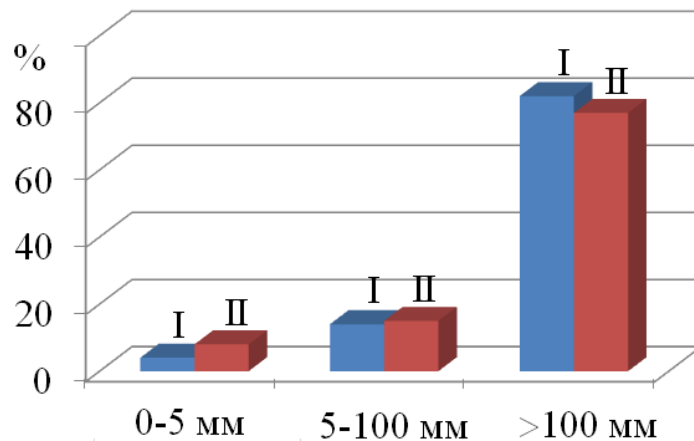


Рисунок 2 – Фракційний склад гірської маси за результатами I та II серій вибуху

Як видно з табл. 3 та рис. 2 об'єм зони переподрібнення зменшився з 8 до 4 % під час застосування розробленої конструкції заряду. Водночас обсяг товарної продукції майже не змінився. Зросла доля негабариту в загальному об'ємі роздробленої гірської маси на 5 %. Очевидно, що така ситуація зумовлена тим, що на підприємстві прийнята широка мережа свердловин 7 м × 7 м. Таким чином підприємство намагається уникати значних об'ємів переподрібнених фракцій і втрати ресурсу, віддаючи перевагу негабариту, який роздрібнюється бутобоєм. З рис. 2 бачимо, що основна доля фракцій є негабаритною і потребує додаткового подрібнення перед подрібненням її на дробарно-сортувальному комплексі.

У процесі використання запропонованої конструкції заряду за умови зменшеної мережі свердловин можна було б досягнути більш рівномірного фракційного складу зі зменшеним виходом переподрібнених фракцій (підвищення рівня ресурсозбереження), що підтверджено експериментом. Окрім того це дозволило б зменшити навантаження на навколишнє середовище. Водночас зросли б затрати на буріння і затрати на формування конструкції заряду.

Заміри концентрації пилу у повітрі робочої зони проводились через 1 годину після вибуху на відстані 50 м та на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ) у напрямку населеного пункту (Першотравневе) аерометром. Результати вимірювань наведено у табл. 4 для обох серій вибуху. Як видно з табл. 4, концентрація пилу в процесі використання запропонованої конструкції забійки зменшилась на 23 % у порівнянні з традиційною на відстані 50 м від епіцентру вибуху і на 20 % на межі СЗЗ.

Таблиця 4 – Концентрація пилу на різних відстанях від епіцентру вибуху

Серія вибуху/ Концентрація пилу, мг/м ³	На відстані 50 м від епіцентру вибуху	На межі санітарно- захисної зони
I	1,4	0,08
II	1,8	0,1

На тих же відстанях проводились заміри концентрацій шкідливих газів газоаналізатором ОКСІ-5М. Визначалась концентрація СО та NO₂. Результати вимірювань наведено у табл. 5.

ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

Таблиця 5 – Концентрація шкідливих газів на різних відстанях
від епіцентру вибуху

Серія вибуху/ Концентрація шкідливих газів, мг/м ³	Шкідливі гази	На відстані 50 м від епіцентру вибуху	На межі санітарно- захисної зони
I	CO	-	-
	NO ₂	-	-
II	CO	15	9
	NO ₂	1	-

Заміри концентрації газів у атмосферному повітрі показали (табл. 5), що за першої серії вибуху наявність CO та NO₂ не зафіксовано, а за другої – їх концентрація на відстані 50 м від епіцентру вибуху становила 15 мг/м³ і 1 мг/м³ відповідно, на межі СЗЗ – наявність NO₂ не зафіксовано, а концентрація CO склала 9 мг/м³. Результати вимірювань підтвердили ефективність використання забійки на основі негашеного вапна та цеолітів.

ВИСНОВКИ. Проведено промислові випробування розроблених заходів на ПрАТ «Товкачівський ГЗК». Критеріями оцінки ефективності розробленої конструкції заряду приймалися: вихід переподрібненої фракції, вихід товарної фракції, кількість пилу та газів викинутих в атмосферне повітря. Для визначення фракційного складу гірської маси застосовувався метод косокутної фотопланіметрії. Для визначення концентрацій шкідливих газів використовувався газоаналізатор OKSI-5M, пилу – аспіратор «АЕРА».

1. Результати випробувань показали, що розмір зони переподрібнення зменшився з 8 % до 4 % за умов застосування розробленої конструкції заряду. Водночас обсяг товарної продукції майже не змінився. Зросла доля негабариту в загальному об'ємі роздробленої гірської маси на 5 %.

2. Визначено, що концентрація пилу в процесі використання запропонованої конструкції забійки зменшилась на 23 % у порівнянні з традиційною на відстані 50 м від епіцентру вибуху і на 20 % на межі СЗЗ. Заміри концентрації газів у атмосферному повітрі показали, що за першої серії вибуху наявність CO та NO₂ не зафіксовано, а за другої – їх концентрація на відстані 50 м від епіцентру вибуху становила 15 мг/м³ і 1 мг/м³ відповідно, на межі СЗЗ – наявність NO₂ не зафіксовано, а концентрація CO склала 9 мг/м³. Результати вимірювань підтвердили ефективність використання забійки на основі негашеного вапна та цеолітів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Звягинцева А. В., Завьялова А. Ю. Анализ основных технологических и инженерно-технических мероприятий, направленных на сокращение пылегазовых выбросов при массовых взрывах на карьерах горно-обогатительного комбината. URL: https://updoc.site/download/5ad12b452ec12_pdf (дата звернення: 06.02.2017).

ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

2. К вопросу снижения выхода мелких фракций при взрывной отбойке минерального сырья, а также бурения, расхода ВВ и сейсмического эффекта на открытых горных работах / П. В. Швыдько и др. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського*. 2007. Вип. 5/2007 (46), Част. 1. С. 94–97.
3. Ефремов Э. И., Никифорова В. А., Чебенко Ю. Н. Влияние диаметра скважины на площадь контакта взрывчатого вещества с разрушаемой породой и на выход мелких фракций. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2012. Вип. 2/2012 (10). С. 9–15.
4. Гапоненко И. А. Эффективные способы подготовки скважин к заряданию и новая конструкция заряда взрывчатых веществ. *Сталий розвиток промисловості та суспільства: матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Кривий Ріг, 22–25 травня 2013 р. Кривий Ріг, 2013*. С. 48–49.
5. Ларичев А. Ю. К вопросу влияния конструкции заряда на пылеобразование при производстве взрывных работ на карьерах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014. № 12. С. 352–357.
6. Куринной В. П. Исследование газодинамических процессов, протекающих в зарядной полости при детонации зарядов взрывчатых веществ различных конструкций. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2008. Вип. 2/2008 (2). С. 59–63.
7. Масюкевич О. М., Кучерук Л. В., Калюжна В. В., Калюжный С. Л. Оцінка енергетичних характеристик вибуху свердловинних зарядів з повітряним радіальним зазором. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2004. № 1 (28). С. 179–182.
8. Воробйов В. В. Ефективність використання раціональної конструкції набійки свердловинних зарядів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2000. Вип. 2. С. 51–53.
9. Снижение пылегазовых выбросов при массовых взрывах в карьерах / Воробьев В. Д. и др. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2003. Вип. 8. С. 163–169.
10. Бережецкий А. Я., Вовк О. А. Применение пропарочных растворов для снижения пылегазовых выбросов при массовых взрывах. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2004. Вип. 11. С. 72–78.
11. Тыщук В. Ю. Исследования удельного пылегазовыделения при массовых взрывах в карьерах и способы снижения вредных выбросов. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2010. Вип. 1/2010 (5). С. 127–132.
12. Возгрин Р. А., Миронов Ю. А., Молдован Д. В. К вопросу о свойствах материала для изготовления скважинных и шпуровых забоек. *Проблемы геологии и освоения недр*. 2013. Вып. 11, Часть 2. С. 304–305. URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2013/C11/V2/139.pdf> (дата звернення: 20.02.2017).
13. Катанов И. Б., Скачилов П. Г. Совершенствование конструкции скважинного заряда с пеногелевой забойкой. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2015. № 5. С. 43–46.

**RESULTS OF INDUSTRIAL TESTS OF RESOURCE-SAVING
AND ENVIRONMENTALLY EFFICIENT CONSTRUCTION
OF THE WELL-DRILLING CHARGE**

O. Tverda, K. Tkachuk

NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

prosp. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

E-mail: tverdaya@ukr.net; kkttkk297@gmail.com

Purpose. To carry out industrial test of the developed design of the well-drilling charge and to substantiate expediency of its application in the conditions of rocky quarries during blasting operations. **Methodology.** As criteria for evaluating the efficiency of the charge design were adopted: amount of crushed fraction, amount of commodity fraction, the amount of dust and gases emitted into the atmosphere. To determine the fractional composition of the rock mass, the method of oblique photoluminescence was used. To determine the concentrations of harmful gases and dust, the gas analyzer OKSI-5M and aspirator "AERA" were used. **Results.** The results of the tests showed that the size of the crushing zone decreased from 8 % to 4 % during the using of the developed charge design. It was determined that the dust concentration decreased by 23 % in comparison with the traditional one at a distance of 50 m from the explosion epicenter and by 20 % on the border of the sanitary protection zone during using the proposed stemming design. Measurements of the concentration of gases in the atmospheric air showed that the first series of explosion did not cause the presence of CO and NO₂. After the second series of explosion their concentrations at a distance of 50 m from the explosion epicenter were 15 mg/m³ and 1 mg/m³, respectively. On the border of the sanitary protection zone the presence of NO₂ was not recorded, and the CO concentration was 9 mg/m³. **Originality.** For the first time, charge design, which provides for the formation of a radial gap around the charge and filling it with an inert substance, and design of the stemming, which involves a two-stage purification from harmful gases and is based on the chemisorption of gases by quicklime and physico-chemical sorption by zeolites were tested in the real conditions (Private Joint-Stock Company «Tovkachiv Mining Enrichment Plant»). **Practical value.** As a result of the implementation of the developed solution, the mining industry will be able to get not only the ecological and economic effect, but also social, related to minimizing the risks to the health of workers and the population of the surrounding areas. The design of the well-drilling charge is simple and has a low cost. References 13, tables 5, figures 2.

Key words: charge design, stemming, borehole, charge, explosion, gases, adsorbent, inert gap, crushing zone, quarry.

REFERENCES

1. Zvyagintseva, A. V., Zavyalova, A. Yu., Analysis of the main technological and engineering measures designed to reduce dust and gas emissions during mass explosions at quarries of the mining and processing plant. URL: https://updoc.site/download/5ad12b452ec12_pdf (Last accessed: 06.06.2018).

2. Shvydko, P. V. and others (2007), “To the issue of reducing the yield of small fractions during the blasting of mineral raw materials, as well as drilling, explosives consumption and seismic effect in open pit mining”, *Scientific journal "Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University"*, issue 5/2007 (46), volume 1. pp. 94–97.
3. Efremov, E. I., Nikiforova, V. A., Chebenko, Yu. N. (2012), “Influence of the diameter of the well on the contact area between explosive and destroyed rock and on the yield of small fractions”, *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry*, issue 2/2012 (10), pp. 9–15.
4. Gaponenko, I. A. (2013), “Effective ways to prepare wells for charging and new design of the explosive charge”, *Sustainable development of industry and society: materials of international Sci.-Tech. Conf.*, Kryvy Rih, May 22–25, pp. 48–49.
5. Larichev, A. Yu. (2014), “To the question of the influence of charge design on dust generation during blasting operations in quarries”, *Mining Information and Analytical Bulletin*, № 12, pp. 352–357.
6. Kurinnoi, V. P. (2008), “Investigation of gas-dynamic processes occurring in the charging cavity during the detonation of explosive charges of various designs”, *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry*, issue 2/2008 (2), pp. 59–63.
7. Masiukevych, O. M., Kucheruk, L. V., Kaliuzhna, V. V., Kaliuzhnyi, S. L. (2004), “Estimation of the energy characteristics of the explosion of borehole charges with air radial clearance”, *The Journal of Zhytomyr State Technological University. Series: Engineering*, № 1 (28), pp. 179–182.
8. Vorobyov, V. V. (2000), “Efficiency of the use of rational design for the boreholes of borehole charges”, *Bulletin of NTUU KPI. Series "Mining"*, issue 2, pp. 51–53.
9. Vorobiev, V. D., Zakharov, V. V., Berezhetsky, A. Ya., and others (2003), “Reduction of dust and gas emissions during mass explosions in quarries”, *Bulletin of the NTUU "KPI". Series "Mining"*, issue 8, pp. 163–169.
10. Berezhetsky, A. Ya., Vovk, O. O. (2004), “Application of evaporation solutions for reduction of dust and gas emissions during mass explosions”, *Bulletin of NTUU KPI. Series "Mining"*, issue. 11, pp. 72–78.
11. Tyshchuk, V. Yu. (2010), “Investigations of specific dust extraction during mass explosions in quarries and ways to reduce harmful emissions”, *Modern resource-saving technologies of mining production*, issue 1/2010 (5), pp. 127–132.
12. Vozgrin, R. A., Mironov, Yu. A., Moldovan, D.V. (2010), “On the question of the properties of material for the production of wellbore and borehole fogs”, *Problems of geology and development of subsoil*, issue 2 (11), pp. 304–305.
13. Katanov, I. B., Skachilov P. G. (2015), “Improvement of the design of a well discharge with foam gauge zaboykoy”, *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, № 5, pp. 43–46.

Стаття надійшла 03.05.2019.