

УДК 622.235.22:622.272 (477.63)

Д. В. БРОВКО, В. В. ХВОРОСТ, кандидати техн. наук, доценти, С. С. СЕРГЄЄВ, асист., А. М. ПРИЛЕПСЬКИЙ, магістрант, Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕМУЛЬСІЙНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН В ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ

Мета. Мета даної роботи полягає в проведенні аналізу відбійки гірської породи за допомоги емульсійної вибухової речовини в підземних умовах Криворізького залізорудного басейну в порівнянні з традиційними тратіломісткими вибуховими речовинами. Провести теоретичне обґрунтування доцільності та практичної необхідності переходу на економічні, безпечні і екологічно надійні безтритилові вибухові речовини.

Методи дослідження. Розглянуто аналітичне дослідження ефективності використання емульсійних вибухових речовин для відбійки гірської породи, де виконується обґрунтування його застосування при проведенні гірничопрохідницьких робіт.

Наукова новизна. Вперше виконано теоретичне, практичне і економічне обґрунтування доцільності переходу від тратіломісткими до емульсійних вибуховими речовинами.

Практична значимість. Завдання складається в знаходженні оптимальних рішень щодо вдосконаленню параметрів буровибухових робіт при проходці горизонтальних виробок для діючих шахт Криворізького басейну, що дозволяють досягнути ряду позитивних змін, які можуть привести до збільшення швидкості проходки, зменшення шкідливих викидів газів, а також до зниження витрат на БВР.

Результати. Визначено, що застосування емульсійної вибухової речовини у якості основного заряду може позитивно позначатися на витратах вибухової речовини шляхом їх зменшення. Встановлено, що емульсійні вибухові речовини мають меншу кількість виділених шкідливих газів, ніж тритилові вибухові речовини після вибуху, це дозволяє скоротити швидкість провітрювання вибою. Подальше вивчення та застосування в шахтах емульсійної вибухової речовини дає можливість використовувати ефективну розробку породного масиву. Завдяки удосконаленню критеріїв відпрацювання гірських порід виникає можливість доцільно адаптувати даний спосіб до підземних умов на діючих шахтах Криворізького басейну

Ключові слова: вибухові речовини, горизонтальна виробка, буровибухові роботи.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-46-81-85

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Однією з істотних проблем шахт Криворізького залізорудного басейну є значне відставання в термінах підготовки і здачі в експлуатацію нових горизонтів. Це обумовлено не тільки об'єктивними причинами загальноекономічного характеру, але і неадаптованою організацією буровибухових робіт.

Збільшення глибини ведення гірничих робіт супроводжується погіршенням геологічних і гірничотехнічних умов. Все це вимагає вирішення завдань щодо забезпечення якнайшвидшого введення в дію нових горизонтів, підвищенню ефективності капітальних вкладень, зниження вартості спорудження підземних об'єктів і раціонального використання будівельних матеріалів на основі вдосконалення інженерних методів розрахунку й створення високоекономічних проєктів, які відповідають сучасним вимогам науково-технічного прогресу.

На сьогоднішній день будівництво горизонтальних гірничих виробок на шахтах Кривбасу проводиться з використанням буровибухових робіт. При будівництві підземних споруд різного призначення в скельних породах буровибуховий метод продовжує залишатися найбільш ефективним і економічним способом руйнування масиву. Різноманітність галузей, де застосовуються вибухові роботи, передбачає використання великої кількості різних за властивостями і умовами використання вибухових речовин (ВР) та засобів ініціювання (ЗІ).

На шахтах Криворізького басейну переважно при проходці горизонтальних підземних споруд використовують тритилові вибухові речовини (ТВВ). В якості основного заряду комплексу шпурів, як правило застосовують Грамоніт 79/21 в поєднанні з патроном бойовиком амоніт №6ЖВ. Традиційний метод хоч і довів свою ефективність при проходці виробок, однак має ряд недоліків таких як: низький коефіцієнт використання шпурів (КВШ); погану якість дроблення та оконтурювання виробки; низьку водостійкість і велику кількість виділення шкідливих газів.

Розглянуті недоліки стали підставою формування переходу гірничорудних підприємств на застосування емульсійних вибухових речовин, які за екологічними, економічним і практичними показниками мають перевагу перед ТВВ. Досвід гірничовидобувних підприємств показує, що застосування безтритилових ВР є безальтернативним напрямом, що дозволяє здешевити витра-

ти на вибухову відбійку гірської породи і значно знизити шкідливий вплив вибухових робіт на оточуюче середовище [1].

З огляду на вище зазначене пропонується використовувати емульсійну вибухову речовину (ЕВР), а саме «Україніт-ПП-2». ЕВР є рідкою двокомпонентною сумішшю емульсійної композиції (ЕК) і газогенеруючої добавки (ГГД) ГГД є найважливішим компонентом ЕВР, оскільки від їх ефективності і насиченості залежить стабільність і продуктивність складу емульсії. Стандартна компоновка заряду шпуру до 2,5 м виглядає так: 99,0% ЕК + 1,0% ГГД в результаті отримуємо високу ступінь дроблення гірської маси з повною відсутністю негабаритів та КВШ до 0,95 [2].

Аналіз досліджень і публікацій. У кінці 2008 р. силами українських підприємств, що входять до групи компаній, пов'язаних з виробництвом ЕВР «Україніт», було розпочато експериментальні роботи по створенню унікальних рецептур компонентів ЕВР для підземного застосування та дослідно-конструкторські роботи по розробці комплексів обладнання для механізованого приготування та заряджання шпурів і свердловин при проходці гірничих виробок і видобутку руд [0].

В якості базових підприємств-споживачів дослідно-експериментальних складів ЕВР «Україніт» були прийняті гірничорудні комбінати, які мають найбільш сучасну техніку і технологію видобутку – ПШ у формі ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат» (м. Дніпрорудне) і ДП «Східгзк» (м. Жовті Води). ТОВ «Экком» (м. Дніпропетровськ) був здійснений підбір рецептури ЕВР Україніт-ПП-2 для підземного застосування, ТОВ «НТТ ТехноТрон» (м. Жовті Води) – проведена розробка і виготовлення змішувально-зарядного стенду ЗЗС для приготування і механізованого заряджання шпурів і свердловин, а фінансування робіт – ТОВ «Укрвибухтехнологія» (м. Харків) [3].

У березні 2009 р. вперше в історії гірничих робіт України на шахті «Експлуатаційна» ПШ у формі ЗАТ «ЗЗРК» (гор. - 940 м), були проведені експериментальні вибухи, які показали хороші результати – високий ступінь дроблення гірської маси (КВШ від 0,9 до 0,95), а також значно меншу загазованість рудникової атмосфери після проведених вибухів [3].

Аналіз опублікованих робіт, які висвітлюють різні аспекти наукових досліджень, показує на значне число публікацій, присвячених вдосконаленню параметрів буропідричних робіт при проходці горизонтальних виробок.

Постановка задачі. Визначити оцінку можливості, рівня доцільності та ефективності використання емульсійної вибухової речовини. У якості основного заряду для комплектів шпурів в роботі був розглянутий Україніт ПП-2, який перевірявся на наступні умови: потенційність підвищення швидкості проходки за рахунок збільшеної глибини шпурів з ЕВР; можливість скоротити час провітрювання; визначення економічної доцільності руйнування гірської породи за допомогою емульсії.

Викладення матеріалу і результати. Вибухові роботи займають значну частку витрат у собівартості будівництва горизонту. Тому на гірничорудних підприємствах відбувається постійний пошук рішень щодо зниження витрат, який може призвести до економічної вигоди. Враховуючи, що вартість однієї тони Україніт ПП-2 складає 25480 грн., що значно нижче ніж Грамоніт 79/21 з ціною 41920 грн., були розраховані паспорти БВР для цих типів ВР.

Аналіз дослідження проводився на прикладі споруджуваного штреку горизонту 1390 м, ш. «Родіна», ПАТ «КЗРК» з площею перерізу $S_{вч} = 12,65 \text{ м}^2$ та міцністю $f = 10-12$ за шкалою проф. М.М. Протоцьконова. Визначення необхідної кількості ВР, дозволило розрахувати вартість руйнування 1 метра виробки як за допомогою Україніт ПП-2 так і Грамоніт 79/21.

При використанні Грамоніт 79/21 та Україніт ПП-2 детонація основного заряду відбувається від патрона-бойовика, який розташований першим в донній частині шпура. Оскільки глибина основного комплексу шпурів не перевищує 1,6 метра, одного патрона-бойовика досить для детонації основного заряду, як при використанні Україніт ПП-2 так і при Грамоніт 79/21. Тому кількість і вартість патрона-бойовика буде однаковою для цих типів ВР.

Визначаючи масу основного заряду ВР необхідного для проходки 1 метра, було встановлено, що Україніт ПП-2 необхідно на 13,53 кг більше ніж Грамоніт 79/21. Не дивлячись на це, економічно доцільніше використовувати Україніт ПП-2, це обумовлено меншою вартістю ВР, яка дозволяє нівелювати витрата Україніту ПП-2.

Виходячи з розрахунків було визначено загальну кількість ВР і його вартість для проходки 1 метра при різних типах ВР. На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що

спільне використання Україніт ПП-2 і Амоніт №БЖВ в порівнянні з використанням Грамоніт 79/21 і Амоніту №БЖВ здешевлює вартість руйнування одного метра виробки на 8%, що в грошовому еквіваленті складе 135,63 грн.

Наступний етап дослідження був розділений на дві частини, у першій паспорт БВР при різних типах ВР розрахований теоретичним методом, у другому прийнятий діючий паспорт БВР з використанням ТВР та порівняний з розрахунковим паспортом ЕВР.

Слід зазначити, що на практиці нижні шпури в паспорті БВР заповнюються лише патронованим ВР, а саме амоніт №БЖВ з метою більш потужного підривання контуру виробки. Також це обумовлено скупченням води в підшві вибою, де застосування Грамоніт 79/21 не доцільне, оскільки він не водостійкий. Розрахунки грошових витрат на руйнування одного метра виробки для ЕВР і ГВР у різних випадках наведені на рис. 1.

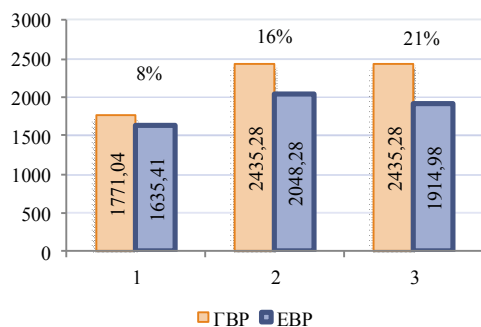


Рис.1. Вартість руйнування метра виробки: 1 – результат теоретичного розрахунку; 2 – результат на основі діючого паспорта БВР; 3 – результат на основі діючого паспорта БВР зі зміненою системою зарядки нижніх шпурів

Отримавши необхідну кількість Україніт ПП-2 і порівнявши з чинним паспортом БВР з використанням Грамоніт 79/21, результат показав можливість здешевлення вибухової роботи за рахунок використання ЕВР. У випадку залишення у нижніх шпурах патронованого ВР економія досягає 16%, а у разі заповнення їх Україніт ПП-2 – 21 %.

Отримавши фактичну кількість ВР для проведення заходки, видається можливість визначення необхідної кількості повітря, що подається у вибій та визначення фактичного часу провітрювання, яка розраховується за формулою

$$T = \frac{2,3 \cdot \sqrt[3]{A \cdot S_{вч}^2 \cdot b \cdot L^2 \cdot k_{обв}}}{Q \cdot 60}, \quad (1)$$

де A – кількість одночасно підриваємих ВР; кг; S – площа поперечного перерізу вчорні, м²; b – газованість ВР, л/кг; $k_{обв}$ – коефіцієнт враховуючий обводненість виробки; L – довжина провітрюваної виробки, м; Q – кількість повітря, що підводиться до вибою, м³/сек.

Визначивши час провітрювання при використанні Грамоніт 79/21 результат склав 19,3 хв., а при використанні Україніт ПП-2 - 17,1 хв., це свідчить про можливість незначно скоротити час провітрювання. Показник b – вказує на кількість виділення отруйних газів, для тротиломітних ВР складає 65л/кг, для емульсійних ВР 33 л/кг, саме він дозволяє нівелювати показник A , в якому кількість одночасно підриваємих ВР у ЕВР складає більше в порівнянні з ТВР. Україніт ПП-2 виготовляється з компонентів, які не є вибуховими і токсичними речовинами, тому він не небезпечний для здоров'я людей, а умови транспортування і зберігання його компонентів значно спрощені в порівнянні з іншими застосовуваними ВР.

Незважаючи на деякі успіхи при проведенні гірничих виробок у Кривбасі темпи проходки залишаються ще на низькому рівні і складають в середньому 40-60 м/міс. Одним з напрямків вирішення згаданих завдань є проходка виробок заходками збільшеної глибини. При цьому значно знижується питома вага підготовчих і допоміжних операцій прохідницького циклу, більш повно і раціонально використовується прохідницьке обладнання в часі, значно збільшується КВШ.

Після проведення аналізу необхідної кількості ВР і його вартості, з'ясувалося, що використовувати ЕВР в якості основного заряду вигідніше, ніж використання ТВР. Однак, крім економічної вигоди, дуже важливо, щоб швидкість проходки виробки, залишалася на тому ж рівні, а при можливості і збільшилася.

Порівнявши результати дослідних вибухів для різних типів ВР, КВШ при використанні в якості основного заряду Грамоніт 79/21 становить 0,94, що є більше ніж у разі застосування Україніт ПП-2 – 0,85. Однак при використанні ЕВР довжина шпуру становить 2 метри, що порівняно з ТВР на 0,4 метра довше. Отже, для аналізу швидкості проходки, з урахуванням КВШ при використанні різного типу ВР побудований графік (рис. 2).

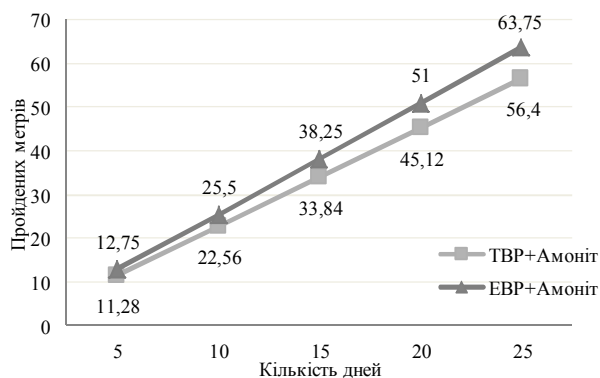


Рис. 2. Швидкість проходки при використанні ЕВР та ТВР

Тож, як можна бачити з рис. 2, за перші п'ять днів можливо підвищити швидкість проходки, за рахунок використання збільшеного комплекту шпурів з ЕВР на 1,47 метра в порівнянні з використанням ТВР і з кожними наступними днями результат швидкості проходки буде нарощуватися. І як можна помітити після проведених 25 днів роботи, при використанні ЕВР швидкість проходки збільшиться на 7,35 метра, що в процентному співвідношенні складає на 11% більше у порівнянні з традиційною технологією при використанні ТВР.

Висновки і напрям подальших досліджень. У роботі здійснено теоретичне обґрунтування та розв'язання задач спрямованих на удосконалення параметрів БВР. Проведений аналіз ВР дає змогу стверджувати, що застосування в якості основного заряду для комплексу шпурів Україніт ПП-2 здешевлює проведення вибухових робіт, та може призвести до економічної доцільності. Реалізація в роботі запропонованих заходів удосконалень буровибухових робіт дозволить скоротити витрати на використання ВР від 16 до 21% в залежності від розглянутого паспорту БВР.

Визначено, що необхідна кількість часу для провітрювання при використанні ЕВР, не більша ніж у випадку застосування ТВР, навіть незважаючи на те, що кількості ЕВР для руйнування гірської породи більша ніж при ТВР. Це обумовлено тим, що виділена кількість шкідливих газів у разі використання ЕВР менше ніж при ТВР.

Також було з'ясовано, що за умови використанні ЕВР можливе підвищення швидкості проведення гірничопрохідницьких робіт, за рахунок застосування комплексу шпурів зі збільшеною глибиною, у зв'язку з цим раціональність використання прохідницького обладнання виправдовується.

Подальший розвиток у напрямку вдосконалення параметрів БВР має перспективи, оскільки на шахтах Кривбасу існує значне відставання в проведенні гірничокапітальних виробок. Тому необхідність розвитку заходів спрямованих на нарощування темпів будівництва горизонтів є необхідною мірою для умов розвитку гірничорудних підприємств Криворізького басейну.

Список літератури

1. **Ступник Н. И.** Перспективы использования безтритиловых взрывчатых веществ на рудниках с подземной добычей полезных ископаемых [Електронний ресурс] / **Н. И. Ступник, В. А. Калиниченко, М. Б. Фелько** – Режим доступу до ресурсу: <http://nv.nmu.org.ua/index.php/tu/component/jdownloads/finish/38-01/616-01-2013-stupn>.
2. **Андреев Б. Н.** Совершенствование параметров буровзрывных работ при проходке горизонтальных выработок глубокими заходками [Електронний ресурс] / **Б. Н. Андреев, С. С. Сергеев** – Режим доступу до ресурсу: http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/147041/29_DneprStudConf_2016_134.pdf?sequence=1.
3. **Зубко С. А.** Внедрение смесительно-зарядной и доставочной техники для эмульсионного взрывчатого вещества "Украинит" на горнодобывающих предприятиях Украины / **С. А. Зубко, В. В. Русских, А. В. Яворский, Е.А. Яворская** // Геотехнічна механіка. - 2013. - Вип. 111. - С. 37-48.
4. **Хворост В. В.** Забезпечення надійності поверхневого комплексу методом прогнозування технічного стану елементів будівель і споруд / **Б. М. Андрєєв, Д. В. Бровко, В. В. Хворост.** // Вісник Криворізького національного університету. – 2016. – №41. – С. 87–92.
5. **Бровко Д. В.** Safe operation of surface objects by analyzing the causes of emergency situations occurrence / **Д. В. Бровко, В. В. Хворост.** // Междунар. конф. «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід» м. Відень, Австрія. – 2017. – №2. – С. 180–186.
6. **Андрєєв Б. М.** Ensuring competitive capacity on the international security market of objects by implementing technological innovations / **Б. М. Андрєєв, Д. В. Бровко, В. В. Хворост.** // Mechanisms of interaction between competitiveness and innovation in modern international economic relations. Collective monograph edited by M. Bezpartochnyi. ISMA University Riga (Latvia). – 2017. – С. 202–210.
7. **Бровко Д. В.** Обеспечение безопасности объектов поверхности шахт путем корректировки уровней надежности / **Д. В. Бровко, В. В. Хворост.** // Computer Science, Information Technology, Automation. – 2017. – №6. – С. 22–30.
8. **Бровко Д. В.** Дослідження конструкцій металевого шахтного кріплення з урахуванням його відхилення від проектного положення / **Д. В. Бровко, Р. О. Осипенко.** // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток промисловості та суспільства» Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ»,. – 2017. – С. 75.
9. Дослідження конструкцій металевого шахтного кріплення з урахуванням його відхилення від проектного по-

ложення / Б. М. Андрєєв, Д. В. Бровко, В. В. Хворост, Р. О. Осипенко. // Форум гірників – 2017: матеріали міжнар. конф. – Дніпро: НГУ. – 2017. – С. 95–100.

10. Методические указания к расчету и выбору параметров буровзрывного комплекса при проходке горизонтальных выработок для студентов специальности 0904 / Сост. Ю. К. Пасиченко, В. А. Самонин. – Кривой Рог: КГРИ, 1990. – 20 с.

Рукопис подано до редакції 05.04.2018

УДК 621.515:681.11.057

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., М.І. ШЕПЕЛЕНКО, аспірант
Криворізький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ДОСЛІДЖЕННІ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТНИХ ПОВІТРООХОЛДЖУВАЧІВ ТУРБОКОМПРЕСОРА

Мета. Метою даної роботи є встановлення гідродинамічних закономірностей для системи охолодження стисненого повітря. Ефективна робота турбокомпресорного устаткування, залежить від температури повітря на виході в секції турбокомпресора, що не охолоджуються. Вирішення проблеми є застосування контактної системи охолодження з повітроохолоджувачами, при роботі яких стиснене повітря має безпосередній контакт з циркулярною водою, в процесі експлуатації ефективність контактного повітроохолоджувача практично є незмінною. Найбільш прийнятним для умов системи охолодження турбокомпресора є апарат, який складається з труби Вентурі та відцентрового сепаратора краплинної вологи. Даний теплообмінний апарат є простим у виробництві, мало металоємний, має достатньо високу ефективність тепломасообміну та невеликий гідравлічний опір.

Методи дослідження. Методом кінцевих елементів розроблена імітаційна комп'ютерна модель контактного повітроохолоджувача турбокомпресора та на її основі проведено дослідження віртуальних фізичних процесів. Обґрунтованість та достовірність роботи обумовлена аналітичними та експериментальними методами досліджень, які були проведені на віртуальних моделях.

Наукова новизна полягає в тому, що вперше для апаратів контактної системи охолодження стисненого повітря типу «труба Вентурі – сепаратор краплинної вологи» встановлено, що в апаратах контактної системи охолодження стисненого повітря початкова швидкість води повинна бути більшою за початкову швидкість повітря в 3,5 – 4,2 рази; визначено оптимальні конструкторські параметри, такі як: оптимальна кількість вхідних патрубків ($n = 4-5$) для охолоджуючої води та кут розміщення внутрішньої перегородки в сепараторі краплинної вологи.

Практична значимість. Результати цієї роботи мають наукове значення, так як одержані в ній дані, дають змогу збільшити ефективність стандартного обладнання, яке використовується на теплових електростанціях для виробництва електроенергії та тепла.

Результати. Розроблена робота супроводжується віртуальними моделями агрегатів, з допомогою яких є можливим подальше дослідження процесу охолодження стиснутого повітря. Дана модель відповідає характеристикам реальних об'єктів і процесів та може використовуватись в якості прототипу при реальному проектуванні.

Ключові слова: повітроохолоджувач, турбокомпресор, газорідна система, краплинна волога, моделювання, імітаційне.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-46-85-90

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В сучасних системах гірничого устаткування використовуються достатньо складне пневмозабезпечення. Надійність роботи та ефективність значно залежать від якості очищення стисненого повітря.

Система стисненого повітря для пневмозабезпечення має широке розповсюдження в кожній галузі промисловості і гірництво не є винятком. Якість стисненого повітря – це надзвичайно важливий показник від якого залежить ефективність та надійність обладнання пневмозабезпечення. Стиснене повітря не повинно мати в своєму вмісті частин масла, механічних мікро частин, а також надмірної кількості вологи.

Традиційним є застосування на підприємствах, багатоступінчастих турбокомпресорів, для вироблення стиснутого повітря. Для безперечної експлуатації таких турбокомпресорів, потрібно вирішити їх основну технічну задачу – проміжне охолодження стисненого повітря між секцій турбокомпресора. Для цього застосовують повітроохолоджувачі поверхневого типу, але такі установки не завжди забезпечують необхідне охолодження повітря. По-перше це пов'язано з відсутністю на компресорних установках відповідної підготовки води. Жорстка вода призводить до забруднень теплообмінних поверхонь накипним відкладенням, яке в подальшому зменшує загальну ефективність установок. По-друге важливим питання є утворення пило-