

О. Є. ЛАПШИН, О. О. ЛАПШИН, доктори техн. наук, професори,  
М. В. ХУДИК, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ПІДНЯТТЄВИХ ВИРОБОК В ШАХТАХ

**Мета.** Метою цього дослідження є підвищення безпеки праці при проведенні гірничих виробок в умовах шахт. Для видобутку корисних копалин (залізна руда, кам'яне вугілля, мідні руди та ін.) при їх підземній розробці, гірничовидобувні підприємства проходять велику кількість гірничих виробок різного призначення (горизонтальні, вертикальні, похилі). Наявність розгалуженої системи гірничих виробок у шахтах створює великі труднощі для створення безпечних та комфортних умов праці за якістю складу шахтної атмосфери. Внаслідок низької ефективності вентиляції у вибоях тупикових виробок можуть відбуватись одиночні та групові гострі професійні отруєння, особливо при проведенні піднятєвих виробок, оскільки отруйні гази легші за повітря і збираються у верхній частині такої виробки.

**Методи дослідження.** На основі аналізу умов проведення піднятєвих гірничих виробок та узагальнення літературних джерел були визначені основні небезпечні і травмуючі фактори, а також описані заходи для зменшення їх негативного впливу на працюючих.

**Наукова новизна.** Надано характеристику небезпечного пилогазового утворення при проведенні піднятєвих виробок буро-підривним способом та обґрунтовано метод його знешкодження за допомогою активованої водоповітряної суміші.

**Практична значимість.** Розроблено конструкцію установки для знешкодження і видалення шкідливих пилогазових утворень після підривання шпурів за межі піднятєвої виробки. Застосування технічних засобів, які утворюють водоповітряну суміш, дозволяє нейтралізувати отруйні гази протягом регламентованого проміжку часу.

**Результати.** Наведено кількісні величини і концентрації шкідливих речовин, що утворюються під час підривання шпурів у вибоях виробок, дається аналіз способів і засобів їх неефективного провітрювання. Розроблено пристрій для знешкодження і видалення шкідливих пилогазових утворень з вибою виробки, що дозволяє підвищити безпеку працюючих при проведенні піднятєвих виробок в умовах шахт. Дається організаційний алгоритм виконання робіт для проведення піднятєвої виробки в умовах шахти.

**Ключові слова:** виробка, вибій, повітря, пил, гази, пристрій, вибух, безпека.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-51-56

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Розробка родовищ корисних копалин підземним способом потребує проведення великої кількості горизонтальних, похилих і вертикальних виробок. Провітрювання цих виробок ускладнюється відсутністю ефективного вентиляційного обладнання. Для цього використовуються громіздкі металеві трубопроводи та прогумовані рукава разом з вентиляторами місцевого провітрювання (ВМП), які утворюють надмірний шум, що шкідливо впливає на працюючих. Особливою складністю та небезпекою характеризуються процеси проведення піднятєвих виробок буро-підривним способом. Підривання шпурових зарядів у вибоях піднятєвих виробок супроводжується виділенням в атмосферу пилу і шкідливих газів. Провітрювання вибоїв таких піднятєвих ускладнюється тим, що під час вибухів відбувається руйнування вентиляційного трубопроводу, а його відновлення потребує додаткових витрат часу в робочому циклі проведення піднятєвого.

В роботі запропоновано спосіб очищення повітря від пилу і шкідливих газів у вибої піднятєвого за допомогою пристрою, який утворює водоповітряну суміш і подає її у вибій під час вибуху. В результаті взаємодії водоповітряної суміші з пилом і шкідливими газами відбувається їх нейтралізація за регламентований проміжок часу, що сприяє підвищенню безпеки при проведенні піднятєвої виробки.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Питанням безпеки праці при проведенні гірничих виробок буро-підривним способом присвячені дослідження Гагауза Ф. Г., Лапшина О. О., Слюсаренка В. Г., Янова А. П., Ярембаша І. Ф. та ін., у яких викладені теоретичні і практичні питання знешкодження шкідливих викидів під час підривання шпурів [1].

Практичні рекомендації, що наводяться у відомих роботах, свідчать про доцільність використання зрошувальних систем для пилогазоподавлення. Перевага застосування зрошувальних систем є очевидною, оскільки вони характеризуються простотою і доступністю [2]. Частина публікацій присвячена розробленню способу зменшення пилогазоутворення при підриванні

шпурів в процесі проведення виробок із застосуванням внутрішньої водяної і гідрогелевої набивки, при цьому її об'єм рекомендовано приймати рівним  $400 \text{ см}^3$  в кожен шпур, ефективність пилогазоподавлення підвищується до 75-80 % [3].

Аналіз досліджень, пов'язаних з пилоподавленням, дає підставу вважати, що найбільш складним є нейтралізація шкідливих газів. Для зниження їх концентрації застосовується диспергована вода, при цьому застосовують зрошувачі ОК-1, ОЗ-1, ОЗ-2. Незважаючи на їх позитивні характеристики, щодо диспергування води, ефективність нейтралізації шкідливих газів становить 19,6 %, а знепилення 28,9 % [4].

В науково-дослідному інституті НДІБПГ для провітрювання і пилогазоподавлення при проведенні гірничих виробок запропоновано спосіб із застосуванням ежектора-піногенератора – ЕКГ [3]. Даний пристрій здійснює провітрювання і часткове пилоподавлення. Його застосування є неефективне, далекобійність струменя не перевищує 4 м, а на такій відстані апарат руйнується вибухом, тому цей піногенератор не знайшов застосування на шахтах Кривбасу.

На шахтах кольорової металургії для боротьби з пилом і газами найшли застосування гідропасті, які використовують як набивку шпурів [6, 7]. До складу гідропасті входить рідке скло, хлоридна кислота і розчин перекису водню ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Таку пасту подають в шпури стисненим повітрям. З метою уникнення отруєння і опіків, для приготування паст використовують розбавлену хлоридну кислоту. Така технологія приготування паст є неприйнятною для гірництва. До того ж випробування гідропаст в умовах шахт Березовського ШСУ засвідчило, що ефективність нейтралізації газів становить 50 %, а пилу – 58 % [8].

Для очищення рудникової атмосфери від пилу і газів рекомендовано використовувати дисперговану рідину, утворювану відцентровими форсунками. Автором були випробувані більше 100 форсунок з продуктивністю від 5 до 50 л/хв. Випробування показало, що ефективність очищення повітря від СО становить 25-30 % [2].

У підсумку можна констатувати, що зрошення пилогазової суміші дисперговою водою не отримало широкого застосування через низьку ефективність очищення від: пилу – не більше 75 %, диоксиду азоту – до 50 %, оксиду вуглецю – до 25 %.

Спільний вплив шкідливих газів і пилу на організм працюючих призводить до інтенсивного розвитку у них пилового бронхіту. Так, по даним інституту промислової медицини найбільш високий рівень професійних захворювань на пиловий бронхіт спостерігається у працівників при підземному видобуванні залізної руди [5].

**Постановка задачі.** Проведення гірничих виробок буро-підривним способом супроводжується виділенням в атмосферу великої кількості шкідливих газів і пилу, концентрації яких перевищують допустимі значення, що призводить до передчасної захворюваності працюючих на підземних роботах. У зв'язку із цим, завданням цього дослідження є визначення ефективних засобів нейтралізації шкідливих газопилових виділень та розроблення установки, що дозволить здійснювати повітрообмін у вибоях тупикових виробок.

**Викладення матеріалу та результати.** Аналіз способів нейтралізації шкідливих газів і пилу, які застосовуються при проведенні гірничих виробок дозволяє виділити дві основних групи. До першої групи відносяться способи нейтралізації шкідливих газів і пилу, які ґрунтуються на застосуванні диспергової води для вловлення пилових часток і розчинення шкідливих газів. До цієї групи можна віднести способи, що передбачають використання добавок хімічних речовин у водний розчин для підвищення ефекту пилогазоподавлення [8, 9].

До другої групи відносяться способи, які передбачають видалення продуктів вибуху з об'єму тупикової виробки шляхом провітрювання вибою вентиляторами або ежекторами з використанням стисненого повітря. Для аргументації наведеного вище надається табл. 1, яка містить різні способи нейтралізації газів і знепилення повітря у виробках [10].

Разом з цим пилогазоподавлення дисперговою водою має невисоку ефективність в межах 50-60 % пилу, 20-30 % оксиду вуглецю і 55-75 % оксидів азоту. Добавка хімічних речовин в дисперговану воду дозволяє підвищити уловлювання пилу на 5-10 %, проте підвищення нейтралізації шкідливих газів відбувається, в основному оксидів азоту, – на 15-20%, оксид вуглецю внаслідок своєї стійкості нейтралізується в присутності хімічних добавок незначно. Застосування сухих способів очищення забрудненого вибуховими роботами повітря не отримало застосування, незважаючи на досить високу ефективність і при остаточному виборі способу розглядатися не буде.

Аналіз способів гідропилогазоподавлення показав, що їх ефективність залежить від властивостей диспергової рідини (вода, водні розчини хімічних речовин), а також від засобів їх диспергування і подачі в зону викиду вибуховими роботами шкідливих домішок. Аналізуючи, ефективність застосовуваних засобів пилогазоподавлення звертаємо увагу на доступність їх використання в умовах проходки виробки. Так, гідронабивки, в основному використовуються при зарядці шпурів готовими патронами. При пневматичній зарядці гранульованими і порошковими вибуховими речовинами використання гідронабивки представляє певну складність [11-14].

Таблиця 1

Ефективність нейтралізації шкідливих газів і пилу при підриванні шпурів у виробках

| Найменування способу  | Технічна характеристика способу і умови застосування  | Ефективність пилогазоподавлення, % |       |                    |
|---|---|------------------------------------|-------|--------------------|
|   |   | пилу                               | СО    | NO+NO <sub>2</sub> |
| І. Гідропилогазоподавлення дисперговою водою  |   |                                    |       |                    |
| Гідронабивка шпурів   | Поліетиленові ампули діаметром 38-40 мм, довжиною 0,4 м; витрата - 0,4 л води на шпур. Застосовується при підриванні  | 51-52                              | 14-15 | 45-48              |
| Гідрогелева набивка шпурів  | Поліетиленові ампули діаметром 38-40 мм, довжиною 0,3 м. Склад: аміачна селітра, рідке скло, вода. Застосовується при підриванні                                      | 50-75                              | 25-50 | 75-80              |
| Гідропастова набивка шпурів   | Поліетиленові ампули діаметром 38-40 мм, довжиною 0,3 м. Склад: рідке скло, розчин слабкої хлоридної кислоти, 3% розчин перекису водню. Застосовується під час вибуху | 60-61                              | 40-42 | 56-58              |
| Зовнішня гідронабивка шпурів  | Оболонки (15-20 л на 1 м <sup>2</sup> вибою) підвищуються у вибої. Вибухову речовину розміщують в середині оболонки. Застосовується під час вибуху                    | 80-85                              | 25-30 | 46-48              |
| Зрошення дисперговою водою  | Установка туманоутворювачів на відстані 10-15 м від вибою. Застосовується під час вибуху  | 48-51                              | 12-14 | 42-45              |
|   | Установка форсунок механічної дії на відстані 40-50 м від вибою   | 75-80                              | 25-30 | 70-80              |
| Зрошення водою з установкою форсунок  | Установка форсунок на відстані 10-15 м від вибою. В дисперговану воду подають 0,3-0,5 % розчин КМnO <sub>4</sub> за допомогою дозатора. Застосовується під час вибуху | 84-91                              | 50-51 | 90-95              |
| Зрошення водо-повітряною сумішшю з добавкою перекису водню (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) | Установка форсунок на відстані 10-15 м від вибою. В форсунку подається 3 %-ний розчин перекису водню. Застосовується після вибуху                                     | 60-61                              | 40-42 | 56-58              |
| Очистка повітря водяними струменями в трубопроводах   | Трубопроводи для подачі та відсмоктування забрудненого повітря. Форсунки вмонтовані в трубопроводи  | 93-95                              | 20-25 | 70-75              |

Використання зовнішньої гідронабивки (поліетиленові оболонки ємністю 15-20 л) вимагає виготовлення спеціального патрона і електродетонаторів у водонепроникних оболонках, які поміщаються в ємність наповнену водою. Наповнення оболонок водою, постачання їх патронами-бойовиками, а потім підвіска перед вибухом у виробці ускладнюють процес вибухових робіт, тому ці засоби не застосовуються.

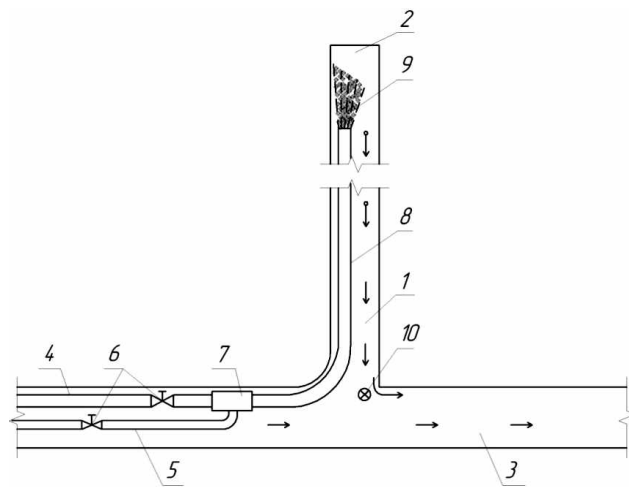
Використання добавок хімічних речовин для підвищення ефективності пилогазоподавлення вимагає встановлення додаткового обладнання: спеціальних ємностей, дозаторних пристроїв, іншої запірної апаратури. До того ж обслуговування таких установок, вимагає спеціальної підготовки гірників і прийняття додаткових заходів безпеки, пов'язаних із зберіганням і використанням хімічних речовин. Однак, для реалізації обґрунтованих способів і засобів зменшення вмісту домішок в атмосфері тупикових виробок необхідна розробка компактною спеціальною установкою, що відрізняється далекобійністю дрібнодисперсних крапель і підвищеною ефективністю використання ВМП.

Нижче зупинимось на розробці конструкції пневмогідролічної установки для пилогазоподавлення після підривання шпурів у вибої виробки. Ця установка повинна утворювати високодисперсний аерозоль (суміш), здатний нейтралізувати шкідливі гази і пил шляхом коагуляції,

розчинення і витіснення на вихідний вентиляційний струмінь, який протікає в наскрізній виробці. При цьому водоповітряна суміш повинна мати активовані властивості, які прискорюють коагуляцію пилу і нейтралізацію газів.

Аналіз способів розпилення рідини свідчить про перевагу пневматичного розпилювання перед механічним, яке полягає у наступному: отримання тонко дисперсної суміші; здатність переміщати дрібні краплі рідини на відстань більше 20 м. Крім того, вихідний струмінь за рахунок адіабатного розширення втрачає температуру, що сприяє охолодженню атмосфери в місці вибуху, конденсації вологи і коагуляції пилу.

Аналіз роботи пневматичних форсунок показав, що хороше диспергування забезпечується, якщо на 1 кг рідини витрачається 1 кг повітря, яке її розпорошує [6, 7]. Основними параметрами, що визначають режим роботи установки є: а) тиск рідини перед форсункою; б) швидкість повітря; в) співвідношення між ваговими витратами рідини і повітря. Пневмогідралічна установка ПГФВ наведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема установки ПГФВ для очищення повітря після підривання шпурів: 1 – тупикова гірничка виробка (піднятцевий); 2 – вибій виробки; 3 – наскрізна виробка; 4 – трубопровід для подачі стисненого повітря; 5 – трубопровід для подачі води; 6 – вентилі; 7 – форсунка ПГФ-2; 8 – трубопровід для подання водоповітряної суміші у вибій; 9 – факел водоповітряної суміші; 10 – замірна станція

Провітрювання піднятцевого 1 здійснюється наступним чином. Після підривання шпурових зарядів у вибої 2 відкриваються вентилі 6, при цьому стиснене повітря (трубопровід 4) і вода (трубопровід 5) надходять в пневматичну форсунку 7, яка утворює водоповітряну суміш. Під тиском від пневматичної форсунки 7 водоповітряна суміш подається трубопроводом 8 до вибою

2 назустріч викиду вибухом забрудненого повітря. В обмеженому просторі вибою 2 відбувається взаємодія факелу водоповітряної суміші 9 з шкідливими домішками повітря, викинутого вибухом. Очищення забрудненого повітря у вибої тупикової виробки відбувається шляхом активної коагуляції аерозолі з пилом і нейтралізації отруйних газів в результаті їх адсорбції на субмікроскопічних краплях води. На виході з піднятцевого 1 в замірній станції 10 вимірюють вміст шкідливих домішок в повітрі, що витискується з вибою 2. Вимірювання здійснюють до поки їх вміст не знизиться до межі допустимої санітарними нормами. Після нормалізації атмосфери у піднятцевому 1 вентилі 6 закриваються, пневматична форсунка 7 перестає утворювати водоповітряну суміш.

*Організація робіт і заходи безпеки.* Для проведення піднятцевого 1 першочергово засікають нішу розміром: глибина – 2 м; ширина – 1,8 м; висота – 1,8 м. При проведенні піднятцевого висотою до 5 м від підлоги ніші, обладнання під буріння укріплюють шляхом установки на підшві кострового кріплення (дерев'яного настилу). Подальше обладнання піднятцевого під буріння здійснюється шляхом установки розстрілів і драбин та настилу дерев'яних полків.

Після здійснення вибуху у піднятцевому відбувається його провітрювання за допомогою установки ПГФВ. Гірничий майстер здійснює експрес-аналіз повітря. Якщо виявлено наявність шкідливих газів ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) – провітрювання триває до повної нормалізації атмосфери. Підходити до піднятцевого дозволяється тільки після аналізу атмосфери по наскрізній виробці 3 з боку надходження свіжого повітря; при собі необхідно мати саморятувальник. Роботу у піднятцевому 1 дозволяється розпочинати при концентрації газів нижче ГДК. Прибирання відбитої гірської маси здійснюється після підривання шпурів з метою запобігання запечатування піднятцевого. Після проведення піднятцевого на висоту 7-9 м його обладнують люком для вивантаження відбитої породи у вагон. Всі роботи проводяться з дотриманням усіх необхідних заходів безпеки, які регламентуються відповідними нормативними документами. Відповідальний за безпеку змінний гірничий майстер.

Перед підриванням шпурів, підричник, зобов'язаний перевірити справність вентиляційної системи, правильність обмурювання вибою у відповідності із паспортом буро-підричних робіт (БПР). Перед початком заряджання шпурів підричник зобов'язаний виставити пости охорони і аншлаги згідно паспорту БПР. Подати звуковий сигнал – один довгий (попереджувальний), відключити електричну енергію. Заряджання здійснювати вручну за допомогою дерев'яної забійки. При виготовленні патрону-бойовика, заглиблення в патроні вибухової речовини для електродетонатора утворюють з використанням алюмінієвої наколки. Зарядивши вибій і зібравши електричну мережу або хвильоводи, перед прокладанням магістралі, підричник розбирає дошки з полків, закріплює їх з одного боку на попереджувальний полок. Після заряджання і комутації підривної мережі, підричник з безпечного місця здійснює перевірку цілісності мережі і вмикає установку ПГФВ для пилогазоподавлення і провітрювання. У відповідності із графіком проведення підричних робіт, подає звуковий сигнал – два довгих (бойовий), здійснює вибух, відключає підривну машинку, а кінці підривної мережі закорочує і подає звуковий сигнал відбій (три коротких). Всі працівники, які не задіяні на підричних роботах повинні бути виведені з небезпечної зони та додержуватися графіку ведіння підричних робіт.

#### **Висновки та напрямок подальших досліджень.**

1. Проведення піднятєвих виробок відрізняється небезпекою травмування падаючими кусками породи, падінням з драбин і отруєнням шкідливими газами після підривання шпурів у вибоях.

2. Зрошення пилогазових викидів при підриванні шпурів у вибої не дозволяє очистити повітря від пилу і газів до санітарних норм, а засоби провітрювання руйнуються під час вибуху.

3. Використання водоповітряної суміші, як засобу поглинання пилу і нейтралізації шкідливих газів у вибоях після підривання шпурів дозволяє знизити їх концентрацію до ГДК за регламентований проміжок часу.

4. Застосування установки ПГФВ, яка утворює водоповітряну суміш, є прийнятним способом для боротьби з пилом і шкідливими газами при проведенні гірничих виробок в шахтах.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку заходів безпеки при проведенні піднятєвих з використанням бурової автоматизованої технології.

#### *Список літератури*

1. Гагауз Ф. Г., Дребница А. В. Состав и количество ядовитых газов при ведении взрывных работ в подземных горных выработках // В сб. Взрывное дело. - М.: Недра, 1970. - № 68/25/. - С. 19-23.
2. Ярембаш И. Ф. Очистка рудничной атмосферы после взрывных работ. - М.: Недра, 1979. - 191 с.
3. Янов А. П., Ващенко В. С. Защита рудничной атмосферы от загрязнения. - М.: Недра, 1977. - С. 61-71.
4. Журавлев В. П., Саранчук В. И., Рекун В. В. и др. Моделирование и проектирование систем гидрообеспыливания. - К.: Наукова думка, 1990. - 120 с.
5. Орехова О. В. Професійний ризик розвитку захворювань при підземному добуванні залізної руди / Зб. наук. праць співр. НМАПО ім. П. Л. Шупіка. - 2017, № 27. - С. 457-464.
6. Лапшин О. О. Знешкодження отруйних газів і пилу в гірничих виробках шахт / О.О. Лапшин // Проблеми охорони праці в Україні. - 2002. - С. 35-39.
7. Лапшин А.Е. Уменьшение распространения пыли в атмосфере на промплощадках горных предприятий / А.Е. Лапшин // Разработка рудных месторождений. - 1995. - Вып. 56. - С. 128-137.
8. Аерологія гірничих підприємств: підручник / А. О. Гурін, П. В. Бересневич, А. А. Немченко, І. Б. Ошмянський. - Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2007. - 462 с.
9. Лапшин А.А. Математическое моделирование процессов проветривания тупиковых выработок / Лапшин А.А., Серебренников Э.В. // Разработка рудных месторождений. - 2002. - Вып. 81. - С. 138-143.
10. Ошмянський І.Б. Настапова з проектування вентиляції рудних шахт / І.Б. Ошмянський, О.Є. Лапшин, О.О. Лапшин. - Кривий Ріг: ДП НДІБПГ, 2011. - С. 110.
11. Лапшин О. Є.. Охорона праці в гірництві / О. Є. Лапшин, О. О. Лапшин, Д. О. Лапшина. - Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2018. - 273 с.
12. Goodman, G.R., Pollock, D.E., Beck, T.W. A comparison of a directional spray system and a flooded-bed scrubber for controlling respirable dust exposures and facegas concentrations. Proceedings of the 10<sup>th</sup> U.S. / North American Mine Ventilation Symposium (Anchorage, AK, May 16-19, 2004), pp. 241-248.
13. Volkwein, J.C., Vinson, R.P., Page, S.J., McWilliams, L.J., Joy, G.J., Mischler, S.E., Tuchman, D.P. (2006) Laboratory and field performance of a continuously measuring personal respirable dust monitor. Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH). № 2006-145, RI 9669.
14. Chekan, G.J., Listak, J.M., Colinet, J.F. Laboratory testing to quantify dust entrainment during shield advance. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Mine Ventilation Congress (Krakow, Poland, June 17-22, 2001), pp. 291-298

Рукопис подано до редакції 31.03.2021