

О.В. Горєв, аспірант
О.Я. Тверда, д.т.н., проф.
К.К. Ткачук, д.т.н., проф.

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Аналіз та перспективи наукових досліджень з розроблення багатofункціональної забійки свердловинних зарядів

Проведено аналіз сучасних наукових досліджень з розроблення багатofункціональної забійки свердловинних зарядів. Аналіз показав, що розроблено низку способів та засобів для забивання свердловин, які направлені на збільшення опору продуктам вибуху. Однак такі забійки, незважаючи на їхню низьку собівартість та простоту застосування, виконують виключно технологічну функцію. Водночас запропоновано низку матеріалів, які можуть використовуватись як забійка або як добавка до неї і нейтралізувати або поглинути шкідливі гази, зменшувати обсяги пилоутворення. Однак немає обґрунтування їхньої технологічної ефективності. Відповідно актуальним та перспективним є розроблення багатofункціональної забійки, яка б була технологічно, екологічно та економічно ефективною. Одним із потенційних рішень цього наукового завдання може бути застосування як забійки неньютонівських систем. Для реалізації поставленого завдання запропоновано зазначений далі алгоритм. На першому етапі – обґрунтування складів неньютонівських систем, які дозволять нейтралізувати або поглинути шкідливі гази, утворені внаслідок детонації промислових вибухових речовин, а також зменшити обсяги пилоутворення. На другому етапі – аналітичне порівняння розроблених складів неньютонівських систем за критерієм опору продуктам вибуху між собою та з традиційними забійковими матеріалами. На третьому (завершальному) етапі – порівняння розроблених складів неньютонівських систем за критерієм опору продуктам вибуху та критерієм екологічності між собою та з традиційними забійковими матеріалами в умовах кар'єру.

Ключові слова: забійка свердловини; конструкція заряду; вибухові роботи у кар'єрі.

Актуальність теми. У кар'єрах типовим способом видобутку скельних порід є вибухові роботи. Попри те, що відбувся значний розвиток технологій вибухових робіт, удосконалено рецептури вибухових речовин, лише частина енергії вибуху йде в масив і використовується для відділення гірничої маси, значна частина енергії витрачається даремно і створює низку неприємностей [1]. Негабарит, переподрібнена фракція гірничої маси, викиди шкідливих газів та пилу – результати неправильного підриву. Як наслідок, суттєво зростають витрати на виробництво, а продуктивність знижується.

Значну роль у врегулюванні цього питання відіграє забійка, зокрема її склад. Розроблення багатofункціональної забійки свердловинних зарядів є актуальним науковим завданням через зростання потреб у підвищенні ефективності та безпеки вибухових робіт у гірничодобувній галузі. Традиційні забійки часто не забезпечують достатнього рівня контролю за вибуховим процесом, що може призводити до небажаних наслідків, таких як недостатнє руйнування порід або перевитрата вибухових матеріалів. Багатofункціональна забійка дозволяє не лише підвищити продуктивність вибухових робіт, але й зменшити вплив вибухових робіт на довкілля. Інноваційні рішення в цій сфері спрямовані на підвищення ефективності використання енергії вибухових зарядів. Це сприяє зниженню витрат на вибухові речовини та підвищенню економічної рентабельності процесу. Крім того, багатofункціональна забійка може нейтралізувати шкідливі гази, що утворюються під час вибуху, та зменшити обсяги пилоутворення на кар'єрах, що сприятиме сталому розвитку галузі, зменшенню екологічного сліду вибухових робіт. Дослідження у цій сфері також сприяють розробленню та впровадженню нових матеріалів забійки, що дозволяють адаптувати забійку під конкретні умови вибухових робіт. Підвищення контролю за параметрами вибуху сприяє більш ефективному управлінню процесом руйнування порід, раціональному використанню ресурсів та підвищенню рівня екологічної безпеки. Як результат, багатofункціональна забійка має великий потенціал для подальших досліджень і впроваджень у промислові процеси.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. Переважна більшість досліджень присвячена різноманітним конструкціям забійок та їх параметрам. Автори [2] наголошують на важливості довжини забійки та співвідношенні довжини забійки до довжини заряду (рис. 1). У [3] встановлено, що середній та максимальний розміри шматка гірської породи збільшуються, зі збільшенням співвідношення довжини забійки до відстані між зарядами.

У [4] досліджено ефективність забійки залежно від величини повітряного проміжку між забійкою і зарядом вибухової речовини та форми її нижнього торця.

Вченими Криворізького національного університету розроблено спосіб формування свердловинного заряду, у якому виконують буріння підривних свердловин, заповнення їх вибуховою речовиною, розміщення в заряді бойовиків і монтаж мережі для ініціювання заряду вибухової речовини, заповнення верхньої частини свердловини забійкою. При вибурюванні свердловин утворюють на поверхні блока навал бурового шламу, який перед зарядкою свердловини приводять у сипучий стан. Заповнюють свердловину вибуховою речовиною, розміщують бойовики і монтуєть мережу, що ініціює вибухову речовину. Буровий шлам у вигляді забійки переміщують у свердловину і розміщують над вибуховою речовиною до рівня поверхні блока і здійснюють ініціювання підривної свердловини. Буровий шлам змішують із водою, кількість якої становить 10–20 % від об'єму бурового шламу [5].

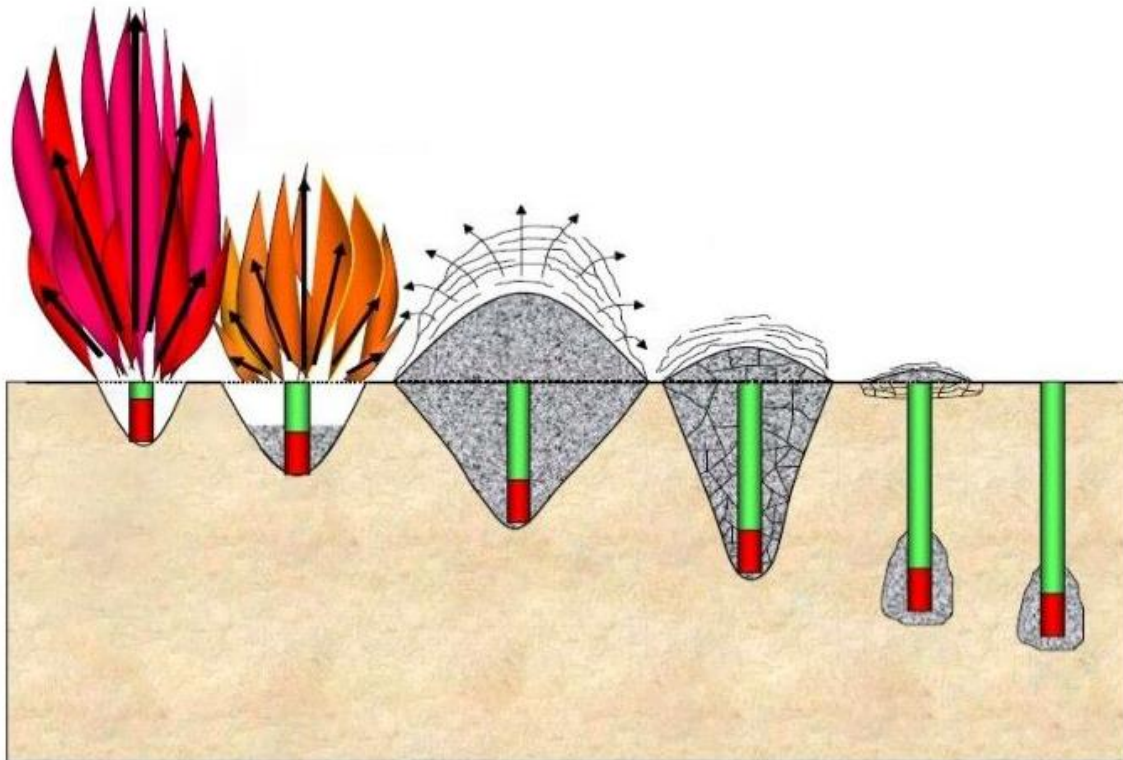


Рис. 1. Демонстрація ролі забійки свердловинного заряду [2]

Відомий також спосіб забивання свердловинного заряду включає формування ізолюючого тіла у вигляді подрібненої гірської маси і розміщення його в порожнині свердловини над зарядом вибухової речовини. Після розміщення в свердловині засобів ініціювання і вибухової речовини в порожнині свердловини розміщують рукав з полімерного матеріалу, діаметр якого перевищує діаметр свердловини, а довжина перевищує висоту порожнини в свердловині над вибуховою речовиною, нижню частину якого попередньо стягують у сторону його осі і фіксують за допомогою хомута або відрізка шнура. В рукав поміщають подрібнену гірську масу до рівня денної поверхні і стягують вільні від гірської маси бічні частини рукава в сторону його осі, і фіксують за допомогою хомута або відрізка шнура [6].

З метою підвищення ефективності запирання продуктів детонації вибухової речовини, а також з метою зменшення об'єму газів і пилу під час вибухових робіт у кар'єрах авторами [7] розроблено спосіб забійки свердловинного заряду, який враховує здрібнювання гірської маси до заданого гранулометричного складу, подачу утвореного забійного матеріалу в порожнину свердловини від рівня вибухової речовини до рівня поверхні уступу. До кузова забійної машини закріплюють ємності і заповнюють їх робочою рідиною – водою або водним розчином поверхнево-активної речовини. Після цього здрібнену гірську масу після вивантаження із забійної машини і заповнення порожнини свердловини зрошують робочою рідиною, витрата якої становить не менше $0,15 \text{ м}^3$ на 1 м^3 здрібненої гірської маси забійки. При цьому забезпечують змочування поверхні часток забійки у свердловині у всьому діапазоні її гранулометричного складу.

Авторами [8] запропоновано над замикаючим зарядом у вигляді шашки-бойовика в порожнині свердловини розташовувати ємності, заповнені пилопригнічуючою рідиною.

У [9] наведено результати випробування розробленої екоефективної технології буровибухових робіт у кар'єрах, що базується на застосуванні гуматового реагенту у внутрішніх і зовнішніх гідрозабійках та

дозволяє зменшити викиди пилу, оксидів вуглецю та оксидів азоту. Авторами встановлено взаємозалежності концентрації гуматового реагенту у внутрішніх і зовнішніх гідрозабійках і зв'язування частинок пилу під час вибуху з екологічною ефективністю за показниками пило- та газопригнічення.

Два типи забійки свердловинного заряду розроблено авторами [10], які, окрім запирання продуктів вибуху, дозволяють повністю нейтралізувати шкідливі гази. Перший тип – конструкція забійки, яка включає двоступеневе очищення від шкідливих газів, утворених у процесі вибухового руйнування гірських порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами його виробництва, а також на фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами [11]. Така забійка дозволяє забезпечити повну хімічну нейтралізацію NO_2 та CO_2 , так само як і нейтралізацію CO цеолітами, під час вибуху. Другий тип забійки – це конструкція забійки, яка враховує хемосорбцію газів гашеним вапном. Такий тип забійки має низку переваг порівняно із попередньою. Така забійка може не лише забезпечити повну хімічну нейтралізацію NO_2 , CO_2 і CO , а також дозволяє відмовитися від цеолітів, що значно знижує вартість її формування та дозволяє отримати ефект «зрошення» пилогазової хмари [10].

Колективом Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» запропоновано спосіб формування газопоглинаючої забійки свердловинних та шпурових зарядів, який враховує послідовне закладання у свердловину газопоглинаючого елемента і шару доступного сипучого матеріалу. Газопоглинаючий елемент складається з ущільнювального газопоглинаючого шару та газопоглинаючого шару. Спочатку у свердловину закладають ущільнювальний газопоглинаючий шар, а зверху безпосередньо на нього закладають газопоглинаючий шар, над яким розміщують доступний сипучий матеріал. Ущільнювальний газопоглинаючий шар являє собою суміш гашеного вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$, що має вигляд суспензії густої консистенції, та загусника у вигляді натрію силікату Na_2SiO_3 , при перемішуванні яких утворюються кальцію силікат і натрію гідроксид. Газопоглинаючий шар виконують з гашеного вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у вигляді суспензії густої консистенції. Перед заливанням гашеного вапна проводять розрахунок його обсягу залежно від параметрів свердловини та типу вибухової речовини [12].

Китайські вчені [13] пропонують контролювати токсичні та шкідливі гази під час вибухових робіт у кар'єрах за допомогою інгібітора. Для цього рекомендують застосовувати розроблений експериментальний прилад для додавання суміші інгібітора з водою до свердловини. Отримані результати показують, що на відстані 30–120 м, концентрація шкідливого газу знижується до 62,79–84,73 %.

Автори [14] пропонують застосовувати як частину забійки розроблені ними склади домішок. До таких складів у різному відсотковому співвідношенні входять: вологі шлами пилогазоочистки; металургійний дрібнозмелений шлак; вологі шлами очистки відпрацьованих травильних розчинів; гідролізний лігнін. Результати експериментів, в яких домішки розташовувалися в нижній частині забійки, показали, що збільшення відносної кількості домішок з 70 до 100 % не призводить до істотної зміни виходу токсичних газів, тобто за таких умов з продуктами вибуху встигає прореагувати тільки певна кількість нейтралізуючого компонента. Водночас ступінь поглинання оксиду вуглецю (чадного газу) склав 40–50 %, а оксидів азоту – 50–60 %.

У [15] розроблено комплексний підхід щодо вибору вибухової речовини у поєднанні з забійковим матеріалом, який відрізняється від відомих тим, що на першому етапі здійснюється вибір за коефіцієнтом передачі енергії вибуху в масив, на другому – відбувається за можливості коригування хімічного складу вибухової речовини без зміни рецептури, на третьому – підбирається відповідний тип забійкового матеріалу, на четвертому етапі – за наявності альтернативних вибухових речовин проводиться їх порівняльна оцінка за впливом на довкілля з урахуванням матеріалів забійки, на п'ятому – проводиться оцінка за економічними показниками.

Низка досліджень спрямована на розроблення машин для формування забійок свердловинних зарядів. Розроблено машину для формування гідрогелевої забійки свердловинного заряду вибухової речовини. Машина містить змонтовані на автомобільному шасі бункери з розчином аміачної селітри і рідкого скла, технологічно-транспортну лінію у вигляді трубопровідної системи для транспортування компонентів, змішувач компонентів для отримання гідрогелю та трубопровідної системи для формування гідрогелевої забійки свердловинного заряду вибухової речовини і пульт керування технологічно-транспортною лінією [16].

Метою статті є аналіз та визначення перспектив наукових досліджень з розроблення багатофункціональної забійки свердловинних зарядів.

Викладення основного матеріалу. Аналіз сучасних досягнень з питань розроблення багатофункціональної забійки свердловинних зарядів показав, що забійки, яка б ефективно запирила продукти вибуху, водночас забезпечувала повну нейтралізацію шкідливих газів та пиленподавлення, потребувала для свого формування мінімальну кількість ресурсів або ж була сформована із вторинних ресурсів, на сьогодні не існує. Розробники фокусуються або на технологічній складовій, або на екологічній, не вирішуючи це завдання комплексно.

У тих випадках, коли обґрунтовано ефективність запирання забійкою продуктів вибуху, вона може містити у своєму складі різноманітні сипучі матеріали, які лише посилюють пилоутворення на кар'єрах, або ж може містити поліпропілен чи поліетилен, що призводить до розширення асортименту шкідливих газів, які потрапляють в атмосферне повітря під час вибухового руйнування гірських порід. У роботах, присвячених розробленню складів забійок, що забезпечують нейтралізацію або поглинання шкідливих газів та зменшення пилоутворення, не обґрунтовується ефективність запирання ними продуктів вибуху.

Потенційним рішенням може бути використання як забійки неньютонівських систем. Неньютонівські системи мають унікальні реологічні властивості, які можуть значно підвищити ефективність процесу вибухових робіт. Такі системи мають здатність змінювати свою в'язкість залежно від швидкості зсуву. Це дозволяє їм поводитися як рідина під час закачування в свердловину, але водночас бути більш в'язкими або твердими під час вибуху, забезпечуючи кращу герметизацію заряду. Неньютонівські системи можуть гасити або перерозподіляти енергію ударної хвилі, зокрема завдяки своїй пластичності, що знижує втрати енергії і підвищує ефективність руйнування породи. Правильно підібраний склад такої системи для конкретних геологічних та технологічних умов дозволить забезпечити повну нейтралізацію або поглинання шкідливих газів під час вибуху, а також зменшити обсяги пилоутворення. З метою визначення перспектив розроблення багатофункціональної забійки свердловинних зарядів на основі неньютонівських систем запропоновано алгоритм (рис. 2).



Рис. 2. Алгоритм визначення перспектив розроблення багатофункціональної забійки свердловинних зарядів на основі неньютонівських систем

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведено аналіз та визначено перспективи наукових досліджень з розроблення багатофункціональної забійки свердловинних зарядів. Аналіз показав, що розроблено низку способів та засобів для забивання свердловин, які направлені на збільшення опору продуктам вибуху, однак, незважаючи на їхню низьку собівартість та простоту застосування, вони виконують виключно технологічну функцію. Також запропоновано низку матеріалів, які можуть використовуватись як забійки або як добавки до неї і нейтралізувати або поглинати шкідливі гази, зменшувати обсяги пилоутворення, однак немає обґрунтування їхньої здатності чинити опір продуктам вибуху. Потенційним рішенням може бути використання як забійки неньютонівських систем. Їхні унікальні реологічні властивості можуть дозволити розробити багатофункціональну забійку, яка б була технологічно, екологічно та економічно ефективною. Для реалізації поставленого завдання запропоновано такий алгоритм: обґрунтування складів неньютонівських систем; аналітичне порівняння

розроблених складів неньютонівських систем за критерієм опору продуктам вибуху між собою та з традиційними забійковими матеріалами; порівняння розроблених складів неньютонівських систем за критерієм опору продуктам вибуху та критерієм екологічності між собою та з традиційними забійковими матеріалами в умовах кар'єру.

Список використаної літератури:

1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://link.springer.com/article/10.1007/s40948-023-00540-4>.
2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.jksmer.or.kr/articles/xml/ybjk/>.
3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/225/1/012191/pdf>.
4. *Кравець В.Г.* Підвищення безпеки та ефективності підривних робіт з використанням спеціальних конструкцій свердловинних зарядів / *В.Г. Кравець, К.Н. Ткачук, А.Л. Ган* // Вісник НТУУ «КПІ». Серія : Гірництво. – 2009. – Вип. 18. – С. 53–57.
5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1762598/>.
6. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1764918/>.
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1366972/>.
8. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1756062/>.
9. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.nvngu.in.ua/index.php/en/publishing-house/editorial-board/1909-engcat/archive/2024/content-3-2024/6924-128>.
10. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://sciendo.com/article/10.2478/lpts-2021-0030>.
11. *Тверда О.Я.* Розробка рівня екологічної безпеки під час вибухового руйнування скельних порід у кар'єрах / *О.Я. Тверда, К.К. Ткачук* // Технічна інженерія. – 2020. – № 1 (85). – С. 235–241. DOI: 10.26642/ten-2020-1(85)-235-241.
12. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1789153/>.
13. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0291731>.
14. Вплив нейтралізуючої добавки до свердловинного заряду на динаміку зміни викиду шкідливих газів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2024/03/Scientific-research-as-a-mechanism-of-effective-human-development_Jan_31_Feb_2_2024_Sofia_Bulgaria.pdf.
15. *Тверда О.Я.* Розробка конструкції забійки свердловинного заряду із двоступеневою системою поглинання шкідливих газів / *О.Я. Тверда, Л.Д. Пляцук* // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2018. – Вип. 1 (21). – С. 103–115.
16. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1775403/>.

References:

1. [Online], available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40948-023-00540-4>
2. [Online], available at: <https://www.jksmer.or.kr/articles/xml/ybjk/>
3. [Online], available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/225/1/012191/pdf>
4. Kravets, V.H., Tkachuk, K.N. and Han, A.L. (2009), «Pidvyshchennia bezpeky ta efektyvnosti pidryvnykh robіt z vykorystanniam spetsialnykh konstruktzii sverdlvnynykh zariadiiv», *Visnyk NTUU «KPI»*. Seriiia. Hirnyystvo, Issue 18, pp. 53–57.
5. [Online], available at: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1762598/>
6. [Online], available at: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1764918/>
7. [Online], available at: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1366972/>
8. [Online], available at: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1756062/>
9. [Online], available at: <https://www.nvngu.in.ua/index.php/en/publishing-house/editorial-board/1909-engcat/archive/2024/content-3-2024/6924-128>
10. [Online], available at: <https://sciendo.com/article/10.2478/lpts-2021-0030>
11. Tverda, O.Ya. and Tkachuk, K.K. (2020), «Pidvyshchennia rіvnia ekolohichnoi bezpeky pid chas vybukhovoho ruynuvannia skelnykh porid u karierakh», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 1 (85), pp. 235–241, doi: 10.26642/ten-2020-1(85)-235-241.
12. [Online], available at: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1789153/>
13. [Online], available at: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0291731>
14. «Vplyv neutralizuiuchoi dobavky do sverdlvynnoho zariadu na dynamiku zminy vykydu shkidlyvykh haziv», [Online], available at: https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2024/03/Scientific-research-as-a-mechanism-of-effective-human-development_Jan_31_Feb_2_2024_Sofia_Bulgaria.pdf
15. Tverda, O.Ya. and Pliatsuk, L.D. (2018), «Rozrobka konstruktzii zabiiky sverdlvynnoho zariadu iz dvostupenevuiu sistemoiu pohlynannia shkidlyvykh haziv», *Suchasni resursoenerhozberihaiuchi tekhnolohii hirnychoho vyrobnystva*, Issue 1 (21), pp. 103–115.
16. [Online], available at: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1775403/>

Горєв Олександр Володимирович – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0009-0006-1349-9068>.

Наукові інтереси:

– екологічно безпечні технології вибухових робіт на кар'єрах.

Тверда Оксана Ярославівна – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0000-0003-3163-0972>.

Наукові інтереси:

- екологічно безпечні технології вибухових робіт на кар'єрах;
- екологізація гірничого виробництва.

Ткачук Костянтин Костянтинович – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0000-0001-5230-9980>.

Наукові інтереси:

- екологічно безпечні технології вибухових робіт на кар'єрах;
- екологізація гірничого виробництва.

Horiev O.V., Tverda O.Ya., Tkachuk K.K.

Analysis and prospects of scientific research on the development of multifunctional borehole charge punching

The analysis of modern scientific research on the development of multifunctional drilling of borehole charges is carried out. The analysis showed that a number of methods and means for clogging wells have been developed, aimed at increasing the resistance to explosion products. However, such punching, despite their low cost and ease of use, perform an exclusively technological function. At the same time, a number of materials are proposed that can be used as a slaughterhouse or as an additive to it, and neutralize or absorb harmful gases, reduce the volume of dust formation. However, there is no justification for their technological efficiency. Accordingly, it is relevant and promising to develop a multifunctional punching that would be technologically, environmentally and cost-effective. One of the potential solutions to this scientific problem may be the use of non-Newtonian systems as punching. To implement this problem, the following algorithm is proposed. The first stage is to justify the compositions of non – Newtonian systems that will neutralize or absorb harmful gases formed as a result of the detonation of industrial explosives, as well as reduce the volume of dust formation. At the second stage, an analytical comparison of the developed compositions of non-Newtonian systems by the criterion of resistance to explosion products with each other and with traditional punching materials is carried out. At the third (final) stage, the developed compositions of non-Newtonian systems are compared according to the criterion of resistance to explosion products and the criterion of environmental friendliness with each other and with traditional punching materials in a quarry.

Keywords: well drilling; charge construction; quarry blasting.

Стаття надійшла до редакції 09.09.2024.