

В.О. Соколовський, аспірант
Ю.В. Шкабара, аспірант
Д.О. Дубінчук, аспірант
М.В. Качуровський, аспірант

Державний університет «Житомирська політехніка»

Інновації в конструкції свердловин при веденні масових вибухів

(Представлено: к.т.н., доц. Іськов С.С.)

У публікації детально описується технологія розосереджених зарядів вибухівки в свердловинах, її переваги, сучасні методи реалізації, інновації, що дають змогу покращити результативність вибухових робіт, а також надаються практичні рекомендації щодо застосування цієї технології.

Раніше для створення повітряних проміжків використовувалися дерев'яні катушки, але зараз цю застарілу технологію замінили сучасні пристрої П-1. Ці пакети з поліетилену заповнюються хімічними реагентами, які при взаємодії виділяють газ, що розширює пакет і створює повітряний проміжок. Пристрої П-1 мають низку переваг перед дерев'яними катушками:

- *простота та зручність використання: пристрої П-1 не потребують спеціальної підготовки перед використанням, що економить час та ресурси;*
- *контрольоване розширення: пристрої П-1 розширюються поступово, що забезпечує більш рівномірне розподілення повітряного проміжку та кращий контроль за процесом вибуху;*
- *безпеку: пристрої П-1 не містять вибухових речовин та є безпечними у використанні.*

Для покращення ефективності вибуху компанія «AdvancedBlasting Technology inc» пропонує використовувати пластикові сфери Rocklock при влаштуванні набивки свердловин. Ці сфери збільшують час утримання набивки в свердловині, що покращує дроблення гірської маси та зменшує кількість негабаритів.

Ключові слова: набивка; розосередження заряду; вибухова речовина; масовий вибух; ініціювання; свердловини; Rocklock; П-1; безпека; ефективність.

Актуальність теми. Масові вибухи є невід'ємною частиною видобувної промисловості, зокрема в гірничодобувній галузі, будівництві та нафтогазовій індустрії. Ефективне проведення вибухових робіт залежить від багатьох факторів, серед яких важливе місце займає конструкція свердловин. Традиційні методи буріння та проектування свердловин, хоч і є перевіреними часом, не завжди відповідають сучасним вимогам щодо безпеки, економічності та екологічної відповідальності.

Останнім часом з'явилися новітні технології та підходи, які можуть значно підвищити ефективність та безпеку масових вибухів. Інновації у конструкції свердловин, такі як вдосконалення набивки, нові методи розрахунку та проектування, розосередження зарядів вибухових речовин, стають надзвичайно актуальними. Ці технології не лише сприяють підвищенню продуктивності та зменшенню витрат, але й дозволяють мінімізувати вплив на навколишнє середовище й покращити безпеку працівників.

Це відкриває нові можливості для підвищення конкурентоспроможності підприємств і забезпечення сталого розвитку галузі. Тому вивчення та поширення новітніх досягнень у цій сфері є важливим завданням для наукової спільноти та промисловості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останні дослідження у сфері інноваційних конструкцій свердловин для масових вибухів охоплюють широкий спектр питань, спрямованих на підвищення ефективності, безпеки та екологічності вибухових робіт [1–9]. Основні напрями досліджень можна розділити на кілька ключових областей:

1. Оптимізація конструкції та параметрів свердловин. Використання передових методів моделювання та симуляції дозволяє інженерам більш точно проектувати свердловини, враховуючи специфіку геологічних умов та тип вибухових матеріалів. Це сприяє зменшенню ризику незапланованих руйнувань та підвищенню ефективності вибухових робіт;

2. Автоматизація та цифровізація процесів. Сучасні дослідження активно зосереджуються на автоматизації та цифровізації процесів буріння і ведення масових вибухів. Використання датчиків, автоматичних систем контролю та управління дозволяє значно підвищити точність операцій і зменшити ризик людських помилок. Інтелектуальні системи моніторингу в реальному часі можуть забезпечувати оперативне коригування параметрів вибуху, що підвищує його ефективність та безпеку;

3. Екологічні аспекти. Велика увага приділяється екологічним аспектам ведення вибухових робіт. Дослідження в цій сфері спрямовані на мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище. Розробка екологічно безпечних вибухових матеріалів, а також технологій, що знижують рівень шуму, пилу та вібрацій, є пріоритетними напрямками. Такі дослідження підтримуються як науковими установами, так і промисловими компаніями, які прагнуть зменшити свій екологічний слід;

4. Безпека працівників. Останні дослідження також враховують розробку заходів для підвищення безпеки працівників під час вибухових робіт. Використання дистанційно керованих бурових установок та роботизованих систем дозволяє знизити ризик для працівників, зменшуючи їхню безпосередню участь у небезпечних операціях. Такі технології є особливо важливими в умовах складних та небезпечних геологічних середовищ.

Метою публікації є узагальнення інформації про сучасні технології розосередження зарядів вибухових речовин та інновації в створенні набивки.

Викладення основного матеріалу. Розосередження заряду вибухівки в свердловині є важливим технологічним прийомом, який використовується для досягнення низки цілей:

- покращення рівномірності вибуху. Розосереджені заряди сприяють рівномірнішому розподілу енергії вибуху, що дозволяє досягти більш рівномірного дроблення породи;
- зменшення вібрацій та сейсмічних хвиль. Розосереджені заряди генерують менші пікові вібрації та сейсмічні хвилі, що знижує ризик пошкоджень прилеглих споруд та зменшує негативний вплив на навколишнє середовище;
- зниження ризику виникнення великих уламків. При розосередженні заряду зменшується ймовірність утворення великих уламків породи, що полегшує подальше навантаження та транспортування матеріалу;
- підвищення безпеки вибухових робіт. Розосередження заряду дозволяє краще контролювати процес вибуху, що сприяє підвищенню безпеки робітників.

Під час підривання розосереджених зарядів всі операції виконуються так само, як при підриванні суцільних свердловинних зарядів, окрім заряджання і монтажу вибухової мережі.

Нижню частину свердловини заповнюють розрахунковою кількістю вибухової речовини (ВР), встановлюють бойовик і заміряють довжину незарядженої частини свердловини. Потім мірним відром або совком засипають розрахункову кількість піску або бурового дріб'язку для утворення породного проміжку, знову заміряють довжину незарядженої частини свердловини і визначають фактичну довжину породного проміжку, потім засипають верхню частину заряду, встановлюють в неї бойовик і проводять забивання свердловини. Проміжок між зарядами вибухових речовин має бути не менше 6 діаметрів заряду вибухової речовини.

При електричному підриванні у верхню частину встановлюється електродетонатор зі сповільненням 15 або 25 мс, а в нижню – електродетонатор миттєвої дії.

Для створення повітряного проміжку між частинами заряду в свердловині розміщуються дерев'яні котушки (рис. 1) або інші пристосування. Довжина дерев'яних котушок дорівнює довжині повітряного проміжку. Застосування дерев'яних котушок є застарілою технологією, яка використовується з 70-х років минулого століття.

Нині в Україні широкого поширення набули спеціальні *пристрої для формування повітряних проміжків* (далі – пристрої П-1), які використовуються для створення повітряних проміжків у свердловинах. Довжина таких пакетів становить 0,5 м. По місцю встановлення пристрої П-1 можуть розташовуватися:

- на дні свердловин, з метою зниження витрати ВР, величини перебура та інтенсивності сейсміки, поліпшення проробки підоснови уступу;
- усередині зарядів, тобто створення розосереджених зарядів з метою зниження питомої витрати ВР і зменшення переподрібнення гірської маси;
- у верхній частині свердловин для зменшення виходу негабариту у верхній частині уступу і зменшення кількості забивочного матеріалу, зниження витрати ВР.

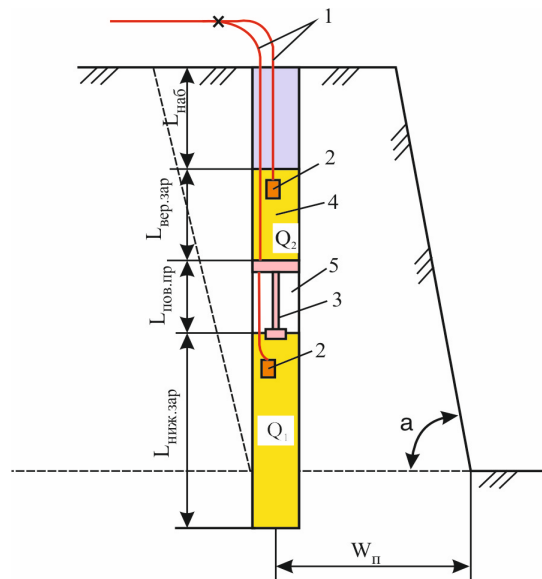
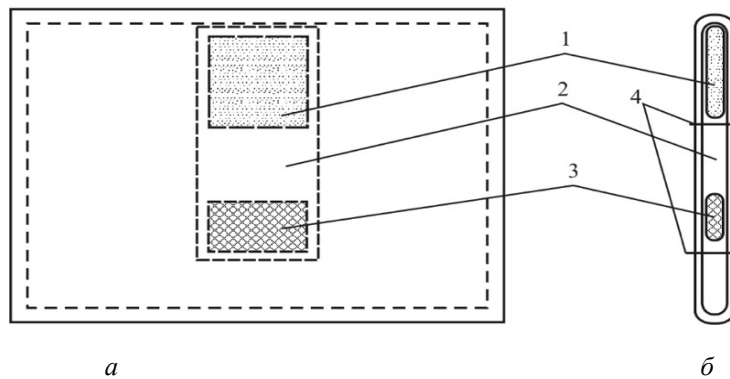


Рис. 1. Заряди з повітряними проміжками: 1 – детонуючий шнур; 2 – бойовик; 3 – дерев’яна катушка; 4 – ВР; 5 – повітряний проміжок; $l_{в.з.}$ – довжина верхньої частини заряду; $l_{в.п.}$ – довжина повітряного проміжку; $l_{н.з.}$ – довжина нижньої частини заряду

Установка пристроїв П-1 в необхіднені свердловини

Пристрої П-1 поступають в експлуатацію заздалегідь у зібраному вигляді і складаються з чотирьох поліетиленових пакетів (рис. 2), які скріплені разом за допомогою липкої стрічки або гумових бандажів. Знімати їх заборонено, оскільки вони забезпечують наповнення газом пристроїв П-1. Зберігання і транспортування пристроїв П-1 здійснюється у вертикальному положенні (вухками догори).

Мотузку прикріплюють до вухка, яке знаходиться зверху на пристрої П-1, щоб можна було опустити його на необхідну глибину в свердловину.



в

Рис. 2. Пристрій П-1 для формування повітряних проміжків: а, в – в розгорнутому вигляді; б – в зібраному вигляді; 1 – кислота; 2 – внутрішній поліетиленовий мішок; 3 – сода; 4 – гумові бандажі

Перед опусканням пристрою П-1 в свердловину стискають його внутрішній контейнер так, щоб рідина, що міститься в ньому, прорвала контейнер у нижній частині, а потім струшують пристрій П-1. Це забезпечує початок реакції. Якщо рідина прорве контейнер у верхній частині, реакції не відбудеться. Необхідно переконатися, що вся рідина вилілася в мішок з порошком. Після цих операцій пристрій П-1 опускають у свердловину. Є в запасі 40 секунд, щоб вільно опустити пристрій П-1 в свердловину. Після 40 секунд починається здуття пристрою. Верхній кінець мотузки, на якій опускають пристрій П-1, необхідно прив'язати біля гирла свердловини до дерев'яного кілочка або каменя.

Якщо пристрій П-1 встановлюється на дно свердловини, то через 5 хвилин мотузку, на якій він був опущений, можна витягнути або залишити прив'язаною до фіксуєчого кілочка. Ступінь наповнення пристрою П-1 газом контролюється зусиллям, яке прикладається до мотузки.

Під час формування розосереджених зарядів свердловин з використанням пристроїв П-1 спочатку формують нижній заряд з проміжним детонатором, потім встановлюється пристрій П-1. Після перевірки ступеня фіксації пристрою П-1 у свердловині за допомогою мотузки проводиться формування верхнього заряду з проміжним детонатором, заміряється і фіксується висота свердловини під забивку.

Під час встановлення пристроїв П-1 у верхній частині свердловин з подальшим її заповненням забивкою формується суцільний заряд, потім встановлюється пристрій П-1, перевіряється і фіксується глибина свердловини під забивку (згідно з типовим проектом) і проводиться забивка. У разі розриву пристрою П-1 відбувається просідання забивки, це фіксується і проводиться досипання забивки згідно з типовим проектом.

Встановлення пристроїв в обводнені свердловини

Пристрій встановлюється на дно свердловини за допомогою спеціального пристосування, яке використовується для обводнених свердловин. Це пристосування складається з металевого циліндра із закругленими торцями 3 (рис. 3) з асиметричним отвором 2, в який вставляється пластикова трубка 4 з пристроєм 8. Перед опусканням у свердловину пристрій приєднують до пластикової трубки пристосування за допомогою гумових бандажів 5. Пристрій П-1 приводять в дію шляхом стискання внутрішнього контейнера з рідиною, після чого пристосування разом з пристроєм П-1 опускають на дно свердловини на мотузці під дією ваги металевого циліндра. Ступінь наповнення пристрою П-1 газом контролюється по зусиллю, яке прикладають до мотузки. Після того, як пристрій П-1 ущільнився і заповнив простір у свердловині (15–20 хв), металевий циліндр (вантаж) витягують зі свердловини. Перевіряють, щоб пристрій П-1 не випливав і залишився в свердловині, потім встановлюють проміжний детонатор і проводять заряджання свердловини. Після цього вимірюється і фіксується глибина свердловини під забивку. Забивка здійснюється згідно з типовим проектом.

Під час формування розосереджених зарядів в обводнених свердловинах формується нижній заряд з проміжними детонаторами. Після цього опускається пристрій за допомогою пристосування – вантажу і фіксується на певній висоті над нижнім зарядом для створення повітряного проміжку над ним. Після того, як виріб ущільнився і заповнив простір у свердловині, вантаж витягують з свердловини. Якщо пристрій П-1 не спливає, формується верхній заряд. Після цього заміряють і фіксують висоту свердловини під забивку.

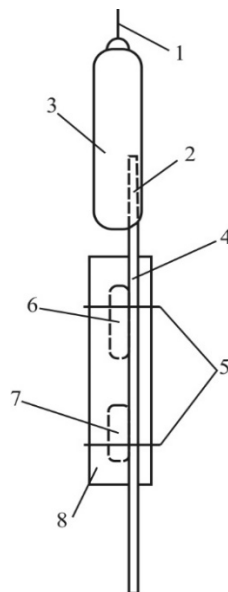


Рис. 3. Спеціальне пристосування, яке використовується для встановлення пристрою П-1 в обводнених свердловинах: 1 – мотузка; 2 – асиметричний отвір; 3 – металевий циліндр (вантаж); 4 – пластикова трубка; 5 – гумові бандажі; 6 – кислота; 7 – сода; 8 – поліетиленовий мішок пристрою П-1

Встановлення пристроїв П-1 у верхній частині обводненої свердловини з подальшим заповненням її набивкою проводиться після формування основного заряду. Встановлення пристрою П-1 проводиться за допомогою спеціального пристосування – вантажу. Потім перевіряється і фіксується глибина свердловини під забивку та виконується забивка. У разі розриву пристрою забивка просідає. Це фіксується і забивка досипається згідно з типовим проектом.

Сумарну довжину повітряних проміжків можна приймати в таких межах: для слабких порід – 0,3–0,4 довжини колонки заряду; для порід середньої міцності – 0,2–0,3 довжини колонки заряду; для міцних порід – 0,15–0,2 довжини колонки заряду. Якщо довжина повітряного проміжку перевищує 3,5–4 м, то необхідно розосередити заряд ВР на декілька частин.

Інновації в конструкції набивки. Для покращення вибуху компанія «AdvancedBlasting Technology inc» (США) пропонує покращити набивку за допомогою пластикових сфер Rocklock. Ці сфери збільшують час утримання набивки в свердловині на 216 % довше, ніж за звичайної набивки. Час утримання набивки в свердловині діаметром 150 мм при використанні Rocklock збільшився від 16 до 24 мс. Порядок застосування цих сфер зображено на рисунку 4. Сфери підбираються діаметром меншим за діаметр свердловин на 10 %.

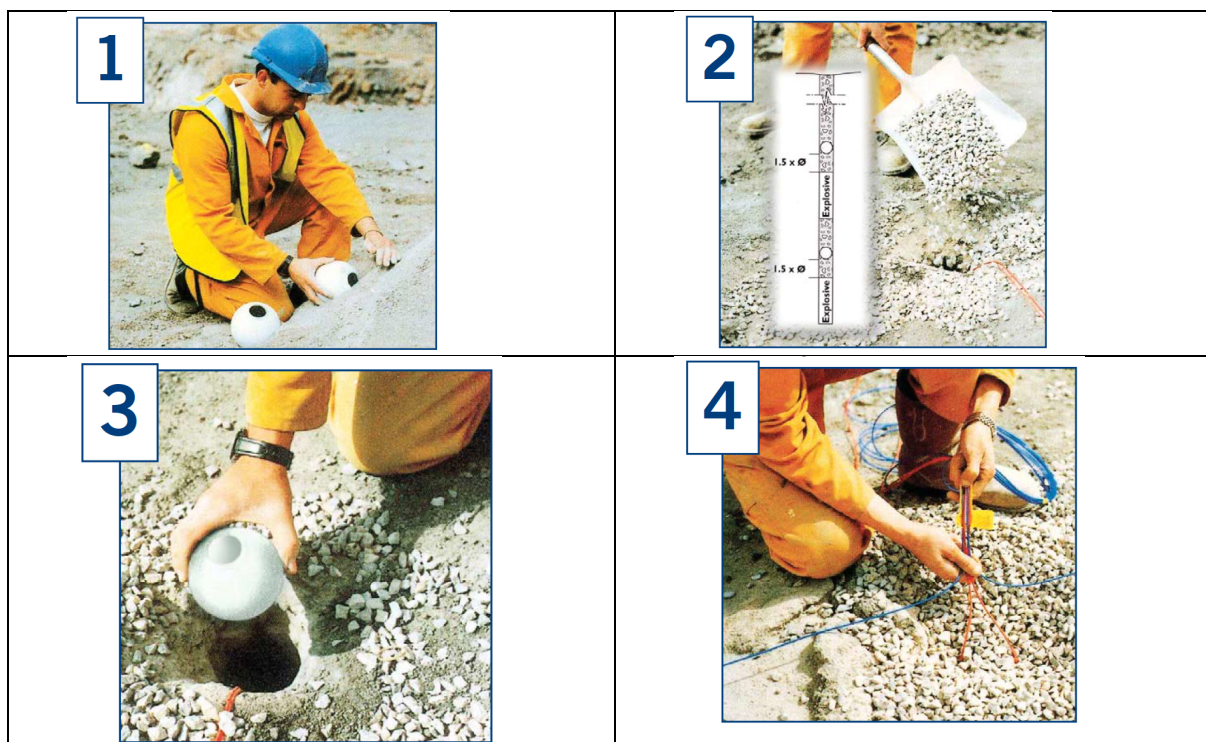


Рис. 4. Схема розміщення Rocklock у свердловинах

Потім заповнюються на 50–75 % набивочним матеріалом (рис. 4, 1). Над колонкою заряду засипають сипучий матеріал набивки приблизно на 1,5 діаметра заряду (рис. 4, 2), потім кидають у свердловину одну сферу Rocklock (рис. 4, 3). Після того як Rocklock опустився на дно, продовжують засипати свердловину набивкою (рис. 4, 4).

Сфери Rocklock випускаються діаметрами: 38, 45, 75, 90, 100, 115, 125, 137, 150, 180, 200, 235 мм. Сфери під час дії вибуху на набивку перетворюються на півсфери та розширюються в свердловині, що підвищує дію газів вибуху на масив гірської породи. Дослідження показують, що це позитивно впливає на дроблення гірської маси та знижує кількість негабаритів.

Висновки:

- під час підривання розосереджених зарядів всі операції виконуються так само, як при підриванні суцільних свердловинних зарядів, окрім заряджання і монтажу вибухової мережі;
- сфери Rocklock збільшують час утримання набивки в свердловині, що покращує результати вибуху;
- проміжки між зарядами вибухової речовини можливо створити сучасними пристроями П-1;
- довжина повітряних проміжків не має перевищувати 3,5–4 м, інакше заряд ВР необхідно розділити на декілька частин.

Список використаної літератури:

1. *Закусило Р.В.* Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія / *Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук.* – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.
2. *Кравець В.Г.* Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху : монографія / *В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук, В.В. Бойко.* – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 408 с.
3. Дослідження впливу буровибухових робіт на якість блочної продукції кар'єру на основі визначення геометричних характеристик її тріщинуватості / *В.В. Коробійчук, Ю.О. Подчаїшинський, О.О. Ремезова та ін.* // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2007. – № 3 (42). – С. 143–150.
4. Визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменю / *А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, Р.В. Соболевський та ін.* // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2016. – № 3 (78). – С. 150–163.
5. Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material / *R.Sobolevskiy, N.Zuievskaya, V.Korobiichuk and other* // *Eastern European Journal of Enterprise Technologies.* – 2016. – № 5/3 (83). – P. 21–29.
6. Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing / *V.Korobiichuk, V.Shamrai, O.Izumova and other* // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2016. – № 4/5 (82). – P. 52–57.
7. The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods / *I.Korobiichuk, V.Korobiichuk, M.Nowicki and other* // *Construction and Building Materials.* – 2016. – Vol. 114. – P. 241–247.
8. A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators / *R.Sobolevskiy, O.Vaschuk, O.Tolkach and other* // *Східно-Європейський журнал передових технологій.* – 2017. – № 3 (87). – P. 54–67.
9. *Korobiichuk V.* Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures / *V.Korobiichuk* // *International Conference on Systems, Control and Information Technologies.* – Springer International Publishing, 2016. – P. 653–658.

References:

1. Zakusylo, R.V., Kravets, V.H. and Korobiichuk, V.V. (2011), *Zasoby initsiuvannya promyslovykh zariadiv vybukhovoykh rehovyn*, monohrafiia, ZhDTU, Zhytomyr, 212 p.
2. Kravets, V.H., Korobiichuk, V.V. and Boiko, V.V. (2015), *Fizychni protsesy prykladnoi heodynamiky vybukhu*, monohrafiia, ZhDTU, Zhytomyr, 408 p.
3. Korobiichuk, V.V., Podchashynskiy, Yu.O., Remezova, O.O. et al. (2007), «Doslidzhennia vplyvu burovybukhovoykh robit na yakist blochnoi produktsii karieru na osnovi vyznachennia heometrychnykh kharakterystyk yii trishchynuvatosti», *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu*. Serii. *Tekhnichni nauky*, No. 3 (42), pp. 143–150.
4. Kryvoruchko, A.O., Korobiichuk, V.V., Sobolevskiy, R.V. et al. (2016), «Vyznachennia optymalnoho napriamku vedennia hirnychuykh robit pry vydobuvanni blokiv z pryrodnoho kameniu», *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu*. Serii. *Tekhnichni nauky*, No. 3 (78), pp. 150–163.
5. Sobolevskiy, R., Zuievskaya, N., Korobiichuk, V. et al. (2016), «Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material», *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, No. 5/3 (83), pp. 21–29.
6. Korobiichuk, V., Shamrai, V., Izumova, O. et al. (2016), «Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 4/5 (82), pp. 52–57.
7. Korobiichuk, I., Korobiichuk, V., Nowicki, M. et al. (2016), «The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods», *Construction and Building Materials*, Vol. 114, pp. 241–247.
8. Sobolevskiy, R., Vaschuk, O., Tolkach, O. et al. (2017), «A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators», *Східно-Європейський журнал передових технологій*, No. 3 (87), pp. 54–67.
9. Korobiichuk, V. (2016), «Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures», *International Conference on Systems, Control and Information Technologies*, Springer International Publishing, pp. 653–658.

Соколовський Володимир Олегович – аспірант кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- геоінформаційні системи в гірництві;
- процеси гірничого виробництва;
- обробка каменю.

Шкабара Юлія Володимирівна – аспірант кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- геоінформаційні системи в гірництві;
- розробка родовищ корисних копалин.

Дубінчук Денис Олегович – аспірант кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- геоінформаційні системи в гірництві;
- розробка родовищ корисних копалин.

Качуровський Михайло Валентинович – аспірант кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т. Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- процеси гірничого виробництва;
- обробка каменю.

Sokolovskiy V.O., Shkabara Y.V., Dubinchuk D.O., Kachurovskiy M.V.

Innovations in Borehole Design for Mass Blasting

This article comprehensively explores the technology of dispersed borehole charges, its advantages, modern implementation methods, innovations that improve the effectiveness of blasting operations, and provides practical recommendations for using this technology.

Previously, wooden coils were used to create air gaps, but now this outdated technology has been replaced by modern P-1 devices. These polyethylene bags are filled with chemical reagents that react to release gas, which expands the bag and creates an air gap. P-1 devices have several advantages over wooden coils:

- **Ease of use:** P-1 devices do not require special preparation before use, which saves time and resources.
- **Controlled expansion:** P-1 devices expand gradually, ensuring a more even distribution of the air gap and better control over the blasting process.
- **Safety:** P-1 devices do not contain explosives and are safe to use.

To improve blasting efficiency, AdvancedBlasting Technology inc proposes using Rocklock plastic spheres when tamping boreholes. These spheres increase the retention time of the tamping in the borehole, which improves rock fragmentation and reduces the number of oversized fragments.

Keywords: tamping; charge dispersion; explosive; mass blast; initiation; boreholes; Rocklock; P-1; safety; efficiency.

Стаття надійшла до редакції 17.05.2024.