

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ПОДОВЖЕНИХ ЗАРЯДІВ ДЛЯ ВИДОБУВАННЯ БЛОКОВОГО КАМЕНЮ

Р. В. Закусило, А. М. Романченко, Д. Р. Закусило

Шосткинський інститут Сумського державного університету

вул. Гагаріна, 1, м. Шостка, Сумська обл., 41100, Україна. E-mail: r.zakusylo@ishostka.sumdu.edu.ua

Визначено технологічні параметри отримання низькоенергетичних гетерогенних систем на основі перхлорату калію, а саме параметри таких операцій, як підготовка компонентів: сушка, подрібнення, просіювання, змішування компонентів, виготовлення полімерних оболонок та подовжених трубчастих зарядів. Встановлено вплив дисперсності початкових компонентів на експлуатаційні характеристики вибухового складу. Визначено, що дисперсність початкового перхлорату калію та каталізатору розкладання повинна складати не більше 100 мкм. Представлено залежність критичного діаметру детонації від розміру частинок основного компоненту системи. Обґрунтовано вибір устаткування для отримання конденсованих систем на основі перхлорату калію. В якості матеріалу для оболонок обрано полімерну композицію на базі ПЕВТ 15803-020 та метод екструзійного формування циліндричної основи К-труб для відбивання блокового каменю. На підставі проведених досліджень запропонована технологічна схема виготовлення гетерогенних конденсованих систем на основі перхлорату калію з паралельним виготовленням оболонок у вигляді трубок, а також безпосереднього спорядження подовжених зарядів.

Ключові слова: технологія, заряд, перхлорат калію, змішування, дисперсність, швидкість детонації.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ УДЛИНЕННЫХ ЗАРЯДОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ БЛОЧНОГО КАМНЯ

Р. В. Закусило, А. Н. Романченко, Д. Р. Закусило

Шосткинский институт Сумского государственного университета

ул. Гагарина, 1, г. Шостка, Сумская обл., 41100, Украина. E-mail: r.zakusylo@ishostka.sumdu.edu.ua

Определены технологические параметры получения низкоэнергетических гетерогенных систем на основе перхлората калия, а именно параметры таких операций, как подготовка компонентов: сушка, измельчение, просеивание, смешивание компонентов, изготовление полимерных оболочек и удлиненных трубчатых зарядов. Установлено влияние дисперсности исходных компонентов на эксплуатационные характеристики взрывчатого состава. Определено, что дисперсность начального перхлората калия и катализатора разложения должна составлять не более 100 мкм. Представлены зависимость критического диаметра детонации от размера частиц основного компонента системы. Обоснован выбор оборудования для получения конденсированных систем на основе перхлората калия. В качестве материала для оболочки избран полимерную композицию на базе ПЭВД 15803-020 и метод экструзионного формования цилиндрической основы К-труб для отбойки блочного камня. На основании проведенных исследований предложена технологическая схема изготовления гетерогенных конденсированных систем на основе перхлората калия с параллельным изготовлением оболочек в виде трубок, а также непосредственно снаряжения удлиненных зарядов.

Ключевые слова: технология, заряд, перхлорат калия, смешивания, дисперсность, скорость детонации.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Урбанізація та зростання чисельності населення світу призводить до необхідності використання все більших площ під забудову, зростає потреба в будівельних корисних копалинах, що видобуваються в кар'єрах, зокрема в облицювальному камені. Декоративний камінь широко використовується в різноманітних галузях народного господарства – архітектурі, будівництві, художньому каменерізани. На відміну від родовищ інших корисних копалин (залізних руд, вугілля, будівельних порід) способи видобування і переробки для родовищ облицювального каменя повинні забезпечувати [1, 2]:

- збереження властивості каменя;
- максимально можливий вихід блоків з корисної копалини, що розроблюється;
- збереження монолітності масиву корисної копалини;
- зниження витрат каменю при його видобуванні;
- максимально можливе комплексне використання сировини.

На даний час в Україні для вибухового відбивання блокового каменю застосовується в основному димний порох, детонуючий шнур та імпортовані К-

заряди, а також невибухова технологія видобування блочного каменю на кар'єрах за допомогою газогенеруючого патрона «ЛІТОКОЛ» [3, 4].

Враховуючи недоліки та складнощі більшості існуючих способів відділення блочного каменю, в державах світу, провідних за розробкою буровибухових технологій, розроблено і застосовуються заряди ВР з низькою швидкістю детонації, сенсибілізовані нітроефірами, що здатні детонувати при малих діаметрах в пластиковій оболонці, так звані К-заряди або К-труби (заряди фінської фірми «Форсіт» [5] та заряди такого ж типу, розроблені в Швеції («Гурит-А») і Росії («Гранілен»)) [6, 7].

Враховуючи їхні переваги, зокрема невисокі втрати корисної копалини та технологічність застосування, а також підвищення попиту на продукцію з блочного каменю, розробка конструкції подовжених зарядів вітчизняного виробництва (типу К-труб) є актуальною задачею.

Мета роботи – проведення досліджень по розробці та відпрацюванню технології виготовлення подовжених зарядів для якісного видобування блокового каменю.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. На основі проведення термодинамічних розрахунків гіпотетичних рецептур, аналізу кількісного і якісного складу газоподібних продуктів вибуху промислових вибухових речовин (ВР) при використанні різних видів пального та встановлення кінетичних закономірностей термічного розкладання KClO_4 у відкритих системах, виявлення особливостей впливу каталізаторів, в якості яких застосовуються оксиди металів, на термічну стійкість і характеристики процесу термічного розкладання (енергію активації, константу швидкості) в гетерогенних системах на основі перхлорату калію (ПХК) [8–10] попередньо розроблена рецептура низькоенергетичних систем для зарядів кар'єрного виготовлення на основі перхлорату калію [11].

Розробка технології виготовлення низькошвидкісних гетерогенних систем на основі перхлорату калію шляхом визначення технологічних параметрів та вибору обладнання для підготовки компонентів та подальшого їх змішування, є метою даної роботи.

Дослідні зразки низькошвидкісних вибухових сумішей виготовляли з метою відпрацювання технології і дослідження їх характеристик.

Для проведення досліджень використані наступні компоненти:

- перхлорат калію (калій хлорнокислий) ТУ 6-09-3801-76;
- оксид марганцю (IV) ГОСТ 4470-79;
- дизельне паливо ГОСТ 305-82.
- нітрометан ТУ 6-09-11-876-77.

Технологічна схема виготовлення вибухових сумішей складалася з чотирьох основних стадій:

- підготовка компонентів: сушка, подрібнення, просіювання;
- змішування компонентів;
- виготовлення полімерних оболонок;
- виготовлення подовжених трубчастих зарядів.

Компоненти, які поступають на виробництво, містять різну кількість вологи. Волога відіграє впливає на злежуваність ВР, їх працездатність і чутливість до займання.

Перхлорат калію має низьку гігроскопічність, проте його вологість треба підтримувати на рівні не більше 0,2 %. Чим більше вологи міститься в частках компонентів сумішевої вибухової речовини, тим менше швидкість детонації, яка поступово досягає своїх нестійких форм і загасає або навіть зовсім не розвивається.

Для визначення необхідних параметрів сушки, проводили дослідження, результати якого приведені на рис. 1.

З рисунка 1 слідує, що при підтримці температури сушки перхлорату калію на рівні 85 ± 5 °C ($358,15 \pm 5$ К), час досягнення постійної ваги, що відповідає рівню 1,05 % видаленої вологи, складає 180 хвилин. При нижчих значеннях температури в процесі сушки, швидкість видалення вологи значно сповільнюється і упродовж цього часу рівноважний стан не встановлюється. Отже, доцільно вибрати режим сушки з наступними технологічними параметрами: температура - 85 ± 5 °C ($358,15 \pm 5$ К), час – 3 години.

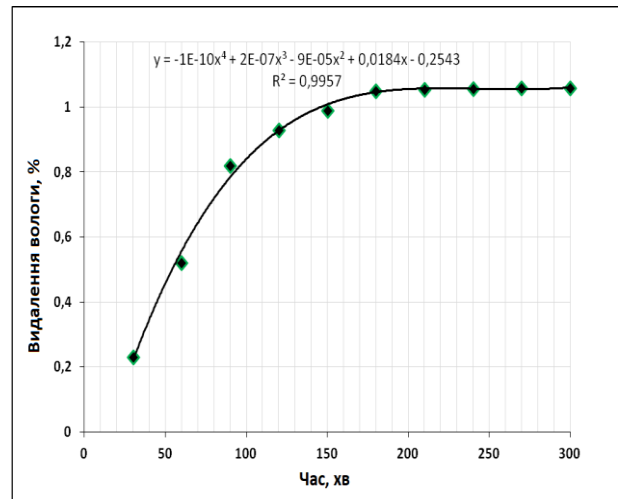


Рисунок 1 – Залежність кількості видаленої вологи від часу при температурі 85 °C

Оксид марганцю (IV) є одним з найбільш стійких з'єднань марганцю, до того ж нерозчинним у воді, проте цей оксид також піддавали сушці при температурі 100 ± 5 °C ($373,15 \pm 5$ К) упродовж 60 хвилин, щоб виключити вплив вологи на інші компоненти складів при змішуванні.

Далі компоненти піддавалися просіюванню через сита різного діаметру з метою подрібнення і усереднення за розміром.

Важливим питанням є визначення впливу розміру часток на характеристики готового продукту. Для детального дослідження залежності фізико-хімічних характеристик було обрано 4 зразки, які були ідентичні по своєму складу, відмінність їх полягала тільки в дисперсності використовуваного ПХК. Компоненти були підготовлені відповідно вибраним технологічними параметрам. Проведено випробування, що визначали критичний діаметр і швидкість детонації.

Результати досліджень приведені в табл. 1 і на рис. 2.

Таблиця 1 – Вибухові характеристики піротехнічного складу

№ з/п	Розмір частинок ПХК, мкм	Критичний діаметр детонації, мм	Швидкість детонації, м/с
1.	100	5	1660
2.	150	13	1720
3.	200	18	1800
4.	250	19	1950
5.	315	19,5	1986
6.	350	20	2020
7.	400	20	2060

З табл. 1 слідує, що дисперсність ПХК має більший вплив на критичний діаметр детонації, ніж на швидкість детонації.

Дана графічна залежність описується поліноміальною функцією третього порядку:

$$d_k = 2 \cdot 10^{-6} \cdot a_0^3 - 0,001 \cdot a_0^2 + 0,520 \cdot a_0 - 31,45 \quad (1)$$

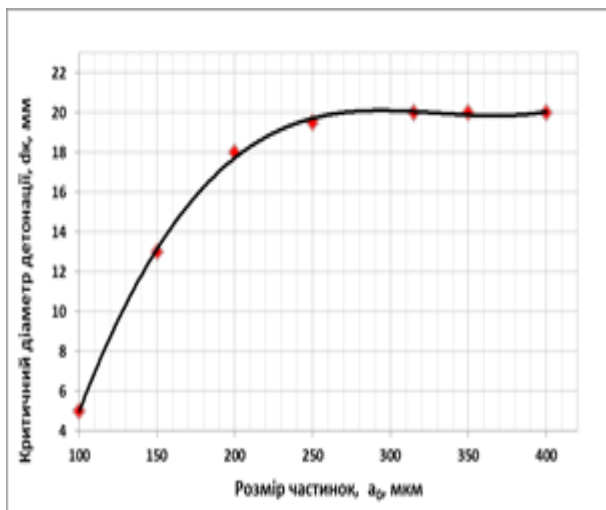


Рисунок 2 – Залежність критичного діаметру детонації від розміру часток ПХК

З рис. 2 видно, що залежно від розміру часток ПХК від 100 мкм до 400 мкм критичний діаметр детонації складу змінювався від 5 мм до 20 мм. Швидкість детонації складала від 1,660 м/с до 2060 м/с відповідно. Погрішність вимірювання швидкості детонації ± 10 м/с.

Розмір часток каталізатора розкладання ПХК в усіх зразках складав 80 мкм, концентрація 0,5%. Ретельне перемішування високодисперсних ПХК (100 мкм) і каталізатора забезпечує хороший контакт між ними і повноту хімічної реакції розкладання ПХК. Горючий компонент – дизельне паливо повністю вбирається компонентами, забезпечуючи їх тісний контакт. Це сприяє повнішому протіканню хімічної реакції розкладання складу з високою дисперсністю ПХК і тому критичний діаметр детонації такого складу мінімальний.

Враховуючи низьку пористість такого складу, швидкість детонації зразка з високодисперсним ПХК буде нижча, ніж у зразка з великими частками ПХК. Великі частки ПХК не забезпечують тісного контакту між собою і з каталізатором, тому каталізатор не повною мірою забезпечує повноту хімічної реакції розкладання складу і тому критичний діаметр детонації буде більше. Оскільки при цьому склад матиме підвищену пористість, наявні порожнини можуть служити «гарячими точками» при вибуху, тому склад з низькодисперсним ПХК має децю підвищену швидкість детонації порівняно із складом на основі високодисперсного перхлорату калію.

Не менш важливим обґрунтування вибору устаткування для отримання конденсованих систем на основі перхлорату калію. Після попередньої підготовки компонентів, а саме сушки, ПХК подрібнювали в кульовому млині з фарфоровими кулями впродовж 20 хвилин. Після цього перхлорат калію і оксид марганцю (IV) просіювання через сита при раніше встановлених параметрах, далі слідувало змішування компонентів.

Приготування піротехнічної суміші проводили в лабораторному змішувачі СРК- 3,5 ГОСТ 16013-84.

Цей змішувач з Z-подібними лопатями (рис. 3) – це дволопатева змішувальна універсальна машина, яка складається з камери змішувача, в якій горизонтально розташовані два ротори. Камера змішувача зроблена із сталі з твердосплавним покриттям, матеріал роторів – нержавіюча сталь.



Рисунок 3 – Камера змішувача СРК- 3,5 з Z-подібними лопатями

Ротора обертаються в протилежних напрямках з різною швидкістю, завдяки чому забезпечується не лише інтенсивне перемішування, але і гомогенізація навіть найв'язкіших матеріалів. Вивантаження робиться перекиданням камери.

- Технічні характеристики вживаного змішувача:
- Вільний об'єм камери змішувача: $4,65 \pm 0,03$ дм³;
 - Об'єм суміші за один цикл: найбільший 3,5 дм³, найменший 1,5 дм³.
 - Частота обертання роторів: ведучого 50...200 об/хв, веденого 45...180 об/хв.
 - Регулювання частоти обертання роторів і шнека – безступінчаті;
 - Регулювання температури – ТЕНи або теплоносій;
 - Потужність електродвигунів: не більше 0,75 кВт;
 - Потужність ТЕНів: 3,0 кВт;
 - Струм живлячої електромережі змінний трифазний з глухо заземленою нейтраллю: напруга 380/220 В, частота 50 Гц.
 - Габаритні розміри: довжина 900 мм, ширина 500 мм, висота 900 мм.
 - Маса: 210 кг.

У зв'язку з легкістю обслуговування, високою продуктивністю, а також якістю перемішування суміші, був обраний саме цей змішувач.

Для приготування гетерогенних конденсованих систем, в камеру змішувача апарату СРК-3,5 заван-

тажували заздалегідь висушені, подрібнені, а також зважені компоненти в співвідношенні: ПХК - 94,5 %, оксид марганцю (IV) - 0,5 % у разі застосування дизельного палива в якості пального або ПХК - 89,5 %, оксид марганцю (IV) - 0,5 %, у разі застосування нітрометану в якості пального. На першій стадії тривалість перемішування складала 10 хвилин. Після цього додавали дизельне паливо (нітрометан) і перемішували ще 10 хвилин. Отримана суміш - волога порошкоподібна маса.

Паралельно здійснювалась розробка конструкції оболонки для низькошвидкісних зарядів. Полімерна оболонка має бути герметична і зберігати цілісність і сухість розміщеного в ній заряду. Діапазон застосування оболонок складає від мінус 30 °С (303,15 К) до плюс 50 °С (323,15 К). Крім того, обидва торці оболонки мають бути герметично закриті, а один кінець, оснащений фіксатором для з'єднання оболонок між собою і їх закріплення в необхідному місці шпурі. Полімерний матеріал повинен повністю перетворюватися при вибуху і не окислюватися при контакті із вживаною вибуховою речовиною.

На основі досліджень розроблено полімерну композицію на базі ПЕВТ 15803-020 та метод екструзійного формування циліндричної основи К-труб для відбивання блокового каменю.

Випробування показали, що К-труби виготовлені з ПЕВТ 15803-020 методом екструзії є дієздатними..

Виготовлення подовжених зарядів проводили в лабораторних умовах. Отриману суміш вручну через воронку засинали в підготовлені поліетиленові оболонки на лабораторному столі. Маса суміші в оболонці залежить від довжини заряду, що виготовляється. Суміш в оболонці при патрунуванні постійно струшували для рівномірного заповнення. При необхідності проводили ущільнення суміші в оболонці за допомогою дерев'яного пуансона. Насипна щільність суміші складала 0,99 – 1,02 г/см³. Заряд з сумішшю закривали поліетиленовою муфтою.

Технологічна схема виготовлення подовжених зарядів для видобування блокового каменю в ошадливому режимі представлена на рис. 4.

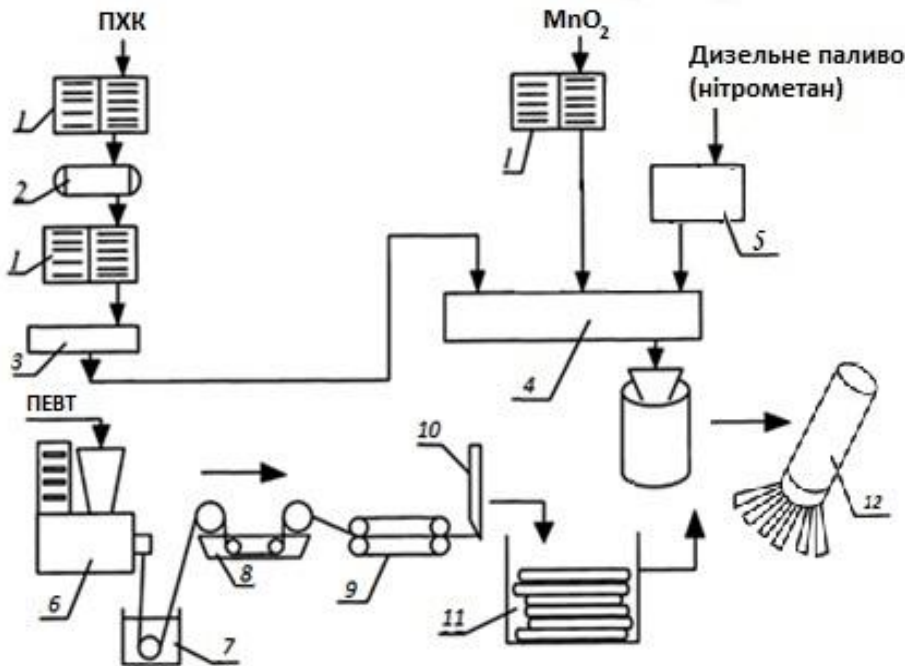


Рисунок 4 – Технологічна схема виготовлення зарядів: 1 – сушарка; 2 – кульовий млин; 3 – сита; 4 – змішувач; 5 – місткість для дизельного палива (нітрометану); 6 – екструдер одночервячний з формувальною трубою голівкою; 7 – калібрувальний пристрій; 8 – система охолодження; 9 – тяговий пристрій з профільними валинками; 10 – обласкування різання; 11 – накопичувач трубок; 12 – подовжений заряд

ВИСНОВКИ. Встановлений вплив дисперсності початкових компонентів на експлуатаційні характеристики вибухового складу. Визначено, що дисперсність початкового перхлорату калію і каталізатора розкладання повинна складати 100 мкм. Ретельне перемішування високодисперсних ПХК і оксиду марганцю (IV) забезпечує хороший контакт між ними і повноту хімічної реакції розкладання ПХК. Горючий компонент дизельне паливо повністю вбирається компонентами, забезпечуючи їх тісний контакт. Це сприяє повнішому протіканню хімічної реакції роз-

ладання складу з високою дисперсністю ПХК і тому критичний діаметр детонації такого складу мінімальний. На підставі проведених досліджень запропонована технологічна схема виготовлення гетерогенних конденсованих систем на основі перхлорату калію з паралельним виготовленням оболонок у вигляді трубок, а також безпосередньо спорядження подовжених зарядів. В результаті проведених розрахункових та експериментальних робіт розроблені заряди для видобування блокового каменю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Синельников О. Б. Добыча природного облицовочного камня. М.: РАСХН, 2005. 244 с.
2. Іськов С. С. Особливості розробки родовищ декоративного каменю і значення геометризації їх основних властивостей для удосконалення технології видобування блоків. *Вісник Житомирського технологічного університету*. 2004. № 3 (30). С. 132–134.
3. Кальчук С. В., Лукашук О. В. Шляхи підвищення ефективності використання хімічних газогенераторних патронів при видобуванні облицювальної сировини. *Вісник Житомирського технологічного університету*. 2007. № 4 (43). С. 108–111.
4. Лукашук А. В. Применение химических генераторов давления для откалывания монолитов стенового камня. *Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр.* Магнитогорск: МагГТУ, 2007. С. 99–102.
5. «Product catalogue», Nitro Nobel, Series Gyttopp., S-713, No. 82, Nora, Sweden. 64 p.
6. Закусило Р. В., Романченко А. М. Дослідження характеристик та ефективності просторового розташування низькоенергетичних зарядів для видобування блокового каменю. *Вісник Житомирського технологічного університету*. 2018. №1 (81). С. 246–250.
7. Казарян Ж. А. Природный камень: добыча, обработка, применение: справочник. М.: ГК Гранит Петракомплект, 1998. 252 с.
8. Закусило В. Р., Романченко А. М., Закусило Р. В. Влияние катализаторов на термическое разложение перхлората калия и взрывчатые характеристики составов на его основе. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2013. Вип. 5(82). С. 103–107.
9. Zakusylo, V., Romanchenko, A. (2014), Potassium perchlorate – the component of the low-speed explosive composition: *Metallurgical and Mining Industry*, no 6, pp. 64–70.
10. Закусило В. Р., Романченко А. Н., Закусило Р. В. Гетерогенные взрывчатые составы пиротехнического типа. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Серія Гірництво*. 2015. Вип. 27. С. 60 – 66.
11. Zakusylo V., Romanchenko A., Zakusylo R. (2015), Explosive composition on the basis of potassium perchlorate and nitromethane: *Metallurgical and Mining Industry*, no 11, pp. 170–175.

DEVELOPMENT OF ELONGATE CHARGES TECHNOLOGY FOR BLOCK STONE PRODUCTION

R. Zakusylo, A. Romanchenko, D. Zakusylo

Shostka Institute of Sumy State University

vul. Gagarina, 1, Shostka, 41100, Ukraine. E-mail: r.zakusylo@ishostka.sumdu.edu.ua

Purpose. To develop a technology for obtaining the low-energy systems for extended charges by determining the technological parameters of the production stages, such as drying, milling, screening, mixing, making of a shell of polymer material and direct charge of charges. **Methodology.** To achieve this goal, the following methods were used in the work: a complex analysis - for generalization and analysis of the achievements of theory and practice in the field of block stone extraction, statistical analysis - for the processing of energy and detonation characteristics of the developed heterogeneous systems research results. **Results.** The technological parameters of obtaining low-energy systems based on potassium perchlorate are determined, namely, the parameters of such operations as preparation of components: drying, grinding, sifting, mixing of components, manufacturing of polymeric membranes and directly the manufacture of elongated tubular charges. The influence of initial components' dispersion of on the operational characteristics of the explosive composition has been established. It has been determined that the dispersion of the initial potassium perchlorate and decomposition catalyst should not exceed 100 microns. The dependence of the critical detonation diameter on the particles size of the systems main component is presented. The choice of equipment for condensed systems based on potassium perchlorate is grounded. As a shell material, a polymer composition based on PEFT 15803-020 and a method of extrusion formation of the cylindrical base of K-pipes for the reflection of block stone was chosen. On the basis of the conducted researches the technological scheme of manufacture of heterogeneous condensed systems on the basis of potassium perchlorate with the parallel manufacture of shells in the form of tubes, as well as directly the equipment of elongated charges is offered. **Originality.** For the first time, the dependences of the critical detonation diameter and the detonation speed from potassium perchlorate dispersion have been determined by the production of prototypes with different dispersion of potassium perchlorate and the determination of their explosive properties. On the basis of the conducted researches the technological scheme of heterogeneous condensed systems manufacture on the basis of potassium perchlorate with the parallel manufacture of shells in the form of tubes, as well as directly the equipment of elongated charges has been offered. **Practical value.** A method for manufacturing an explosive composition has been developed, a polymer composition for the formation of longitudinal tubes and technology for the elongated charges formation for the extraction of block stone have been selected. References 11, tables 1, figures 4.

Key words: technology, charge, potassium perchlorate, mixing, dispersion, detonation speed.

REFERENCES

1. Sinelnikov, O. B. (2005), “*Dobyicha prirodnogo oblitsovochnogo kamnya*” [Extraction of natural facing stone], Russian Academy of Agricultural Sciences, Moscow, Russia.
2. Is'kov, S. S. (2004), “Features of the development of deposits of decorative stone and the value of geometrization of their main properties for improving the technology of blocks extraction”, *Visnyk Zhytomyrs'kogo tehnologichnogo universytetu*, No. 3 (30), pp. 132–134.
3. Kalchuk, S. V., Lukaschuk, A. V. (2007), “Ways to increase the efficiency of using chemical gas cartridges during the production of cladding raw materials”, *Visnyk Zhytomyrs'kogo tehnologichnogo universytetu*, No. 4 (43), pp. 108–111.
4. Lukaschuk, A. V. (2007), “*Primenenie himicheskikh generatorov davleniya dlya otkalyivaniya monolitov stenovogo kamnya Dobyicha, obrabotka i primenienie prirodnogo kamnya: sb.nauch.tr.*” [Application of chemical pressure generators for chipping monoliths of a wall stone Mining, processing and application of a natural stone: collection of scientific papers], Mag. State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
5. «Product catalogue», Nitro Nobel, Series Gyttopp., S-713, No. 82, Nora, Sweden, 64 p.
6. Zakusilo, V. R., Romanchenko, A. M. (2018), “Investigation of the characteristics and efficiency of the spatial arrangement of low-energy charges for block stone extraction”, *Visnyk Zhytomyrs'kogo tehnologichnogo universytetu*, No. 1 (81), pp. 246–250.
7. Kazaryan, Zh. A. (1998), “*Prirodnyiy kamen: dobyicha, obrabotka, primenienie: spravochnik*” [Natural stone: extraction, processing, application: reference book], GK Granit Petrakomplekt, Moscow, Russia.
8. Zakusylo, V. R., Romanchenko, A. M., Zakusylo, R. V. (2013), “The effect of catalysts on the thermal decomposition of potassium perchlorate and the explosive characteristics of compounds based on”, *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, no.5/ (82), pp. 103 – 107.
9. Zakusylo, V., Romanchenko, A. (2014), “Potassium perchlorate – the component of the low-speed explosive composition”, *Metallurgical and Mining Industry*, no. 6, pp. 64–70.
10. Zakusylo, V. R., Romanchenko, A. N., Zakusylo, R. V. (2015), “Heterogeneous explosive compositions of pyrotechnic type”, *Visnik Natsionalnogo tehnichnogo universitetu Ukrainy «Kiyivskiy politehnichnyy institut», Seriya Girnitstvo*, no. 27, pp. 60–66.
11. Zakusilo, V. R., Romanchenko, A. M., Zakusilo, R. V. Patent 100445 Ukraine, MPK C06B31/28. *Vibuhoviy sklad* [Explosive composition], (Ukraine); ShISumDU, no. 201501015; Declared 09.02.15; Published 27.07.15, Bull. no. 14.

Стаття надійшла 25.05.2018.