

ОЦІНКА РОБОТОСПРОМОЖНОСТІ ЗАРЯДІВ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ГАЗОУТВОРЮЮЧИМ ЕНЕРГОАКТИВНИМ КОМПОНЕНТОМ

Вячеслав Єлістратов

кандидат технічних наук,

доцент кафедри автомобілів і тракторів

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Україна, 39600, yelis@rambler.ru

ORCID: 0000-0001-7931-7761

Андрій Черниш

кандидат технічних наук,

доцент кафедри автомобілів і тракторів

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Україна, 39600, chernyshkrnu@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9711-827X

Яна Долударєва

кандидат технічних наук,

доцент циклової комісії природничих дисциплін

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ,
вул. Перемоги, 17/6, Кременчук, Україна, 39600, doludareva@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4089-2010

Валерій Семенов

кандидат фізико-математичних наук,

доцент циклової комісії природничих дисциплін

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ,
вул. Перемоги, 17/6, Кременчук, Україна, 39600

ORCID: 0000-0000-0000-0000

Наталія Дзина

директор

Відокремлений структурний підрозділ «Політехнічний фаховий коледж Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського», вул. Миру, 2, Горішні Плавні, Україна, 39800, dzyna2010@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0475-8527

Робота призначена оцінці працездатності зарядів вибухових речовин різних конструкцій, до яких додається газоутворюючий енергоактивний компонент.

Україна належить до провідних світових виробників та експортерів гірничорудної продукції, має достатні розвідані запаси мінеральної сировини та значні резерви виробничих потужностей для постачання необхідних обсягів товарної продукції споживачам.

Одним з основних способів видобутку скельних корисних копалин є вибухове їх подрібнення на відкритих кар'єрних розробках. Керування вибуховим навантаженням твердих середовищ, що руйнуються, дає змогу впливати на ефективність вказаного процесу видобутку.

Додавання до заряду вибухової речовини недетонуючих газоутворюючих енергоактивних компонентів за рахунок зниження максимальної величини тиску в зарядній порожнини на початковій стадії процесу вибуху та зменшення бризантної дії заряду на тверде середовище, що руйнується, призводить до скорочення виходу переподрібнених вибухом фракцій видобутої гірської маси.

Газоутворюючі енергоактивні компоненти на початковій стадії вибуху поглинають частину енергії, що виділяється, для свого займання, зменшуючи тим самим руйнівну силу продуктів детонації. А на наступних стадіях вибуху за рахунок свого горіння виділяють додаткову енергію, яка посилює процес подрібнення породи.

Частинки газотворюючого компонента беруть участь у хімічному процесі вибуху, й гази, що виділилися при цьому, сприяють підвищенню коефіцієнта корисної дії вибухового навантаження.

Характеристики вибухового процесу, отримані при використанні газотворюючих енергоактивних компонентів, також дають змогу зменшити вихід негабаритних фракцій, що підвищує якість роботи підприємств з видобутку нерудних корисних копалин.

Застосування найбільш раціональних методів виконання вибухових робіт, які призводять до покращення характеристик гранулометричного складу отриманої при цих роботах подрібненої гірської маси, дасть змогу значно підвищити ефективність роботи підприємств гірничодобувної галузі.

Ключові слова: видобування, переподібнення, заряд, конструкція, вибухівка, газотворюючий компонент, працездатність.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Україна належить до провідних світових виробників та експортерів гірничорудної продукції, має достатні розвідані запаси мінеральної сировини та значні резерви виробничих потужностей для постачання необхідних обсягів товарної продукції споживачам. Стабільне положення нашої держави на цьому світовому ринку сприяє створенню високого рівня конкурентоспроможності економіки [1], який забезпечуються також науково-технічним прогресом у гірничодобувній галузі промисловості.

Одним з основних способів видобутку скельних корисних копалин є вибухове їх подрібнення на відкритих кар'єрних розробках. Застосування найбільш раціональних методів виконання вибухових робіт, які призводять до покращення характеристик гранулометричного складу отриманої при цих роботах гірської маси, дасть змогу значно підвищити ефективність роботи підприємств гірничодобувної галузі [2].

З одного боку, явище переподібнення гірничої породи вибухом при видобутку залізорудних копалин спрощує виконання наступних етапів технологічного процесу переробки отриманої сировини. А з іншого боку, при видобутку будівельних матеріалів цей процес є небажаним, оскільки призводить до великих втрат видобутих корисних копалин.

Додавання до заряду вибухівки недетонуючих газотворюючих енергоактивних компонентів за рахунок зниження максимальної величини тиску в зарядній порожнині на початковій стадії процесу вибуху та зменшення бризантної дії заряду на середовище, що руйнується, призводить до скорочення виходу переподібнених вибухом фракцій видобутої гірської маси [3].

В якості газотворюючих енергоактивних компонентів можна використовувати [4] недетонуючий порох, відходи твердих ракетних палив [5] і інші горючі речовини. Ці речовини на початковій стадії вибуху поглинають частину енергії, що

виділяється, для свого займання, зменшуючи тим самим руйнівну силу продуктів детонації. А на наступних стадіях вибуху газотворюючі компоненти за рахунок свого горіння виділяють додаткову енергію, яка посилює процес подрібнення породи.

Також характеристики вибухового процесу, отримані при використанні газотворюючих енергоактивних компонентів, дають змогу зменшити вихід негабаритних фракцій, що підвищує ефективність роботи підприємств з видобутку нерудних корисних копалин.

Вагомими додатковими результатами утилізації залишків компонентів ракетного палива можуть стати: зменшення витрат на утримання місць зберігання цих компонентів; зниження соціальної напруженості й негативного ставлення населення до таких об'єктів; поліпшення екологічного стану та ліквідація потенційної загрози навколишньому природному середовищу; зменшення ризику виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Процес вибухової дії умовно можливо розділити на дві послідовні стадії: перша – це ударна дія на початку вибуху, яка відрізняється різким підвищенням тиску в зарядній порожнині, та друга – це подальше, значно триваліше квазістатичне навантаження матеріалу, що подрібнюється, продуктами детонації газоподібної форми, що стрімко розширюються.

Проаналізувавши енергетичний баланс описаного вище процесу розвитку вибуху, можна зазначити, що на початковому етапі розвитку вибухової порожнини, коли тиск в ній найбільший, відзначаються найбільші дисипативні втрати енергії [6].

Підвищення ефективності початкової стадії вибухової дії можливо досягти за рахунок зменшення максимального тиску, що утворюється при створенні та розширенні вибухової порожнини. За дослідженнями, проведеними багатьма авто-

рами [7], наступне посилення квазістатичного тиску створює додатковий позитивний ефект.

За рахунок управління квазістатичною дією продуктів детонації під час вибуху можливо досягти зниження максимального тиску в зарядній порожнині, а також збільшення тривалості впливу продуктів детонації на її стінки. Одним з таких способів є створення в заряді вибухової речовини повітряних проміжків [6; 8]. Суттєвими недоліками наведеного способу управління є нетехнологічність створення в вибуховому заряді вказаних повітряних проміжків і можливість припинення детонації під час вибуху.

Іншим способом підвищення ефективності вибухової дії є використання вибухівки, виконаної з комбінованих зарядів з бризантних і металевих речовин, що призводить до зниження бризантності при деякому збільшенні працездатності.

Управляти квазістатичною дією продуктів вибухової детонації можливо також за рахунок додавання до заряду вибухової речовини компоненту з негорючого газотворюючого матеріалу, такого, як наприклад, вуглекислий амоній.

Але одним з найефективніших способів керування поршневою дією продуктів вибухової детонації є застосування зарядів вибухових речовин із сумішшю, до складу яких входять горючі газотворюючі компоненти, такі, як недетонуючий порох або відходи твердих ракетних палив та інші подібні речовини [3; 9; 10].

Дослідження показали, що введення в заряд вибухової речовини невеликої кількості (20–30%) горючої газотворюючої добавки дозволяє зменшити початковий тиск у зарядній порожнині та посилити квазістатичне навантаження середовища. Це відбувається тому, що частина енергії вибухової речовини на початковій стадії вибуху витрачається на запалення газотворюючої речовини. Надалі за рахунок горіння добавки виділяється додаткова енергія, яка посилює квазістатичну дію продуктів детонації.

Очевидно, що використання даних сумішевих зарядів сприятиме підвищенню коефіцієнта корисної дії вибуху за одночасної економії дорогих вибухових речовин [11]. Більш того, застосування з цією метою конверсійних матеріалів із значним газотворюючим ефектом дозволить заощадити кошти, що витрачаються на їх утилізацію.

Для перевірки працездатності сумішевих зарядів з газотворюючим компонентом було проведено серію лабораторних експериментів щодо розвитку камуфлетної порожнини у вологому піску.

Нижче наведені результати досліджень з оцінки впливу параметрів сумішевого заряду (крупності та кількості газотворюючої добавки) на ефективність камуфлетного вибуху. Як газотворююча добавка використовувалися відходи твердого ракетного палива.

У лабораторних умовах вибухи здійснювалися у циліндричній ємності. Як середовище використовувався річковий пісок (вологістю 8–10% і щільністю – 1600 кг/м³). Сумішевий заряд загальною масою 500 мг розташовувався на поверхні піску й зверху закривався масивною кришкою, яка перешкоджала витіканню продуктів детонації до атмосфери.

Загалом було проведено чотири серії експериментів для крупності газотворюючої добавки (d) 0,2–0,5 мм; 0,5–1,0 мм, 1,0–1,5 мм і 1,5–2,5 мм, або в радіусах (R₀) заряду, приведенного до сферичного, відповідно: 0,044R₀–0,11R₀; 0,11R₀–0,22R₀; 0,22R₀–0,33R₀; 0,33R₀–0,55R₀.

Подрібнені відходи твердих ракетних палив рівномірно змішувалися з вибуховою речовиною. Кількість газотворюючої речовини в заряді змінювалася від 0 до 40% з кроком 10%, замінюючи їм відповідну частину вибухової речовини, щоб загальна маса заряду залишалася незмінною.

Кожен експеримент повторювався три рази. Експериментальні дані оброблялися з використанням методів математичної статистики.

Відносний обсяг порожнини (V) визначався таким чином:

$$V = R_i^3 / R_1^3, \quad (1)$$

де R_i – радіус порожнини, утвореної при вибуху сумішевого заряду з певною кількістю добавки, м;

R₁ – радіус порожнини, утвореної при вибуху звичайного заряду, м.

Виконані дослідження (табл. 1) показують ефективність застосування газотворюючої добавки.

Для крупності частинок 0,044R₀–0,11R₀ збільшення обсягу камуфлетної порожнини спостерігається при вмісті газотворюючої добавки від 0 до 40%. Це виражається апроксимованою залежністю, вираженою формулою (коефіцієнт кореляції дорівнює 0,95):

$$V = -0,0007 S^2 + 0,027 S + 1, \quad (2)$$

де S – відсотковий вміст газотворюючої добавки.

Для крупності 0,11R₀–0,22R₀ обсяг камуфлетної порожнини збільшується при вмісті

Таблиця 1

Залежність відносного обсягу порожнини, утвореної при вибуху, від відсоткового вмісту добавки, рівномірно перемішаної з вибуховою речовиною

Газоутворююча добавка		Відносний обсяг порожнини				
вміст, %		0	10	20	30	40
відносна крупність	0,044R ₀ –0,11R ₀	1,00	1,35	1,24	1,12	1,00
	0,11R ₀ –0,22R ₀	1,00	1,13	1,10	0,92	0,79
	0,22R ₀ –0,33R ₀	1,00	0,97	0,92	0,80	0,65
	0,33R ₀ –0,55R ₀	1,00	0,95	0,87	0,75	0,62
	інертна добавка	1,00	0,92	0,82	0,70	0,58

газоутворюючої добавки від 0 до 27% і відображається апроксимованою залежністю (коефіцієнт кореляції дорівнює 0,97):

$$V = -0,0005 S^2 + 0,0128 S + 1. \quad (3)$$

Подальше збільшення крупності неефективне, тобто доцільність застосування газоутворюючої добавки знижується зі збільшенням її крупності.

Отже, для умов даних лабораторних експериментів отримано, що оптимальна крупність газоутворюючої добавки повинна знаходитися в межах (0,04–0,11)R₀.

Додатково були проведені експерименти, в яких як добавка використовувався гранвідсів (інертна речовина).

Їх аналіз (табл. 1) показав, що зі збільшенням відсоткового вмісту інертної добавки ефективність вибуху знижується більш інтенсивно, ніж з найбільшою газоутворюючою добавкою.

Отже, частинки газоутворюючого компонента беруть участь у хімічному процесі вибуху, й гази, що виділилися при цьому, сприяють підвищенню коефіцієнта корисної дії вибухового навантаження.

Крім того, було відзначено, що крупність частинок інертної добавки (0,044R₀–0,11R₀ і 0,44R₀–0,66R₀) фактично не впливає на результати експериментів.

Виконані дослідження підтверджують ефективність використання газоутворюючих добавок у сумішевих зарядах вибухових речовин при вибухах у сипучих середовищах.

Для порівняння також перевірена працездатність заряду з газоутворюючою речовиною, розташованою у вигляді зовнішньої оболонки. Як газоутворююча добавка також використовувалися відходи твердого ракетного палива.

У лабораторних умовах вибуху здійснювалися у циліндричній ємності. Як середовище використовувався річковий пісок (вологістю 8–10% і щільністю – 1600 кг/м³).

Комбінований заряд розташовувався на поверхні піску й зверху закривався масивною кришкою, яка перешкоджала витіканню продуктів детонації до атмосфери.

Проведено декілька експериментів (табл. 2), при яких діаметр і маса внутрішньої частини заряду з вибуховою речовиною залишалися незмінними (відповідно 4 мм і 300 мг). Зовнішній діаметр вибухового заряду приймався 4 (безгазоутворюючої оболонки), 6, 7, 8 та 12 мм.

Кожне випробування повторювалося п'ять разів.

Експериментальні дані оброблялися з використанням методів математичної статистики.

Відносний обсяг порожнини (\bar{V}) визначався за формулою 1.

Виконані дослідження показують, що працездатність даного заряду зростає майже лінійно зі збільшенням відношення радіуса оболонки до радіусу заряду до величини 3:1 і описується наступною емпіричною залежністю (коефіцієнт кореляції дорівнює 0,9995):

Таблиця 2

Зміна відносного обсягу камуфлетної порожнини залежно від кількості газоутворюючої добавки у вигляді зовнішньої оболонки

–	Відношення радіусу оболонки до радіусу заряду вибухової речовини				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Відношення поточного обсягу камуфлетної порожнини до початкового	1,00	1,82	2,55	3,05	3,35

$$\bar{V} = -0,3114 \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 + 2,4328 \frac{R}{R_0} - 1,1241. \quad (4)$$

Отримані результати досліджень впливу газоутворюючого компоненту в заряді вибухової речовини на його працездатність та інтенсивність бризантного впливу на середовище, що навантажується, залежно від зміни параметрів продуктів детонації дозволили сформулювати таке наукове положення, що уведення в заряд вибухової речовини газоутворюючої добавки на 25–30% знижує амплітуду хвилі напруг у середовищі та збільшує квазістатичний тиск продуктів детонації.

Новизна даного положення полягає в тому, що вперше теоретично встановлений вплив крупності частинок газоутворюючої добавки, її кількості та швидкості горіння на зміну тиску та температури продуктів детонації, а також працездатність заряду.

Обґрунтованість цього положення підтверджується лабораторними, полігонними та промисловими експериментами з вивчення впливу газоутворюючого компонента в заряді вибухової речовини на його працездатність та інтенсивність дроблення твердих середовищ.

ВИСНОВКИ. Проведені експериментальні дослідження впливу газоутворюючого компоненту в заряді вибухової речовини на його працездатність та інтенсивність бризантної дії на середовище, що навантажується, залежно від зміни параметрів продуктів детонації дозволили сформулювати наступні висновки.

Виконані дослідження підтверджують ефективність використання газоутворюючих добавок у сумішевих зарядах вибухових речовин при вибухах у сипучих середовищах. Частинки газоутворюючого компонента беруть участь у хімічному процесі вибуху, й гази, що виділилися при цьому, сприяють підвищенню коефіцієнта корисної дії вибухового навантаження.

Величина збільшення обсягу камуфлетної порожнини при додаванні газоутворюючої добавки залежить від крупності її частинок і кількості газоутворюючого компоненту в заряді вибухової речовини. Доцільність застосування газоутворюючої добавки знижується зі збільшенням її крупності. Оптимальна крупність газоутворюючої добавки повинна знаходитися в межах $(0,04-0,11)R_0$.

Уведення в заряд вибухової речовини газоутворюючої добавки на 25–30% знижує амплітуду хвилі напруг у середовищі та збільшує квазістатичний тиск продуктів детонації.

Вибуховий заряд з газоутворюючою енергоефективною добавкою, яка змінює термодинамічні характеристики продуктів вибухової детонації та умови взаємодії цих продуктів з середовищем, що руйнується, дасть змогу зменшити вихід переподрібнених гірських порід при вибуховій відбійці, що призведе до підвищення ефективності діяльності підприємств з видобутку нерудних корисних копалин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Tereshchenko E.Y., Koryagina I.A., Rudenko M.N. Methodological Basis of Business Value Estimation. *International Journal of Applied Business and Economic Research*. 2017. № 11. P. 11–18.
2. Викторов С.Д., Кутузов Б.Н., Закалинский В.М. Взрывчатые вещества без взрывчатых компонентов – основа прогресса в горном деле. *Горный журнал*. 2008. № 12. С. 4–50.
3. Долударев В.М., Єлістратов В.О., Солошич І.О. Фізичні аспекти управління вибуховим навантаженням масиву, що руйнується. *Вісник Кременчуцького Національного Університету імені Михайла Остроградського*. 2022. Вип. 1(132). С. 133–140.
4. Долударев В.Н. О влиянии газообразующего энергоактивного компонента в заряде на эффективность взрывного дробления твердых сред. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. 2004. Вип. 4(27). С. 142–144.
5. Концепція Державної цільової програми утилізації компонентів рідкого ракетного палива (гептилу) на період до 2020 року : схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 березня 2018 р. № 161-р. *База даних «Законодавство України»*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/161-2018-%D1%80#Text>
6. Ромашов А.Н. Особенности действия крупных подземных взрывов. Москва : Недра, 1981. 243 с.
7. Повышение эффективности действия взрыва в твердой среде / В.М. Комир и др. Москва : Недра, 1988. 209 с.
8. Жунусов К., Жунусов А.К. Влияние продолжительности импульсных нагрузок взрыва заряда ВВ на качество разрушения взрывающей среды. *Горный журнал Казахстана*. 2010. № 3. С. 20–25.
9. Кирьяков Г.Е., Елифанов В.Б., Зиборов А.Б. Утилизация баллистических ракетных твердых топлив переработкой во взрывчатые материалы промышленного назначения. *Горный журнал*. 2006. № 5. С. 43–44.
10. Korol S.O., Moroz M.M., Korol S.S. Development of a Moderator of the Pump Controlled Drive for the Engine. *Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems*. 2019. P. 30–33.
11. Воробьев В.В., Долударев В.Н., Пеев А.М. О влиянии параметров смесового заряда на эффективность взрыва в грунтах. *Проблемы создания новых машин и технологий*. 1998. Вып. 2. С. 239–240.

ASSESSMENT OF THE PERFORMANCE OF CHARGES OF DIFFERENT STRUCTURES WITH A GAS-GENERATING ENERGY-ACTIVE COMPONENT

Vyacheslav Yelistratov

Ph.D. (Tech),

Associate Professor at the Department of Automobiles and Tractors

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Pershotravneva str., 20, Kremenchuk, Ukraine, 39600, dvn69k@gmail.com, yelis@rambler.ru

ORCID: 0000-0001-7931-7761

Andrii Chernysh

Ph.D. (Tech),

Associate Professor at the Department of Automobiles and Tractors

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Pershotravneva str., 20, Kremenchuk, Ukraine, 39600, dvn69k@gmail.com, chernyshkrnu@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7931-7761

Yana Doludareva

Ph.D. (Tech),

Associate Professor at the Cyclic Committee of Natural Sciences

Kremenchuk Fight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, Victory str., 17/6, Kremenchuk, Ukraine, 39600, doludareva@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4089-2010

Valery Semenov

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,

Associate Professor at the Cyclic Committee of Natural Sciences

Kremenchuk Fight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, Victory str., 17/6, Kremenchuk, Ukraine, 39600

ORCID: 0000-0000-0000-0000

Nataliia Dzyina

Director

Separate structural subdivision "Polytechnic College of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University", Myru str., 2, Horishni Plavni, Ukraine, 39800, dzyina2010@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0475-8527

The work is designed to evaluate the efficiency of charges of explosive substances of various designs, to which a gas-forming energetic component is added.

Ukraine is one of the world's leading producers and exporters of mining products, has sufficient explored reserves of mineral raw materials and significant reserves of production capacity to supply the necessary volumes of commodity products to consumers.

One of the main ways of extracting rock minerals is their explosive crushing in open pits. Controlling the explosive load of solid, destructible media makes it possible to influence the efficiency of the specified extraction process.

The addition of non-detonating gas-forming energetic components to the explosive charge due to the reduction of the maximum pressure value in the charge cavity at the initial stage of the explosion process and the reduction of the explosive effect of the charge on the collapsing solid medium leads to a reduction in the output of fractions of mined rock crushed by the explosion masses.

Gas-forming energy-active components at the initial stage of the explosion absorb part of the released energy for their ignition, thereby reducing the destructive power of the detonation products. And in the subsequent stages of the explosion, due to their burning, additional energy is released, which intensifies the rock crushing process.

Particles of the gas-forming component take part in the chemical process of the explosion, and the gases released during this process contribute to increasing the coefficient of the useful effect of the explosive load.

The characteristics of the explosive process, obtained when using gas-forming energy-active components, also make it possible to reduce the output of oversized fractions, which increases the quality of work of non-metallic mineral mining enterprises.

The use of the most rational methods of performing explosive works, which lead to the improvement of the characteristics of the granulometric composition of the crushed rock mass obtained during these works, will make it possible to significantly increase the efficiency of the enterprises of the mining industry.

Key words: mining, over-grinding, charge, construction, explosives, gas-forming component, performance.

REFERENCES

1. Tereshchenko, E.Y., Koryagina, I.A., Rudenko, M.N., Kevorkova, Z.A., & Yelistratov, V.A. (2017). Methodological Basis of Business Value Estimation. *International Journal of Applied Business and Economic Research*, 11, 11–18. [in English]
2. Viktorov, S.D., Kutuzov, B.N., & Zakalinskiy V.M. (2008). Vzryvchatye veshchestva bez vzryvchatykh komponentov – osnova progressa v gornom dele [Explosives without explosive components – the basis of progress in mining]. *Gornyi Zhurnal – Mining magazine*, 12, 4–50. [in Russian]
3. Doludarev, V.M., Yelistratov, V.O., Soloshich, I.O., & Doludareva, Ya.S. (2022). Fizichni aspekty upravlinnya vybukhovym navantazhennyam masyvu, shcho ruynyetsya [Physical aspects of explosive load control of a destroying mass]. *Visnyk Kremenchutskogo Natsionalnogo Universitetu imeni Mykhayla Ostrogradskogo – Bulletin of the Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, 1(132), 133–140. [in Ukrainian].
4. Doludarev, V.N. (2004). O vliyani gazoobrazuyushchego energoaktivnogo komponenta v zaryade na effektivnost vzryvnogo drobleniya tvyerdykh sred [On the influence of a gas-forming energy-active component in a charge on the efficiency of explosive crushing of solids]. *Visnyk Kremenchutskogo derzhavnogo politekhnichnogo universitetu – Bulletin of the Kremenchug State Polytechnic University*, 4(27), 142–144. [in Russian].
5. Konceptsiya Derzhavnoyi cilovoyi programy utilizatsii komponentiv riddkogo raketnogo palyva (geptylu) na period do 2020 roku: skhvaleno rozporyadzhennyam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 14 bereznya 2018 r. № 161-r. [The concept of the State target program for the disposal of components of liquid rocket fuel (heptyl) for the period until 2020: approved by the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated March 14, 2018 No. 161-r.]. *Baza danykh «Zakonodavstvo Ukrainy» – Database "Legislation of Ukraine"*, URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/161-2018-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
6. Romashov, A.N. (1981). *Osobennosti deystviya krupnykh podzemnykh vzryvov [Features of the action of large underground explosions]*. Moscow: Nedra [in Russian]
7. Komir, V.M., Kuznetsov, V.M., Vorobiev, V.V., Chebenko, V.N. (1988). *Povysheniye effektivnosti deystviya vzryva v tvyerдой srede [Increasing the effectiveness of the explosion in a solid medium]*. Moscow: Nedra [in Russian]
8. Zhunusov, K., & Zhunusov, A.K. (2010). Vliyanie prodolzhitel'nosti impulsnykh zagruzok vzryva zaryada VV na kachestvo razrusheniya vzryvayemoy sredey [Influence of the duration of the pulsed charges of the explosive charge explosion on the quality of destruction of the exploded medium]. *Gornyi zhurnal Kazakhstana – Mining magazine of Kazakhstan*, 3, 20–25. [in Russian]
9. Kiryakov, G.E., Elifanov, V.B., Ziborov, A.B., & Vologin, M.F. (2006). Utilizatsiya ballistitnykh raketnykh tvyerdykh topliv pererabotkoy vo vzryvchatye materialy promyshlennogo naznacheniya [Utilization of ballistic rocket solid fuels by processing into industrial explosives]. *Gornyi Zhurnal – Mining magazine*, 5, 43–44. [in Russian].
10. Korol, S.O., Moroz, M.M., Korol, S.S., Yelistratov, V.A., & Moroz, O. (2019). Development of a Moderator of the Pump Controlled Drive for the Engine. Proceedings from MEES 2019: *The Second International Conference on Modern Electrical and Energy Systems*. (pp. 30–33). [in English]
11. Vorobyov, V.V., Doludarev, V.N., & Peev, A.M. (1998). O vliyani parametrov smesevogo zaryada na effektivnost vzryva v gruntakh [On the influence of mixed charge parameters on the efficiency of an explosion in soils]. *Problemy sozdaniya novykh mashin i tekhnologiy – Problems of creating new machines and technologies*, 2, 239–240. [in Russian]

Стаття надійшла 29.07.2022