

В.Г. Кравець, д.т.н., проф.
А. Шукюров, аспірант
П.В. Гонтарь, к.т.н., інженер
А.Л. Ган, к.т.н., доц.
КПІ імені Ігоря Сікорського
В.В. Коробійчук, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

Крайові ефекти вибуху зарядів складної форми

Розглядаються особливості розвитку силового поля навколо заряду кінцевих розмірів, якому надано складної форми. Дані комп'ютерного моделювання свідчать про перевагу трикутного перетину заряду над квадратним, що виражається у відсутності значних ослаблень силового поля в кутах трикутного перетину на відміну від квадратного. Відоме явище випромінювання масових часток продуктів детонації заряду по нормалі до кожної з його поверхонь має практичне використання в накладних та кумулятивних зарядах, а також може сприяти розвитку нових методів ведення вибухових робіт з урахуванням крайових ефектів вибуху зарядів кінцевих розмірів та складної форми.

Комп'ютерне моделювання процесу формування енергетичного поля навколо зарядів трикутного та прямокутного перерізу свідчить про підвищену інтенсивність ізоліній цілності продуктів вибуху в напрямках, нормальних до сторін відповідних перерізів, про помітне ослаблення інтенсивності в кутах чотирикутного перерізу та менший прояв таких ослаблень в межах трикутного перерізу заряду. Грушоподібність форми «ізоденс» навколо клиновидного заряду може виявитись додатковим інструментом керування механічним ефектом вибуху.

Експериментальні дослідження впливу крайових ефектів вибуху подовженого клиновидного заряду викидання дозволили виявити особливості формування поперечного перетину виїмки та відповідно його камуфлетної і фугасної частин в залежності від ступеня клиновидності перетину заряду та його орієнтації відносно вільної поверхні. Ці особливості можуть сприяти вдосконаленню відповідних технологій, пов'язаних з використанням зарядів контактної дії як в скельних породах, так і в стислих ґрунтах. В подальшому експериментально планується дослідити вплив форми трикутного перетину та його орієнтацію відносно вільної поверхні. Отримані дані можуть сприяти подальшому розвитку спеціальних технологій у вибуховій справі.

Ключові слова: кумуляція; крайовий ефект; енергетичний потік; комп'ютерне моделювання; призматичний заряд викидання; клин; параметри воронки.

Вступ. Вибухова техніка підготовки гірської маси до виймання постійно вдосконалюється як за рахунок розробки нових прогресивних вибухових матеріалів, так і шляхом постійного поглиблення знань про механізм формування механічного ефекту вибуху. Останніми роками науковці відповідного профілю звернули увагу на феномен, відомий з досліджень явища кумуляції [1], але в масовому застосуванні, особливо в гірничих технологіях, ігнорований – це феномен прояву крайових ефектів вибуху зарядів кінцевих розмірів, різної архітектури та конфігурації. В роботі [2] його розглянуто в зв'язку з моделюванням торцевого ефекту вибуху свердловинного заряду в зоні перебуру. а в працях [3, 4] порівняно енергоефективність руйнування граніту подовженими зарядами призматичної форми, з яких слідує, що найменшою енергоємністю руйнування скельного масиву володіють подовжені заряди трикутного поперечного перетину. Енергоефективність зарядів квадратного та циліндричного перетину близька за величиною, хоча квадратні призматичні заряди забезпечують менший вихід переподібнених часток. Наведена інформація [1–4, 8–16] вимагає подальшого вивчення та пояснення з позицій геодинаміки вибуху.

Мета роботи – встановлення механізму і закономірностей формування енергетичних потоків в зв'язку з проявами крайових ефектів від вибуху зарядів складної форми.

Аналіз модельних досліджень. З попереднього розгляду випливає необхідність вивчення природи виявлених відмінностей у механічному ефекті вибуху подовжених зарядів різного за формою поперечного перерізу – круглого, квадратного та трикутного.

Такі відмінності в першу чергу пояснюються характером контактної взаємодії зарядів своєю бічною поверхнею з скельним середовищем. Цей характер оснований на відомому явищі випромінювання масових часток продуктів вибуху строго по нормалі до будь-якої поверхні заряду, в цьому разі – до бічної. Як відомо, згадане явище успішно використовується з метою кумуляції енергії вибуху у відповідних цілях [5]. В умовах контактного вибуху механічний ефект, яких пов'язаний в першу чергу з бризантною дією заряду, особливо

чутливий до його форми, оскільки вона диктує розподіл потоку продуктів вибуху (ПД), або енергетичного потоку з поверхні заряду, що контактує з середовищем.

Доказ цього положення надають дослідження з комп'ютерного моделювання осесиметричного процесу вибухового розкладу зарядів різного поперечного перерізу, а саме, усіченого трикутного з кутом при основі 60° і прямокутного, виконані за допомогою двовимірного гідрокоду [6].

На рис.1 наведено характер ізоліній щільності продуктів вибуху цих зарядів. Положення поля ізоліній на рисунку відповідає орієнтації ініційованого заряду.

Порівняння наведених сімейств ізоліній свідчить про наступне:

- форма поля навколо прямокутного заряду практично відповідає положенню бічних поверхонь перетину заряду, тобто максимальні ефекти реалізуються по нормалі до поверхонь заряду, мінімальні в кутових зонах;
- певне симетричне зміщення відносно центру заряду, позначеного точкою на рис. 1, б, свідчить про вплив напрямку розвитку детонаційного процесу від місця ініціювання;

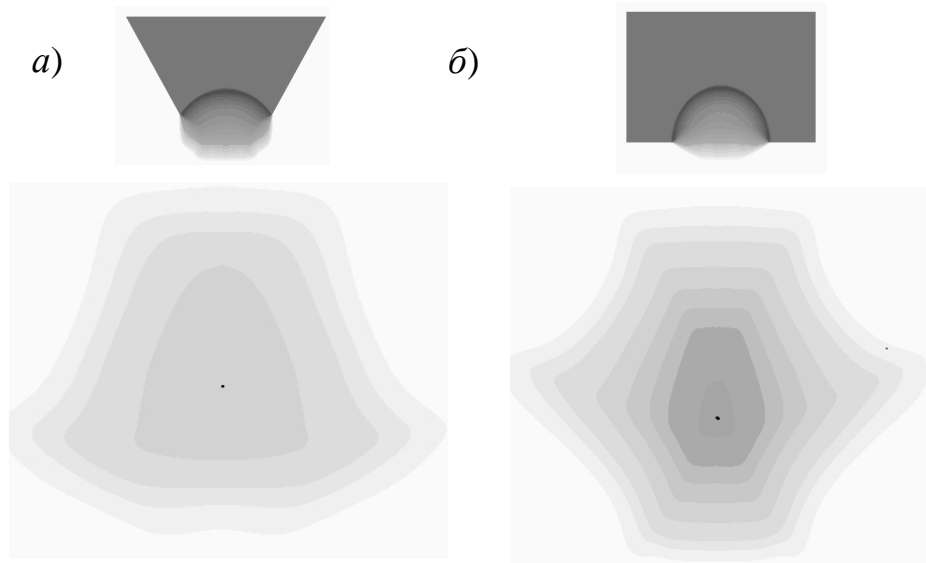


Рис. 1. Характер формування енергетичного поля при вибуху зарядів трикутного (а) та прямокутного (б) поперечного перерізу

- поле навколо трикутного заряду має більш рівномірні обриси, але складну конфігурацію, набуваючи «грушоподібної» форми з розширенням в області вершини трикутника, що свідчить про переважаюче масове переміщення продуктів вибуху по нормалі до бічних сторін трикутника.

Отже, навіть побіжний аналіз якісного розподілу енергетичних потоків свідчить про відмінність цих процесів в залежності від форми поперечного перерізу заряду, що частково може пояснити наведені в згаданих публікаціях результати досліджень. На відміну від циліндричного заряду з рівномірним навантаженням стінок циліндричної зарядної виробки в згадуваних дослідженнях нерівномірність розподілу навантажень зростає при використанні заряду квадратного перетину і досягає максимуму при підриванні призматичного заряду трикутного перетину.

Відзначимо, що можливості управління механічним ефектом вибуху такого заряду не вичерпані, оскільки можна очікувати певних ефектів через зміну форми трикутного перетину, тобто через співвідношення між його висотою і шириною основи. В цьому разі перевага в напрямку концентрації енергетичних потоків належатиме або рівномірно трьом сторонам, або основі, або бічним сторонам трикутної призми.

Отже, результати комп'ютерного моделювання процесу розвитку поля рівних щільностей продуктів детонації в залежності від форми заряду потребують подальшого експериментального підтвердження для розробки способів та засобів управління динамікою руйнування гірських порід в геоінженерії. Необхідно дослідити, як зміна архітектури призматичного заряду вплине на кінцевий механічний ефект вибуху.

Результати експериментальних досліджень. З метою вивчення особливостей розвитку механічного ефекту вибуху в залежності від конфігурації подовженого заряду викидання виконано комплексні модельні дослідження в піщаному ґрунті. На оптимальній глибині в модельному масиві розташовувався горизонтальний подовжений заряд викидання у вигляді трикутної призми.

Метою досліджень було встановлення впливу форми трикутного перерізу призматичного заряду (клина), а саме - співвідношення висоти і основи трикутника в поперечному перерізі призми (рис. 2, а) в двох варіантах закладання заряду - вершиною клина донизу (1) та в бік вільної поверхні (2) на механічний ефект вибуху. Зміна співвідношення висоти і основи трикутника фактично означає зміну кута α в його основі (рис. 3). Оскільки в досліді оцінюються видимі параметри виїмки – ширина, глибина та її форма, очікується, що цей кут неодмінно має вплинути на співвідношення основних параметрів отриманої виїмки.

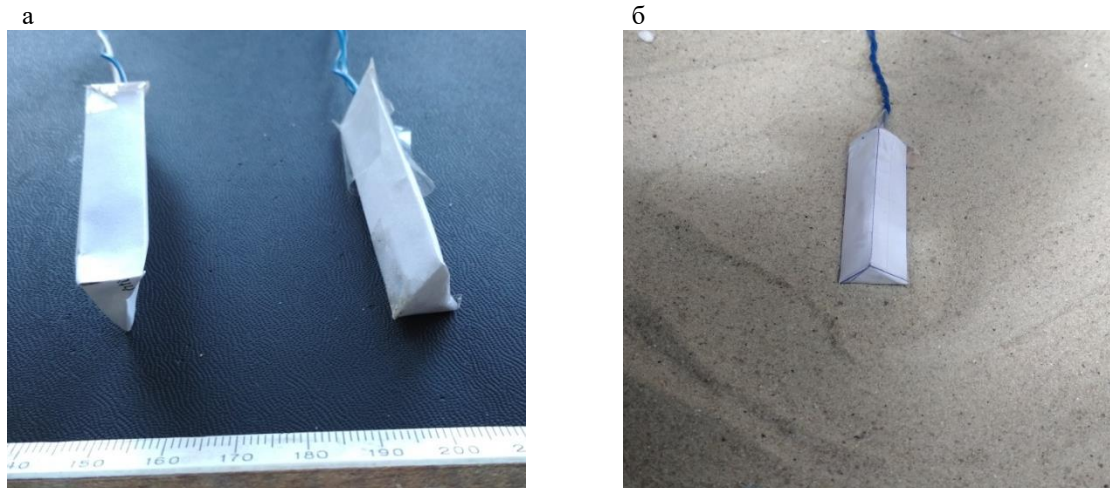


Рис. 2. Подовжені призматичні заряди: а – орієнтація вершини клина вершиною вниз вгору; б – призматичний заряд в моделі масиву

Дослідженнями одночасно вивчено вплив геометрії зарядів з трикутним поперечним перерізом на характерні параметри воронки викидання (рис.3), а також на зв'язок цих параметрів з орієнтацією основи призматичного заряду відносно вільної поверхні. Оскільки у вертикальному розрізі призма має форму клина, енергія вибуху такого заряду має випромінюватись по нормалі до основи трикутника та до двох бічних поверхонь. Враховуючи отримані дані математичного моделювання поля ізобар навколо заряду конічної форми, слід очікувати існування зв'язку характерних параметрів воронки викидання з орієнтацією призматичного заряду в масиві фізичної моделі.

Вважаємо, що параметри зони викидання за межі виїмки та зони ущільнення ґрунту під зарядом, їх співвідношення між собою можуть якісно охарактеризувати закономірності формування поля ізобар при вибуху призматичного заряду. Умовно в якості мірила металеві (фугасної) складової вибуху приймаємо частину площі перерізу виїмки між горизонтом закладання заряду і вихідною поверхнею модельного ґрунтового масиву.

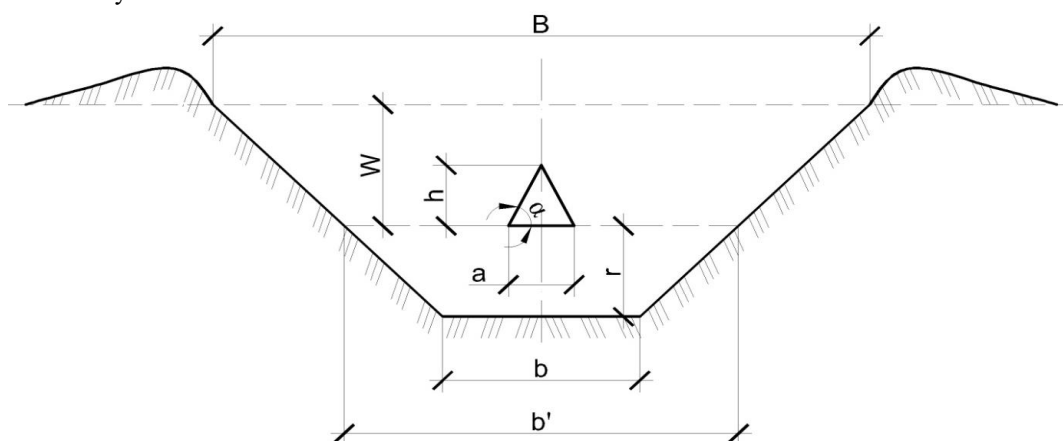


Рис. 3. Досліджувані параметри перерізу виїмки, утвореної вибухом призматичного заряду

В якості мірила бризантної складової приймаємо камуфлетну частину перерізу виїмки, розташовану нижче горизонту закладання заряду. Таким чином, в залежності від технологічних завдань, поставлених перед вибухом, ці спостереження можуть в подальшому вплинути на вибір раціональних параметрів, умов підривання, форми зарядів, способу їх розташування в зарядній виробці.

За схемою розташування заряду в масиві на рівні основи трикутного перетину заряду закладались т.зв. «свідки» – легкі металеві пластини, з фіксацією їх положення по глибині та відстані від заряду. Під час

деформаційного процесу пластини переміщуються з відповідним шаром ґрунту, займаючи разом з ним нове положення після вибуху. В новому положенні ці «свідки» дозволяють фіксувати кінцевий контур сформованої виїмки, оскільки в дослідях можливе часткове зворотнє сповзання і осипання у виїмку викинутого піщаного ґрунту, здатне внести корективи у вимірювання її параметрів.

На рис.4 наведено відносні значення визначального параметру виїмок -поперечного перетину з урахуванням зміни маси зарядів в експериментах, які обчислювались як співвідношення S/S_3 , де S – виміряна площа перетину, S_3 – площа трикутного перетину заряду.

Залежності на рис.4 представлені сімейством кривих, де попарно наведено залежності камуфлетних і фугасних складових поперечного перетину виїмки від кута α для двох положень призматичного заряду: прямого, тобто вершиною в сторону горизонту, і оберненого:

-криві 1, 2 – відповідно для металльної і камуфлетної складових перетину виїмки від вибуху прямого заряду ;

- криві 3, 4 – відповідно для металльної і камуфлетної складових перетину виїмки від вибуху оберненого заряду;

- криві 5, 6 – відповідно загальна площа перетину виїмки від вибуху прямого і оберненого зарядів.

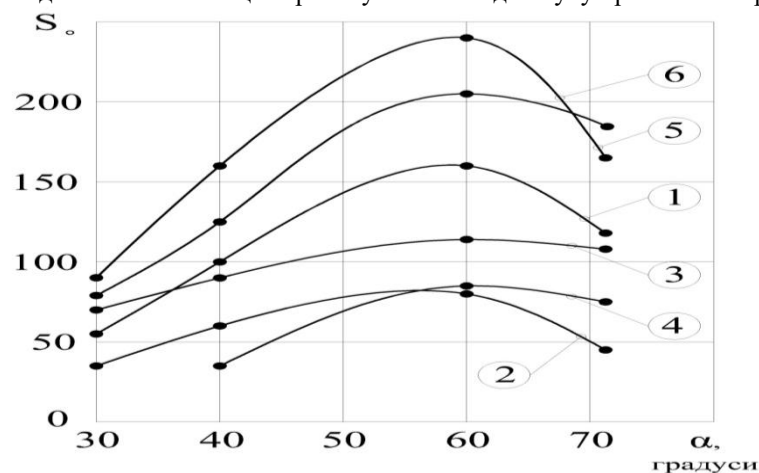


Рис. 4. Залежності відносного поперечного перерізу виїмок від кута α

Основною ознакою наведених на рис.4 залежностей є наявність вираженого максимуму в обох компонентах перетину виїмок та в загальному перетині. Цей максимум з незначними відхиленнями, які можна віднести до точності вимірювань, відповідає значенню кута $\alpha=60^\circ$. Показово, що цей параметр характерний як для прямого, так і для оберненого положення зарядів. Значення цього параметра співпадає з відомими рекомендаціями щодо форми інертної клиновидної вставки в донній частині шпура, яка забезпечує оптимальні умови для розпирання газовим потоком вибуху стінок шпура з метою утворення тріщини розриву [7]. З порівняння кривих 2 і 4 слідує висновок, що величина кута α в 60° є рубіжною, до якої в межах $30^\circ \dots 60^\circ$ доля камуфлетної складової механічного ефекту вибуху прямого клиновидного заряду переважає порівняно з оберненим клином, а після 60° помітно зростає доля площі камуфлету для оберненого клиновидного заряду. З порівняння залежностей 1 і 3 слідує, що металльні складові для прямого та оберненого клина в межах відносно невеликих кутів α (до 40°) мало різняться між собою з деякою перевагою оберненого клина, а далі мають однакову тенденцію до зростання, досягаючи максимуму при $\alpha=60^\circ$, далі обидві площини різко зменшуються і зближуються при « α » понад 70° . Щодо сумарної площі перетину виїмки при вибуху на викидання (криві 5,6), вони за формою ідентичні з деяким переважанням за абсолютною величиною площі виїмок від вибуху прямого клиновидного заряду та при значенні « α » близько 65° і вище практично зближуються за значенням в межах точності вимірювань.

Таким чином, змінюючи орієнтацію клиновидного заряду відносно горизонту та маніпулюючи формою трикутного перетину призматичного заряду, тобто ступенем клиновидності цього заряду (змінюючи показник « k » трикутника), можна переорієнтувати енергетичні потоки вибуху. Це має значення не лише для досліджуваного вибуху на викидання, коли в залежності від технологічних умов потрібно підсилити його камуфлетну або фугасну складову. Спостережені закономірності можуть бути використані у розробці вибухової техніки формування вертикальної монощілини рядом свердловинних зарядів при необхідності оконтурювання блоку гірського масиву для захисту основного масиву порід від сейсмічної дії масового вибуху, в технологіях, спрямованих на площинне ущільнення масивів лесових ґрунтів з метою ліквідації їх просадних властивостей та надання їм підвищеної носійної здатності, вдосконалення техніки підводного днозаглиблення тощо.

Висновки. Відоме явище випромінювання масових часток продуктів детонації заряду по нормалі до кожної з його поверхонь має практичне використання в накладних та кумулятивних зарядах, а також може

сприяти розвиткові нових методів ведення вибухових робіт з урахуванням крайових ефектів вибуху зарядів кінцевих розмірів та складної форми.

Комп'ютерне моделювання процесу формування енергетичного поля навколо зарядів трикутного та прямокутного перерізу свідчить про підвищену інтенсивність ізоліній щільності продуктів вибуху в напрямках, нормальних до сторін відповідних перерізів, про помітне ослаблення інтенсивності в кутах чотирикутного перерізу та менший прояв таких ослаблень в межах трикутного перерізу заряду. Грушоподібність форми «ізоденс» навколо клиновидного заряду може виявитись додатковим інструментом керування механічним ефектом вибуху.

Експериментальні дослідження впливу крайових ефектів вибуху подовженого клиновидного заряду викидання дозволили виявити особливості формування поперечного перетину виїмки та відповідно його камуфлетної і фугасної частин в залежності від ступеня клиновидності перетину заряду та його орієнтації відносно вільної поверхні. Ці особливості можуть сприяти вдосконаленню відповідних технологій, пов'язаних з використанням зарядів контактної дії як в скельних породах, так і в стисливих ґрунтах.

Список використаної літератури:

1. Физика взрыва ; под ред. Л.П. Орленко // Изд 3-е, перераб. – М. : Физматлит, 2002. – Т. 2. – 656 с.
2. Моделирование динамического разрушения донной части скважины с учетом концентратора напряжений / В.В. Воробьев, М.В. Помазан, С.В. Шлык, Л.Д. Воробьева // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2017. – № 3/1 (87). – С. 53–62.
3. Энергоемкость разрушения гранитов зарядами ВВ различной формы / Э.И. Ефремов, С.В. Коновал, К.С. Ищенко, И.Л. Кратковский, В.Н. Коновал // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 3. – С. 80–84.
4. Konoval V.N. Resource-saving methods of polymineral rocks explosive destruction / V.N. Konoval, I.L. Kratkovsky, K.S. Ishchenko // Topical issues of Resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Romania, Petrosani : UNIVERSITAS Publishing, 2018. – P. 229–249.
5. Воробьева Л.Д. Исследование влияния кумулятивного эффекта на давление в воздушном промежутке при взрыве рассредоточенного заряда / Л.Д. Воробьева // Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». – Київ : НТУУ «КПІ», 2005. – Вип. 12. – С. 53–58.
6. Одищев В.А. Моделирование процесса взрыва осколочно-фугасного снаряда с помощью двумерного кода / В.А. Одищев, Ю.М. Сидоренко, В.С. Туберозов // Исследования, конструирование, испытания. – 2000. – № 1–2. – С. 49–55.
7. Ган А.Л. Формування керованого площинного розриву в гірському масиві : автореферат дис. ... к.т.н. / А.Л. Ган. – НТУУ «КПІ», К., 2011. – 23 с.
8. Коробійчук В.В. Дослідження шляхів мінімізації витрат при буровибуховому способі видобування блоків декоративного каменя / В.В. Коробійчук, Р.В. Соболевський, О.А. Зубченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир, 2006. – № 4 (39). – С. 301–308.
9. Дослідження впливу буровибухових робіт на якість блочної продукції кар'єру на основі визначення геометричних характеристик її тріщинуватості / В.В. Коробійчук, Ю.О. Подчашинський, О.О. Ремезова, Р.В. Соболевський, О.А. Зубченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир. – 2007. – № 3 (42). – С. 143–150.
10. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control / R.Sobolevskiy, V.Korobiichuk, S.Iskov, I.Pavliuk, A.Kryvoruchko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6/3 (84). – Pp. 32–40.
11. Закусило Р.В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.
12. Кравець В.Г. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху : монографія / В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук, В.В. Бойко. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 408 с.
13. 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, O.Tolkach, V.Kotenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 5/3 (83). – Pp. 21–29.
14. Investigation of leznikovskiy granite by ultrasonic methods / I.Korobiichuk, V.Korobiichuk, P.Hájek, P.Kokeš, A.Juś, R.Szewczyk // Archives of Mining Sciences. – 2018. – Vol. 63. – № 1. – Pp. 75–82.
15. Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads / V.Korobiichuk, V.Kravets, R.Sobolevskiy, A.Han, V.Vapnichna // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 2/5 (92). – Pp. 20–25.
16. Ефективність зарядів різних конструкцій при деформуванні та руйнуванні металевих перепон / Ю.І. Войтенко, В.Г. Кравець, А.Шукюров, А.Л. Ган, В.В. Коробійчук // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія Технічні науки. – 2018. – № 1 (81). – С. 223–231.

References:

1. Orlenko, L.P. (ed.) (2002), *Fizika vzryva*, 3rd, pererab., Fizmatlit, M., Vol. 2, 656 p.
2. Vorob'ev, V.V., Pomazan, M.V., Shlyk, S.V. and Vorob'eva, L.D. (2017), «Modelirovanie dinamicheskogo razrusheniya donnoj chasti skvazhiny s uchedom koncentratora naprjazhenij», *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*, No. 3/1 (87), Pp. 53–62.
3. Efremov, Je.I., Konoval, S.V., Ishchenko, K.S., Kratkovskij, I.L. and Konoval, V.N. (2015), «Jenergoemkost' razrusheniya granitov zarjadami VV razlichnoj formy», *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal*, No. 3, Pp. 80–84.

4. Konoval, V.N., Kratkovsky, I.L. and Ishchenko, K.S. (2018), «Resource-saving methods of polymineral rocks explosive destruction», *Topical issues of Resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph*, UNIVERSITAS Publishing, Romania, Petrosani, Pp. 229–249.
5. Vorob'eva, L.D. (2005), «Issledovanie vlijanija kumulativnogo jeffekta na davlenie v vozdušnom promezhtutke pri vzryve rassredotočennogo zarjada», *Visnik NTUU «Kiivs'kij politehničnij institut»*, Serija «Girnictvo»NTUU «KPI», Kiiv, Iss. 12, Pp. 53–58.
6. Odincov, V.A., Sidorenko, Ju.M. and Tuberozov, V.S. (2000), «Modelirovanie processa vzryva oskolochno-fugasnogo snarjada s pomoshh'ju dvumernogo koda», *Issledovanija, konstruirovanie, ispytaniya*, No. 1–2, Pp. 49–55.
7. Gan, A.L. (2011), *Formuvannja kerovanogo ploshhynnogo rozryvu v girs'komu masyvi*, abstract dis. k.t.n., NTUU «KPI», K., 23 p.
8. Korobijchuk, V.V., Sobolevs'kyj, R.V. and Zubchenko, O.A. (2006), «Doslidzhennja shljahiv minimizacii vytrat pry burovybuhovomu sposobi vydobuvannja blokiv dekoratyvnogo kamenja», *Visnyk Zhytomys'kogo derzhavnogo tehnologičnogo universytetu*, Serija Tehnični nauky, Zhytomyr, No. 4 (39), Pp. 301–308.
9. Korobijchuk, V.V., Podchashyns'kyj, Ju.O., Remezova, O.O., Sobolevs'kyj, R.V. and Zubchenko, O.A. (2007), «Doslidzhennja vplyvu burovybuhovyh robit na jakist' blochnoi' produkcii' kar'jeru na osnovi vyznachennja geometrychnyh charakterystyk i' trishhynuvatosti», *Visnyk Zhytomys'kogo derzhavnogo tehnologičnogo universytetu*, Serija Tehnični nauky, Zhytomyr, No. 3 (42), Pp. 143–150.
10. Sobolevskiy, R., Korobiichuk, V., Iskov, S., Pavliuk, I. and Kryvoruchko, A. (2016), «Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6/3 (84), Pp. 32–40.
11. Zakusylo, R.V., Kravec', V.G. and Korobijchuk, V.V. (2011), *Zasoby inicijuvannja promyslovyh zarjadiv vybuhovyh rečovyn*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 212 p.
12. Kravec', V.G., Korobijchuk, V.V. and Bojko, V.V. (2015), *Fizyčni procesy prykladnoi' geodynamiky vybuhu*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 408 p.
13. Sobolevskiy, R., Zuievska, N., Korobiichuk, V., Tolkach, O. and Kotenko, V. (2016), Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material, *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5/3 (83), Pp. 21–29.
14. Korobiichuk, I., Korobiichuk, V., Hájek, P., Kokeš, P., Juš, A. and Szewczyk, R. (2018), «Investigation of leznikovskiy granite by ultrasonic methods», *Archives of Mining Sciences*, Vol. 63, No. 1, Pp. 75–82.
15. Korobiichuk, V., Kravets, V., Sobolevskiy, R., Han, A. Vapnichna, V. (2018), «Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2/5 (92), Pp. 20–25.
16. Vojtenko, Ju.I., Kravec', V.G., Shukjurov, A., Gan, A.L. and Korbijchuk, V.V. (2018), «Efektivnist' zarjadiv riznih konstrukcij pri deformuvanni ta rujnuvanni metalevih perepon», *Visnik Zhitomirs'kogo derzhavnogo tehnologičnogo universytetu*, Serija Tehnični nauki, No. 1 (81), Pp. 223–231.

Кравець Віктор Георгійович – доктор технічних наук, професор кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- відкриті гірничі роботи;
- вибухова справа.

Шукюров Азер – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- відкриті гірничі роботи;
- вибухова справа.

Гонтарь Павло Анаталійович – кандидат технічних наук, інженер кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- відкриті гірничі роботи;
- вибухова справа.

Ган Анатолій Леонідович – кандидат технічних наук, доцент кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- відкриті гірничі роботи;
- вибухова справа.

Коробійчук Валентин Вацлавович – кандидат технічних наук, доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т. Житомирського державного технологічного університету.

- відкриті гірничі роботи;
- обробка природного каменю.

Стаття надійшла до редакції 20.08.2018.