

**А.Л. Ган, к.т.н., доц.
А.М. Шукюров, аспірант
С.А. Турбінський, магістр**

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

Розробка ефективних параметрів системи свердловинних зарядів для руйнування гірського масиву на рівні набивки

Досі мало уваги приділялося горизонтальній вільній поверхні уступу, або шару порід, який розташований в межах набивки. Разом з тим, ця частина блоку, яка також має бути ефективно зруйнована, в переважній більшості масових вибухів має більш значну площу, порівняно з бічною поверхнею, і також піддається руйнівним динамічним навантаженням від попередніх масових вибухів на верхньому уступі.

Використання досить ефективного методу вибуху на непідібрану масу для значної за площею верхньої площини блоку, що підривається, не розглядається, оскільки такий спосіб нездійснений технологічно. Тому управління якістю подрібнення в цій зоні в відомих проектних рішеннях обмежується рекомендаціями з розрахунку потужності породного шару над торцем свердловинного заряду (або довжини набивки) з відомих емпіричних співвідношень. Під час вибуху зосередженого одиночного заряду викиду утворюється конусоподібна воронка, в рамках якої енергія ВР витрачається на подрібнення, подолання гравітаційних сил породи і відрив її по контуру воронки. Оскільки окремо визначити складові енерговитрат на ці процеси досить важко, витрати енергії розраховують щодо одиниці об'єму підірваної породи. В даний час загальноприйнятим є використання в розрахунках зарядів викиду принципу подібності Борескова, згідно з яким співвідношення між масою заряду і обсягом віддаленої за межі воронки породи залежить від так званої функції показника дії вибуху.

У публікації розглянуто механізм руйнування гірського масиву над торцем свердловинного заряду через врахування механізму вираження симетрії поширення поля напружень і деформацій у торцевій частині свердловинного заряду, що полягає у переході вісесиметричного процесу поширення в сферичний, характерний більш значними дисипативними втратами енергії. Встановлено способи попередження нерівномірного руйнування масиву в шарі між суміжними свердловинами на рівні набивки шляхом вибору раціональних параметрів свердловинного заряду та розташування зарядів у системі масового вибуху. Обґрунтовано параметри свердловинного заряду та застосування нової схеми багаторядного короткоспівільненого підривання.

Ключові слова: *торцевий ефект; забивка; негабарит; показник дії вибуху; схема комутації.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями.
Встановлення механізму і закономірностей динаміки руйнування масиву скельної породи в умовах масового вибуху системи свердловинних зарядів на відкритих гірничих роботах зазвичай зводиться до розгляду закономірностей деформаційних процесів, заснованих на руйнуванні і переміщенні породного масиву енергією ВР в горизонтальній площині, тобто по нормалі до осей свердловинних зарядів.

Особливе значення в цих умовах належить зоні поблизу вільної бічної поверхні блоку, яка розглядається як джерело негабаритної фракції, оскільки її будова завжди частково порушена дією попереднього масового вибуху. Саме тому розроблена техніка масового вибуху, основою якої є вибух на неприбрану гірську масу, що створює умови для посилення руйнівного впливу шляхом використання механізму зіткнення. При цьому розрахунок параметрів розосередження зарядів у масиві передбачає проектування конструктивних елементів самих зарядів, системи їх розташування і послідовності підривання в максимально раціональних режимах.

Зауважимо, що значно менше уваги приділяється горизонтальній вільній поверхні уступу, або шару порід, розташованому в межах області набивки. Разом з тим ця частина блоку, яка також має бути ефективно зруйнована, в переважній більшості масових вибухів має більш значну площу, порівняно з бічною поверхнею, і також піддається руйнівним динамічним навантаженням від попередніх масових вибухів на верхньому уступі.

Використання досить ефективного методу вибуху на непідібрану масу для значної за площею верхньої площини блоку, що підривається, не розглядається, оскільки такий спосіб нездійснений технологічно. Тому управління якістю подрібнення в цій зоні в відомих проектних опрацюваннях обмежується рекомендаціями розраховувати потужність породного шару над торцем свердловинного заряду (або довжину набивки) з відомих емпіричних співвідношень.

Зрозуміло, що при цьому приділяється належна увага оптимізації процесів розробки скелього масиву породи для досягнення прогнозованих результатів при мінімальних енергетичних і організаційно-технічних показниках. Одним з найбільш істотних параметрів при проектуванні вибухових робіт є маса заряду. Її визначення при вибухах зарядів, закладених на малій глибині, ґрунтується на основних положеннях теорії воронки.

Під час вибуху зосередженого одиночного заряду викиду утворюється конусоподібна воронка, в рамках якої енергія ВР витрачається на подрібнення, подолання гравітаційних сил породи і відрив її по контуру воронки. Оскільки окремо визначити складові енерговитрат на ці процеси досить важко, витрати енергії розраховують щодо одиниці об'єму підірваної породи. В даний час загальноприйнятим є використання в розрахунках зарядів викиду принципу подібності Борескова, згідно з яким співвідношення між масою заряду і обсягом віддаленої за межі воронки породи залежить від так званої функції показника дії вибуху.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. Найбільш спрощеним підходом до пояснення механічного ефекту в області набивки є дія зосередженого заряду на достатній глибині від поверхні, що забезпечує умови вибуху, при якому утворюється воронка розпушування з необхідним ступенем подрібнення породи. Одночасно умови враховують мінімум розльоту окремих шматків породи з верхнього руйнованого шару. Таким чином, вибір відповідного значення величини набивки, яка визначає подальший хід процесу деформації блоку вибухом заряду, розміщеного досить близько від поверхні, одночасно має враховувати не тільки руйнування (подрібнення) породи, але і викидання певної її частини над зарядом на поверхню уступу. Цей процес розглядається в рамках теорії воронки викидання, розпочатої М.М. Боресковим і вдосконаленої Г.І. Покровським, М.В. Мельниковим, В.М. Родіоновим, С.А. Давидовим та іншими вченими [1–16]. В основу теоретичних положень цих розробок закладено відповідність між обсягом руйнованого вибухом масиву, або утворених нових поверхонь, масі заряду викидання. У переважній більшості випадків базові рішення механіки суцільних середовищ мають бути скориговані для врахування впливу анізотропії.

Постановка завдання полягає у необхідності вивчення ролі торцевої частини свердловинного заряду та розробки ефективного способу якісного руйнування шару порід на рівні набивки під впливом взаємодіючих силових та деформаційних фронтів.

Викладення основного матеріалу. Оцінити дію торцевої частини свердловинного заряду можна знаючи масу заряду, яка відповідає за торцевий ефект вибуху. Фактично торцеву частину лінійного заряду довжиною h_T можна представити у вигляді зосередженого заряду (рис. 1) з радіусом r_0 , який руйнує масив над верхнім кінцем заряду.

На верхньому кінці циліндричного заряду на відстані $h_T/2$ від торця знаходиться центр півсферичної області руйнування радіусом R_{ps} як результат дії торцевого відрізка циліндричного заряду.

Прирівнюючи радіуси сферичної R_{ps} і циліндричної R_{pc} зон деформованої області на рівні цього центра, тобто в точках з'єднання цих зон, можна відповідно прирівняти маси циліндричного заряду довжиною h_T з радіусом r_0 і однакового за масою віртуального сферичного заряду радіусом r_0 .

Вирази для рівноцінних мас цих зарядів можна записати в такому вигляді:

$$Q_T = \rho h_T, \quad (1)$$

- маса сферичного аналога торцевого заряду, що працює на викидання або спущення:

$$Q^p = \frac{q_n^H}{3} W^3 n^2. \quad (2)$$

Тут параметр ρ – лінійна маса подовженого заряду, який залежить від його діаметра і щільності ВР; n – показник дії вибуху; q_n – питома витрата заряду нормального викидання ($n = 1$).

Оскільки маси циліндричного відрізка (торця) і сферичного аналога однакові (рис. 1), прирівняємо праві частини в (1, 2):

$$\rho h_T = q_n^H / 3 W^3 n^2.$$

Ця рівність вирішується відносно лінії найменшого опору W з урахуванням співвідношення, виведеного на основі рисунка 1:

$$h_T = 2(W - I_{заб}). \quad (3)$$

Відповідно:

$$W^3 n^2 \times q_n^H / 3 - 2W + 2 I_{заб} = 0 \quad (4)$$

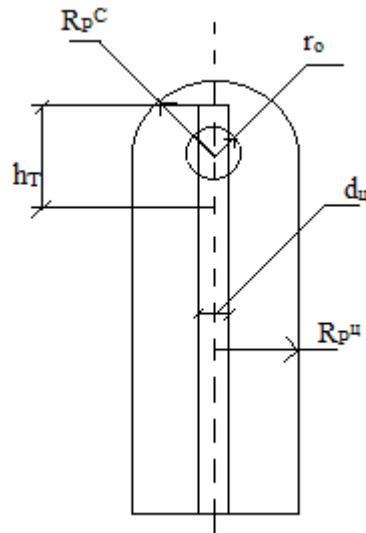


Рис. 1. Схема переходу циліндричної зони руйнування в півсферичну в торці заряду

Вирішуємо цю рівність відносно глибини закладання центра сферичного заряду W з урахуванням параметрів, що беруться або з таблиць (q_n), або приймаються за технологічним завданням (n), або розраховуються ($l_{заб} = 1/3 l_{св}$):

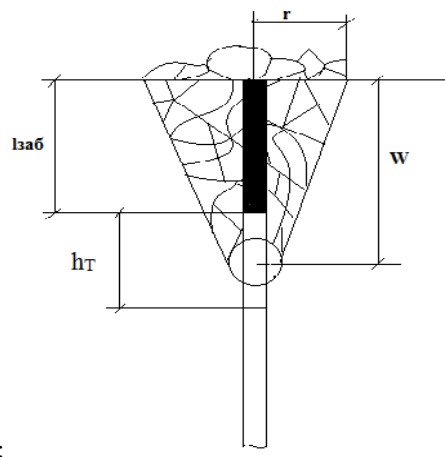


Рис. 2. Дія умовного сферичного заряду нормального спущення

Зокрема, визначивши з (4) шукану ЛНО (W), можна розрахувати довжину і масу торцевої частини свердловинного заряду, від якої залежить якість дроблення шару породи на рівні $l_{заб}$. Запропонований підхід до вивчення механізму деформування шару породного масиву над торцями свердловинних зарядів збагачує методику розрахунку параметрів масового вибуху новим параметром - довжиною і масою торця свердловинного заряду, відповідального за дроблення породи на рівні набивки.

Розглянемо приклад застосування запропонованої методики.

У розрахунках приймемо параметри масового вибуху для умов розробки Човдарського родовища сульфідних і окислених кварцитів: висота уступу складає 10 м, діаметр свердловин $d_{св} = 200$ мм, використовується ВР щільністю 1200 кг/м^3 з місткістю свердловини $p = 37,7 \text{ кг/м}$, питома витрата заряду нормального викидання в кварциті $q_n = 1,0 \text{ кг/м}^3$, показник дії вибуху заряду нормального розпушування $n = 0,6$; величина набивки приймається більше значення коефіцієнта $n = 0,75$. Коефіцієнт зближення зарядів $m = 1$.

Виходячи з прийнятих вихідних параметрів, $W_{під} = 6,7$ м. Величина набивки $l_{заб} = 4,47$ м. Визначимо глибину закладання зосередженого заряду (аналога торцевої частини):

$$1/3 \times W^3 n^2 q_n - 2W + 2 l_{наб} = 0, \text{ або } 0,1188 W^3 - 2W + 8,94 = 0$$

Дійсний корінь цього рівняння $W = 4,65$ м.

Довжина торцевої частини свердловинного заряду, відповідальна за розпушування верхнього шару завтовшки $l_{наб}$:

$$h_T = 2(W - l_{наб}) = 2(4,65 - 4,47) = 9,3 - 8,94 = 0,36 \text{ м.}$$

$$\text{Маса торцевого заряду } Q_T = p h_T = 0,36 \times 37,7 = 13,6 \text{ кг.}$$

Радіус воронки розпушування при $n = 0,6$ становить:

$$r = nW = 0,6 \times 4,65 = 2,8 \text{ м.}$$

При відстані між рядами свердловин $a = 5$ м поверхні суміжних воронок накладаються ($a < 2r$), тобто частина міжсвердловинного шару під поверхнею в межах цих воронок руйнується. Однак необхідно перевірити умови руйнування масиву на рівні торців заряду, тобто в нижній частині шару (рис. 3). Суміжні воронки пересічуться на глибині $l_{\text{наб}}$ за умови:

$$b_p \leq Wn^2/3. \quad (5)$$

У цьому випадку весь шар на рівні набивки буде зруйнований без утворення негабариту.

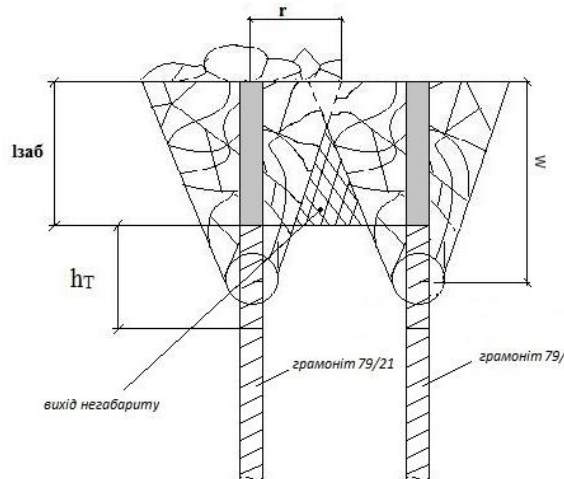


Рис. 3. Взаємодія суміжних зарядів на рівні набивки

Користуючись цією умовою, визначимо необхідну відстань між суміжними зосередженими зарядами нормального розпушування при співвідношенні:

$$b_p \leq Wn^2/3 = 4,65 \times 0,62/3 = 3,3 \text{ м.}$$

Оскільки фактична відстань між суміжними зарядами $a = 5,0$ м, цей параметр в 1,51 раза менше від a , центральна зона шару породи між свердловинами під дією торцевих частин розпушується не повністю, тобто є джерелом виходу негабариту.

Розглянемо можливість конструювання системи свердловинних зарядів для ліквідації незруйнованої зони в шарі набивки.

Один з прийомів можна посилити заряд торцевої частини шляхом застосування в ній більш потужної ВР. При цьому ускладнюється конструкція заряду і параметри набивки, причому необхідно верхній торець заряду поглибити нижче (збільшити величину набивки), оскільки це може привести до збільшення показника дії вибуху з відповідним збільшенням небезпеки розлітання окремих шматків породи.

Можливий варіант зменшення діаметра свердловин разом зі зменшенням відстані між ними. Відповідні розрахунки показують, що при діаметрі свердловини 105 мм з застосуванням емульсійної ВР відстань між зарядами $a = 3,3$ м, лінійна маса заряду становить 10,4 кг/м, $l_{\text{заб}} = 3,17$ м, довжина торцевої частини $h_{\text{г}} = 0,46$ м, її маса $Q_{\text{г}} = 4,78$ кг, необхідна відстань між свердловинами за фактором повного дроблення середньої області між суміжними зарядами $b = 2,414$ м, тобто менша в 1,37 раза від a .

Розглянемо варіант зменшеного діаметра свердловин до 105 мм та більш слабкої ВР в заряді – ANFO. В цьому варіанті проектна відстань між свердловинами $a = 3,0$ м, лінійна маса заряду $p = 7,8$ кг/м, $l_{\text{заб}} = 3,17$ м, довжина верхньої торцевої частини $h_{\text{г}} = 0,76$ м, її маса $Q_{\text{г}} = 5,93$ кг. Виходячи з цих параметрів, необхідна відстань між свердловинами для повного подрібнення надторцевого шару між суміжними зарядами $b = 2,61$ м, що менше прийнятого значення a в 1,15 раза, тобто значення цього параметра максимально наближується до необхідного. Останній варіант як найбільш прийнятний застосовано для конкретних умов Човдарського родовища рудних кварцитів.

В продовження цих досліджень зазначимо, що поряд з ефектом взаємодії торцевих зарядів нормального розпушування варто враховувати механізм взаємодії детонаційних і хвильових процесів у міжсвердловинному просторі, що впливає на кінцевий ефект вибуху.

Попередні полігонні спостереження свідчать, що на управління деформаційними явищами як в міжсвердловинному цілику, так і в надторцевому шарі впливають не тільки безпосередньо торцеві частини зарядів. Певним чином на ці процеси можуть впливати такі фактори, як інтенсивність і напрямок вектора переміщення енергетичного поля навколо подовженого заряду і відповідні масові переміщення, а також взаємодія зустрічно спрямованих енергетичних потоків від суміжних свердловинних зарядів розпушування. На рисунку 4 умовно зображено схему взаємодії зустрічних силових фронтів від суміжних зарядів (за умови їх одночасного підірвання).

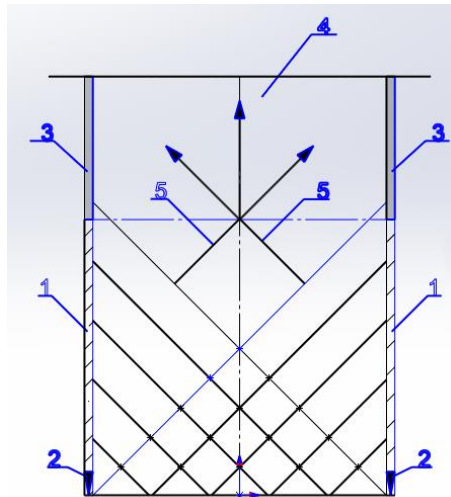


Рис. 4. Послідовність випромінювання фронтів хвиль напружень у міжсвердловинному породному масиві при $D = C_p$: 1 – свердловинний заряд, 2 – проміжний бойовик, 3 – набійка, 4 – нейтральний надторцевий шар породи, 5 – вектори переміщення взаємодіючих фронтів;

Таким чином, зміна основних параметрів розташування системи свердловинних зарядів (діаметра свердловин d_0 , відстані між свердловинами a та типу ВР в заряді) без збільшення потужності заряду торця практично забезпечує обробку міжсвердловинного цілика над торцями зарядів. З розрахунків випливає, що зменшення діаметра заряду і застосування низькодетонаційної ВР максимально зближує порівнювані параметри b і a .

Однак виконані вище розрахунки базуються на припущенні, що суміжні воронки формуються одночасно, тобто одночасно підриваються суміжні ряди свердловинних зарядів. У сучасній практиці ведення БВР із застосуванням технології КЗВ динамічні процеси між двома суміжними свердловинними зарядами відбуваються послідовно з мілісекундним сповільненням. Щоб створити відповідні умови для гарантованого руйнування шару порід на рівні набивки, варто застосувати комбіновану схему комутації мережі зарядів, яка полягає в групуванні кількох рядів (двох–трьох) для одночасного підривання та коротких сповільнень між такими групами.

Одночасне нижнє ініціювання об'єднаних в групу кількох суміжних рядів зарядів породжує зустрічні похилі хвильові і деформаційні фронти, звернені результуючим вектором у бік верхньої горизонтальної поверхні уступу. Ці фронти взаємодіють у вигляді стикання мас у режимі вертикального клинового врубу. Механізм дії такого врубу подібний до дії звичайної врубової схеми комутації вибухових мереж, лише масовий рух спрямовано не вбік, а вгору до поверхні уступу. Пропонована схема успішно апробована в промисловому масштабі та рекомендована для умов, коли або відсутні обмеження за сейсмікою, або за умови застосування спеціального контурного підривання [3].

Висновки. Встановлення закономірностей прояву крайових ефектів вибуху свердловинного заряду сприяє розробці способів управління силовими і деформаційними процесами на рівні набивки та забезпечує підвищення якості подрібнення гірської маси за рахунок добору параметрів зарядів та умов їх ініціювання.

Встановлено, що за умови одночасного нижнього ініціювання об'єднаних в групу кількох суміжних рядів зарядів породжуються зустрічні похилі хвильові і деформаційні фронти, звернені результуючим вектором у бік верхньої вільної поверхні і взаємодіючі в режимі зустрічного стикання.

Рекомендації з управління торцевим ефектом вибуху подовженого заряду в поєднанні із застосуванням схеми вертикального стикання дозволяють вирішити проблему ефективного і безпечного розпушування приповерхневого шару породи на рівні набивки практично з нульовим виходом негабариту.

Список використаної літератури:

1. Авдеев В.А. Производство массовых взрывов / В.А. Авдеев, В.Л. Барон, И.Л. Блейман. – М. : Недра, 1977. – 312 с.
2. Кравець В.Г. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху / В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук, В.В. Бойко. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 408 с.
3. Explosive wave propagation in the presence of protective antiseismic curtain / V.Kravets, N.Remez, A.Kovtun, A.Shukurov // Published online WEB Conf. Ukrainian School of Mining Engineersng. – 2018. – № 60. – 8 p.
4. Виймально-навантажувальні роботи на кар'єрах : навч. посібник / В.В. Коробійчук, В.Г. Кравець, С.С. Іськов та ін. – Житомир : ЖДТУ, 2017. – 440 с.

5. The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods / *I.Korobiichuk, V.Korobiychuk, M.Nowicki* and other // *Construction & Building Materials*. – 2016. – Vol. 114. – P. 241–247.
6. *Korobiichuk V.* Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures / *V.Korobiichuk* // *International Conference on Systems, Control and Information Technologies*. – America : Springer International Publishing, 2016. – P. 653–658.
7. 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. – Issue 5/3 (83). – P. 21–29.
8. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control / *R.Sobolevskiy, V.Korobiichuk, S.Iskov* and other // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 6/3 (84). – P. 32–40.
9. *Коробійчук В.В.* Дослідження шляхів мінімізації витрат при буровибуховому способі видобування блоків декоративного каменя / *В.В. Коробійчук, Р.В. Соболевський, О.А. Зубченко* // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. – 2006. – № 4 (39). – С. 301–308.
10. *Закусило Р.В.* Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія / *Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук*. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.
11. *Кравець В.Г.* Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху : монографія / *В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук, В.В. Бойко*. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 408 с.
12. 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. – Vol. 5/3 (83). – P. 21–29.
13. Investigation of leznikovskiy granite by ultrasonic methods / *I.Korobiichuk, V.Korobiichuk, P.Hájek, P.Kokeš* and other // *Archives of Mining Sciences*. – 2018. – T. 63. – № 1. – P. 75–82.
14. Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads / *V.Korobiichuk, V.Kravets, R.Sobolevskiy* and other // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – № 2/5 (92). – P. 20–25 [Electronic resource]. – Access mode : <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127847>.
15. Ефективність зарядів різних конструкцій при деформуванні та руйнуванні металевих перепон / *Ю.І. Войтенко, В.Г. Кравець, А.Шукюров* та ін. // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. – 2018. – № 1 (81). – С. 223–231.
16. Крайові ефекти вибуху зарядів складної форми / *В.Г. Кравець, А. Шукюров, П.А. Гонтар* та ін. // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. – 2018. – № 2 (82). – С. 247–252.

References:

1. Avdeev, V.A., Baron, V.L. and Blejman, I.L. (1977), *Proizvodstvo massovyh vzryvov*, Nedra, M., 312 p.
2. Kravec', V.G., Korobijchuk, V.V. and Bojko, V.V. (2015), *Fizichni procesi prikladnoї geodinamiki vibuhu*, ZhDTU, Zhitomir, 408 p.
3. Kravets, V., Remez, N., Kovtun, A. and Shukurov, A. (2018), «Explosive wave propagation in the presence of protective antiseismic curtain», *Published online WEB Conf. Ukrainian School of Mining Engineersng*, No. 60, 8 p.
4. Korobijchuk, V.V., Kravec', V.G., Is'kov, S.S. and other (2017), *Vijmal'no-navantazhuval'ni roboti na kar'erah, navch. Posibnik*, ZhDTU, Zhitomir, 440 p.
5. Korobiichuk, I., Korobiychuk, V., Nowicki, M. and other (2016), «The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods», *Construction & Building Materials*. Vol. 114. pp. 241–247.
6. 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, America, pp. 653–658.
7. Sobolevskiy, R., Zuievskaya, N., Korobiichuk, V. and other (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*, Issue 5/3 (83), pp. 21–29.
8. Sobolevskiy, R., Korobiichuk, V., Iskov, S. and other (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.
9. Korobijchuk, V.V. Sobolevs'kij, R.V. and Zubchenko, O.A. (2006), «Doslidzhennja shljahiv minimizacii vitrat pri burovibuhovomu sposobi vidobuvannja blokiv dekorativnogo kamenja», *Visnik ZhDTU. Tehnichni nauki*, No. 4 (39), pp. 301–308.
10. Zakusilo, R.V., Kravec', V.G. and Korobijchuk, V.V. (2011), *Zasobi inicijuvannja promislovih zarjadiv vibuhovih rehovin*, monografija, ZhDTU, Zhitomir, 212 p.
11. Kravec', V.G., Korobijchuk, V.V. and Bojko, V.V. (2015), *Fizichni procesi prikladnoї geodinamiki vibuhu*, monografija, ZhDTU, Zhitomir, 408 p.
12. Sobolevskiy, R., Zuievskaya, N., Korobiichuk, V. and other (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*, Vol. 5/3 (83), pp. 21–29.
13. Korobiichuk, I., Korobiichuk, V., Hájek, P., Kokeš, P. and other (2018), «Investigation of leznikovskiy granite by ultrasonic methods», *Archives of Mining Sciences*, Vol. 63, No. 1, pp. 75–82.

14. Korobiichuk, V., Kravets, V., Sobolevskiy, R. and other (2018), «Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 2/5 (92), pp. 20–25, [Online], available at: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127847>
15. Vojtenko, Ju.I., Kravec', V.G., Shukjurov, A. and other (2018), «Efektivnist' zarjadiv ruznih konstrukcij pri deformuvanni ta rujnuvanni metalevih perepon», *Visnik ZhDTU. Tehnichni nauki*, No. 1 (81), pp. 223–231.
16. Kravec', V.G., Shukjurov, A., Gontar, P.A. and other (2018), «Krajovi efekti vibuhu zarjadiv skladnoi formi», *Visnik ZhDTU. Tehnichni nauki*, No. 2 (82), pp. 247–252.

Ган Анатолій Леонідович – доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- вибухові роботи:
- відкрита розробка родовищ корисних копалин.

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

Наукові інтереси:

- вибухові роботи:
- відкрита розробка родовищ корисних копалин.

Турбінський Степан Анатолійович – магістр Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- вибухові роботи:
- відкриті гірничі роботи.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2019.