

О.О. Фролов, д.т.н., проф.  
А.В. Куляпіна, студ.

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

## Встановлення ефективних режимів сповільненого підривання при руйнуванні скельних порід на кар'єрах

*На сьогоднішній день існуючі засоби теоретичного моделювання дії масового вибуху не повній мірі враховують послідовність та інтенсивність руйнування гірського масиву, що спричиняє значні втрати енергії вибуху. Тому керування послідовністю та режимами мікро- і мілісекундних сповільнень при підриванні систем свердловинних зарядів вибухових речовин (ВР) на кар'єрах дозволить досягти більш кращих показників масового вибуху.*

*В статті розглянута взаємодія хвиль напружень, що утворюються при підриванні окремих зарядів, як спосіб керування дією вибуху в гірському масиві.*

*Встановлено, що максимальне значення об'єму руйнувань гірських порід при наявності однієї площини оголення залежить від сповільнення між вибухами суміжних свердловинних зарядів ВР в групі, який в свою чергу визначається відношенням відстані між зарядами до швидкості поширення хвиль напружень в гірському масиві. Запропоновано формулу для визначення раціонального інтервалу сповільнення між вибухами груп зарядів, яка враховує як фізико-механічні властивості масиву, так і основні технологічні параметри підривання. На підставі результатів досліджень схеми підривання запропоновано формувати з урахуванням інтервалів сповільнень між групами свердловинних зарядів та для суміжних зарядів, розміщених в одній групі.*

**Ключові слова:** вибух; свердловинний заряд; вибухова речовина; короткосповільнене підривання; хвиля напружень; гірський масив.

**Постановка проблеми.** Проведення вибухових робіт на кар'єрах характеризується значними втратами енергії вибуху, які суттєво перевищують частку його можливої корисної дії. Однією з причин цих втрат є те, що існуючі засоби теоретичного моделювання дії масового вибуху не повністю враховують послідовність та інтенсивність руйнування гірського масиву [1]. Тому управління послідовністю та режимами мікро- і мілісекундних сповільнень при підриванні систем свердловинних зарядів вибухових речовин (ВР) в групах та між групами для досягнення ефективності масового вибуху є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Короткосповільнене підривання (КСП) при вибуховому руйнуванні гірських порід є одним з найбільш ефективних способів підготовки гірничої маси до виймання, оскільки, в порівнянні з одночасним підриванням, забезпечує можливість збільшення масштабів проведення масових вибухів. При цьому підвищується якість руйнування в результаті взаємодії енергетичних потоків при вибухах суміжних свердловинних зарядів або груп зарядів. Однак, виконаний аналіз досліджень процесу вибухового руйнування масивів гірських порід при КСП свердловинних зарядів ВР показав, що інтервали сповільнень, які рекомендують дослідники до використання на кар'єрах, мають дуже значне розкидання значень – від декількох до десятків мілісекунд [2–26].

У зв'язку з цим запропоновано, на основі детального вивчення механізму взаємодії хвиль напружень, що утворюються від вибухів окремих зарядів, з урахуванням фізико-механічних властивостей гірського масиву та всіх технологічних факторів буропідривних робіт (БПР), дослідити найбільш ефективні режими КСП.

**Мета дослідження.** Вивчення ефективних режимів короткосповільненого підривання систем свердловинних зарядів ВР при руйнуванні скельних гірських масивів.

**Викладення основного матеріалу.** При дослідженні взаємодії енергетичних потоків при підриванні системи циліндричних зарядів пропонується визначати напружений стан гірського масиву на підставі принципу суперпозиції хвиль напружень з урахуванням рішення задачі про руйнування порід вибухом одиночного циліндричного заряду ВР [8].

На рисунку 1, а наведено розподіл напружень на стискання при одночасному підриванні двох суміжних свердловинних зарядів. В початковий період часу розвитку вибуху область однакових значень напружень концентрується навколо кожного з зарядів. В подальшому поля напружень починають взаємодіяти між собою, з'являється сумісна область рівних напружень, яка спочатку має увігнуту форму,

а потім вирівнюється до форми овалу. Напруження з кожного вибухів концентруються по лінії, перпендикулярній до лінії розташування зарядів, створюючи тим самим найбільш сприятливі умови для руйнування масиву в цьому напрямку.

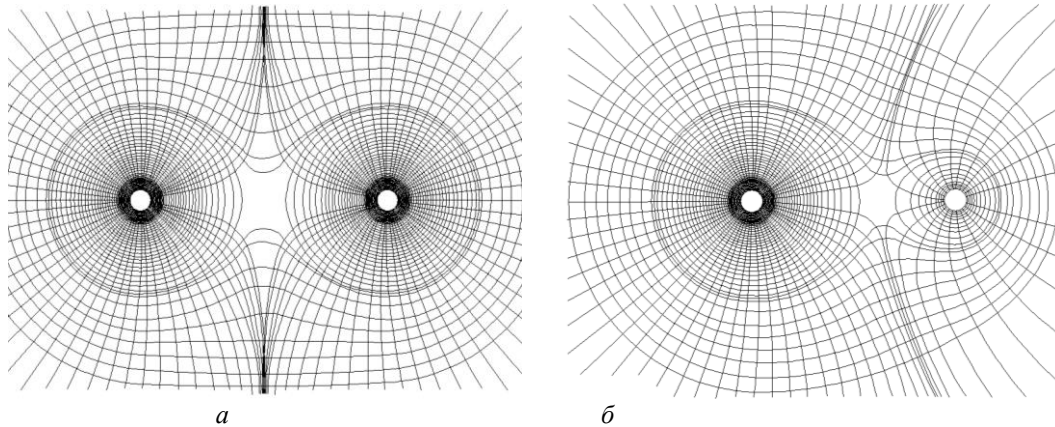


Рис. 1. Схема розподілу напружень на стискання: а – при одночасному підірванні двох суміжних свердловинних зарядів; б – при підірванні двох суміжних свердловинних зарядів при сповільненні 0,4 мс

При КСП суміжних свердловинних зарядів ВР також відбувається взаємодія хвиль напружень під час вибуху кожного з зарядів та їх поширення по гірському масиву. В результаті цієї взаємодії формується певна діаграма направленості енергетичного потоку, яка характеризується спрямованою концентрацією напружень. На рис. 1,б представлено розподіл напружень на стискання при підірванні двох суміжних зарядів зі сповільненням [9].

В [10] проведені дослідження з визначення оптимального часу сповільнення між зарядами ВР для певних умов підірвання при якому об'єм руйнувань гірського масиву буде максимальним. Розрахунки виконано для інтервалів сповільнення – 0,01 мс при відстанях між свердловинами 4,5; 5,0 та 5,5 м.

За результатами розрахунків отримані графічні залежності між часом сповільнення вибухів свердловинних зарядів ВР та об'ємом руйнувань масиву гірських порід (магнетитового кварциту) (рис. 2).

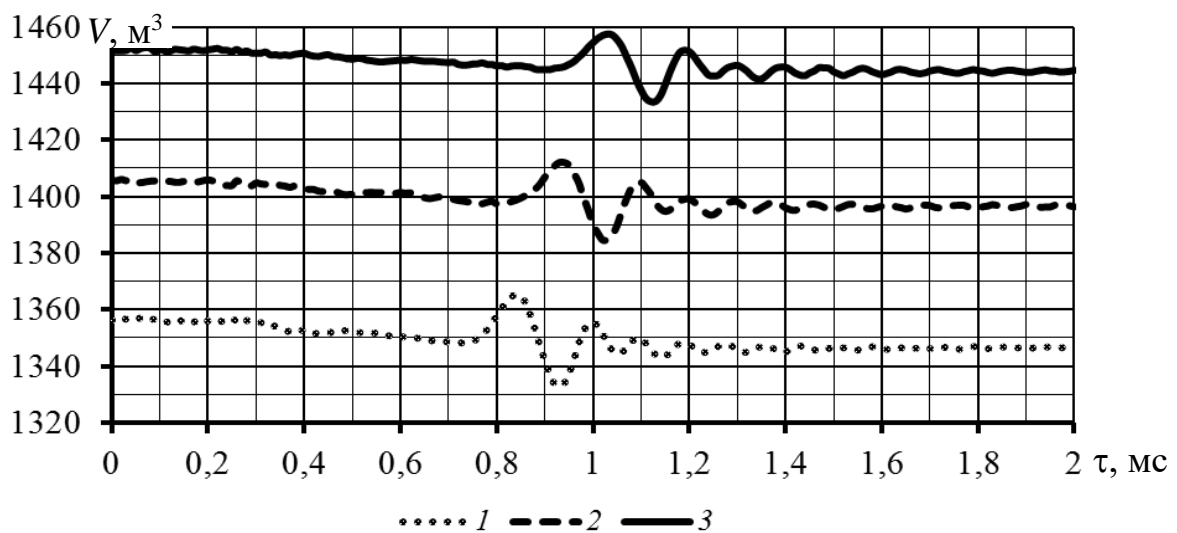


Рис. 2. Зміна об'єму руйнувань масиву в залежності від часу сповільнення між підірваннями при відстані між свердловинами: 1 – 4,5 м; 2 – 5,0 м; 3 – 5,5 м.

Аналіз вихідних та отриманих розрахункових даних, зокрема, фізико-механічних властивостей магнетитового кварциту, показав, що інтервал сповільнення між вибухами зарядів ВР, при якому отримане максимальне значення руйнування, можна визначити за формулою:

$$\tau = \frac{a}{c_l}, \quad (1)$$

де  $a$  – відстань між свердловинними зарядами ВР, м;  $c_l$  – швидкість поширення поздовжніх хвиль у гірському масиві, м/с.

Відповідно до прийнятих значень відстаней між зарядами ВР 4,5 м, 5,0 м та 5,5 м і значення швидкості поширення поздовжніх хвиль напружень у магнетитовому кварциті ( $c_1 = 5300$  м/с) з (1) отримані наступні інтервали сповільнень, що визначають найбільше значення об'єму руйнувань: для  $a = 4,5$  м –  $\tau = 0,849$  мс;  $a = 5,0$  м –  $\tau = 0,943$  мс;  $a = 5,5$  м –  $\tau = 1,038$  мс [8].

Однак, слід зважати на те, що на кар'єрах зазвичай здійснюють підривання значної кількості свердловинних зарядів, які формують у певні групи за фактором безпечної сейсмічної дії. Ці групи підривають зі сповільненням між собою. Переважна більшість вчених вважають, що при виборі оптимального інтервалу сповільнень між вибухами груп зарядів необхідно керуватися значеннями лінії найменшого опору та пружними властивостями порід (а саме акустичною жорсткістю), які визначають час, необхідний для розширення тріщини [3]. З урахуванням цього та на підставі аналітичних досліджень отримана формула, за якою рекомендовано визначати оптимальний інтервал сповільнення між підриванням груп свердловинних зарядів і яка пов'язує основні показники БПР та властивості гірських порід [1]:

$$\tau_{\text{опт}} = k_c \frac{8\pi \cdot d_c^2 \cdot l_z \cdot \Delta}{H \cdot q \cdot a \cdot \sqrt{c \cdot \rho}}, \quad (2)$$

де  $k_c$  – коефіцієнт, який залежить від схеми підривання;  $c$  – швидкість поширення поздовжніх хвиль напружень в гірському масиві, км/с;  $\rho$  – щільність гірської породи, т/м<sup>3</sup>;  $l_z$  – довжина заряду ВР в свердловині, м;  $H$  – висота уступу, м;  $d_c$  – діаметр свердловини, м;  $\Delta$  – щільність заряджання, кг/м<sup>3</sup>;  $q$  – питома витрата ВР, кг/м<sup>3</sup>;  $a$  – відстань між свердловинами в ряду, м.

Для перевірки отриманих результатів досліджень проведено експериментальне підривання свердловинних зарядів з типовими мілісекундними інтервалами сповільнень, які застосовуються при сповільненнях між групами. В першій групі заряди ВР підриваються одночасно відносно один одного. Схема з'єднання вибухової мережі зарядів ВР представлена на рис. 3. Свердловина № 11 є еталонною і підривається окремо.

Результати вибуху представлено в таблиці 1.

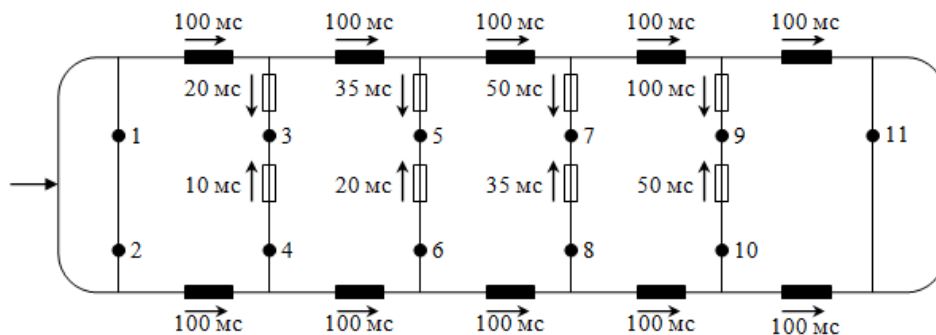


Рис. 3. Схема з'єднання вибухової мережі при короткочасному сповільненому підриванні на експериментальному блоці

Таблиця 1

Параметри руйнування при мілісекундному сповільненому підриванні

Номер свердловини	Діаметр воронки на поверхні, м	Глибина воронки, м	Загальний об'єм воронок руйнування, м <sup>3</sup>	Діаметр середнього шматка породи, мм	Час сповільнення між вибухами, мс
1	6,1	1,6	30,69	106	0
2	6,2	1,5			
3	6,0	1,5	27,81	113	10
4	6,0	1,45			
5	5,9	1,5	27,80	124	20
6	6,0	1,5			
7	6,0	1,45	27,81	139	35
8	6,0	1,5			
9	6,1	1,4	27,78	143	50
10	6,0	1,50			
11	6,8	1,8	20,58	143	

Аналіз даних таблиці 1 показує, що об'єм воронки руйнування при одночасному підірванні більший (в середньому на 9,5 %), ніж воронки при сповільненому підірванні з будь-якими інтервалами сповільнення. Об'єми воронки руйнування при КСП приблизно однакові, тобто можна стверджувати, що інтервал сповільнення між вибухами в межах від 10 до 50 мс і, вочевидь, більший не впливає на об'єм руйнувань при наявності однієї вільної поверхні.

Також проведено експериментальні дослідження по встановленню ефективності мікросекундного підірвання, яке реалізовано за рахунок різної довжини ДШ. Досліджувалися інтервали сповільнення від 800 до 1400 мкс з кроком сповільнення 150 мкс. Параметри БПР на експериментальних блоках були такі самі, як і в попередньому випадку. Відстань між рядами свердловин становить 5 м, між свердловинами в ряду – 8 м. Схема розміщення свердловин представлена на рисунку 4. Результати підірвання представлені в таблиці 2.

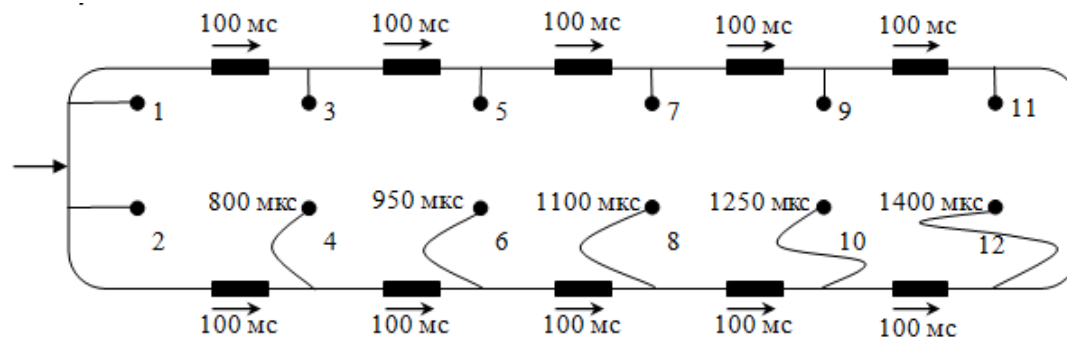


Рис. 4. Схема з'єднання вибухової мережі при мікросекундному сповільненому підірванні на експериментальному блоці

Таблиця 2

Параметри руйнування при мікросекундному сповільненому підірванні

Номер свердловини	Діаметр воронки на поверхні, м	Глибина воронки, м	Загальний об'єм воронки руйнування, м <sup>3</sup>	Діаметр середнього шматка породи, мм	Час сповільнення між вибухами, мс
1	6,1	1,55	31,17	107	0
2	6,1	1,65			
3	6,0	1,55	28,28	110	800
4	5,9	1,50			
5	6,2	1,65	33,75	109	950
6	6,3	1,65			
7	6,15	1,5	29,95	112	1100
8	6,1	1,55			
9	6,1	1,40	27,78	112	1250
10	6,0	1,50			
11	6,0	1,45	27,57	113	1400
12	5,95	1,5			

Отримані дані підтверджують результати теоретичних досліджень, згідно яких найбільш ефективна взаємодія хвиль напружень досягається при інтервалах сповільнень, що визначаються за формулою (1), і для існуючих параметрів БПР на кар'єрах вони становлять 800-1400 мкс. В цьому разі перспективним виглядає електронне підірвання, при якому кожен свердловинний заряд має необхідний час підірвання (рис. 5). При підірванні свердловинних зарядів можна досягти максимального значення ступеня взаємодії енергетичних потоків вибухів, що дозволить збільшити об'єм руйнування масиву при постійних витратах ВР.

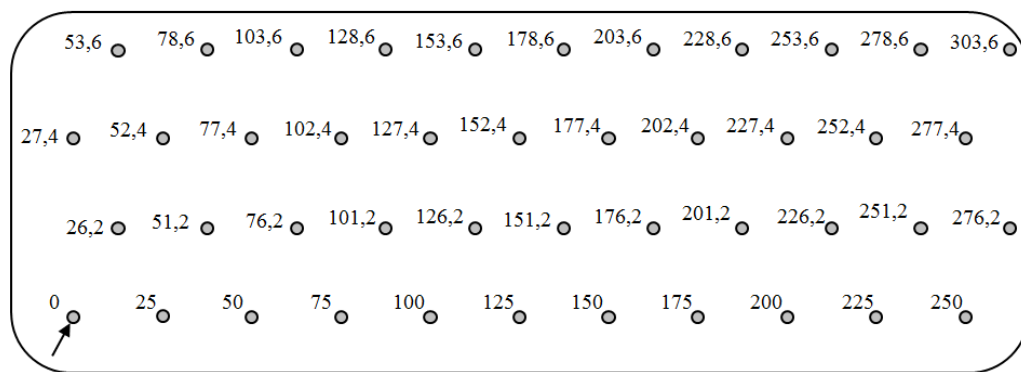


Рис. 5. Схема вибухової мережі з використанням електронної системи ініціювання свердловинних зарядів

**Висновки.** За результатами досліджень процесу вибухового руйнування скельних масивів гірських порід при КСП встановлено, що максимальне значення об'єму руйнувань гірських порід при наявності однієї площини оголення залежить від співвідношення між вибухами суміжних свердловинних зарядів ВР в групі, який в свою чергу визначається відношенням відстані між зарядами до швидкості поширення хвиль напружень в гірському масиві.

Запропоновано формулу для визначення раціонального інтервалу сповільнення між вибухами груп свердловинних зарядів ВР при КСП, яка враховує як фізико-механічні властивості масиву, так і основні технологічні параметри БПР при різних схемах підривання.

На основі проведених досліджень запропоновано схеми КСП формувати з урахуванням інтервалів сповільнення як між підриванням груп свердловинних зарядів ВР, так і для окремих суміжних зарядів, розміщених в одній групі. Це дозволяє розширити параметри розташування свердловин на 20-25 % зі збереженням якості подрібнення гірничої маси.

#### Список використаної літератури:

1. Фролов О.О. Керування енергетичними потоками при вибуховому руйнуванні різноміцнісних масивів гірських порід на кар'єрах : дис. ... докт. техн. наук : спец. 05.15.03 / О.О. Фролов. – К., 2014. – 369 с.
2. Шапурін О.В. Досвід короткосповільненого підривання частин свердловинних зарядів в умовах кар'єрів ПАТ «ППВНГЗК» / О.В. Шапурін, В.В. Гура // Гірничий вісник : наук.-техн. зб. – Кривий Ріг : ДВНЗ «КНУ», 2016. – Вип. 101. – С. 3–7.
3. Латишов А.А. Повышение эффективности метода многорядного короткозамедленного взрывания горных пород на карьерах : дис. ... канд. техн. наук : спец. 25.00.22 / А.А. Латишов. – Екатеринбург, 2011. – 132 с.
4. Петров Н.Г. Короткозамедленное взрывание в шахтах / Н.Г. Петров, Н.Л. Росинский. – М. : Недра, 1985. – 270 с.
5. Комплексное исследование действия взрыва в горных породах / Э.О. Миндели, Н.Ф. Кусов, А.А. Корнеев, Г.И. Марцинкевич. – М. : Недра, 1978. – 253 с.
6. Порцевский А.К. Выбор рациональной технологии добычи руд. Геомеханическая оценка состояния недр. Использование подземного пространства. Геоэкология / А.К. Порцевский. – М. : Из-во МГТУ, 2003. – 767 с.
7. Клишин И.В. Схемы взрывания и интервалы замедления при короткозамедленном взрывании зарядов взрывчатых веществ на каменном карьере / И.В. Клишин // ГИАБ – 2012. – № 10. – С. 271–275.
8. Фролов О.О. Теоретичні передумови розрахунку об'єму руйнування гірських порід під час вибуху систем подовжених зарядів / О.О. Фролов // Вісник НТУУ «КПІ» : зб. наук. праць. Серія : Гірництво. – К. : НТУУ «КПІ» : ЗАТ «Техновибух». – 2008. – Вип. 16. – С. 13–16.
9. Встановлення закономірностей руйнування гірських порід вибухом свердловинних зарядів зі сповільненням / О.О. Фролов, В.З. Вацук, В.Т. Моденко, А.В. Куляпіна // Вісник НТУУ «КПІ» : зб. наук. праць. Серія : Гірництво. – 2017. – Вип. 32. – С. 44–51.
10. Фролов О.О. Встановлення закономірності між параметрами розташування свердловинних зарядів вибухових речовин та оптимальним часом сповільнення при їхньому підриванні / О.О. Фролов // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. праць. – 2011. – Вип. 28. – С. 35–39.
11. 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.
12. Дослідження впливу буровибухових робіт на якість блочної продукції кар'єру на основі визначення геометричних характеристик її тріщинуватості / В.В. Коробійчук, Ю.О. Подчаїнський, О.О. Ремезова, Р.В. Соболевський, О.А. Зубченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир. – 2007. – № 3 (42). – С. 143–150.
13. Визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменя / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, Р.В. Соболевський, О.В. Камських, І.В. Павлюк // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир, 2016. – № 3 (78). – С. 150–163.

14. Криворучко А.О. Розробка узагальненої методики геометризації масивів природного каменю з метою отримання комплексної моделі родовища / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, С.С. Іськов // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2012. – № 4 (63). – С. 190–202.
15. Коробійчук В.В. Дослідження впливу характеристик гідроударних установок на їх продуктивність / В.В. Коробійчук, О.В. Мозговенко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир, 2009. – № 1 (48). – С. 201–205.
16. Коробійчук В.В. Геометризація супутньої корисної копалини в умовах Лезниківського родовища гранітів та гірничо-геометричний аналіз його показників / В.В. Коробійчук, О.О. Кісель, В.А. Стріха // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія : Технічні науки. – 2012. – № 2 (58). – С. 175–184.
17. Застосування інформаційно-коп'ютерних технологій для дослідження гірничо-екологічних особливостей родовищ рудних і нерудних корисних копалин / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, Ю.О. Подчаїнський, О.О. Ремезова // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2007. – № 1 (40). – С. 186–195.
18. 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.
19. Закусило Р.В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.
20. Кравець В.Г. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху : монографія / В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук, В.В. Бойко. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 408 с.
21. 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.
22. Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing / V.Korobiichuk, V.Shamrai, O.Izumova, O.Tolkach, R.Sobolevskiy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 4 / 5 (82). – Pp. 52–57.
23. The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods / I.Korobiichuk, V.Korobiichuk, M.Nowicki, V.Shamrai, G.Skyba, R.Szewczyk // Construction and Building Materials. – 2016, 1 July. – Vol. 114. – Pp. 241–247.
24. A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators / R.Sobolevskiy, O.Vaschuk, O.Tolkach, V.Korobiichuk, V.Levytskyi // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2017. – № 3 (87). – С. 54–67.
25. Korobiichuk V. Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures / V.Korobiichuk // International Conference on Systems, Control and Information Technologies 2016. – Springer International Publishing, 2016. – С. 653–658.
26. Павлуценко М.В. Аналіз техніко-економічних показників пересувних дробильно-сортувальних установок на щеленевих кар'єрах / М.В. Павлуценко, В.В. Коробійчук // Тези ІV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів». – 2017. – С. 48–49.

#### References:

1. Frolov, O.O. (2014), *Keruvannja energetychnymy potokamy pry vybuhovomu rujnuvanni riznomicnisnyh masyviv girs'kyh porid na kar'jerah*, dyss. dokt. tehn. nauk, spec. 05.15.03, Kyi'v, 369 p.
2. Shapurin, O.V. and Gura, V.V. (2016), «Dosvid korotkozpovil'nenogo pidryvannja chastyn sverdlovnyh zarjadiv v umovah kar'jeriv PAT «PIVNGZK», *Girnychij visnyk*, nauk.-tehn. zb., Vol. 101, DVNZ «KNU», Kryvyj Rig, pp. 3–7.
3. Lapshov, A.A. (2011), *Povyshenie jeffektivnosti metoda mnogorjadnogo korotkozamedlennogo vzryvanija gomnyh porod na kar'erah*, diss. kand. tehn. nauk, spec. 25.00.22, Ekaterinburg, 132 p.
4. Petrov, N.G. and Rosinskij, N.L. (1985), *Korotkozamedlennoe vzryvanie v shahtah*, Nedra, Moskva, 270 p.
5. Mindeli, Je.O., Kusov, N.F., Korneev, A.A. and Marcinkevich, G.I. (1978), *Kompleksnoe issledovanie dejstvija vzryva v gomnyh porodah*, Nedra, Moskva, 253 p.
6. Porcevsckij, A.K. (2003), *Vybor racional'noj tehnologii dobychi rud. Geomehanicheskaja ocenka sostojanija nedr. Ispol'zovanie podzemnogo prostranstva. Geojekologija*, Iz-vo MGGU, Moskva, 767 p.
7. Klislin, I.V. (2012), «Shemy vzryvanija i intervaly zamedlenija pri korotkozamedlennom vzryvanii zarjadov vzrychatyh veshhestv na kamennom kar'ere», *GIAB – 2012*, № 10, pp. 271–275.
8. Frolov, O.O. (2008), «Teoretichni peredumovi rozrahunku ob'emuj rujnuvannja girs'kih porid pid chas vibuhu sistem podovzhenih zarjadiv», *Visnik NTUU «KPI»*, zb. nauk. prac', Serija *Girnictvo*, Vol. 16, NTUU «KPI», ZAT «Tehnoviduh», Kyi'v, pp. 13–16.
9. Frolov, O.O., Vashhuk, V.Z., Modenko, V.T. and Kuljapina, A.V. (2017), «Vstanovlennja zakonimirnostej rujnuvannja girs'kih porid vibuhom sverdlovnyh zarjadiv zi spovil'nenjam», *Visnik NTUU «KPI»*, zb. nauk. prac', Serija *Girnictvo*, Vol. 32, pp. 44–51.
10. Frolov, O.O. (2011), «Vstanovlennja zakonimirnosti mizh parametrami roztashuvannja sverdlovnyh zarjadiv vibuhovyh rehovin ta optimal'nim chasom spovil'nenja pri ih'nomu pidrivanni», *Visnik Krivoriz'kogo tehničnogo universitetu*, zb. nauk. prac', Vol. 28, pp. 35–39.

11. Korobijchuk, V.V., Sobolevs'kyj, R.V. and Zubchenko, O.A. (2006), «Doslidzhennja shljahiv minimizacii' vytrat pry burovybuhovomu sposobi vydobuvannja blokiv dekoratyvnogo kamenja», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 4 (39), Zhytomyr, pp. 301–308.
12. Korobijchuk, V.V., Podchashyns'kyj, Ju.O., Remezova, O.O., Sobolevs'kyj, R.V. and Zubchenko, O.A. (2007), «Doslidzhennja vplyvu burovybuhovyh robot na jakist' blochnoi' produkcii' kar'jeru na osnovi vyznachennja geometrychnyh charakterystyk i'i' trishhynuvatosti», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 3 (42), Zhytomyr, pp. 143–150.
13. Kryvoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V., Sobolevs'kyj, R.V., Kams'kyh, O.V. and Pavljuk, I.V. (2016), «Vyznachennja optimal'nogo naprjamku vedennja girnychyh robot pry vydobuvanni blokiv z pryrodnoho kamenju», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 3 (78), Zhytomyr, pp. 150–163.
14. Kryvoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V. and Is'kov, S.S. (2012), «Rozrobka uzagal'nenoi' metodyky geometryzacii' masyviv pryrodnoho kamenju z metoju otrymannja kompleksnoi' modeli rodovyshha», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 4 (63), pp. 190–202.
15. Korobijchuk, V.V. and Mozgovenko, O.V. (2009), «Doslidzhennja vplyvu charakterystyk gidroudarnyh ustanovok na i'h produktyvnist'», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (48), Zhytomyr, pp. 201–205.
16. Korobijchuk, V.V., Kislj, O.O. and Striha, V.A. (2012), «Geometryzacija suputn'oi' korysnoi' kopalyny v umovah Leznykivs'kogo rodovyshha granitiv ta girnycho-geometrychnyj analiz jogo pokaznykiv», *Visnyk Nacional'nogo universytetu vodnogo gospodarstva ta pryrodokorystuvannja*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 2 (58), pp. 175–184.
17. Kryvoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V., Podchashyns'kyj, Ju.O. and Remezova, O.O. (2007), «Zastosuvannja informacijno-kop'juternyh tehnologij dlja doslidzhennja girnycho-ekologichnyh osoblyvostej rodovyshh rudnyh i nerudnyh korysnyh kopalyn», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (40), pp. 186–195.
18. Sobolevskiy, R., Korobijchuk, 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.
19. Zakusylo, R.V., Kravec', V.G. and Korobijchuk, V.V. (2011), *Zasoby inicijuvannja promyslovyh zarjadiv vybuhovyh rehovyn*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 212 p.
20. Kravec', V.G., Korobijchuk, V.V. and Bojko, V.V. (2015), *Fizychni procesy prykladnoi' geodynamiky vybuhu*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 408 p.
21. Sobolevskiy, R., Zuiavska, N., Korobijchuk, 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», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5 / 3 (83), pp. 21–29.
22. Korobijchuk, V., Shamrai, V., Iziumova, O., Tolkach, O. and Sobolevskiy, R. (2016), «Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4 / 5 (82), pp. 52–57.
23. Korobijchuk, I., Korobijchuk, V., Nowicki, M., Shamrai, V., Skyba, G. and Szewczyk, R. (2016), «The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods», *Construction and Building Materials*, from 1st July, Vol. 114, pp. 241–247.
24. Sobolevskiy, R., Vaschuk, O., Tolkach, O., Korobijchuk, V. and Levytskyi, V. (2017), «A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators», *Vostochno-Evropskyj zhurnal peredovyh tehnologij*, No. 3 (87), pp. 54–67.
25. Korobijchuk, V. (2016), «Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures», *International Conference on Systems, Control and Information Technologies 2016*, Springer International Publishing, pp. 653–658.
26. Pavlushhenko, M.V. and Korobijchuk, V.V. (2017), «Analiz tehniko-ekonomichnyh pokaznykiv peresuvnyh droblyno-sortoval'nyh ustanovok na shhebenevyh kar'jerah», *Tezy IV Vseukrai'ns'koi' naukovo-praktychnoi' konferencii' studentiv, aspirantiv ta molodyh vchenyh «Perspektyvy rozvytku girnychoi' spravy ta racional'nogo vykorystannja pryrodnyh resursiv»*, pp. 48–49.

**Фролов Александр Александрович** – доктор технічних наук, професор кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- буропідривні роботи на кар'єрах;
- розробка родовищ корисних копалин.

E-mail: frolov@geobud.kiev.ua.

**Куляпіна Аліна Володимирівна** – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- буропідривні роботи на кар'єрах;
- розробка родовищ корисних копалин.

E-mail: alyunya2806@gmail.

Стаття надійшла до редакції 02.11.2017.