

О.О. Фролов, д.т.н., проф.

І.Д. Литвинчук, студ.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Встановлення раціонального діаметра свердловин при вибуховому руйнуванні скельних гірських масивів

Наведено результати досліджень щодо встановлення раціонального діаметра свердловин при руйнуванні скельних гірських масивів вибухом. Доведено, що діаметр свердловини для вибухового руйнування гірських порід належить до основних параметрів буропідричних робіт на кар'єрах, а його значення має обиратися залежно від типу вибухової речовини, властивостей і ступеня порушеності скельних масивів. Для визначення раціонального діаметра свердловин запропоновано використовувати удосконалену методику оцінки техніко-економічних показників буропідричних робіт на кар'єрах.

Представлено формулу, що пов'язує питому вартість буропідричних робіт з основними техніко-економічними показниками вибуху, зокрема з діаметром свердловинного заряду вибухової речовини та природними властивостями гірського масиву. Для гірничо-геологічних та технологічних умов кар'єру з видобутку залізної руди отримані графічні залежності зміни питомої вартості буропідричних робіт від значень діаметра вибухових свердловин для представлених гірських порід з різними категоріями тріщинуватості. Встановлено найбільш раціональні типові значення діаметрів свердловин у разі проведення бурових робіт верстатами Atlas Copco Pit VIPER 275 для гірських масивів з різним ступенем порушеності.

Результати наукових досліджень дозволяють для конкретних гірничо-геологічних умов розробки родовища при відомій вартості виконання бурових робіт на кар'єрі та вартості застосовуваних вибухових речовин з урахуванням їхнього заряджання встановити найбільш доцільний діаметр свердловин для вибухового руйнування гірських порід.

Ключові слова: *гірський масив; свердловинний заряд; буропідричні роботи; діаметр свердловини; кар'єр; питома витрата.*

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими практичними завданнями. Досягнення необхідного ступеня дроблення скельних гірських порід у процесі їхнього вибухового руйнування є одним з головних завдань розробки родовища корисних копалин. Його вирішення дозволяє зменшити витрати на усі подальші технологічні процеси видобутку та переробки гірничої маси.

Досвід проведення буропідричних робіт (БПР) на кар'єрах свідчить про те, що отримання потрібного ступеня дроблення гірських масивів лише шляхом оптимізації кількості вибухових речовин (ВР) не завжди призводить до бажаних результатів. У зв'язку з цим виникає необхідність у встановленні або удосконаленні інших методів керування енергією вибуху, які дозволяють забезпечувати потрібний ступінь подрібнення без збільшення витрат ВР [1–7]. Тому встановлення раціонального діаметру свердловин при руйнуванні скельних гірських порід вибухом на кар'єрах є актуальним. Крім того, діаметр свердловинного заряду визначає інші параметри буропідричних робіт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі правильного вибору діаметра свердловинного заряду присвячена значна кількість наукових праць. Загальновідомо, що при малих діаметрах свердловин зменшується кількість заколів у глиб гірського масиву, об'єм переподрібнення породи навколо свердловинного заряду та втрати енергії вибуху. Однак на залізрудних кар'єрах при зменшенні діаметра свердловини з 200 до 100 мм не було досягнуто підвищення ефективності БПР, оскільки питомі витрати на буріння свердловин зменшеного діаметру значно вищі, ніж на свердловини більшого діаметра.

У [8] було проаналізовано вплив діаметра заряду на ефективність відкритих розробок Кривбасу. Авторами рекомендовано в сильно- та середньотріщинуватих гірських масивах для проведення БПР використовувати свердловинні заряди діаметром 300 мм, оскільки вони є найбільш ефективні за технологічними і енергетичними показниками.

Науковці в [9] зазначають, що резервом підвищення ефективності комплексу БПР на потужних кар'єрах є перехід на застосування свердловин раціонального діаметра. Була розроблена математична модель встановлення оптимального діаметра свердловини.

Водночас деякі дослідники зауважують, що якість підготовки гірничої маси хоча залежить від діаметра свердловинного заряду, однак він не є вирішальним, порівняно з іншими параметрами [10].

Мета дослідження. Наведений вище аналіз наукових досліджень показує, що діаметр вибухових свердловин належить до одного з головних параметрів БПР. Його вибір зазвичай залежить від типу ВР,

міцності та ступеня порушеності (тріщинуватості) гірських масивів. До цього часу не має загального обґрунтованого рішення відносно визначення раціонального діаметра свердловин. Тому метою роботи є встановлення раціонального діаметра свердловин при вибуховому руйнуванні гірських масивів у певних гірничо-геологічних умовах розробки родовищ.

Викладення основного матеріалу. Для встановлення раціонального діаметра свердловин при проведенні вибухових робіт на кар'єрах виконаємо техніко-економічну оцінку параметрів БПР [11, 12].

Питомі витрати на БПР можна представити у вигляді

$$C_{\text{БПР}} = C_{\text{б}} + C_{\text{ПР}}, \text{ грн/м}^3, \quad (1)$$

де $C_{\text{б}}$ – питомі витрати на буріння свердловин у масиві, грн/м³; $C_{\text{ПР}}$ – питомі витрати на виконання підричних робіт, грн/м³.

Виразимо питомі витрати на буріння та виконання підричних робіт через технологічні і техніко-економічні показники [13]. У цьому разі формула (1) буде мати вигляд

$$C_{\text{БПР}} = \frac{4qc_{\text{бур}}}{10^{-6}\pi d^2 k_{\text{в}} \Delta} + c_{\text{ВР}} q, \quad (2)$$

де q – питома витрата ВР, кг/м³; $c_{\text{бур}}$ – питомі витрати на буріння 1 м свердловин, грн/м; d – діаметр свердловини, мм; $k_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання свердловини ($k_{\text{в}} = 0,65-0,75$); Δ – щільність заряджання ВР у свердловині, кг/м³; $c_{\text{ВР}}$ – вартість 1 кг ВР з урахуванням витрат на заряджання, грн/кг.

Згідно з [11], питому витрату ВР з урахуванням діаметру вибухової свердловини можна представити у вигляді, кг/м³

$$q = 0,13\gamma^4 \sqrt{f} \left(0,6 + 3,3 \cdot 10^{-3} d_0 d\right) \sqrt[5]{\left(\frac{500}{d_{\text{н}}}\right)^2}, \quad (3)$$

де γ – щільність породи, т/м³; f – коефіцієнт міцності за шкалою проф. Протождяконова; d_0 – середній розмір природної окремості гірського масиву, м; d – діаметр свердловини, мм; $d_{\text{н}}$ – максимально допустимий розмір шматка зруйнованої породи, мм.

З урахуванням формули (3) загальні питомі витрати на БПР (2) після математичних перетворень будуть становити [14]:

$$C_{\text{БПР}} = \gamma^4 \sqrt{f} \sqrt[5]{\left(\frac{500}{d_{\text{н}}}\right)^2} \cdot \left(7,8 \cdot 10^{-2} c_{\text{ВР}} + 4,29 \cdot 10^{-4} d_0 d c_{\text{ВР}} + \frac{0,31 \cdot 10^6 c_{\text{бур}}}{\pi d^2 k_{\text{в}} \Delta} + \frac{1,72 \cdot 10^3 d_0 c_{\text{бур}}}{\pi d k_{\text{в}} \Delta}\right). \quad (4)$$

Таким чином, при відомих техніко-економічних ($c_{\text{бур}}$, $c_{\text{ВР}}$) і технологічних (γ , f , $d_{\text{н}}$, d_0 , Δ , $k_{\text{в}}$) показниках буріння і підричання можна отримати загальні питомі витрати на БПР при різних значеннях діаметра свердловини d . Значення мінімальних питомих витрат будуть відповідати найбільш раціональному діаметру свердловини.

Для гірничо-геологічних та технологічних умов кар'єру «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ» були проведені розрахунки щодо встановлення раціональних значень діаметра свердловин для виконання вибухових робіт у гірських породах з різним ступенем тріщинуватості. В таблиці 1 наведено основні типи гірських порід у межах кар'єру та їх основні характеристики.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості порід

Гірська порода	Об'ємна вага, т/м ³	Межа міцності порід на стиснення, МПа
Магнетитові кварцити	3,5	170–200
Силікат-магнетитові кварцити	3,25	180–250
Окиснені кварцити	3,3	40–150
Малорудні неокиснені кварцити	3,15	110–140
Породи сланцевих горизонтів	3,15	110–120

Відповідно до умов бурові роботи на кар'єрі проводяться верстатами типу Atlas Copco PV. В цьому разі питомі витрати на буріння 1 м свердловин в середньому становлять $c_{\text{бур}} = 352$ грн/м. Вартість 1 кг вибухової речовини Анемікс 70 з урахуванням витрат на заряджання – $c_{\text{ВР}} = 16,1$ грн/кг. Середнє значення коефіцієнта використання свердловини становить $k_{\text{в}} = 0,7$. Щільність заряджання Анемікса 70 приймаємо за $\Delta = 1250$ кг/м³.

Середні розміри природних окремостей у гірському масиві d_0 залежно від категорії тріщинуватості будуть становити: для I категорії тріщинуватості – $d_0 = 0,1$ м; для II категорії – $d_0 = 0,3$ м; для III категорії – $d_0 = 0,75$ м; для IV категорії – $d_0 = 1,25$ м; для V категорії – $d_0 = 2,0$ м.

Максимально допустимий розмір шматка зруйнованої гірничої маси – $d_n = 1200$ мм.

На рисунках 1–5 наведено графічні залежності зміни питомої вартості БПР від діаметра свердловин для наведених вище гірських порід і категорій тріщинуватості.

Для руйнування магнетитових кварцитів I категорії тріщинуватості раціональним буде діаметр свердловини 400 мм, оскільки питома вартість БПР у цьому разі буде мінімальною $C_{\text{БПР}} = 9,33$ грн/м³ (рис. 1). Для II категорії тріщинуватості раціональний діаметр $d = 350$ мм при мінімальній питомій вартості $C_{\text{БПР}} = 12,68$ грн/м³. Для III категорії порід ці значення відповідно становлять – $d = 300$ мм, $C_{\text{БПР}} = 19,32$ грн/м³. При IV категорії – $d = 250$ мм, $C_{\text{БПР}} = 26,17$ грн/м³; для V категорії – $d = 250$ мм, $C_{\text{БПР}} = 36,10$ грн/м³.

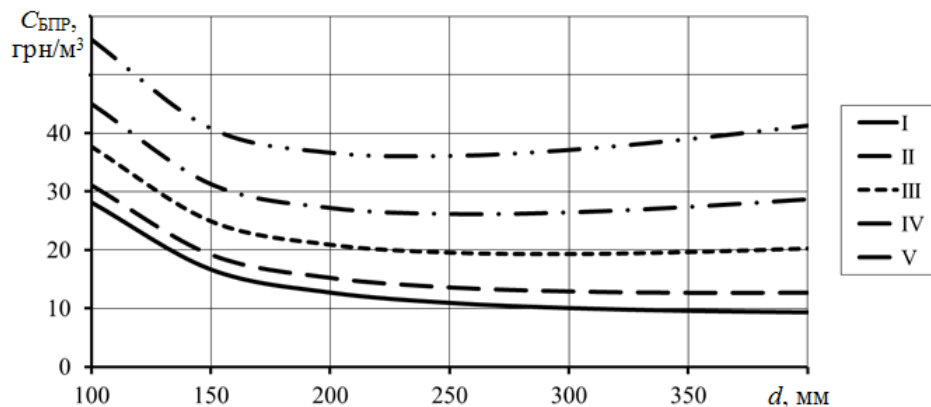


Рис. 1. Залежність питомої вартості буропідричних робіт від діаметра свердловини в магнетитових кварцитах при різній категорії тріщинуватості

Для силікат-магнетитових кварцитів I категорії тріщинуватості найбільш оптимальним є діаметр $d = 400$ мм, оскільки питома вартість БПР при цьому буде мінімальною $C_{\text{БПР}} = 9,21$ грн/м³ (рис. 2). Для II категорії раціональний діаметр становить $d = 350$ мм, оскільки при ньому $C_{\text{БПР}} = 12,52$ грн/м³ мінімальне. III категорія тріщинуватості встановлює оптимальний діаметр свердловини $d = 300$ мм при найменшій вартості $C_{\text{БПР}} = 19,07$ грн/м³. Для IV категорії мінімальна вартість БПР спостерігається $C_{\text{БПР}} = 25,84$ грн/м³ при $d = 250$ мм. При V категорії тріщинуватості – мінімальна вартість $C_{\text{БПР}} = 35,64$ грн/м³ при $d = 250$ мм.

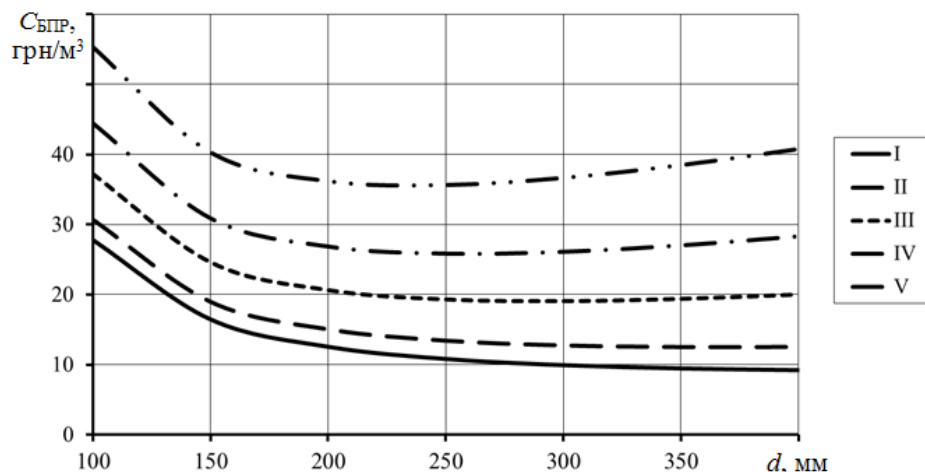


Рис. 2. Залежність питомої вартості буропідричних робіт від діаметра свердловини у силікат-магнетитових кварцитах при різній категорії тріщинуватості

I категорія тріщинуватості окиснених кварцитів встановлює раціональний діаметр свердловини $d = 400$ мм, оскільки мінімальна питома вартість БПР становить $C_{\text{БПР}} = 7,59$ грн/м³ (рис. 3). Для II категорії тріщинуватості мінімальна питома вартість $C_{\text{БПР}} = 10,32$ грн/м³ спостерігається при діаметрі

свердловини 350 мм. Для III категорії мінімальне значення питомої вартості БПР – $C_{\text{БПР}} = 15,73 \text{ грн/м}^3$ при $d = 300 \text{ мм}$. При IV категорії порід раціональним діаметром свердловини буде значення $d = 250 \text{ мм}$, оскільки $C_{\text{БПР}} = 21,31 \text{ грн/м}^3$ є мінімальним. Для V категорії тріщинуватості відповідні значення становлять $d = 250 \text{ мм}$ та $C_{\text{БПР}} = 29,39 \text{ грн/м}^3$.

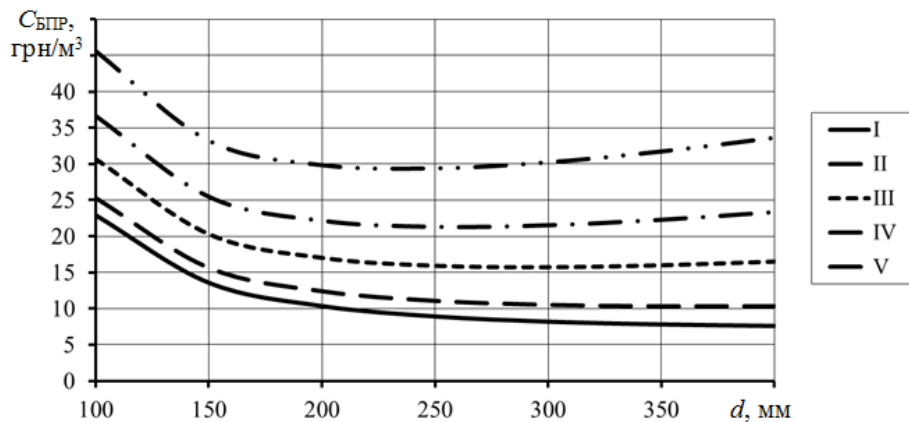


Рис. 3. Залежність питомої вартості буропідривних робіт від діаметра свердловини в окиснених кварцитах при різних категоріях тріщинуватості

При дробленні малорудних неокиснених кварцитів (рис. 4) I категорії тріщинуватості мінімальна питома вартість БПР $C_{\text{БПР}} = 7,42 \text{ грн/м}^3$ спостерігається при діаметрі свердловини $d = 400 \text{ мм}$. При руйнуванні масиву II категорії тріщинуватості найменша питома вартість $C_{\text{БПР}} = 10,09 \text{ грн/м}^3$ є для діаметру $d = 350 \text{ мм}$. Для III категорії тріщинуватості є раціональним діаметр заряду $d = 300 \text{ мм}$, оскільки $C_{\text{БПР}} = 15,37 \text{ грн/м}^3$ є мінімальним. Для руйнування гірських масивів IV категорії тріщинуватості необхідно застосовувати свердловинні заряди $d = 250 \text{ мм}$, оскільки $C_{\text{БПР}} = 20,83 \text{ грн/м}^3$ буде мінімальним. Масив V категорії тріщинуватості встановлює мінімальну питому вартість буропідривних робіт $C_{\text{БПР}} = 28,73 \text{ грн/м}^3$ при діаметрі $d = 250 \text{ мм}$.

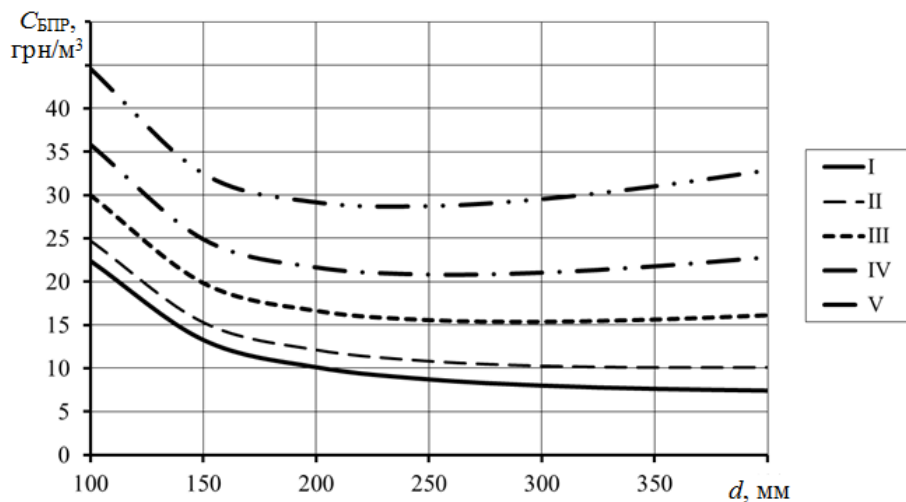


Рис. 4. Залежність питомої вартості буропідривних робіт від діаметра свердловини в малорудних неокиснених кварцитах при різних категоріях тріщинуватості

Аналіз залежностей рисунка 5 показує, що в породах сланцевих горизонтів I категорії тріщинуватості раціональний діаметр свердловини дорівнює 400 мм, оскільки при цьому встановлюється мінімальна питома вартість БПР $C_{\text{БПР}} = 7,59 \text{ грн/м}^3$. Для II категорії тріщинуватості оптимальним є $d = 350 \text{ мм}$, тому що $C_{\text{БПР}} = 10,31 \text{ грн/м}^3$ є мінімальним. При руйнуванні гірського масиву III категорії тріщинуватості мінімальне значення становить $C_{\text{БПР}} = 15,71 \text{ грн/м}^3$ для діаметру свердловин $d = 300 \text{ мм}$. Для IV категорії мінімальне значення $C_{\text{БПР}}$ становить $21,29 \text{ грн/м}^3$ при $d = 250 \text{ мм}$. Гірський масив V категорії тріщинуватості доцільно руйнувати свердловинними зарядами BP $d = 250 \text{ мм}$, тому що при цьому питома вартість БПР $C_{\text{БПР}} = 29,36 \text{ грн/м}^3$ буде мінімальною.

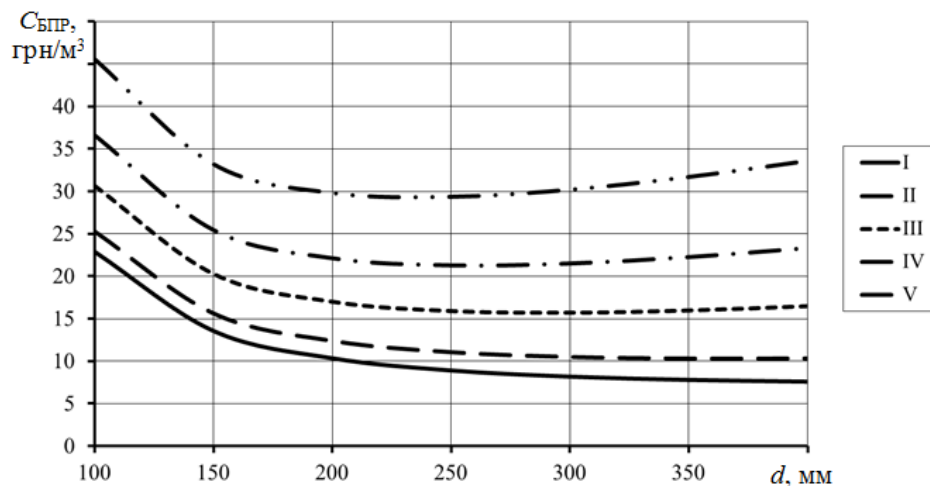


Рис. 5. Залежність питомої вартості буропідричних робіт від діаметра свердловини у породах сланцевих горизонтів при різних категоріях тріщинуватості

Висновки та перспективи подальших досліджень. У результаті проведених наукових досліджень встановлено, що діаметр свердловин для виконання вибухових робіт належить до одного з головних параметрів БПР, а його вибір визначається техніко-економічними показниками бурових і підричних робіт та природними гірничо-геологічними факторами.

Представлено формулу, яка пов'язує питому вартість БПР з основними техніко-економічними показниками бурових і вибухових робіт, зокрема з діаметром вибухових свердловин.

Для гірничо-геологічних та технологічних умов кар'єру «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ» були проведені розрахунки щодо встановлення раціональних значень діаметра свердловин для виконання вибухових робіт в гірських породах з різним ступенем тріщинуватості. Встановлено, що при виконанні бурових робіт верстатом Atlas Copco Pit VIPER 275 у гірських масивах I категорії тріщинуватості для усіх представлених у кар'єрі скельних порід раціональний діаметр свердловин становить $d = 400$ мм. Для масивів II категорії тріщинуватості ефективним є діаметр $d = 350$ мм, для III категорії – $d = 300$ мм, для IV категорії – $d = 250$ мм, для V категорії тріщинуватості – $d = 250$ мм.

З огляду на отримані результати, перспективними виглядають подальші наукові дослідження зі встановлення залежності питомих витрат буріння від діаметра вибухових свердловин.

Список використаної літератури:

1. Тищенко С.В. Особенности механизма разрушения горных пород дифференцированными скважинными зарядами взрывчатых веществ / С.В. Тищенко, Г.И. Еременко, К.А. Федин // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – 2012. – № 32. – С. 25–28.
2. Шапурін О.В. Оптимізація комбінованого буріння свердловин з утворенням котловин великого діаметру / О.В. Шапурін, П.М. Синичич // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – 2015. – Вип. 39. – С. 107–113.
3. Ефремов Э.И. Влияние диаметра скважины на площадь контакта взрывчатого вещества с разрушаемой породой и на выход мелких фракций / Э.И. Ефремов, В.А. Никифорова, Ю.Н. Чебенко // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук : КрНУ, 2012. – Вип. 2/2012 (10). – С. 9–15.
4. Kulula M.I. Influence of Blasting Parameters and Density of Rocks on Blast Performance at Tschudi Mine / M.I. Kulula, M.N. Nashongo, J.M. Akande // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. – Tsumeb, Namibia. – 2017. – № 5. – P. 339–352.
5. Совершенствование взрывных работ на разрезе «Буреинский-2» ОАО «Ургалуголь» / Е.Б. Шевкун, А.В. Леуцинский, А.И. Добровольский, А.А. Галимьянов // Уголь. – 2014. – № 1. – С. 11–14.
6. Li X.B. Rock drilling and blasting engineering / X.B. Li. – Changsha : Central south University Press, 2011.
7. Experimental and theoretical study on influence of different charging structures on blasting vibration energy / W.-B. Gu, Z.-X. Wang, J.-H. Chen, J.-Q. Liu, M.Lu // Shock and Vibration. – Vol. 2015. – Article ID 248739. – 11 p.
8. Шапурін А.В. О влиянии диаметра заряда на эффективность открытых горных работ / А.В. Шапурін, А.С. Левуцкий, В.П. Темний // Разработка рудных месторождений : сб. науч. трудов. – 2010. – № 93. – С. 23–27.
9. Мец С.Ю. Эффективный комплекс буровзрывных работ при отработке уступов увеличенной высоты / С.Ю. Мец, А.Ю. Антонов // Гірничий вісник : зб. наук. праць. – 2014. – № 97. – С. 7–11.
10. Шапурін О.В. Дослідження взаємозв'язків між властивостями гірських порід, їх енергонасичення при підриванні і кускуватістю у розвалі / О.В. Шапурін, В.М. Серебреніков, С.М. Швець // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – 2012. – № 30. – С. 18–23.

11. Кутузов Б.Н. Выбор рационального диаметра взрывных скважин на карьерах / Б.Н. Кутузов, А.А. Вареничев // Горный журнал. – 1976. – № 8. – С. 47–51.
12. Фролов О.О. Визначення ефективного діаметру свердловинного заряду з урахуванням техніко-економічної оцінки буропідричних робіт / О.О. Фролов, Ю.С. Мальцева // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – 2018. – Вип. 46. – С. 9–14.
13. Фролов О.О. Техніко-економічне обґрунтування вибору діаметру свердловинного заряду для проведення буропідричних робіт на кар'єрах / О.О. Фролов, І.Д. Литвинчук // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – 2018. – № 2 (82). – С. 277–281.
14. Frolov O. Improving the method of determining the rational diameter of wells for drilling and blasting / A.A. Frolov, I.D. Litvinchuk // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва : наук.-вироб. зб-к / Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук : КрНУ, 2019. – Вип. 1/2019 (23). – С. 9–17.

References:

1. Tishhenko, S.V., Eremenko, G.I. and Fedin, K.A. (2012), «Osobennosti mehanizma razrusheniya gornyh porod differencirovannymi skvazhinnyimi zarjadami vzryvchatyh veshhestv», *Visnyk Kryvoriz'kogo nacional'nogo universytetu*, zb. nauk. prac', No. 32, pp. 25–28.
2. Shapurin, O.V. and Synychych, P.M. (2015), «Optimizacija kombinovanogo burinnja sverdlolvyn z utvorenjam kotlovyn velykogo diametru», *Visnyk Kryvoriz'kogo nacional'nogo universytetu*, zb. nauk. prac', Vol. 39, pp. 107–113.
3. Efremov, Je.I., Nikiforova, V.A. and Chebenko, Ju.N. (2012), «Vlijanie diametra skvazhiny na ploshhad' kontakta vzryvchatogo veshhestva s razrushaemoj porodoy i na vyhod melkih frakcij», *Suchasni resursoenergozberigajuchi tehnologii' girnychogo vyrobnictva*, Vol. 2/2012 (10), KrNU, Kremenchuk, pp. 9–15.
4. Kulula, M.I., Nashongo, M.N. and Akande, J.M. (2017), «Influence of Blasting Parameters and Density of Rocks on Blast Performance at Tschudi Mine», *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, No. 5, Tsumeb, Namibia, pp. 339–352.
5. Shevkun, E.B., Leshhinskij, A.V., Dobrovolskij, A.I. and Galim'janov, A.A. (2014), «Sovershenstvovanie vzryvnyh rabot na razreze «Bureinskij-2» OAO «Urgalugol'», *Ugol'*, No. 1, pp. 11–14.
6. Li, X.B. (2011), *Rock drilling and blasting engineering*, Central south University Press, Changsha.
7. Gu, W.-B., Wang, Z.-X., Chen, J.-H., Liu, J.-Q. and Lu, M. (2015), «Experimental and theoretical study on influence of different charging structures on blasting vibration energy», *Shock and Vibration*, Vol. 2015, Article ID 248739, 11 p.
8. Shapurin, A.V., Levuckij, A.S. and Temnij, V.P. (2010), «O vlijanii diametra zarjada na jeffektivnost' otkrytyh gornyh rabot», *Razrabotka rudnyh mestorozhdenij*, sb. nauch. trudov, No. 93, pp. 23–27.
9. Мес, S.Ju. and Antonov, A.Ju. (2014), «Jefferktivnyj kompleks burovzryvnyh rabot pri otrabotke ustupov uvelichennoj vysoty», *Girnichij visnik*, zb. nauk. prac', No. 97, pp. 7–11.
10. Shapurin, O.V., Serebrenikov, V.M. and Shvec', Je.M. (2012), «Doslidzhennja vzajemov'jazkiv mizh vlastyostjamy gir'skyh porid, i'h energonasychennja pry pidryvanni i kuskuvatistju u rozvali», *Visnyk Kryvoriz'kogo nacional'nogo universytetu*, zb. nauk. prac', No. 30, pp. 18–23.
11. Kutuzov, B.N. and Varenichev, A.A. (1976), «Vybor racional'nogo diametra vzryvnyh skvazhin na kar'erah», *Gornyj zhurnal*, No. 8, pp. 47–51.
12. Frolov, O.O. and Mal'ceva, Ju.S. (2018), «Vyznachennja efektyvnogo diametru sverdlolvynogo zarjadu z urahuvannjam tehniko-ekonomichnoi' ocinky buropidryvnyh robıt», *Visnyk Kryvoriz'kogo nacional'nogo universytetu*, zb. nauk. prac', Vol. 46, pp. 9–14.
13. Frolov, O.O. and Lytvynchuk, I.D. (2018), «Tehniko-ekonomichne obgruntuvannja vyboru diametru sverdlolvynogo zarjadu dlja provedennja buropidryvnyh robıt na kar'jerah», *Visnyk ZhDTU, Serija Tehnichni nauky*, No. 2 (82), pp. 277–281.
14. Frolov, A.A. and Litvinchuk, I.D. (2019), «Improving the method of determining the rational diameter of wells for drilling and blasting», *Suchasni resursozberigajuchi tehnologii' girnychogo vyrobnictva*, nauk.-virob. zb-k, Vol. 1/2019 (23), Kremenchuc'kij nacional'nyj universytet imeni Myhajla Ostrograd'skogo, KrNU, Kremenchuk, pp. 9–17.

Фролов Александр Александрович – доктор технічних наук, професор кафедри геології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

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

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

ORCID: 0000-0002-9833-6236

Литвинчук Ілля Дмитрович – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- розробка родовищ корисних копалин.

E-mail: Litvinchuk_ilya@icloud.com.

Стаття надійшла до редакції 17.10.2019